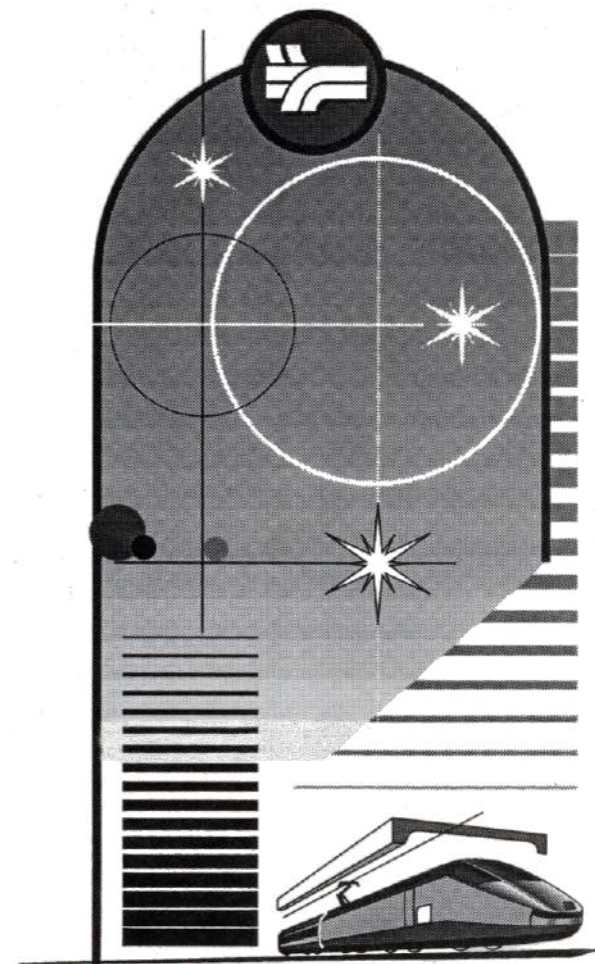


МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
"БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА"



# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ XI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Часть 2

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ  
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Гомель, 25–26 ноября 2021 г.)

Часть 2

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2021

УДК 656.08  
ББК 39.18  
П78

Редакционная коллегия:

**Ю. И. Кулаженко** (отв. редактор), **Ю. Г. Самодум** (зам. отв. редактора),  
**А. А. Ерофеев** (зам. отв. редактора), **Т. М. Маруняк** (отв. секретарь),  
**К. А. Бочков, Д. И. Бочкарев, Т. А. Власюк, И. А. Еловой, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, В. М. Овчинников, А. А. Поддубный, А. В. Пигунов, А. О. Шимановский**

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **В. В. Кобищанов**  
(Брянский государственный технический университет);  
доктор технических наук, профессор **Ю. О. Пазойский**  
(Московский государственный университет путей сообщения)

**Проблемы безопасности на транспорте** : материалы XI Междунар.  
П78 науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 2 / М-во  
трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т  
трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. –  
322 с.

ISBN 978-985-891-053-2 (ч. 2)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы обеспечения безопасности транспортных систем; пути повышения безопасности и надежности подвижного состава и систем электроснабжения; информационная и функциональная безопасность систем автоматики, телемеханики и связи; энергетическая и экологическая безопасность транспорта; вопросы безопасности транспортной инфраструктуры; надежности и безопасности зданий и сооружений; безопасности пассажирских перевозок; естественные науки в обеспечении безопасности транспортных систем; экономическая безопасность транспортных систем; транспортная безопасность при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Для ученых, преподавателей учебных заведений транспортного профиля, научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций, предприятий и учреждений транспорта и строительства.

**УДК 656.08**  
**ББК 39.18**

ISBN 978-985-891-053-2 (ч. 2)  
ISBN 978-985-891-051-8

© Оформление. БелГУТ, 2021

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

*От имени организационного комитета XI Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» приветствую вас, желаю успешной работы, плодотворного обсуждения проблем безопасности на транспорте.*

*Обеспечение безопасности перевозочного процесса всегда являлось приоритетной задачей транспортного комплекса. Для ее решения необходимо сотрудничество ученых и специалистов в различных областях деятельности. Программа конференции направлена на обсуждение широкого круга вопросов по безопасности транспортных систем, пассажирских перевозок, надежности подвижного состава, систем автоматики, телемеханики и связи, транспортной инфраструктуры, строительного комплекса, экологической, энергетической и экономической безопасности, транспортной безопасности при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций, фундаментальным научным исследованиям в области безопасности транспортных систем, что позволит найти комплексные, эффективные решения сложнейших задач в области безопасности на транспорте.*

*Несмотря на сложную эпидемиологическую ситуацию в мире в этом году отмечается большой интерес к конференции. В очной и дистанционной формах работы 10 секций конференции принимает участие около 500 докладчиков. Наша конференция является хорошей возможностью ознакомить участников с научными достижениями ученых и специалистов, передовыми производственными технологиями, а также установить новые научно-производственные связи с учеными и специалистами из разных стран.*

*Ежегодная конференция «Проблемы безопасности на транспорте» традиционно проводится в университете при поддержке Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и Белорусской железной дороги. Такое сотрудничество, активный диалог между наукой и производством по проблемам безопасности позволит сформулировать новые подходы и найти эффективные решения актуальных задач безопасности транспортного комплекса.*

*Благодарю вас за участие в работе конференции, желаю всем успехов в решении научных и производственных задач, личного счастья, крепкого здоровья, безопасного настоящего и будущего.*

**Ю. И. КУЛАЖЕНКО,**

**председатель организационного комитета конференции,  
ректор Белорусского государственного университета транспорта,  
доктор физико-математических наук**

## 6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 528.624.21/8

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКЕ ПЛОЩАДОК И ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вертикальной планировкой называется совокупность работ по преобразованию естественного рельефа местности в проектный. В зависимости от условий местности различают площадную и линейную планировку.

Площадная вертикальная планировка выполняется при сооружении аэродромов, стадионов, городских площадей, парков, садов и других объектов.

Линейная вертикальная планировка применяется при сооружении городских улиц, дорог, проездов при приложении различных инженерных сетей и коммуникаций.

Основные данные для составления проектов вертикальной планировки получают из геометрического нивелирования местности с помощью геодезического прибора нивелира. При площадной вертикальной планировке выполняют обычно нивелирование поверхности по квадратам, а при линейной планировке выполняют маршрутное нивелирование по магистралям с поперечниками. По результатам нивелирования поверхности по квадратам составляют топографический план, а по результатам маршрутного нивелирования составляет профиль трассы с достаточным количеством поперечников.

Обычно вначале составляют общий проект вертикальной планировки и оформляют его в виде картограммы земляных работ, а затем разбивают детальный проект, выражая проектный рельеф горизонталями и отметками характерных точек.

Картограмму земляных работ для площадки составляют на основе сетки квадратов, у каждой вершины которых выписывают высоты земли, полученные по результатам нивелирования поверхности или интерполированием по горизонталям на плане.

Проектные (красные) отметки вычисляют исходя из условий решения проектного рельефа на площадке. Если требуется произвести планировку земли под горизонтальную площадку при условии баланса земляных работ, т. е. чтобы объемы насыпей и выемок были примерно равны между собой, то проектную отметку горизонтальной плоскости вычисляют как среднее арифметическое из средних отметок в каждом квадрате.

При проектировании наклонной площадки обычно задают продольный ( $i_x$ ) и поперечный ( $i_y$ ) уклоны и отметку начальной точки на площадке ( $H_0$ ). Проектную отметку любой точки, расположенной на расстоянии  $d_x$  и  $d_y$  от начальной точки, определяют по формуле

$$H_{пр} = H_0 + i_x d_x + i_y d_y.$$

Вычисленные проектные отметки выписывают на картограмму земляных работ над отметками земли. Вычитая из проектных отметок высоты земли, получают рабочие отметки, которые выписывают на картограмме слева от проектных отметок. Если рабочие отметки точек стороны квадрата имеют противоположные знаки, то между ними определяют интерполированием точки нулевых работ, в которых рабочая отметка равна нулю. При соединении на картограмме земляных работ точки нулевых работ, формируется линия, показывающая переход насыпи в выемку, и наоборот.

Затем в каждом квадрате на картограмме вычисляют и записывают объемы насыпей и выемок, которые рассчитывают как объемы земляных работ призмы по формуле

$$V = S_{осн} h_{ср},$$

где  $S_{осн}$  – площадь основания земляной призмы в квадрате;  $h_{ср}$  – средняя рабочая отметка основания земляной призмы.

При этом необходимо учитывать знаки рабочих отметок. Положительный знак говорит о насыпи, а отрицательный – о выемке.

Вычисленные по отдельным квадратам объемы земляных работ суммируются, в результате чего определяется баланс земляных масс.

Для переноса проекта вертикальной планировки в натуру необходимо закрепить на местности все вершины квадратов специальными знаками (деревянными кольями или металлическими штырями). Затем с помощью нивелира от ближайшего репера выполняют на каждой вершине квадрата перенесение в натуру заданных проектных отметок, используя формулы

$$ГН = H_{рп} + a;$$

$$b_{пр} = ГН - H_{пр}.$$

где ГН – горизонт нивелира;  $H_{пр}$  – проектная отметка в заданной вершине квадрата;  $a$  – отсчет по рейке на репере.

Путем опускания или поднятия колышка или штыря добиваются положения, чтобы отсчет по рейке в данной вершине квадрата стал равным проектному отсчету  $b_{пр}$ , а значит, стал соответствовать заданной проектной отметке. Установив таким образом все вершины квадратов на проектную высоту, затем выполняют земляные работы, добиваясь того, чтобы поверхность земли соответствовала верху колышка. Иногда земляные работы выполняют по рабочим отметкам, которые выписывают на кольях, установленных на вершинах квадрата.

В городском строительстве при вертикальной планировке часто требуется разбивать на местности линии и плоскости с заданным уклоном. Такие работы выполняют при построении улиц, дорог, особенно проездов и площадей с помощью нивелирования наклонным лучом.

Для этого вертикальную ось нивелира следует установить перпендикулярно к проектной плоскости, тогда визирная ось трубы будет параллельна проектной плоскости. Отсчеты по рейке будут одни и те же, если ее пятка совпадает с проектной плоскостью. Для установки нивелира в такое положение вначале на площадке обычным способом выносят четыре точки с заданными проектными отметками, расположенными в углах площадки ( $A, B, C, D$ ). Затем устанавливают нивелир в точке так, чтобы два подъемных винта подставки нивелира, расположить параллельно одной из линий площадки, например,  $AD$ . Измеряют высоту нивелира в точке  $A$  наводят трубу нивелира, на точку  $D$  и этими двумя подъемными винтами наклоняют ось нивелира, пока отсчет по рейке в точке  $D$  не станет равным высоте нивелира. Затем, действуя третьим подъемным винтом, наклоняют визирную ось нивелира в перпендикулярном направлении, чтобы отсчет по рейке на точке  $B$  стал равным высоте нивелира. Контрольный отсчет на рейке в точке  $C$  также должен быть равен высоте нивелира. После этого можно получить проектную высоту любой точки площадки, если отсчет по рейке в ней будет равен высоте нивелира. Вместо нивелира для разбивки на местности проектной линии и плоскости можно использовать также наклонный луч визирования теодолита, электронного тахеометра или лазерного прибора.

Для построения проектной линии точки проектного профиля по оси проезда выносят через каждые 10–20 метров. В этих точках разбивают поперечники, закрепляют на них по обе стороны от оси точки, расположенные на оси лотка, на бордюрном камне тротуара и около фасадной линии колышками выносят на них заданные проектные отметки. При необходимости на боковую поверхность колышка выписывают разность отклонений верха колышка от проектной отметки с соответствующим знаком (плюс или минус). При планировке отмеряют эту разность от верхнего среза колышка до рабочей поверхности грунта. Точность переноса на местность проектов вертикальной планировки соответствует точности технического нивелирования. Элементы приведенных работ были использованы авторами при вертикальной планировке на некоторых объектах Гомельской области.

УДК 69.059

## О ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОТМОСТКИ

*М. В. БЕСПАЛОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Отмостка – искусственное покрытие по грунту по периметру здания, предназначенное для отвода воды от стен и фундаментов [1]. Кроме того, отмостка снижает тепловые потери в подвале или в цокольном этаже, защищает грунт от размывания, защищает от органического выветривания. Всё это позволяет увеличить срок эксплуатации здания в целом.

Как показывает анализ многочисленных статистических материалов обследования зданий и сооружений, дефекты отмостки – самый распространенный дефект не только для строений с большим сроком эксплуатации, но и для достаточно новых зданий. Наиболее часто встречающиеся дефекты отмосток: отсутствие уклона отмостки от здания, многочисленные дефекты в виде просадок, провалов, пробоин, щелей, трещин, неровностей, выкрашивание отдельных краев или участков, отхождение отмостки от цоколя.

Основным фактором, вызывающим большинство дефектов, является потеря свойств по времени, однако имеется и ряд других факторов, влияющих на долговечность отмостки. Долговечность отмостки во многом зависит от ошибок при проектировании, дефектов при строительстве и неграмотной эксплуатации. В таблице 1 представлен анализ причин повреждений отмостки (выборка – 60 объектов обследования).

Таблица 1 – Анализ повреждений отмостки по причинам, вызвавшим их

В процентах

Причины повреждений	Доля от общего числа
Потеря свойств в результате длительности эксплуатации	41
Ошибки проектирования	2
Несоблюдение правил производства работ	29
Неправильная эксплуатация (в т. ч. аварийные ситуации)	12
Совместное влияние факторов	16

По нормативным документам рекомендуемая ширина отмостки составляет: для простых грунтовых условий – 0,8–1,2 м; для сложных – 1,5 м и более. Сложные грунтовые условия характеризуются наличием неглубокого залегания грунтовых вод и наличием пучинистых грунтов. При этом ширина отмостки должна быть больше выноса ската крыши на 30–50 см.

Наиболее частыми причинами ошибок при проектировании являются:

- недоучет сложности грунтовых и гидрогеологических условий строительной площадки;
- занижение цокольной части здания, что приводит к дополнительному увлажнению и размораживанию конструкций при значительных и длительных величинах осадки здания;
- неучет вибрационного воздействия, которое существенно влияет на интенсивность физического износа конструкций. При воздействии вибрации наряду с разрушением отмостки увеличивается и влажность основания и т. д.

Основными причинами несоблюдения правил производства работ являются: нарушения производственно-технологической дисциплины работников строительных организаций, несовершенство принятой технологии и неудовлетворительное состояние технологического оборудования, поставка некачественных исходных материалов и др.

Одной из причин, способствующих разрушению отмостки, являются недостаточная плотность грунта обратной засыпки пазух фундамента, по которому возводят конструкцию отмостки. Уплотнение грунта необходимо проводить послойно. Оптимальными величинами для механизированной обработки считаются слои 15–20 см. Сухой грунт сложно уплотнить, поэтому перед началом работ его следует увлажнить. Для каждого типа грунта есть своя оптимальная влажность для уплотнения. Качественное уплотнение грунта является необходимым условием для отсутствия проблем с отмосткой, поэтому послойный контроль качества уплотнения при таких работах обязателен.

Нарушение требований норм при замоноличивании швов при устройстве фундаментов из ФБС может привести к просачиванию воды в подвальную часть здания. Это ведет не только к избыточному увлажнению конструкций, но и к началу механической суффозии с выносом мелких фракций грунта вместе с водой, где местом разгрузки служит подвальная часть здания. Грунт же обратной засыпки пазух фундаментов разуплотняется, что ведет к деформациям отмостки.

Чтобы избежать осадочных, температурных и усадочных трещин, бетон разделяют деформационными швами. Амортизационный шов должен находиться между цоколем и отмосткой и нивелировать перепады объемов вследствие изменения температур. При дополнительной нагрузке на отмостку необходимо в конструкции предусмотреть армирующий слой.

Основные причины несоблюдения правил производства работ связаны с недостаточной квалификацией исполнителей, отсутствием средств контроля и измерения, несоответствием используемых материалов проектным требованиям.

Работа отмостки в период эксплуатации зданий и сооружений может быть нарушена увлажнением основания из-за замачивания при авариях санитарно-технических систем. Особенно заметно разрушение систем водоснабжения и канализации в местах ввода их в здания. В этом случае возможно не только переувлажнение конструкций, но и разрушение основания отмостки и, как следствие, ее деформация.

При выполнении шурфовочных работ, связанных с обследованием технического состояния фундаментов, неоднократно отмечалось наличие корневой части в ленточных фундаментах и под отмосткой. 30–40 % обследованных отмосток зданий, расположенных в сельской местности, были разрушены корнями деревьев и кустарников [2]. По нормативам посадка кустарников должна быть произведена на расстоянии 1–2 м, деревьев – на расстоянии 4–5 м. Но такие нормы содержат данные на деревья с диаметром кроны не более 5 м. Также в нормативах не учтен вид деревьев, тип корневой системы, вид грунта.

Соблюдение правил возведения отмостки позволяет продлить ее долговечность и защитить фундамент от негативного влияния окружающей среды. Важно соблюдать технологию, использовать качественные материалы и следить за правильной эксплуатацией.

#### Список литературы

1 **СТБ 1900-2008.** Строительство. Основные термины и определения. – Введ. впервые. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 45 с.

2 **Кудрявцев, И. А.** Гидроизоляционные системы / И. А. Кудрявцев, М. В. Беспалова, А. С. Чикилев ; под ред. И. А. Кудрявцева. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 443 с.

УДК 691.32

## ОЦЕНКА НАЧАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ

*А. А. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Скорость и время карбонизации бетона определяются, в первую очередь, количеством использованного цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси [1]. Однако определенное по результатам анализа, содержание карбонатов [2] не позволяет объективно оценивать карбонизируемость бетона, так как, одно и то же количество карбонатов для бетонов со значительно отличающимся составом (количеством использованного цемента) для одного бетона может свидетельствовать о начале карбонизации, а для другого – уже о полной карбонизации в рассматриваемом сечении. Таким образом, показатель КС не позволяет объективно оценивать карбонизацию бетона. Для оценки карбонизации предложен параметр *степень карбонизации бетона (показатель СК)*, который независимо от состава бетона (количества использованного цемента) позволяет оценивать его коррозионное состояние [3]. Степень карбонизации бетона определяет процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона. Он численно равен отношению величины карбонатной составляющей к предельной величине карбонизации в определенном сечении бетона [3].

На основании многолетних исследований карбонизации бетона лабораторных образцов и образцов, отобранных из эксплуатируемых элементов: кинетики и механизма карбонизации; изменения по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие (составов бетона) во времени параметров карбонизации (карбонатной составляющей и степени карбонизации) – были предложены выражения по прогнозированию показателя СК для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации [4].

В общем виде расчетно-экспериментальная зависимость степени карбонизации бетона во времени

$$СК(l, t) = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)} / \alpha_4 \alpha, \quad (1)$$

где СК – степень карбонизации цементно-песчаной фракции бетона, %;  $l$  – исследуемая толщина слоя бетона;  $\alpha$  – степень гидратации цемента, %;  $\alpha_1$ – $\alpha_4$  – коэффициенты.



Значения показателей  $\alpha_1$ – $\alpha_4$  для условий открытой атмосферы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателей  $\alpha_1$ – $\alpha_4$

Класс бетона по прочности на сжатие	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	2,39	0,500	0,676	19,5
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	2,77	0,565	0,634	25,8
C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>	3,04	0,585	0,609	28,3
C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	3,22	0,625	0,586	30,8
C <sup>22</sup> / <sub>27,5</sub>	3,39	0,655	0,567	32,6
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	3,62	0,710	0,538	35,4
C <sup>28</sup> / <sub>35</sub>	4,12	0,760	0,485	40,2
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	4,32	0,790	0,464	42,0

Кроме того, получена зависимость показателей СК и рН (водородного показателя водной вытяжки цементного камня), определяющего состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре [3], что позволило назначить категории степеней карбонизации и разработать критерии оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре (таблица 2).

Выражение (1) позволяет прогнозировать изменение показателя СК во времени и защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре в процессе эксплуатации железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК).

Таблица 2 – Взаимосвязь параметров карбонизации бетона

Категория потери защитных свойств бетона	Степень карбонизации, СК	Граничные значения показателя СК, %	Коррозионное состояние бетона
0	0	< 13	Структурные свойства бетона соответствуют свежеприготовленному
I	I	13–26	Начало деградации бетона
II	II	> 26–36	Деградация бетона малой степени интенсивности
III	III	> 36–47	Деградация бетона средней степени интенсивности
IV	IV	> 47–74	Деградация бетона повышенной степени интенсивности
V	V	> 74	Полная деградация бетона

С учетом того, что срок эксплуатации ЖБЭ и ЖБК в условиях неагрессивной среды (жилые и общественные здания) значителен (достигает 100 и более лет), представляет интерес оценка доли карбонизации бетона защитного слоя и его состояния в доэксплуатационный период.

Для оценки начальной карбонизации принимали время  $t = 6$  мес. (0,5 г.). Граничное значение параметра  $t$  принято из условия сложения времени изготовления элемента и его хранения на складе готовой продукции, а также периода нахождения в условиях открытой атмосферы в процессе монтажа конструкций здания.

Полученные зависимости изменения показателя СК в защитном слое бетона для различных классов бетона по прочности на сжатие приведены на рисунке 1.

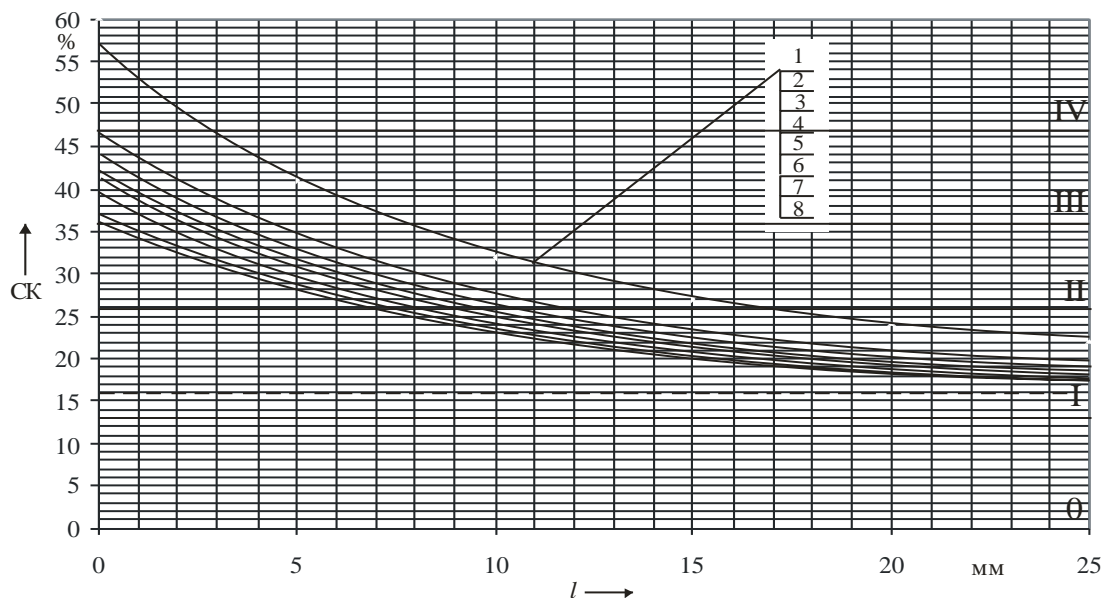


Рисунок 1 – Зависимость  $l$  – СК для различных классов бетона по прочности на сжатие:

1 – C<sup>12</sup>/<sub>15</sub>; 2 – C<sup>16</sup>/<sub>20</sub>; 3 – C<sup>18</sup>/<sub>22,5</sub>; 4 – C<sup>20</sup>/<sub>25</sub>; 5 – C<sup>22</sup>/<sub>27,5</sub>; 6 – C<sup>25</sup>/<sub>30</sub>; 7 – C<sup>28</sup>/<sub>35</sub>; 8 – C<sup>30</sup>/<sub>37</sub>;

I–IV – степени карбонизации бетона;

--- зона гарантированного начала коррозии стальной арматуры в условиях периодического увлажнения

Полученные зависимости показывают, что уже через полгода (в начальный период эксплуатации) все исследованные бетоны до глубины 25 мм (толщина защитного слоя подавляющего большинства существующих ЖБЭ и ЖБК) полностью теряют свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре, и с учетом того, что при СК  $\approx 16\%$  [4], в условиях периодического влагонасыщения гарантированно образуется коррозия стальной арматуры, в условиях некачественной эксплуатации создается возможность образования и развития коррозии стальной арматуры.

#### Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 3 Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах : практическое пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.
- 4 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

УДК 624.012.3/4:699.83

### ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*А. А. ВАСИЛЬЕВ, Ю. К. КАБЫШЕВА, Н. А. ЛЕОНОВ, Е. В. СЕДУН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В процессе эксплуатации железобетонных элементов (ЖБЭ), под воздействием агрессивных факторов атмосферной среды возникают различного рода повреждения ЖБЭ, снижая долговечность зданий и сооружений.

Наиболее интенсивно изменяют несущую способность ЖБЭ коррозионные повреждения, основным видом которых является карбонизация бетона. Развиваясь во времени, она вызывает деградацию бетона и снижение его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. В условиях изменчивости эксплуатационной среды карбонизация бетона способствует образованию и развитию процессов коррозии стальной арматуры различной степени интенсивности.

Наиболее агрессивной эксплуатационной средой из бытовых является атмосферная среда животноводческих помещений: концентрация  $\text{CO}_2$  – 0,1–1,0 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года; наличие зон с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$  и влажности длительные промежутки времени с учетом специфики вентиляции; постоянное длительное воздействие  $\text{CO}_2$  и влажности в зимний период.

Необходимо отметить, что на газовый состав воздушной среды животноводческих помещений большое влияние оказывает выдыхаемый животными воздух. Содержание в нем углекислого газа более чем в 100 раз превышает содержание в атмосферном воздухе, кислорода – меньше на 25 %. В коровниках относительная влажность (W) – 80–99 %, скорость движения воздуха (V) – 0,09–0,5 м/с, содержание  $\text{CO}_2$  – 0,31–0,50 %, аммиака – 0,002–0,015 мг/л. В свинарниках в зависимости от периода года показатели микроклимата колеблются в следующих пределах: весной – W – 65,0–68,0 %, V – 0,16–0,19 м/с, содержание  $\text{CO}_2$  – 0,30–0,36 %, аммиака – 5,5–6,0 мг/м<sup>3</sup>; летом – W – 57,0–60,0 %, V – 0,30–0,44 м/с, содержание  $\text{CO}_2$  – 0,25–0,27 %, аммиака – 4,0–5,0 мг/м<sup>3</sup>; осенью – W – 66,0–72,0 %, V – 0,11–0,16 м/с, содержание  $\text{CO}_2$  – 0,16–0,18 %, аммиака – 4,0–5,0 мг/м<sup>3</sup>; зимой – W – 70,5–71,9 %, V – 0,18–0,24 м/с, содержание  $\text{CO}_2$  – 0,34–0,39 %, аммиака – 7,2–8,4 мг/м<sup>3</sup> [1].

Обычно в животноводческих зданиях относительная влажность колеблется от 50 до 90 %. Причем она выше у пола, чем у потолка.

На техническое состояние железобетонных элементов в помещениях сельскохозяйственного назначения в первую очередь влияние оказывает углекислый газ (его концентрация превышает нормальную до 35 раз), действие которого усиливается повышенной влажностью, в результате чего при повышенной влажности воздуха бетон быстро карбонизируется и теряет защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

На основании многолетних исследований карбонизации бетона лабораторных образцов и образцов, отобранных из эксплуатируемых элементов: кинетики и механизма карбонизации; изменения по сечению бетона во времени параметров карбонизации (карбонатной составляющей и показателя рН); их влияния на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и коррозию стальной арматуры автором [1–3] было предложено понятие степени карбонизации бетона (показателя СК), назначены категории степеней карбонизации и получены выражения по прогнозированию показателя СК для различных классов бетона по прочности на сжатие. Предложены критерии оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, количественные критерии качественной оценки технического состояния железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) от степени карбонизации бетона [3].

В общем виде расчетно-экспериментальная модель степени карбонизации бетона во времени

$$СК(l, t) = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)} / \alpha_4 \alpha, \quad (1)$$

где СК – степень карбонизации цементно-песчаной фракции бетона, %;  $\alpha$  – степень гидратации цемента, %;  $\alpha_1$ – $\alpha_4$  – коэффициенты.

Значения показателей  $\alpha_1$ – $\alpha_4$  для эксплуатационных условий сельскохозяйственных зданий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения показателей  $\alpha_1$ – $\alpha_4$

Класс бетона по прочности на сжатие	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	2,39	0,500	1,16	19,5
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	2,77	0,565	1,11	25,8
C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>	3,04	0,585	1,07	28,3
C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	3,22	0,625	1,05	30,8
C <sup>22</sup> / <sub>27,5</sub>	3,39	0,655	1,03	32,6
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	3,62	0,710	0,996	35,4
C <sup>28</sup> / <sub>35</sub>	4,12	0,760	0,937	40,2
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	4,32	0,790	0,913	42,0

После преобразований, с учетом абсолютных значений коэффициентов  $\alpha_1$ – $\alpha_4$ , выражение (1) приобретает следующий вид:

$$t = \left( \frac{\alpha \beta_1 СК - \beta_2}{\beta_2 e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)} - \beta_3} \right)^2, \quad (2)$$

где  $\beta_1$ – $\beta_4$  – коэффициенты.

Значения показателей  $\beta_1$  –  $\beta_4$  представлены в таблице 2.

Значения степени гидратации цемента, рассчитываются по методике, предложенной проф. В. В. Бабицким [4]. Так, для условий открытой атмосферы (принято  $\varphi = 0,7$ ) с момента изготовления бетона до возраста 50 лет степень гидратации цемента изменяется незначительно ( $\alpha = 62,3...67,9$  %), что позволяет при расчете по выражению (2), использовать среднее значение  $\alpha = 65,1$  %, а затем, после получения результата, его корректировать.

Выражение (2) дает возможность оценивать сроки наступления степеней карбонизации для бетонов различных классов по прочности на сжатие и, соответственно, состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Однако при его использовании необходимо учитывать начальную степень карбонизации бетона (сразу после изготовления), которая в поверхностных слоях достигает 50 % и более.

#### Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 3 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 4 Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах : практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. А. ДИУЛИН

ОАО «Трест Шахтспецстрой», Солигорск-4, Республика Беларусь

М. Г. КУЗНЕЦОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одна из основных задач анализа напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) крепи вертикальных шахтных стволов заключается в оценке их несущей способности на основе определения напряжений, возникающих в конструкции ствола шахты и сравнении их с допускаемыми значениями. При расчете нагрузки на крепь учитываются форма и площадь поперечного сечения выработки, физико-механические свойства окружающих шахту горных пород, а также материал крепи.

В соответствии с [1, 2] аналитический расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «крепь – породный массив» допускает анализ в рамках решения плоской контактной задачи. Одна из основных задач этого анализа заключается в оценке несущей способности крепи ствола, основанной на расчете нормальных напряжений. Прежде всего, решается классическая задача о НДС упругого кругового кольца. Поэтому для начальной оценки НДС крепи в шахтах Солигорского месторождения выполнено двумерное моделирование нагружения поперечного сечения стволов шахт на различной глубине.

Исходные данные для моделирования рассчитаны в соответствии с геологическим составом горных пород на рудниках Солигорского месторождения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Геологический состав горных пород на рудниках Солигорского месторождения

Параметры нагружения участков стволов вертикальных шахт рассчитаны по формулам бокового давления на шахтный ствол при пересечении вертикальной выработкой различных по своим физико-механическим свойствам пород [3]:

$$q_H = \gamma_{\text{ср}} H \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{90^\circ - \varphi_{\text{ср}}}{2} \right), \quad (1)$$

где  $H$  – глубина шахты, м;

$\gamma_{\text{ср}}$  – средневзвешенное значение объемного веса пород, Н/м<sup>3</sup>,

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 + \dots + h_{n-1} \gamma_{n-1} + h_n \gamma_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n}; \quad (2)$$

$\varphi_{\text{ср}}$  – средневзвешенное значение угла внутреннего трения, град,

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{h_1 \varphi_1 + h_2 \varphi_2 + \dots + h_{n-1} \varphi_{n-1} + h_n \varphi_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n}. \quad (3)$$

При этом считается, что боковое давление изменяется линейно, увеличиваясь с увеличением глубины выработки. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов бокового давления на крепь

Расчетный параметр	$H$ , м	$\gamma_{ср}$ , кН/м <sup>3</sup>	$\phi_{ср}$ , град	$q_{ш}$ , МН/м <sup>2</sup>
Ствол 2 рудник 1РУ	503,0	18,919	26,062	3,707
Ствол 1 рудник 3РУ	623,7	20,727	26,726	4,909
Ствол 1 рудник 4РУ	834,7	17,965	26,966	5,640

Приняты следующие значения плотности  $\rho$ , модуля упругости  $E$  и коэффициента Пуассона  $\mu$  материалов крепи: 1) ствол № 2 рудник 1РУ:  $\rho_{бетонM150} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{чугунШ} = 7000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{кирпич} = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $E_{бетонM150} = 19$  МПа;  $E_{чугунШ} = 11,6 \cdot 10^4$  МПа;  $E_{кирпич} = 3,52$  МПа;  $\mu_{бетонM150} = 0,2$ ;  $\mu_{чугунШ} = 0,22$ ;  $\mu_{кирпич} = 0,25$ ; 2) ствол № 1 рудник 3РУ:  $\rho_{бетонM200} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{чугунК} = 7600$  кг/м<sup>3</sup>;  $E_{бетонM200} = 23,5$  МПа;  $E_{чугунК} = 83,4 \cdot 10^4$  МПа;  $\mu_{бетон200} = 0,2$ ;  $\mu_{чугунК} = 0,25$ ; 3) ствол № 1 рудник 4РУ:  $\rho_{бетонM300} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{чугунК} = 7600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{бетонM400} = 2200$  кг/м<sup>3</sup>;  $E_{бетонM300} = 30$  МПа;  $E_{чугунК} = 83,4 \cdot 10^4$  МПа;  $E_{бетонM400} = 33,1$  МПа;  $\mu_{бетон300} = 0,2$ ;  $\mu_{чугунК} = 0,25$ ;  $\mu_{бетонM400} = 0,2$ .

Компьютерное моделирование статического нагружения стволов шахт выполнялось в среде ANSYS Workbench. Максимальные напряжения по Мизесу зафиксированы в стволе 2 рудника 1РУ на глубине 503 м и составили 0,554 МПа; в стволе 1 рудника 3РУ – на глубине 623,7 м и составили 1,456 МПа; в стволе 1 рудника 4РУ – на глубине 824 м и составили 1,651 МПа (таблица 2).

Таблица 2 – Некоторые результаты компьютерных расчетов

Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па									
Ствол № 2, рудник 1РУ			Ствол № 1, рудник 3РУ			Ствол № 1, рудник 4РУ			
$H$ , м	Толщина крепи, м			$H$ , м	Толщина крепи, м		$H$ , м	Толщина крепи, м	
	тюбинг	бетон M150	кирпич		тюбинг	бетон M300		тюбинг	бетон M400
503,0	0,05	0,56	0,0125	623,7	0,06	0,20	824,0	0,06	0,60

Полученные результаты показывают, что напряжения в крепи стволов шахт в начале эксплуатации не превышают допускаемых значений, однако не учитывают время их использования. Также значения давлений на крепь стволов, полученные аналитическим путем, не всегда соответствуют линейному закону в зависимости от слоя и глубины его залегания. На основе двумерного моделирования можно получить представление о распределении напряжений в толще ствола, однако при этом сложно получить полную картину напряжений в других направлениях, а также учесть такие свойства отдельных грунтов, как обводненность. Поэтому нужно выполнять пространственное моделирование НДС стволов шахт с учетом свойств грунтов, характерным сплошным средам.

#### Список литературы

- 1 Бульчев, Н. С. Механика подземных сооружений : учеб. для вузов / Н. С. Бульчев. – М. : Недра, 1994. – 382 с.
- 2 Пашкова, О. В. Обоснование технических и технологических решений по сооружению приствольных выработок в пройденных вертикальных стволах : дис. ... канд. техн. наук / О. В. Пашкова. – Новочеркасск, 2015. – 145 с.
- 3 Кологривко, А. А. Проведение и крепление подземных горных выработок / А. А. Кологривко. – Минск : БГПА, 2001. – 38 с.

## ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ КАРБОНИЗАЦИИ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железобетон во всём мире признан одним из самых экономичных, экологически чистых, надежных и долговечных строительных материалов. В данное время объем производства бетона и железобетона в мировом строительстве по разным источникам до 3 млрд м<sup>3</sup> в год. Поэтому основную долю строительных мостовых конструкций, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы. Повреждение железобетонных конструкций изучались и изучаются многими авторами. Исследования показывают что треть повреждений железобетонных конструкций зависит от коррозии бетона и стальной арматуры.

Для прогнозирования повреждений используем степень карбонизации (далее – СК) и математическую зависимость позволяющую прогнозировать показатели СК во времени по сечению бетона с момента его изготовления. [2, с. 110]

$$СК(l, t) = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)} / \alpha_4 \alpha, \quad (1)$$

где  $l$  – минимальное значение глубины карбонизации;  $t$  – время прогнозного периода;  $\alpha$  – степень гидратации цемента, %;  $\alpha_1 - \alpha_4$  – коэффициенты;

Получили процентные показатели предельного состояния в период иницирования коррозии железобетонных элементов при толщине защитного слоя 30–50 мм (рисунок 1).

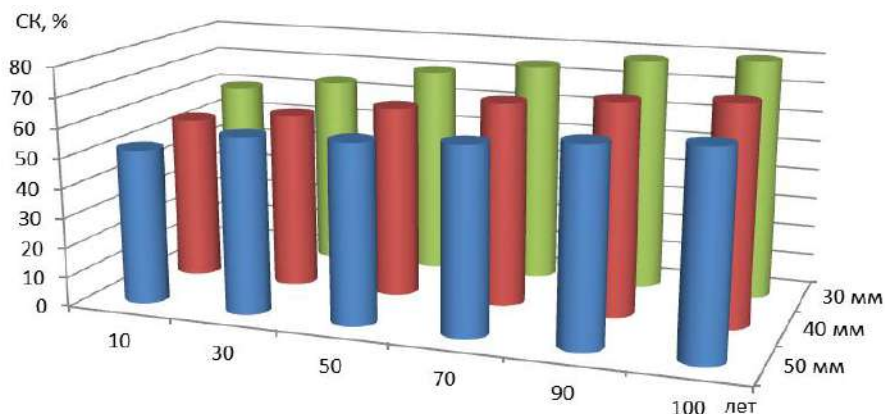


Рисунок 1 – Значение показателей СК, железобетонных конструкций относительно времени по сечению бетонов относительно классов по прочности на сжатие C25/30

Показатели свидетельствуют о том, что через десять лет эксплуатации ЖБЭ (ЖБК) мостовых сооружений приведут к деградации бетона средней степени интенсивности. Бетон будет иметь III степень карбонизации с потерей им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и ее коррозии. Происходит возникновение сплошной коррозии стальной арматуры на многочисленных участках, интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры. На отдельных участках элемента происходят отслаивание и разрушение защитного слоя с оголением и коррозией стальной арматуры. В таких условиях техническое состояние приравнивается к неудовлетворительному.

При определении времени развития коррозии используем зависимость

$$t(v, x) = \frac{g^2 (1,0375 + 0,0925b - 0,2825R_{b,s} + a_{cr} - 0,05)}{0,0125v_{corr,a} N_w a_{pit}}, \quad (2)$$

где  $t$  – время, лет;  $g$  – годовой цикл,  $g = 365$  дн.;  $b$  – зависимость диаметра стальной арматуры к толщине защитного слоя, мм;  $R_{b,s}$  – прочность бетона на скалывание при изгибе, МПа;  $a_{cr}$  – ширина раскрытия трещин, мм;  $v_{corr,a}$  – скорость коррозии стальной арматуры, мм/год;  $N_w$  – количество дней в году с осадками более 2,5 мм;  $a_{pit}$  – питинговый фактор, учитывающий фактор коррозии,  $a_{pit}=1$ .

Для проектирования железобетонных пролетных строений используют следующие характеристики бетона: прочность бетона на скалывание от класса берутся  $C_{25}^{25}/_{30} = 2,96$ ;  $C_{28}^{28}/_{35} = 3,32$ ;  $C_{30}^{30}/_{37} = 3,67$ .

Модуль скорости коррозии арматуры вычислялся как физическая величина для цилиндрических координат исходя из критической толщины коррозии стальной арматуры и времени эксплуатации (рисунок 2).

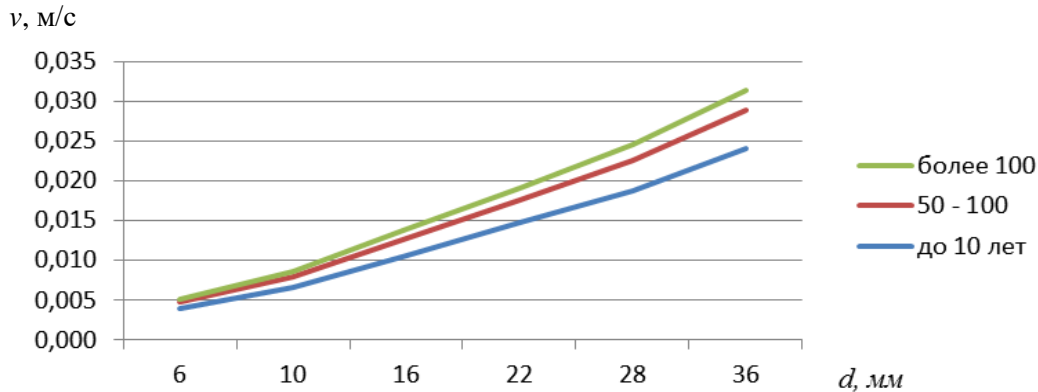


Рисунок 2 – Модуль скорости коррозии стальной арматуры для цилиндрических координат во времени

Ширину раскрытия трещин рассматриваем по предельным значениям. Количество дней с осадками на территории Республики Беларусь рассматривалось за последние 15 лет [3].

Анализ поврежденности железобетонных конструкций, эксплуатировавшихся в различные сроки, показал, что за весь период коррозионным повреждениям бетона и стальной арматуры различной степени опасности подвержены все элементы для любых эксплуатационных сред.

#### Список литературы

- 1 Железобетон в XXI веке. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 648 с.
- 2 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 3 Доломанюк, Р. Ю. Функция изменения физико-механических свойств бетона во времени в зависимости от периодов увлажнения на территории Республики Беларусь / Р. Ю. Доломанюк // Современные научные исследования и разработки: Электронное научно-практическое периодическое издание. – М., 2019. – 359 с.
- 4 Tuutti, K. Corrosion of steel in concrete: dissertation / K. Tuutti. – Stockholm : Stockholm University, 1982. – 468 p.
- 5 Васильев, А. И. Прогноз коррозии железобетонных мостовых конструкций при карбонизации защитного слоя / А. И. Васильев // Бетон и железобетон. – 2001. – № 3. – С. 16–20.
- 6 Алексеев, С. Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.

УДК 747

## НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ИНТЕРЬЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

А. В. ЕВСТРАТЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Тенденции в дизайне формируются в ответ на обсуждаемые в обществе вопросы и проблемы, например, такие, как цифровизация нашей жизни, экология и сохранение здоровья, возвращение к природе, удешевление техник оформления пространства при усилении привлекательности за счет современных имитационных материалов и других усовершенствований, стремление к индивидуализации [2, с. 90].

Существенные коррективы во многие сферы общественной жизни, как известно, внесла пандемия коронавируса. Было переосмыслено взаимодействие людей внутри общественных пространств, потребовалось искать решения для соблюдения социального дистанцирования. У архитекторов и дизайнеров появились новые задачи. Объекты массового посещения повсеместно адаптировали к эпидемиологическим условиям. В новые архитектурно-дизайнерские проекты теперь необходимо закладывать решения по ограничению контактов, а в некоторые практически завершённые работы авторам приходилось вносить правки. К примеру, выполненный архитектурной мастерской «Арканика» дизайн-проект интерьеров общественного центра в Альметьевске модифицировался с учетом вновь возникших требований. Так, музей преобразовали в выставочное пространство с целью исключения привязки к постоянной экспозиции, а в лингвистической школе претерпели изменения инженерные сети [1].

Стандарты создания рабочей среды меняются. Коридорная система с кабинетами-ячейками при организации крупных офисов давно уступила место философии «open space». Известны случаи, когда компаниями устраивался экспериментальный период организации пространства: сотрудникам различных служб и отделов предоставлялась общая просторная рабочая площадка, а пользователи сами определяли размещение своего рабочего места. Далее работодатели завершали дизайн интерьера в соответствии со сложившимся распределением рабочих локаций. Однако впоследствии открытые рабочие пространства стали подвергаться серьезной критике. Ускорило переход к новым подходам осознание последствий пандемии. Необходимость соблюдать дистанцию 1,5 метра не только в магазинах, транспорте, кафе, но и в офисах, вынуждает дизайнеров переосмысливать планировки. В структуре офисного пространства появляется так называемая зона приветствия, из которой посетители отправляются точно в требуемый кабинет. Комнаты для переговоров теперь стараются размещать как можно более близко и удобно по отношению ко входу.

В местах общественного питания начали интенсивнее задействовать внешнее пространство в теплое время года. Открытые зоны: патио, террасы, крыши – становятся не просто красивым дополнением, но обязательным атрибутом ресторанов.

На территориях большой площади для создания обособленных зон внутри общего пространства используются стеклянные, пластиковые и войлочные перегородки, которые позволяют определять пространство для гибкого использования. В то же время они становятся своего рода «полотном» для оригинальных дизайнерских решений. Стоит отметить, что правила зонирования, связанные с пандемией, в мировой практике интерьерного искусства еще долго будут иметь важнейшее значение. И это определенно новая и долгосрочная тенденция в интерьерном дизайне общественных пространств.

Необходимыми средствами стали бесконтактные системы доступа. Наряду с автоматическими раздвижными дверями повседневностью может стать голосовой лифт и мебель, дизайн которой обеспечивает социальную дистанцию – подобные каталоги уже есть у некоторых производителей. В интерьере стали традиционными бесконтактные смесители, диспенсеры для обеззараживающих средств и даже ультрафиолетовые лампы для стерилизации воздуха, которые также необходимо органично встраивать в интерьер. Есть мнение, что и в будущем практически все общественные объекты будут насыщены инфографикой.

Пересмотру подверглись используемые в отделке материалы и оборудование. Акцент сместился в сторону санитарных характеристик: моющих и водоотталкивающих свойств, устойчивости к обработке. Для напольных покрытий стали практически непригодными текстильные и пористой структуры материалы, предпочтение отдается покрытиям, которые проще дезинфицируются. Антибактериальные и антивандальные широкоформатные материалы могут получить толчок к развитию.

Кроме желания защищать здоровье возникла потребность в эстетической организации зон, связанных с восстановлением сил. Интерьеры движутся по пути все большего комфорта и мягкости. Другое звучание получила тенденция экологичного производства и вторичного использования материалов. Еще более усилился запрос на использование натуральных материалов, естественных фактур, природных цветов.

Технология глубже проникает в архитектуру и дизайн, появляются новые возможности и новая эстетика, которые проявляют связь между архитектурой и техникой. Близкие по трактовке понятия универсальных и трансформируемых пространств не только не теряют актуальность, но и приобре-



тают новый смысл. Речь идет как о просторных помещениях, пригодных для осуществления различных функций в зависимости от предметного наполнения, так и о технически меняющихся условиях протекания процессов: принципиальной и краткосрочной смене ведущего средового сценария, адаптивных инженерных системах и динамической инсоляции.

Поиск новых типов быстровозводимых зданий ведет к унификации интерьерных решений в них. Примером тому служат здания госпиталей, построенные в сжатые сроки для обеспечения полного охвата медицинским обслуживанием заболевших COVID-19.

Мир в условиях пандемии изменился. Усилилась потребность в тщательном планировании, грамотном дизайне и инновационном мышлении. Тем не менее опасения, связанные с вирусными инфекциями, не уничтожили желание людей социализироваться, и общественные пространства сейчас наполнены посетителями. На архитекторов, проектировщиков и дизайнеров общественных мест ложится непростая задача по созданию таких пространств, которые были бы не только привлекательными и комфортными, но и безопасными. Изменения должны коснуться и действующих нормативно-правовых актов, что станет возможно после получения проанализированных данных от ученых о вирусе и прогнозах на обозримое будущее. Наиболее очевидными являются изменения нормативных показателей площадей помещений.

Подводя итог, отметим тенденции, получившие распространение под влиянием пандемии и существенно влияющие на разработку архитектурно-планировочных и интерьерных решений:

- стремление к созданию обособленного, безопасного пространства путем мобильного зонирования, гибкой планировки и применения различных вариантов физических барьеров, придание последним декоративных свойств;
- широкое внедрение бесконтактных автоматических устройств для открытия и закрытия дверей, голосового управления лифтами, роботизация сервисов;
- дальнейшее развитие средств и приемов озеленения внутренних общественных пространств, использование натуральных материалов, естественных фактур и цветов;
- учет помимо действующих нормативных требований, регулирующих площади и расстояния, потребность в социальном дистанцировании;
- расширение использования антибактериальных и антивандальных строительных материалов и конструкций;
- насыщение пространства инфографикой, позволяющей обеспечивать социальное дистанцирование;
- улучшение качества воздуха в помещениях, обеспечение требуемого уровня инсоляции, способствующей ограничению распространения вирусных и бактериальных заболеваний.

В архитектурно-дизайнерской деятельности появились требования и решения для обеспечения безопасности в общественных местах, которым, вероятно, предстоит надолго закрепиться и открыть новую страницу в дизайне предметно-пространственной среды.

#### Список литературы

1 **Выходцев, Н.** Закрытые общественные пространства во время пандемии: что меняется в центрах притяжения? Опыт мастерской «Аркиника» / Н. Выходцев. – Режим доступа : <https://design-mate.ru/read/an-experience/closed-public-spaces-during-a-pandemic-arkanika-experience>. – Дата доступа: 05.09.2021.

2 **Макарова, С. Н.** Использование современных технологий в дизайне интерьера предприятий сферы гостеприимства / С. Н. Макарова // Наука и общество. – 2020. – № 2 (37). – С. 89–95.

УДК 624.13

## **ВЛИЯНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕНЕТРАЦИИ НА ПОЛУЧАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТА**

*С. В. ИГНАТОВ*

*ООО «НПЦ Строительство», г. Минск, Республика Беларусь*

Для всех расчётов оснований фундаментов, которые производятся согласно Европейским нормам, предусмотрено выполнение проверок по предельным состояниям [4, 5]:

– I (*первое*) – по несущей способности и устойчивости (абсолютные предельные состояния ULS). Сюда относят проверки на потерю равновесия сооружения или его части; возможность раз-

рушения при чрезмерных деформациях и разрушения вследствие усталости или иных влияний, зависящих от времени;

– II (*второе*) – по эксплуатационной способности (SLS). Сюда относят проверки, которые обеспечивают нормальные условия эксплуатации конструкций, комфорт людей и характеризуют внешний вид зданий (сооружений).

При этом для расчетов оснований выделяют возможности потери прочности в следующем виде:

- потеря равновесия сооружения и грунта как жёсткого тела (EQU);
- взвешивающее действие воды или грунта, которое может вызвать всплытие сооружения (UPL);
- внутреннее разрушение или чрезмерные деформации сооружения или его элементов (STR);
- вынос грунта, вызванный гидродинамическим напором воды (HYD);
- разрушение или чрезмерные деформации грунтов (GEO).

В большинстве случаев для оснований фундаментов достаточно расчета по предельным состояниям разрушения конструкции (STR) и чрезмерных деформаций (GEO), общее условие для указанных предельных состояний [4] может быть показано в виде

$$V_d \leq R_d, \quad (1)$$

где  $V_d$  – расчётное значение вертикального воздействия;  $R_d$  – расчётное значение сопротивления грунта несущего слоя (под подошвой фундамента).

ТКП EN рекомендуют определять несущую способность грунта как в дренированном, так и в недренированном состоянии [4, 5].

Для дренированного состояния используют формулу Чена [5], приведенную в приложении D ТКП EN и известную в мировой практике как «формула трех N». Она используется для дренированных (консолидированных) условий в основании. Такие условия обычно рассматриваются на практике.

Если же основание водонасыщенное (недренированные условия, когда при исчерпании несущей способности грунта  $\varphi'$  равно нулю, а сопротивление основания обеспечивается эффективным значением недренированного удельного сцепления  $c_u$ ), то формула несущей способности, кН, изменяется:

$$R = A((\pi + 2)c_u b_c s_c i_c + q). \quad (2)$$

В соответствии с ТКП EN прочность грунта при недренированном сдвиге ( $c_u$ ) следует определять по лабораторным испытаниям методом пенетрации, суть которого заключается в косвенном определении физико-механических свойств грунтов, путем внедрения в них наконечника (конического зонда, шарикового штампа) [1–3].

В нормативных документах Польши, Беларуси и Европейского союза предусмотрено применение конусного пенетromетра. При этом применяются различного рода конусы, характеристики которых приведены в таблице 1.

По полученным значениям погружения конуса по формулам определяется величина недренированного удельного сцепления.

Важным отличием проведения лабораторных исследований является факт, что в белорусской норме указана минимальная глубина пенетрации, равная 10 мм, в польской приведен диапазон от 4 до 20 мм, при этом отсутствуют указания о том, что необходимо предпринять для определения сопротивления, когда глубина выходит за эти границы. В ИСО указано, что в случае погружения на глубину более 20 мм следует взять более легкий конус; а при глубине менее 4 мм – более тяжелый. Таким образом, европейский подход благодаря использованию широкого диапазона конусов позволяет определить сопротивление пенетрации более гибко.

Таблица 1 – Сравнение методов по пенетрации грунтов

Метод лабораторных исследований	ГОСТ 34276-2017 [2]	PN-B-02480_1986 [3]	EN ISO 17892-6 [1]
Масса конуса с грузом, грамм	2,94	400.0	10.0, 60.0, 80.0, 100.0, 400.0
Угол раскрытия, градусов	30	30	30 – для весов 100 гр. и 400 гр. 60 – для весов 10гр. и 60 гр.
Количество испытаний	$\geq 2$	3–5	3
Глубина погружения конуса, мм	$> 10$	4–18	4–20

Результаты проведенных лабораторных исследований и результаты определения расчётного значения сопротивления грунта несущего слоя в зависимости от методологии проведения лабораторных исследований для одиночного, прямоугольного в плане, фундамента с размерами 1,8×2,4 м,

с глубиной заложения 1,5 м, загруженного только вертикальной нормативной нагрузкой на уровне обреза фундамента 1200 кН, и при отсутствии полезной нагрузки в уровне подошвы фундамента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты пенетрационных испытаний грунтов

Метод лабораторных исследований	Европейский подход EN ISO 17892-6 [1]			Польская норма PN-B-02480_1986 [3]	Белорусская норма ГОСТ 34276-2017 [2]
	1	2	3	4	5
Номер испытания					
Угол при вершине, град	60	30	30	30	30
Масса конуса с грузом, г	60,02	99,90	400,85	400,85	303,43
Сопrotивление пенетрации, кПа	9,73	9,24	8,58	10,45	11,54
Допускаемая нагрузка на грунт, кН	248,46	235,95	219,09	266,85	294,68

Физически формулы, приведенные в различных ТНПА, подобны друг другу: имеет место прямая зависимость массы конуса от его глубины погружения, с применением различного рода коэффициентов безопасности на применяемое оборудование.

Введенный в европейской норме коэффициент «С», равный 0,80 для конусов с углом при вершине 30° и 0,27 – для конусов с углом при вершине 60° для обработки результатов исследования является причиной заниженного на 20 % сопротивления пенетрации по сравнению с польским для одинакового типа конуса. С одной стороны, данное решение позволяет повысить безопасность дальнейшего проектирования, с другой – приводит к увеличению запасов прочности грунта, что видно из представленных результатов расчета несущей способности, отличия которой достигают 34,5 % в случае определения сопротивления пенетрации по европейскому и национальному подходам.

#### Список литературы

- 1 EN ISO 17892-6 Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 6: Fall cone test. – 2017. – 11 p.
- 2 ГОСТ 34276-2017. Грунты. Методы лабораторного определения удельного сопротивления пенетрации. – Введ. 02.11.2018. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2017 – 11 с.
- 3 PN-B-02480\_1986. Grunty budowlane. Okreslenia symbole podzial i opis gruntow. – 18 s.
- 4 ТКП EN 1997-1-2009 (02250). Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Ч. 1. Общие правила. – Введ. 2009-12-10. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 121 с.
- 5 **Никитенко, М. И.** Основные принципы геотехнического проектирования и исследования свойств грунтов в соответствии с ТКП EN1997. Отличия при проектировании плитных фундаментов / М. И. Никитенко, С. В. Игнатов // Вопросы перехода на европейские нормы проектирования строительных конструкций : материалы респ. науч.-техн. семинара ; редкол.: В. Ф. Зверев, С. Б. Щербак. – Минск : БНТУ, 2010. – С. 82–94.

УДК 72.017.4

## ЭСТЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛОРИСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ г. ГОМЕЛЯ)

*А. А. КАРАМЫШЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Посещая тот или иной город, задаешься вопросом: «Какого этот город цвета?». На данный момент каких-либо специальных усилий по определению общей цветности городов в мире и у нас в стране очень мало, практически нет. Это связано со сложностью, неоднозначностью и специфической субъективностью задачи. Цветовое пространство любого города имеет уникальные характеристики. Каждый город формируется в специфичной исторической обстановке, неизбежно накладывающей свой отпечаток [1]. Несмотря на то, что та или иная территория в определенные периоды подвержена влиянию какого-либо архитектурного стиля, стили варьируют не только от страны к стране, но и от города к городу. Именно поэтому в каждом городе мы чувствуем определенную аутентичную атмосферу и говорим о «душе города». Этим выразителем «души» в значительной степени выступает городская цветовая палитра.

И хотя основным цветовым носителем города практически всегда оказывается центр, его исторически сложившаяся часть, тем не менее некоторые значимые районы периферии тоже вносят свой вклад в колористическое решение. У любого города есть свой оригинальный цветовой про-

филь. Цветность городского пространства складывается веками, накапливая в себе историю, меняется со временем, трансформируется и подстраивается под нужды современности. Колористика площадей, жилых зданий, общественных центров, парков и улиц создается коллективным разумом горожан, а не отдельными архитекторами-творцами и всегда отражает социально-культурное пространство города, его настроение, характер. Приходит новая мода и новое понимание цвета, изменяется стилистика, некоторые здания перекрашиваются, а исторически значимые объекты поддерживаются в первоначальном виде. Все это создает колористический облик уникальной городской среды [2].

С этой точки зрения представляется необычайно важным определить цветность города, выделить основные и доминирующие цвета, понять, что является фоном, какие цветовые акценты используются в исторической застройке и как необходимо развивать цветовые приоритеты в будущем. Определение оригинального колорита с выявлением обобщающих цветовых координат, способных актуализировать представление о городской визуальной среде в наглядной форме, представляется нам необычайно актуальным научным исследованием. Это может быть полезно людям многих специальностей и интересов: архитекторам и художникам, писателям, режиссерам, учителям, поэтам и всем, кому потребуется оценить облик родного города с точки зрения его цветности. Придание символу города дополнительных колористических основ, базирующихся на анализе цветовых соотношений исторической и современной застройки, может поспособствовать разработке и планированию цветового оформления городской среды [3].

Для определения эстетических особенностей сложившейся колористической среды города важно провести его цветовой анализ с учетом основных градообразующих конструкций: улично-дорожной системы, акцентированной застройки, парковой зоны, жилых массивов и центра.

Было выполнено натурное обследование основной территории города Гомеля, с фотофиксацией зданий и цветовыми замерами в системе цветовых вееров CAPAROL и NCS. Обследование выполнялось на основном составе жилых районов города, для общего массива сооружений с учетом условий светового климата, воздушной перспективы, времени года и возможностей фотооборудования. По результатам обследования проведен сравнительный цветовой анализ колористической палитры. Было выделено усредненное цветовое поле для каждой улицы, а затем цвет сводился к общему цветовому значению района, с использованием компьютерной программы COLOR MIX с привязкой цвета к системам RAL и CMYK.

В результате анализа связей на уровне макроструктуры городской среды с определением колористических зон, тяготеющих к цветоопределению общих цветовых пятен, выяснено, что цветовое пятно определяется, в основном, геометрией микрорайонов, жилым и промышленным разделением, подчиняется общему зонированию макроструктуры города.

На уровне мезоструктурного анализа (отдельных массивов застройки, улиц и площадей), цветность г. Гомеля достаточно полихромична и, в некоторой степени, эклектична в силу разновременности застройки, представленной в основном стилистикой классицизма, неоклассицизма, раннего конструктивизма, советского ампира и конструктивизма поздней социалистической эпохи, а также массовой жилой застройкой «хрущевского и брежневского периода». Как известно, каждая эпоха и стиль имеют свои цветовые тенденции. Однако даже в центральной части г. Гомеля, одна и та же улица или площадь, имеет в своей структуре разновременные постройки с неурегулированной по отношению друг к другу цветностью. В этом отношении можно говорить о приоритете тех или иных цветов в общей массе мезокомплекса, требующих дополнительной корректировки. В целом на микроструктурном уровне отдельных зданий и сооружений, город представлен достаточным количеством уникальных объектов, с исторически ценной колористической палитрой, а также имеются интересные цветовые решения в современном комплексе, в том числе и на уровне суперграфических композиций.

Индивидуальные колористические особенности и формируемая городская эстетика могут быть сопоставимы по некоторым принципам: выявление общих традиционных цветосочетаний, структурные связи полихромического комплекса, символические акценты и исторически сложившиеся тенденции [4]. Особенностью исторических тенденций и исторических традиций г. Гомеля является то, что город был заново отстроен после Великой Отечественной войны. Таким образом, форма зданий и их колористические решения в большинстве районов основываются на современной стилистике советско-хрущевской эпохи. Исключение составляет центр города, парковый ансамбль и

прилегающие к нему районы. Несмотря на то, что фашисты разрушили 90 % городских сооружений, в процессе реконструкции был восстановлен внешний облик большинства исторически значимых зданий. Очевидно, однако, что попытка вернуть им ранее существовавшее колористическое решение была произведена не в полной мере – здания окрашивались без учета соответствующих исторических изысканий.

Таким образом, универсальной рекомендацией для дальнейшего развития в этом ключе может быть использование концептуальных цветовых решений, позволяющих включать в концепцию цвета факторы истории района, улицы, на которой построен дом; яркими акцентами могут быть малые формы, а также праздничные украшения города.

По итогам работы был создан дизайн-проект, который содержит в себе колористический анализ более 500 зданий, 30 улиц и основных районов города, со сведением обобщенного цвета районов и самого города Гомеля к трем основным его цветам, характеризующим общую тенденцию к цветности. Результаты цветового обобщения были выполнены графически в виде нанесения основных цветов города на специально разработанный для этих целей профиль.

#### Список литературы

- 1 **Ефимов, А. В.** Из опыта проектирования колористики исторических городов / А. В. Ефимов, Н. Г. Панова // Архитектура и современные информационные технологии : междунар. электрон. сетевой науч.-образовательный журнал. – 2016. – № 4 (37).
- 2 **Морозов, В. Ф.** Стили и направления в архитектуре Беларуси второй половины XVIII – первой половины XIX века / В. Ф. Морозов. – Минск : БНТУ, 2016. – 239 с.
- 3 **Карамышев, А. А.** Цвет в контексте исторической среды: лингвистические особенности и корреляции / А. А. Карамышев // Архитектура и строительство. – 2020. – № 4. – С. 34–37.
- 4 **Карамышев, А. А.** Колористика стилей в европейском зодчестве / А. А. Карамышев // Архитектура и строительство. – 2021. – № 3. – С. 46–51.

УДК 69.059.14

## НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*В. А. КОВТУН, В. Н. ПАСОВЕЦ*

*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск*

*В. А. ЛОДНЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для осуществления регламентных ремонтных работ сложных строительных конструкций, используемых в различных отраслях, требуется постоянное увеличение объемов финансирования. Такая ситуация обусловлена естественным старением зданий и сооружений, которое ведет к увеличению количества обслуживаемых объектов. Кроме того, необходимо обратить внимание на уменьшение коэффициента запаса прочности, связанного со снижением материалоемкости конструкций. Приостановка эксплуатации пешеходных, автомобильных и железнодорожных мостов, аэропортов, буровых установок и др. для проведения профилактических и регламентных ремонтных работ обходится чрезвычайно дорого. Поэтому в настоящее время возникает необходимость в разработке новых подходов к контролю технического состояния сложных строительных конструкций, которые дадут возможность значительного повышения уровня предупреждения чрезвычайных ситуаций [1].

Длительная эксплуатация объектов гражданского и военного назначения требует разработки систем мониторинга строительных конструкций. Это позволит эксплуатировать многочисленные объекты, созданные 30–50 лет назад, и в ближайшем будущем. Для снижения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера при дальнейшей работе таких промышленных объектов требуется использование систем контроля, адекватно оценивающих безопасность эксплуатации. Необходимо отметить, что применение разнообразных систем мониторинга позволяет отказаться от непомерно частых и необоснованных ремонтов. Кроме того, строительство уникальных зданий, объектов военного и промышленного назначения, требующих применения новых материалов и новых конструкторских решений, также обуславливает необходимость использования мониторинга технического состояния и прогнозирования срока службы [2].

Ведущие научно-исследовательские центры мира интенсивно работают в рамках программы SHM (Structural Health Monitoring), задачи которой состоят в разработке методик оценки технического состояния конструкций на основе анализа их собственным деформационным и акустических колебаний в условиях старения и экстремальных воздействий. В общем случае система мониторинга состояния конструкций предполагает решение следующих задач: сбор данных; выделение параметров и обработка данных; оперативная оценка; разработка математических моделей и критериев оценки ресурса. В результате анализа многочисленных исследований можно сделать вывод о том, что разработка систем мониторинга сдерживается отсутствием сенсоров динамических деформаций, чувствительность которых на порядок превосходит характеристики существующих аналогов на основе полупроводниковых материалов. Таким образом, перечисленные факторы подтверждают актуальность научных исследований в области создания систем непрерывного мониторинга функционирования сложных конструкций в реальном масштабе времени на основе применения новых датчиков динамической деформации и технологий анализа состояния объекта [3].

Цель работы состоит в анализе перспектив использования современных разработок, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации объектов различного назначения, путем организации дистанционного мониторинга их напряженно-деформированного состояния.

Существующие системы неразрушающего контроля (СНК): ультразвуковая дефектоскопия, магнитная рентгенография, акустическая эмиссия, метод проникающих жидкостей и др. – хорошо зарекомендовали себя на стадии производства отдельных компонентов сложных систем [4]. Однако они оказались малопригодными для мониторинга сложных конструкций во время всего срока эксплуатации. Системы непрерывного мониторинга (СНМ) являются естественным развитием традиционных технологий СНК и позволяют удовлетворить новым техническим требованиям обеспечения безопасности. В отличие от СНК цель СНМ состоит в установлении срока службы конструкции в автоматическом режиме с минимальными трудозатратами [5].

Старением инфраструктуры существующих в настоящее время объектов военного и гражданского назначения и связанным с ней увеличением финансирования обусловлена важность исследований в области создания СНМ и их соответствие приоритетным направлениям научно-исследовательской деятельности в Республике Беларусь. Например, одной из главных причин высокой стоимости обслуживания мостов является необходимость проверки технического состояния конструкций специалистами вручную, причем увеличение времени эксплуатации требует осуществления дополнительных инспекций. Уменьшение стоимости обслуживания данных объектов возможно путем внедрения мониторинга целостности конструкции, объективно отображающего состояние конструкции, который проводится в режиме реального времени. Тем самым появляется возможность существенного снижения издержек, связанных с поддержанием жизненного цикла сложных инженерных конструкций [6].

Таким образом, в Республике Беларусь существует острая потребность в разработке надежных СНМ состояний строительных конструкций, которые могут обрабатывать данные в автоматическом режиме, оценивать техническое состояние и подавать сигнал о необходимости вмешательства человека. Несмотря на значительное число теоретических и экспериментальных работ в области неразрушающего контроля, технической диагностики, дефектоскопии и оценки ресурса распределенных систем с учетом особенностей реакции конструкции на различные воздействия на нее, требуется создание системы, объединяющей воедино теоретические и практические результаты по оценке ресурса конструкций.

#### Список литературы

- 1 Пути снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с разрушением строительных конструкций / В. Н. Пасовец [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – Т. 6, № 2. – С. 3–7.
- 2 Пасовец, В. Н. Применение тензометрических датчиков в системах непрерывного мониторинга основных несущих конструкций зданий и сооружений / В. Н. Пасовец, В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7, № 1. – С. 34–38.
- 3 Bridge deck evaluation with ground penetrating radar / D. Huston [et al.] // Proceedings of the International workshop on structural health monitoring, Stanford, 18–20 September 1997. – Stanford : Stanford University. – P. 91–102.
- 4 Пасовец, В. Н. Практическое применение систем непрерывного мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений различного назначения с целью снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций / В. Н. Пасовец, С. Г. Короткевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 42–47.

5 Бирюк, В. А. Неразрушающие методы контроля агрегатов и узлов пожарной аварийно-спасательной техники / В. А. Бирюк, В. Н. Пасовец, М. М. Журов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 387–396. – DOI : <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.389>.

6 Предупреждение возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с деструкцией фундаментов и надфундаментных конструкций зданий и сооружений / В. Н. Пасовец [и др.] // Промышленная безопасность и охрана труда: практика, обучение, инновации : сб. материалов Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Минск : Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, 2019. – С. 67–70.

УДК 620.178

## РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОПОРАХ КАЧЕНИЯ

*Е. В. КОДНЯНКО*

*ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения  
с опытным производством», г. Солигорск, Республика Беларусь*

*Д. А. ЧЕРНОУС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время в узлах трения различных механизмов и конструкций широко используются детали с покрытиями. Если жесткость материала покрытия много меньше жесткости основного материала детали (полимерные антифрикционные покрытия), то при решении контактных задач такую деталь можно рассматривать как абсолютно твердое тело с деформируемой периферией [1]. При практических расчетах для описания деформирования этой периферии часто используют различные упрощенные модели. Одной из таких моделей является модель основания Винклера [2]. В рамках модели Винклера, в частности, получена оценка момента сопротивления качению в покое с учетом нарушения симметрии распределения контактного давления при приложении к опоре качения малого крутящего момента [2]. Однако ранее рассматривался только режим свободного качения при отсутствии сдвиговой (параллельной опорной поверхности) силы, что существенно сужает область применения разработанной методики. Анализ влияния сдвиговой силы на механические параметры опор качения посвящено множество фундаментальных и прикладных работ. В рамках классической теории качения [3], изложенной в данных работах, при рассмотрении линейно упругого деформирования материалов контактирующих тел наличие приложенной к опоре качения пары сил не сказывается на распределении контактного давления. Подобный подход не позволяет достоверно прогнозировать параметры напряженно-деформированного состояния в области контакта опоры качения с опорной поверхностью.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования является разработка математической модели контакта опоры качения с поверхностью, основанной на ранее предложенной методике расчетного определения момента сопротивления качению в покое и позволяющей рассматривать произвольный режим силового нагружения рассматриваемого объекта.

Как и в работе [2], в качестве упрощенной структурной модели опоры качения рассмотрим абсолютно жесткий цилиндр с длиной образующей  $l$ , радиусом  $R$  и деформируемой периферией толщины  $h$ . Цилиндр находится в контакте с горизонтальной недеформируемой опорной поверхностью. На цилиндр действует вертикальная сила  $P$ , направленная к опорной поверхности, горизонтальная сила  $F$  и пара сил с моментом  $M_{пр}$ . Деформируемая периферия образована изотропным линейно-упругим материалом, характеризующимся модулем Юнга  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ .

Под действием силы  $P$  центр опоры качения смещается к опорной поверхности на  $u_{n0}$ . При этом образуется область контакта полушириной  $a$ . Вертикальные смещения точек поверхности покрытия, находящихся в данной области, зависят от координаты  $x$  следующим образом:

$$u_n(x) = u_{n0} - \frac{x^2}{2R}.$$

Ось  $x$  направлена по опорной поверхности перпендикулярно образующей цилиндра. Начало координат соответствует центру области контакта.

Толщина  $h$  покрытия считается достаточно малой ( $h \ll a$ ) для того, чтобы при решении контактной задачи могла использоваться модель основания Винклера. При этом контактное давление  $p$  определяется вертикальными смещениями  $u_n$  точек поверхности покрытия, а сдвиговое напряжение  $\tau$  в области контакта – горизонтальными смещениями  $u_\tau$  этих точек. Коэффициенты нормальной  $k_n$  и сдвиговой  $k_\tau$  жесткости выражаются через упругие характеристики материала и толщину деформируемой периферии [1]. На границах области контакта давление  $p$  принимает нулевые значения. Данное условие позволяет установить связь максимального вертикального смещения с полушириной  $a$ . При заданном значении вертикальной силы  $P$  смещение  $u_{n0}$  определяется из уравнения равновесия опоры качения в проекциях на вертикальную ось.

Как было показано в работе [2], при действии на описанную модель пары сил с моментом  $M_d$ , не превышающим момента сопротивления качению в покое  $M_{c0}$ , распределение вертикальных смещений изменяется и принимает вид

$$u_{nM}(x) = u_{n0} \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right) \left( 1 - \gamma \frac{x}{a} \right), \quad \gamma = \frac{M_d}{M_{c0}} = \frac{M_{пр} - FR}{M_{c0}}.$$

Момент  $M_{c0}$  определяется из моментного условия равновесия опоры качения при  $\gamma = 1$ .

В области контакта выделяются зоны сцепления и проскальзывания. В зоне проскальзывания выполняется закон Кулона  $\tau = fp$ . Здесь  $f$  – коэффициент трения между поверхностью покрытия и опорной поверхностью. В зоне сцепления выполняется условие постоянства деформации  $\varepsilon_{xx}$  [3]. При этом  $u_\tau = C_1 + C_2x$ . Здесь  $C_1, C_2$  – некоторые независимые от координаты  $x$  величины.

Известно [3], что при качении зона сцепления распространяется до границы области контакта, соответствующей направлению качения. Поэтому в рамках используемой модели основания Винклера соотношение для горизонтального смещения можно переписать в виде

$$u_\tau(x) = u_{\tau 0} \left( 1 - \gamma \frac{x}{a} \right),$$

где  $u_{\tau 0}$  – горизонтальное смещение точки поверхности покрытия в центре области контакта.

При заданном значении горизонтальной силы  $F$  смещение  $u_{\tau 0}$  определяется из условия равновесия опоры качения в проекциях на горизонтальную ось:

$$F = l \int_{-a}^a \tau dx = l \left( \int_{-a}^{-d_1} fk_n u_{nM}(x) dx + \int_{-d_1}^{d_2} k_\tau u_\tau(x) dx + \int_{d_2}^a fk_n u_{nM}(x) dx \right),$$

где  $d_1, d_2$  – длины отрезков, определяющих размер зоны сцепления.

На границе зоны сцепления выполняется закон Кулона

$$fk_n u_{nM}(-d_1) = k_\tau u_\tau(-d_1), \quad fk_n u_{nM}(d_2) = k_\tau u_\tau(d_2).$$

Три последних соотношения составляют систему нелинейных уравнений для нахождения неизвестных  $d_1, d_2$  и  $u_{\tau 0}$ . После решения данной системы определяется распределение сдвигового напряжения в области контакта и общая ширина зоны сцепления.

В качестве примера использования разработанной математической модели выбран стальной ролик радиусом  $R = 0,15$  м и шириной  $l = 0,08$  м с полиуретановым покрытием толщиной  $h = 0,03$  м. Сила прижатия ролика  $P = 100$  Н. Данный набор значений параметров соответствует ролику скипа, перемещающегося по проводникам скипо-клетового ствола № 2 1РУ ОАО «Беларуськалий». Значения упругих характеристик материала покрытия  $E = 5$  МПа,  $\nu = 0,47$ . Коэффициент трения покрытия со стальной опорной поверхностью составляет  $f = 0,1$ .

Рассматривался ведущий режим качения, при фиксированном значении горизонтальной силы, направленной противоположно направлению качения, и различных значениях приложенного момента. Минимальное значение  $M_{пр}$  соответствует отсутствию действующего момента, максимальное – началу качения.

В результате расчетов установлено, что нарушение симметрии распределения контактного давления при приложении к опоре качения вращающего момента оказывает также существенное влияние и на распределение сдвигового напряжения в области контакта. При этом максимальное значение сдвигового напряжения практически линейно возрастает с увеличением действующего момента



и в рассмотренном примере в момент начала качения в 2 раза превышает соответствующее значение, вычисленное без учета указанной асимметрии. Кроме того, увеличение действующего момента приводит к уменьшению ширины зоны сцепления.

#### Список литературы

- 1 Вильке, В. Г. Стационарный режим качения колеса с вязкоупругой периферией / В. Г. Вильке, В. А. Сеницын // Механика твердого тела. – 1997. – № 3. – С. 39–46.
- 2 Взаимодействие в системе «пневматическое колесо – рельс» транспортного средства на комбинированном ходу / В. А. Довгяло [и др.] // Трение и износ. – 2008. – Т. 29, № 6. – С. 604–612.
- 3 Попов, В. Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения / В. Л. Попов. – М. : Физматлит, 2012. – 348 с.

УДК 624.072

## НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ СОСТАВНЫХ ПЛИТ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА

О. В. КОЗУНОВА, В. А. ДУДОРГА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

Строительство дорог с применением цементобетона используется уже более 50 лет и актуально для стран с различными климатическими условиями. Очевидным преимуществом цементобетонных покрытий является меньшее образование колеи, так как структура бетона значительно тверже (прочнее) асфальта. Именно поэтому он в меньшей мере подвержен деформациям от нагрузок, что препятствует образованию колеи. Из недостатков можно выделить повышенный уровень шума, так как асфальтобетон более пористый и пластичный, а следовательно, лучше поглощает шумы.

Расчет составных плит дорожного покрытия на основании Винклера не раскрыт в полной мере. Работы Б. Г. Коренева [1], Г. Я. Попова [2], Р. В. Серебряного [3] знакомят нас с возможными подходами по расчету шарнирно-соединенных плит на упругом основании.

Данная работа предлагает общий подход для расчета шарнирно соединенных плит на основании Винклера, который основан на смешанном методе строительной механики [4] и способе Б. Н. Жемочкина [5], позволяющий рассчитывать составные плиты или балки любой формы на разных моделях упругого основания.

Рассмотрим систему шарнирно-соединенных плит на основании Винклера под действием внешней статической нагрузки, представленной в работе [4] (рисунок 1). Крайние плиты будем считать шарнирно-опертыми с одной стороны на неподвижное основание.

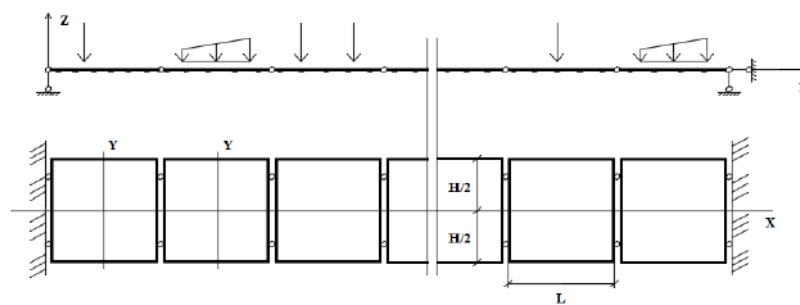


Рисунок 1 – Система шарнирно-соединенных плит

Плиту дорожного покрытия разобьем на равные прямоугольные части с размерами  $\Delta x \times \Delta y$ , далее в центре каждого участка поставим вертикальную связь, через которую будет осуществляться контакт плиты с основанием. Будем считать, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка. Полученную статически неопределимую систему решаем смешанным методом строительной механики [4].

Канонические уравнения смешанного метода при решении поставленной задачи для средней плиты с номером  $i$  запишем в виде формулы (1), представленной в работе [5].

Дальнейшие численные расчеты сопоставимые для данной работы, которые были получены ранее С. В. Босаковым, С. И. Зиневичем, О. В. Козуновой [6] позволяют получить несложную методику расчета составных плит дорожного покрытия на основании Винклера. Методика расчета основана на методе Б. Н. Жемочкина и может быть использована для любого количества плит и для различных моделей упругого основания.

После определения усилий в связях Б. Н. Жемочкина, определяются величины изгибающих моментов методами строительной механики [4]. По вычисленным значениям моментов определяется касательная жесткость для каждого участка Жемочкина на плитах по формуле «момент – кривизна», предложенной ранее в работе [7].

Исходя из расчетов автора [8] следует, что физическая нелинейность материала плиты учитывается путем аппроксимации зависимости «момент – кривизна» в железобетонной плите функцией гиперболический тангенс и дальнейшим использованием переменной жесткости в итерационном алгоритме нелинейного расчета с последующим анализом его сходимости. Поэтому

$$B_i^{(1)} = \frac{B_0}{\text{Cosh}^2\left(\frac{B_0}{M \lim} \chi_i^{(0)}\right)}, \quad (2)$$

где  $B_0$  – начальная изгибная жесткость участка Жемочкина с номером  $i$  по упругому расчету (нулевая интерация);  $M \lim$  – предельный момент, воспринимаемый сечением плиты; в работе определялся по программе Бета;  $\chi_i^{(0)}$  – кривизна на участке Жемочкина с номером  $i$ , определяемая после упругого расчета по формуле конечных разностей,

$$\chi_i^{(0)} = \frac{y_{i+1}^{(0)} - 2y_i^{(0)} + y_{i-1}^{(0)}}{c^2}, \quad (3)$$

где  $y_i^{(0)}$  – вертикальное перемещение в центре участка Жемочкина с номером  $i$  по упругому расчету; определяется по известным усилиям в связях Жемочкина:

$$y_i^{(0)} = \frac{X_i^{(0)}}{k} \text{ – для упругого основания Винклера.} \quad (4)$$

Численные результаты расчетов, полученные в работе [9], подтверждают факт о том, что при расчете железобетонных плит с учетом физической нелинейности прогибы плиты растут, а усилия в ней уменьшаются.

Предложенная в работе универсальная методика расчета составных плит дорожного покрытия на основании Винклера с учетом физической нелинейности материала плит основана на смешанном методе строительной механики с использованием метода Жемочкина, где функции влияния позволяют принимать различные модели упругого основания при его моделировании.

#### Список литературы

- 1 **Корнев, Б. Г.** Вопросы расчета балок и плит на упругом основании / Б. Г. Корнев. – М. : Госстройиздат, 1954. – 231 с.
- 2 **Попов, Г. Я.** О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве / Г. Я. Попов // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1959. – № 3. – С. 25–33.
- 3 **Серебряный, Р. В.** Расчет тонких шарнирно-соединенных плит на упругом основании / Р. В. Серебряный. – М., Стройиздат, 1962. – 64 с.
- 4 **Ржаницын, А. Р.** Строительная механика / А. Р. Ржаницын. – М. : Высш. шк., 1991. – 439 с.
- 5 **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.
- 6 **Босаков, С. В.** Расчет шарнирно-соединенных прямоугольных жестких плит на основании Винклера / С. В. Босаков, С. И. Зиневич, О. В. Козунова // НТЖ : Строительная механика и расчет сооружений, 2018. – № 3 (278). – С. 8–10.
- 7 **Козунова, О. В.** Применение МКР в нелинейных расчетах балок на однородном упругом слое / О. В. Козунова ; Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : междунар. сб. науч. статей. – Ровно, 2008. – Вып. 17. – С. 373–381.
- 8 **Козунова, О. В.** Учет физической нелинейности шарнирно-соединенных железобетонных балок на упругом основании Винклера / О. В. Козунова // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – № 12 (315). – С. 134–139.
- 9 **Босаков, С. В.** Развитие теории расчета шарнирно-соединенных балок на упругом основании с учетом их физической нелинейности / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. ; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 11–24.

## СТАТИЧЕСКИЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ В ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

*О. В. КОЗУНОВА, К. А. СИРОШ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Регулярной системой перекрестных балок на упругом основании чаще всего моделируют ленточные фундаменты мелкого заложения под здания транспортногo комплекса. В качестве способа расчета используется вариационно-разностный метод, который является одним из численно-аналитических способов расчета строительных конструкций, основан на вариационных принципах метода Ритца – Тимошенко и на минимуме полной потенциальной энергии всей системы согласно принципу Лагранжа, а также приближен к реальным условиям работы системы «фундамент – основание». В работе принято грунтовое основание, моделируемое упругим слоем.

Физическая нелинейность материала перекрестных железобетонных балок регулярной системы учитывается через асимптотическую зависимость «момент – кривизна». Данная зависимость при нелинейном расчете железобетонных балок, работающих в условиях плоского изгиба, комплексно учитывает нелинейные свойства бетона и арматуры, анизотропность и неоднородность, трещинообразование материала балки [1, 2].

Рассмотрим регулярную систему перекрестных балок постоянной изгибной жесткости  $EJ_x$ ,  $EJ_y$  на упругом основании под действием симметричной нагрузки. Поперечные сечения балок принимаются постоянными. Внешняя нагрузка действует перпендикулярно и симметрично плоскости осей системы балок. В силу симметрии регулярная система перекрестных балок разбивается на ряд базовых фрагментов в виде крестообразных пересечений этих балок, соединенных в систему. Регулярная система заменяется на совокупность двух пересекающихся балок, свободно опирающихся на упругое основание.

На границах принятой расчетной области основания горизонтальные перемещения  $u = 0$ ,  $v = 0$ . В контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам балок. Для крайних точек крестообразного фрагмента пересекающихся балок вводятся смешанные граничные условия

$$Q_z \Big|_{x=\pm \frac{lx}{2}} = -EJ_y \frac{d^3 w}{dx^3} = 0; \quad Q_z \Big|_{y=\pm \frac{ly}{2}} = -EJ_x \frac{d^3 w}{dy^3} = 0; \quad \varphi_x \Big|_{y=\pm \frac{ly}{2}} = \frac{dw}{dy} = 0; \quad \varphi_y \Big|_{x=\pm \frac{lx}{2}} = \frac{dw}{dx} = 0. \quad (1)$$

При линейном расчете упругое основание заменяется расчетной областью для решения пространственной задачи. Основание аппроксимируется симметричной объемной разбивочной сеткой с постоянными шагами по осям:  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ . Таким образом, расчетная область представляет собой совокупность объемных кубических ячеек с размерами граней  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , где  $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ .

Решение задачи строится в перемещениях. За неизвестные принимаются компоненты вектора узловых перемещений  $u_i(x, y, z)$ ,  $v_i(x, y, z)$ ,  $w_i(x, y, z)$ . Неизвестные перемещения могут быть определены из условия равенства нулю по каждому из перемещений производных от полной энергии, поскольку в состоянии статического равновесия функционал полной энергии имеет минимум.

Последовательность этапов расчета дает алгоритм линейного расчета регулярной системы перекрестных балок методом Ритца – Тимошенко [3, 4].

В работе [5] ранее давалась предложенная форма функционала полной потенциальной энергии, с учетом энергии деформации упругого основания, физически нелинейного и неоднородного.

Функционал энергии деформаций упругого основания в единице объема [4]

$$U_f = \frac{E\mu}{2(1+\mu)(1-2\mu)} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)^2 + \frac{E}{2(1+\mu)} (\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2) + \frac{E}{4(1+\mu)} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{xz}^2), \quad (2)$$

где  $E$ ,  $\mu$  – упругие постоянные упругого основания.

При обозначении элемента объема через  $dv$  полная энергия деформации упругого основания будет иметь вид

$$U = \iiint U dx dy dz = \int U dv. \quad (3)$$

При составлении функционала энергии деформаций упругого основания не учитывается работа сил собственного веса упругого основания, т. к. силы собственного веса упругого основания уравновешены начальным напряженным состоянием уже в упругом основании, а работа самоуравновешенной системы сил на малых возможных перемещениях равна нулю.

Энергия изгиба двух перекрестных балок определяется по формуле

$$\Omega = \Omega_x + \Omega_y = \frac{EJ_x}{2} \int_{-l_x}^{l_x} \left( \frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 dx + \frac{EJ_y}{2} \int_{-l_y}^{l_y} \left( \frac{d^2 w}{dy^2} \right)^2 dy, \quad (4)$$

где  $EJ_x, EJ_y$  – изгибные жесткости балок.

Энергию деформаций конструкции обычно отождествляют с энергией изгиба конструкции, пренебрегая деформациями сдвига [3, 6]. Это оправдано для рассматриваемой регулярной системы перекрестных балок.

Потенциал внешней нагрузки определяется из следующей формулы:

$$\Pi = - \left( \int_{-l_x}^{l_x} q(x) w(x) dx + \int_{-l_y}^{l_y} q(y) w(y) dy \right). \quad (5)$$

Функционал полной энергии имеет вид

$$\Theta = U + \Omega + \Pi. \quad (6)$$

Неизвестные перемещения  $u_i(x, y, z)$ ,  $v_i(x, y, z)$ ,  $w_i(x, y, z)$  можно найти из условия обращения в нуль производных от полной энергии по каждому из перемещений, так как в состоянии статического равновесия функционал полной энергии  $\Theta$  должен иметь минимум, то есть

$$\frac{\partial \Theta}{\partial v_i} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial u_i} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial w_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (7)$$

где  $N$  – число узловых точек.

Внутренние усилия в балках можно определить по следующим дифференциальным зависимостям, используя конечные разности

$$M_x(y) = -EJ_x \frac{d^2 w}{dy^2}; \quad M_y(x) = -EJ_y \frac{d^2 w}{dx^2}; \quad Q_z(x) = -EJ_y \frac{d^3 w}{dx^3}; \quad Q_z(y) = -EJ_x \frac{d^3 w}{dy^3}. \quad (8)$$

Численная апробация результатов расчета для упругого основания осуществляется с использованием программного пакета компьютерной алгебры MATHEMATICA [7]. Подробные результаты расчета приведены в [8].

#### Список литературы

- 1 **Мурашев, В. Н.** Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона (Основы сопротивления железобетона) / В. Н. Мурашев. – М. : Изд-во М-ва строительства предприятий машиностроения. – 1950. – 268 с.
- 2 **Соломин, В. И.** Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций / В. И. Соломин, С. Б. Шматков. – М. : Стройиздат, 1986. – 206 с.
- 3 **Босаков, С. В.** Метод Ритца в контактных задачах теории упругости : [монография] / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. – 107 с.
- 4 **Тимошенко, С. П.** Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гульдер. – М. : Наука, 1974. – 560 с.
- 5 **Босаков, С. В.** Вариационно-разностный подход в решении контактной задачи для нелинейно упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета (Ч. 1) / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Вестник БНТУ. – 2009. – № 1. – С. 5–13.
- 6 **Ржаницын, Р. А.** Строительная механика / Р. А. Ржаницын. – М. : Высш. шк., 1991. – 439 с.
- 7 **Дьяконов, В. П.** Mathematica 5/6/7. Полное руководство / В. П. Дьяконов. – М. : ДМК; Пресс, 2009. – 624 с.
- 8 **Козунова, О. В.** Нелинейный расчет системы перекрестных балок на упругом основании в компьютерной среде Mathematica / О. В. Козунова, К. А. Сирош // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве : сб. статей Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 29 окт. 2021 г. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 31–38.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ БАЛОЧНОЙ ПЛИТЫ НА РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ УСЛОВИИ ОГРАНИЧЕНИЯ ЕЁ ОСАДОК

Ю. Н. КОТОВ

Белорусско-Российский университет, г. Могилев

**Актуальность проблемы.** Статический расчёт балочной плиты на упругом основании способом Б. Н. Жемочкина при условии ограничений на некоторые перемещения плиты является одной из задач, возникающих, например, при расчете многоэтажного здания на плитном фундаменте, когда точки фундаментной плиты в местах стыка вертикальных стен и диафрагм жесткости должны находиться в одной плоскости. То же самое относится к точкам базы металлической колонны на контакте сечения колонны и базы.

В данной работе предлагается рассмотреть и сравнить случаи плоской деформации для ленточного фундамента на разных моделях упругого основания, когда ряд точек балочной фундаментной плиты находится на одной прямой. Приведен пример расчёта балочной плиты с четырьмя точками плиты, лежащими на одной прямой.

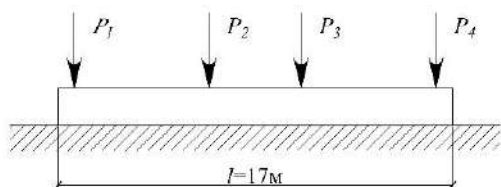


Рисунок 1 – Балочная плита на упругом основании

Рассмотрим балочную плиту на разных моделях упругого основания под действием внешней нагрузки, вызывающей перемещения некоторых точек плиты по одной прямой (рисунок 1). Требуется определить и сравнить контактные напряжения между плитой и упругим основанием, ее перемещения, распределение изгибающих моментов и поперечных сил в сечениях плиты, величины сил, вызывающих перемещения некоторых точек плиты по одной прямой.

Основная система смешанного метода приведена на рисунке 2.

Полученную статически неопределимую систему решаем смешанным методом [1]. К каноническим уравнениям смешанного метода добавим уравнения нахождения ряда точек на одной прямой. Коэффициенты при неизвестных имеют следующий вид:

– для основания Винклера

$$\delta_{i,k} = \frac{1}{Kb\Delta x} + y_{i,k}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент постели [2];  $b$  – ширина балочной плиты;  $\Delta x$  – размер прямоугольного участка Жемочкина;  $y_{i,k}$  – вертикальное перемещение (прогиб) центра участка Жемочкина с номером  $i$  на балочной плите с защемлением от единичной силы, приложенной к центру участка плиты с номером  $k$  [1];

– для модели основания «упругий слой»

$$\delta_{i,k} = \frac{2(1-\nu_0^2)}{\pi E_0 \Delta x} F_{i,k} + y_{i,k}, \quad (2)$$

где  $E_0$ ,  $\nu_0$  – упругие постоянные слоя;  $F_{i,k}$  – безразмерная функция для модели основания упругий слой.

Решением системы являются неизвестные усилия в стержнях, силы приложенные к балке, а также неизвестное перемещение и угол поворота.

В качестве примера выполнены расчеты ленточного фундамента, когда четыре точки фундаментной плиты находятся на одной прямой. Длина плиты  $L = 17$  м; ширина  $b = 1$  м; толщина плиты

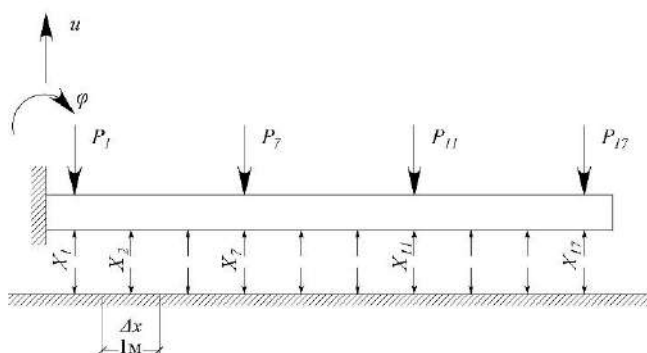


Рисунок 2 – Заданная система смешанного метода для расчета балочной плиты

и упругие постоянные бетона  $H = 0,2$  м;  $\nu_b = 0,17$ ;  $E_b = 2,9 \cdot 10^4$  МПа; упругое основание  $h = 5$  м;  $E_0 = 3 \cdot 10^7$  Па;  $\nu_0 = 0,35$ ;  $K = 9629,63$  кН/м<sup>3</sup>. Также принято, что равнодействующая внешних сил равна 1 и проходит через середину плиты. Количество участков Б. Н. Жемочкина принято равным 17. Силы  $P_1-P_4$  неизвестны и вызывают одинаковые перемещения точек 1, 7, 11, 17 плиты. На рисунках 3, 4 показаны графики распределения контактных напряжений (кПа) и эпюры моментов, кН, (графики для основания Винклера – слева, а для упругого слоя – справа).

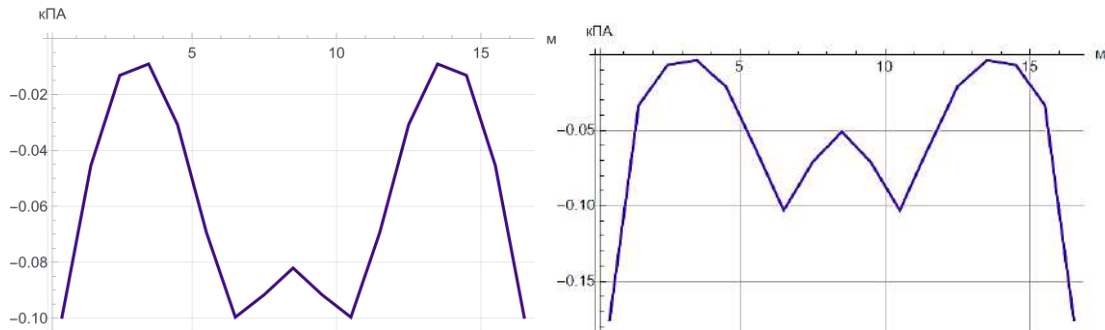


Рисунок 3 – Графики распределения напряжений

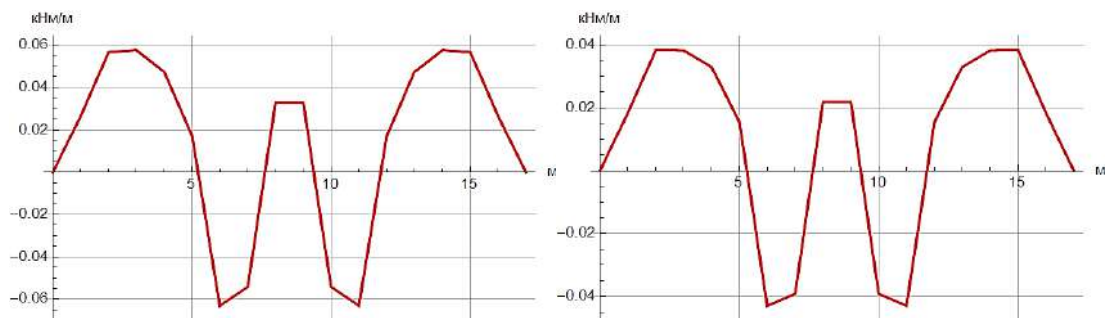


Рисунок 4 – Эпюры моментов

Все расчеты выполнялись в программном комплексе *Wolfram Mathematica 12.2*.

Как показывает сравнение экстремальных величин распределения контактных напряжений и эпюр моментов, наблюдается различие в результатах двух расчётов.

#### Список литературы

- 1 Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.
- 2 Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова. – М. : Стройиздат, 1973. – 626 с.

УДК 539.37:004.94

## КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

*И. Е. КРАКОВА, О. И. ЯКУБОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. М. КАРАБАЕВ*

*Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан*

Абсолютное большинство строительных и машиностроительных конструкций эксплуатируется в условиях, изменяющихся с течением времени. Как известно, изменение температуры статически неопределимых конструкций приводит к появлению температурных напряжений, которые в неко-

торых случаях достигают значительных величин и в сочетании с напряжениями от приложенных сил и моментов могут приводить к образованию трещин и разрушению конструкций [1]. В частности, одной из причин появления трещин в дорожном покрытии является циклическое изменение температур их слоев, происходящее как в течение суток, так и календарного года [2].

Если распределение температур на границах конструкций в большинстве случаев известно, то характер их изменения внутри материала в большинстве случаев заранее неизвестен. Поэтому для определения напряженно-деформированного состояния сначала требуется установить величины температур в различных точках конструкции, а затем уже осуществлять расчет прочности. В некоторых случаях температурные деформации оказываются значительными, и требуется выполнять несколько итераций, чтобы получить значения напряжений и деформаций с необходимой точностью. Кроме того, изменение температуры материала может приводить к изменению его механических характеристик, что также может приводить к дополнительным расчетам. Целью исследования стала разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния конструкций, состоящей из нескольких элементов, имеющих значительно отличающиеся физические характеристики, с учетом изменения температуры по объему в среде программного комплекса ANSYS.

На первом этапе исследования в качестве объекта исследования принята однородная плита прямоугольной формы. Принято, что одна из ее граней нагрета по сравнению с температурой окружающей среды. Расчет напряженно-деформированного состояния плиты требует последовательного решения двух задач: о проведении температурного анализа и определении деформаций.

Исходными данными для разработки конечноэлементной модели на первой стадии расчета (при температурном анализе) помимо геометрии конструкции являются коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и температура окружающей среды. В рассматриваемом случае в качестве граничных условий принято, что нагрев осуществляется по верхней поверхности плиты, срединная плоскость которой расположена горизонтально. В результате расчета получено распределение температуры по объему тела, которые программой формируются в файл с расширением \*.rth.

После этого выполняется статический структурный анализ, исходными данными для которого являются результаты температурного анализа, дополненные параметрами, необходимыми для статического анализа. Здесь задаются соответствующие граничные условия, распределенные и сосредоточенные силы, а также вводятся механические характеристики материалов, в том числе коэффициент линейного расширения. При запуске на расчет ANSYS запрашивает данные температурного анализа, которые содержатся в файле с расширением \*.rth. В соответствии с данным алгоритмом выполнены расчеты для случая закрепления плиты с двух противоположных торцевых граней. В результате расчетов было получено распределение напряжений по объему плиты размерами  $1 \times 0,5 \times 0,1$  м при ее нагреве на  $20^\circ$ . На основании полученных результатов температурного анализа выполнены расчеты напряжений и деформаций плиты при условии запрета перемещений торцевой площади меньшего размера по трем осям. В этом случае получено, что плита удлинилась на 0,1 мм, а максимальные значения напряжений по Мизесу в области закрепления составили 173 МПа.

На втором этапе выполнен анализ влияния температуры на напряженно-деформированное состояние сэндвич-панели, состоящей из двух металлических обшивок и среднего слоя, выполненного из материала с малыми модулем упругости и коэффициентом теплопроводности. При температурном анализе выполнены расчеты распределения температуры по сэндвич-панели при условии нагрева одной из обшивок. Результаты вычислений соответствуют известным теоретическим зависимостям. Далее путем выполнения структурного анализа получено, что точки на противоположной торцевой грани плиты длиной 7,2 м, закрепленной с торцевой стороны по всей площади, при нагреве верхней ее обшивки на  $20^\circ$  получили максимальное отклонение от центральной оси плиты 3,5 мм. Расчет напряжений по Мизесу показал, что напряжения изменяются от 6 кПа до 397 МПа.

Анализ полученных результатов показал, что при исследовании напряженно-деформированного состояния деталей конструкций, эксплуатируемых в условиях изменения температур, важно учитывать не только внешние нагрузки, но и распределение температуры по объему тела, поскольку комплексное воздействие на конструкцию может привести к ее повреждению.

#### Список литературы

- 1 Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 379 с.
- 2 Predicting asphalt pavement temperature with a three-dimensional finite element method / Minhoto M. J. C. [et al.] // Transportation Research Record. – 2005. – Vol. 1919, no 1. – P. 96–110.

## НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

*Р. В. КУМАШОВ*

*ОДО «ЭНЭКА» г. Минск, Республика Беларусь*

Вопросам статических расчетов плит на линейно-упругих основаниях посвящены публикации Н. М. Герсевича, Ж. Буссинеска, Б. Н. Жемочкина, М. И. Горбунова-Посадова, С. В. Босакова, А. П. Синицына, И. А. Симвулиди, С. Д. Семенюка и др. Ряд работ посвящен проблеме расчета ортотропных и анизотропных пластинок. Над данным направлением работали такие ученые, как С. Н. Клепиков, С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер, В. И. Соломин, А. Р. Ржаницын, С. Г. Лехницкий и др. Однако ни одна из предложенных методик не рассматривает физическую нелинейность плит на упругом основании. В частности, не разработана методика расчета прямоугольных плит с трещинами на упругом основании. В некоторых работах описаны только предпосылки и допущения, которые могут поспособствовать разработке данной методики.

В данной работе предложена методика расчета физически нелинейных плит на линейно-упругом однородном основании, которая основывается на способе Б. Н. Жемочкина. Этот подход позволяет полностью найти напряженно-деформированное состояние, внутренние усилия и осадки плиты. Также данная методика позволяет установить область трещин в плите [1].

Прямоугольная физически нелинейная анизотропная неоднородная плита на линейно-упругом однородном основании находится под действием вертикальной внешней нагрузки. Параметры плиты: длина  $b$ , ширина  $a$ , высота  $h$ , жесткости в различных направлениях  $D_{11}$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{21}$ ,  $D_{22}$ ,  $D_{33}$ . Физическая нелинейность обусловлена нелинейностью материала плит. Анизотропия и неоднородность плиты обусловлена образованием трещин в плите от действия произвольной нагрузки.

Линейно-упругое однородное основание моделируется, как для линейно-упругого полупространства с постоянным модулем упругости (деформации) этого пространства  $E_0$ . Коэффициент Пуассона упругого пространства  $\nu_0$  принимается постоянным.

Плита в плане разбивается на  $m \times n$  участков Б. Н. Жемочкина. В свою очередь каждый участок Б. Н. Жемочкина по высоте разбивается на  $k$  элементарных слоев. За неизвестные принимаем  $R_i(x, y)$  – реактивные усилия в связи  $i$ -го участка Б. Н. Жемочкина. Считается, что на контакте плиты с упругим основанием возникают только нормальные реактивные давления, силами трения пренебрегаем. Для плиты справедливы гипотезы теории изгиба; в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

В свою очередь, сечение участка Б. Н. Жемочкина рассматривается как совокупность элементарных площадок, в пределах которых деформации считаются равномерно распределенными, а по высоте сечения элемента связаны гипотезой плоских сечений.

Расчет прочности сечений железобетонных элементов производится из условий равновесия, гипотезы плоских сечений и диаграмм деформирования бетона и арматуры.

Алгоритм определения несущей способности железобетонных элементов по нормальному сечению предусматривает шаговый метод последовательных нагружений, на каждом этапе которого реализован итерационный процесс вычисления относительных деформаций в элементарных площадках. Максимальное усилие от внешней нагрузки, при котором процесс последовательных приближений сходится (соблюдаются условия равновесия), соответствуют несущей способности железобетонного элемента [2].

На первой итерации (упругий расчет) при заданном усилии от внешней нагрузки задается положение центра изгиба сечения плиты в предположении упругой работы бетона и арматуры.

Определяются жесткости плиты и составляются канонические уравнения смешанного метода, выражающие условия совместности деформаций плиты и упругого основания. К этим уравнениям добавляются уравнения равновесия [3, 4].



После решения системы канонических уравнений по найденным значениям реактивных усилий  $R_k$  находятся реактивное давление под плитой и распределение осадок  $S_k$ .

Коэффициенты при неизвестных усилиях в связях в системе зависят от прогибов плиты в основной системе смешанного метода и осадок упругого основания.

В соответствии с методом Ритца – Тимошенко прогибы срединной поверхности плиты с защемленной в начале координат нормалью от действия единичной сосредоточенной силы будем искать в виде конечного ряда по первым пяти частным решениям Клебша [5]:

$$W(x, y) = C_{00} \left[ \left( \frac{x}{b} \right)^2 + \left( \frac{y}{a} \right)^2 \right] + C_{01} \left[ \left( \frac{x}{b} \right)^4 + \left( \frac{y}{a} \right)^4 \right] + C_{02} \frac{2xy}{ba} \cdot \left[ \left( \frac{x}{b} \right)^2 + \left( \frac{y}{a} \right)^2 \right] + C_{03} \frac{x}{b} \cdot \left[ \left( \frac{x}{b} \right)^2 - 3 \left( \frac{y}{a} \right)^2 \right] + C_{04} \frac{y}{a} \left[ 3 \left( \frac{x}{b} \right)^2 - \left( \frac{y}{a} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где  $C_{00}, C_{01}, C_{02}, C_{03}, C_{04}$  – неопределённые коэффициенты;  $a, b$  – полуширина плиты в направлении  $y$  и  $x$  соответственно.

При перемещении точки поверхности упругого полупространства при загрузении участка прямоугольной формы на этой поверхности равномерно распределенной нагрузкой с равнодействующей, равной 1, интеграл после вычисления имеет вид, представленный в работе [3, формула (3.3)].

По значению осадок плиты определяются кривизна нейтральной поверхности плиты в двух взаимно перпендикулярных направлениях, относительное кручение, главные радиусы кривизны и относительные деформации в каждой элементарной площадке участка Б. Н. Жемочкина. Далее по диаграмме деформирования бетона с учетом найденных относительных деформаций находим напряжения и секущие модули деформации в каждом элементарном слое, а также уточнением положение центра изгиба сечения плиты.

Если напряжения растяжения в бетоне элементарной площадки превышают предельные значения, это свидетельствует об образовании трещины в этой площадке. В дальнейших расчетах осевые жесткости этой элементарной площадки принимаются равными нулю.

Найденные новые секущие модули деформаций вводятся в расчет в новом расчетном цикле, в котором уточняются положение нейтральной поверхности плиты, жесткости и осадки плиты. Критерием окончания процесса последовательных приближений является сравнение осадок и главных радиусов кривизны на смежных этапах.

После окончания итерационного процесса в результате решения системы канонических уравнений по найденным значениям реактивных усилий находятся окончательные значения реактивного давления под плитой и распределение осадок. Тогда по известной кривизне плиты определяем изгибающие и крутящие моменты, действующие в сечении плиты от заданных нагрузок.

Разработанная методика расчета физически нелинейных плит на линейно-упругом однородном основании, основанная на способе Б. Н. Жемочкина, позволяет полностью найти напряженно-деформированное состояние, внутренние усилия и осадки плиты.

#### Список литературы

- 1 **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М. : Госстройиздат, 1962. – 240 с.
- 2 Усиление железобетонных конструкций. Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. – Минск : Минстройархитектуры, 1998. – 189 с.
- 3 **Босаков, С. В.** Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
- 4 **Семенов, С. Д.** Экспериментальные исследования осадок железобетонных плит покрытия автомобильных дорог и оценка точности расчетной методики / С. Д. Семенов, Р. В. Кумашов // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол. : О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 12. – С. 185–208.
- 5 **Тимошенко, С. П.** Пластинки и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М. : Физ.-мат. изд-во, 1963. – 536 с.

## НЕОБХОДИМОСТЬ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

А. Н. НЕВЕЙКОВ

Государственное предприятие «Институт «Белжелдорпроект»,  
г. Минск, Республика Беларусь

Устройство свайных фундаментов входит в перечень работ, подлежащих подтверждению ответственности требованиям безопасности ТР 2009 / 013 / ВУ. В соответствии с ним *«сооружения должны быть запроектированы и построены таким образом, чтобы во время строительства и расчетного периода эксплуатации любые возможные воздействия не приводили к... обрушению всего сооружения или его части, деформации сооружения или его части сверх предельно допустимой величины».*

Для свай заводского изготовления качество их стволов контролируют до погружения в процессе входного контроля на соответствие требованиям проекта и ТНПА (внешний вид поверхности, геометрические параметры, положение закладных деталей, марка бетона и др.), так и в процессе погружения свай (пробного и массового). Для свай построечного изготовления (буровых, буронабивных и набивных) их качество контролируют при изготовлении скважин, укладке бетонной смеси и после твердения бетона, что может вызывать затруднения и привести к неоднозначности результатов контроля качества из-за сложности грунтовых условиях и разнообразности применяемых технологий их устройства. Основной опасностью при некачественном устройстве стволов свай является снижение их несущей способности и повышение деформативности, что может сказаться на надежности эксплуатации зданий сооружений.

В СТБ 1164.3-2009 оговорен перечень контролируемых показателей для свай: уровень отметки планировки площадки; точность разбивки осей свай; отклонение в плане, по высоте и от вертикали; глубина погружения свай; несущая способность свай; смещение осей оголовков и ростверков в плане и по высоте; другие показатели, которые определяются технологией устройства свай. Требования к устройству свайных фундаментов до ввода новых СН и СП также отражены в ТКП 45-5.01-254-2012, ТКП 45-5.01-256-2012 и в зависимости от технологии их устройства в пособиях П1, П4, П13, П19 к СНБ 5.01.01-99 и др.

Если при устройстве свай заводского изготовления основные дефекты и нарушения можно выявить в процессе входного контроля, то для свай построечного изготовления контроль качества затруднен или ограничен из-за сложных процессов, происходящих в неустойчивых материалах (бетонной смеси и грунте), что может привести к нарушениям однородности стволов свай, выявить которые при традиционной системе контроля фактически невозможно. *Billy Camp* (2012) по результатам десятилетней работы по контролю качества буровых и буронабивных свай привел данные, в которых частота обнаружения дефектных свай составила 37 % от общего числа проконтролированных, при этом локализация дефектов по длине стволов свай была следующая: у нижнего конца – 32 %, в средней части – 10 %, у верхнего конца – 58 %. Даже традиционные испытания свай статическими и динамическими нагрузками не могут гарантировать монолитность конструкции. По этой причине необходимо контролировать не только свойства исходных строительных материалов при входном контроле (бетонной смеси и арматурных каркасов) и выполнять операционный контроль при производстве работ, но и проводить проверку качества стволов готовых свай.

Долгое время единственными методами контроля сплошности бетона готовых буровых и буронабивных свай были откопка их верхних частей и освидетельствование выбуриванием из ствола керна. Данные методы дороги, трудоемки и ограничены в применении, так как с их помощью можно проверить выборочное количество свай и выявить только нарушения целостности, которые попадают в их зону. Метод контроля однородности стволов свай отбором кернов был закреплен в следующих нормативных документах бывшего СССР: СНиП 3.02.01-87, СНиП 3.03.01-87, СНиП 3.06.04-91. Однако во введенных в Республике Беларусь нормативных документах данный метод отсутствует, как и отсутствуют основные неразрушающие методы кон-

троля сплошности свай (сейсмоакустический, ультразвуковой, термометрический), получившие распространение в мировой практике. В СНБ 2242-2011 лишь упоминается, что «до начала испытаний производится определение глубины заложения и целостности (сплошности) ствола опытных свай». Ни один из этих методов подробно не отражен и в нормативных документах РФ, а лишь указан объем контрольных испытаний для отдельных методов. Упомянутые выше методы контроля сплошности свай подробно отражены в стандартах *American Society for Testing and Materials* – *ASTM D5882*, *ASTM D6760*, *ASTM D7949*, на которые ориентируются производители оборудования и испытатели во всём мире. Во многих странах существуют национальные стандарты, положения которых схожи со стандартами *ASTM*.

Работа по оценке целостности изготовленных буровых и буронабивных свай рассматриваемыми ниже методами состоит из тестирования свай на строительной площадке и интерпретации полученных результатов с помощью программного обеспечения при камеральной обработке в лабораторных условиях.

*Сейсмоакустический метод (low strain impact integrity testing)* как наиболее распространенный сегодня был описан и применен на практике в 1960-х годах. Принцип действия сейсмоакустических средств основан на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых в контролируемых сваях с помощью ударного импульса, переданного оголовку сваи. После удара молотком по голове сваи продольная волна распространяется по стволу сваи и на границе раздела сред (бетон – инородное включение или грунт) звуковая волна отражается. Прохождение волны в стволе сваи улавливаются ультразвуковым датчиком, закрепленным на ее оголовке, оцифровываются и анализируются акселерометром прибора. После дополнительной автоматической обработки сигналов выводится рефлектограмма – график изменения скорости звуковой волны во времени или по длине сваи. Их анализ позволяет определить длину сваи и установить наличие дефекта в стволе. Контроль сплошности данным методом может быть реализован, если проведение его не было предусмотрено проектной документацией и не требует дополнительных затрат при устройстве свай по любой технологии.

*Межскважинный ультразвуковой метод (cross hole ultrasonic monitor – CHUM)* был разработан в конце 1970-х годов. По этому методу в сваях заранее на всю их длину закладываются металлические трубки для прохождения в них ультразвукового преобразователя. Количество трубок зависит от диаметра сваи. В практике работ используют пьезоэлектрические и электро-механические преобразователи. Акустического контакта достигают путем заливки труб водой или незамерзающей жидкостью (при температуре ниже 0°C). Сущность метода состоит в контроле сплошности бетона, заключенного между трубками. Присутствие на пути волн каких-либо дефектов в бетоне уменьшает скорость прохождения ультразвукового импульса, его амплитуду и изменяет форму принимаемого сигнала. Большую роль в наиболее полном выявлении дефектов бетона играют расположение трубок по периметру сваи, их число, материал, из которого они изготовлены, а также характер установки их по длине сваи. При использовании системы межскважинного мониторинга свай CHUM могут быть обнаружены дефекты, занимающие более 20–25 % сечения сваи.

*Термометрический метод* разработан в конце 1990-х годов в университете Южной Флориды, а в конце 2000-х годов компания «PDI» (США) представила первый аппаратный комплекс *Thermal Integrity Profiler (TIP)*. Основной принцип термометрического метода контроля сплошности свай заключается в замере температуры бетона, повышающейся в результате экзотермических реакций при гидратации и твердении цемента и достигающей максимальных значений через 24–48 часов после бетонирования. Величина саморазогрева бетона зависит от состава бетонной смеси, диаметра устраиваемой сваи и ее однородности. Для контроля сплошности на всю длину сваи необходимо закладывать металлические трубки для перемещения в них термозонда с инфракрасными датчиками или располагать термодатчики по стержням арматурного каркаса. Количество трубок или стержней, задействованных для измерения, зависит от диаметра сваи. В программное обеспечение аппаратных комплексов, реализующих данный метод, заложены эмпирические зависимости диаметра сваи от температуры бетона, вариантов добавок и времени измерения. Совокупность замеров по длине сваи формирует график зависимости температуры от

диаметра свай или защитного слоя арматуры. Измерения в полевых условиях позволяют в режиме реального времени увидеть предварительный график кривой температуры, характеризующий общую форму скважины.

Развитие современных методов контроля сплошности свай, начавшееся во второй половине – конце XX века как ответвление от геофизических методов геолого- и сейсморазведки в настоящее время получило широкое распространение в мировой практике свайного фундаментостроения.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1 Для обеспечения качественного выполнения свай необходим контроль на всех этапах как в процессе их устройства, так и по завершении, что обеспечит надежность эксплуатации зданий сооружений.

2 В отличие от свай заводского изготовления свай, изготавливаемые в грунте, требуют особого внимания к качеству производства работ и знания особенностей технологий их выполнения.

3 Трудоемкость и невозможность применения традиционных методов контроля качества буровых и буронабивных свай может быть компенсирована применением неразрушающих методов контроля сплошности свай.

4 Использование неразрушающих методов контроля сплошности свай должно быть закреплено в практике проектирования и строительства Республики Беларусь, а также в разрабатываемых национальных нормативных документах.

УДК 691.327.32

## ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ СТАЛЬНОЙ ФИБРОЙ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

*В. А. РЖЕВУЦКАЯ, Ю. Г. МОСКАЛЬКОВА*  
*Белорусско-Российский университет, г. Могилев*

Дисперсному армированию легкого бетона посвящены работы многих исследователей [1–4]. Согласно аналитическому обзору научной литературы добавление стальной фибры в бетонную смесь позволяет повысить прочностные характеристики бетонов при правильно подобранном составе фибробетонной смеси [1, 3, 4].

Объектом настоящего исследования является керамзитобетон, модифицированный стальной фрезерованной фиброй.

Предмет исследования – средняя кубиковая прочность керамзитобетона, армированного стальной фиброй.

Цель исследования – изучение влияния процента армирования дисперсной арматуры на значення средней кубиковой прочности керамзитосталефибробетона.

Для изготовления опытных образцов был использован следующий состав керамзитобетонной смеси: Ц : П : К = 1 : 1,84 : 0,79, В/Ц = 0,52.

Исследовались следующие проценты армирования стальной фиброй, по массе от массы бетона, %:

–  $\rho_{sf} = 2$ ;

–  $\rho_{sf} = 5$ ;

–  $\rho_{sf} = 8$ .

Основные материалы для приготовления сталефибробетонной смеси:

– портландцемент марки М500 (изготовитель – ОАО «Белорусский цементный завод»);

– речной песок с модулем крупности  $M_k = 2,13$ ;

– керамзитовый гравий фракции 4–10 мм (изготовитель – ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль»);

– стальная фрезерованная фибра длиной 33 мм (изготовитель – ЗАО «Курганстальмост»).

Результаты испытаний опытных керамзитобетонных и керамзитосталефибробетонных образцов-кубов представлены на рисунках 1 и 2.

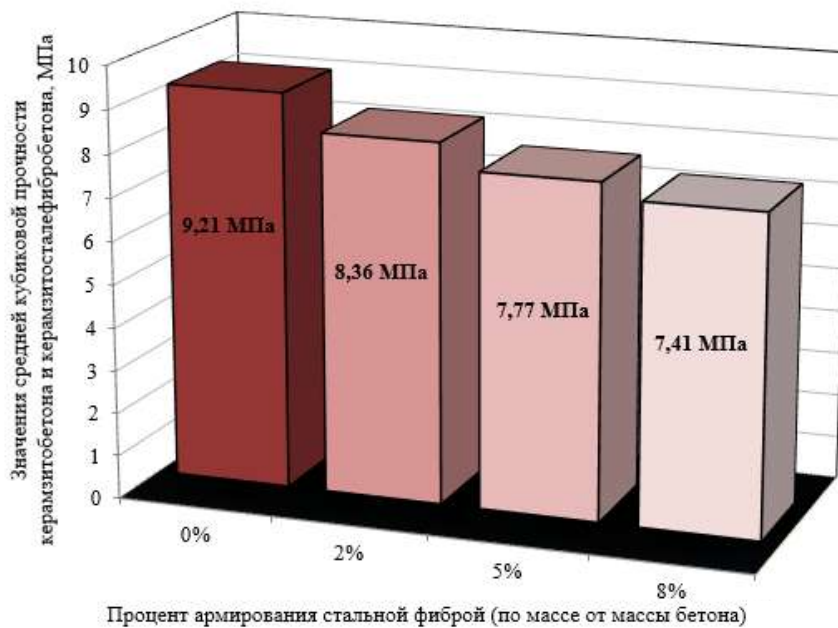


Рисунок 1 – Значения средней кубиковой прочности керамзитосталефибробетона в зависимости от процента армирования стальной фиброй

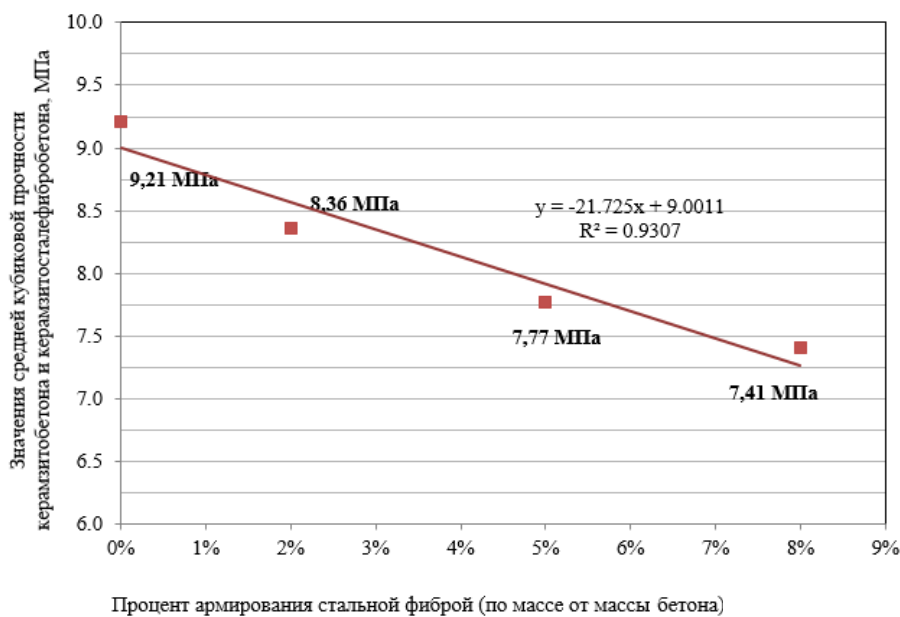


Рисунок 2 – Изменение значений средней кубиковой прочности керамзитосталефибробетона в зависимости от процента армирования дисперсной арматурой

Согласно эмпирическим данным отмечено снижение средней кубиковой прочности по сравнению с контрольным образцом (без добавления фибры) на 9, 16 и 20 % при содержании стальной фибры 2, 5 и 8 % соответственно.

Снижение прочности керамзитосталефибробетона с увеличением содержания стальной фибры может быть обусловлено следующими факторами:

- небольшие размеры опытных образцов-кубов (размер ребра куба 100 мм);
- нерациональный выбор длины стальной фибры.

В работе [5] отмечено, что для получения значений прочности не ниже эталонного образца (без дисперсного армирования) предпочтительно использовать фибровое волокно длиной, соизмеримой

с максимальным размером зерен крупного заполнителя, т. е. для керамзитосталефибробетона на основе керамзита с фракцией 4–10 мм следовало выбрать стальную фибру длиной примерно 10 мм.

Выводы, сделанные на основании полученных эмпирических данных, требуют дополнительного экспериментального подтверждения. В связи с этим представляется перспективным проведение дополнительных исследований по данной теме.

#### Список литературы

1 Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement – A review / M. Hassanpour [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 37, is. 1. – P. 452–461.

2 Effect of the curing type on the mechanical properties of lightweight concrete with polypropylene and steel fibres / R. Madandoust [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 223. – P. 1038–1052.

3 **Maskalkova, Y. G.** The effective reinforcement ratio of expanded clay concrete by polypropylene fiber / Y. G. Maskalkova, V. A. Rzhvutskaya // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2020. – Vol. 93, is. 8. – 11 p. – DOI: 10.18720/CUBS.93.3.

4 **Badogiannis, E. G.** Evaluation of the mechanical behavior of pumice lightweight concrete reinforced with steel and polypropylene fibers / E. G. Badogiannis, K. I. Christidis, G. E. Tzanetatos // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 196. – P. 443–456.

5 Применение фибробетона в железобетонных конструкциях / И. В. Белоусов [и др.] // *Инженерный вестник Дона*. – 2017. – № 4. – С. 1–16.

УДК 72.025.5

## АРХИТЕКТУРНОЕ ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

*И. В. РУДЕНКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный уровень социально-экономического развития диктует возрастающую с каждым годом целесообразность процесса перепрофилирования. Перепрофилированием называют смену функции здания с реконструкцией или без нее с целью изменения его целевого назначения. В процессе исследования проблемы архитектурного перепрофилирования общественных зданий наибольший интерес вызвали невостребованные здания учреждений образования и дошкольного воспитания, а также бывших культовых построек.

В конце 90-х годов XX века процесс перепрофилирования активно проводился в отношении детских садов, которые были превращены в офисные здания. Объемно-планировочные и конструктивные особенности детских садов позволяли использовать здания максимально эффективно. Благодаря расположению по центру внутренних несущих колонн была возможность для создания различной перепланировки. Большинство детских садов с наличием высоких потолков, крупных внутренних площадей и прилегающей территории были перепрофилированы в коммерческие объекты: офисы, банки, административные здания, стоматологические клиники, магазины. Так, в Санкт-Петербурге по проспекту Солидарности здание бывшего детского сада заполнилось новым функциями: торговой, спортивной и медицинской.

В ходе изучения отечественного опыта в Беларуси был выявлен интересный подход в перепрофилировании: внедрение жилой функции в бывших и невостребованных по различным причинам зданиях учреждений образования и дошкольного воспитания. Подобные объекты расположены в сельской местности, в отдаленных населенных пунктах. Согласно информационной справке печатного издания «Советская Беларусь» право приобретать на аукционах недвижимость для решения своих жилищных вопросов или ведения подсобного хозяйства физическим лицам дали в середине 2012 года. Первыми в стране к реализации этой возможности приступили в Гомельской области, перепрофилировав бывшее здание школы в Петриковском районе под индивидуальный жилой дом [1]. В агрогородке Городище Шкловского района Могилевской области в 2020 году появился проект перепрофилирования части детского сада под коммерческое жилье. Главными причинами данного решения послужили невостребованность объекта с большой площадью на территории малого населенного пункта, а также привлечение молодых семей с целью увеличения численности населения поселка. В городе Свислочь Гродненской области районные власти выдвинули предложение перепрофилировать здание бывшей школы под физкультурно-оздоровительный центр с элементами арендного жилья. Расположение объекта в центральной части города придает проекту особую зна-

чимость. В здании появятся тренажерный и игровые залы, помещения для активного отдыха, центр детского творчества. Кроме того, на базе бывшего интерната школы планируется обустроить арендные квартиры для молодых специалистов.

Подводя итог выше сказанному, хотелось бы выделить следующие предпосылки для перепрофилирования этого типа зданий:

- не востребованность объектов;
- привлечение молодых семей с целью увеличения численности населения малых населенных пунктов;
- приоритетное размещение объекта в центре городской застройки;
- близость с развитой транспортной инфраструктурой;
- большие площади помещений и прилегающей территории;
- объемно-планировочные и конструктивные особенности зданий (высокие потолки, расположение несущих колонн по центру, прочность конструктивной системы);
- привлечение инвестиций;
- увеличение спроса на сферу услуг и жилья.

В конце XX – начале XXI века в зарубежных странах появился новый нетрадиционный для нашего региона подход – перепрофилирование культовых зданий. В результате изучения современного опыта были выявлены следующие направления перепрофилирования зданий церквей:

- 1) в жилые;
- 2) многофункциональные;
- 3) торговые;
- 4) спортивные;
- 5) развлекательные здания с элементами общественного питания.

Приведем примеры трансформации церковных пространств под иные функции.

В Новом Орлеане старая церковь Святого Альфонса была перепрофилирована в жилой комплекс. Ее благоприятное расположение рядом с парковой зоной и сохранившиеся в хорошем состоянии конструктивные особенности (высокие потолки и окна, толстые стены) имели особую привлекательность для покупателей. В 2019 году в Китае в здании бывшей православной церкви Святого Николая появился книжный магазин Sinan Books. Для местного населения Шанхая это строение стало храмом поэзии. Церковь была построена в 1932 году. В XX веке внутреннее пространство здания использовалось как офисы, фабрика, склад, столовая; а позже и ресторан с клубом. С 1994 года постройка находится под защитой государства, поэтому перед архитекторами стояла непростая задача адаптировать помещения для новых нужд с обязательным условием сохранения исторических декоративных и конструктивных особенностей. Здание включает в себя читальные и демонстрационные залы, кафе, комнату отдыха и смотровую площадку. В 2020 году в США открылось новое гибридное пространство The Ruby Street в здании бывшей церкви конца XIX века [2]. Теперь здесь появились совершенно новые функции: коворкинг, фотостудия, площадка для проведения развлекательных и торжественных мероприятий, зона для отдыха.

Ярким примером перепрофилирования церкви в здание со спортивной функцией является оригинальный спортивный комплекс «Храм баскетбола» в Канаде. Церковь была построена в 1855 году, но в 2011 году была закрыта в связи с сокращением числа прихожан. По сообщению издания ABC 7, в 2018 году у заброшенного строения появился новый владелец – американская компания Nike, которая приняла решение таким креативным способом реорганизовать церковные пространства в баскетбольную площадку и тренажерные залы для учащихся местной средней школы [3]. Интерьеры помещений выполнены в спортивной тематике: витражи оформлены в виде баскетбольных мячей, дверцы шкафчиков в раздевалках напоминают входы в кельи.

И наиболее шокирующий вид перепрофилирования церковных зданий нашел свое распространение в США. В этой стране повсеместно пустующие здания церквей преобразуют в ночные клубы и рестораны. Данный процесс начался в 90-е годы XX века. В большинстве случаев меняется лишь функциональное назначение зданий с сохранением архитектурных особенностей интерьеров и экстерьеров.

Таким образом, главными предпосылками для изменения профиля культовых зданий под иную функцию являются их не востребованность на определенной территории и снижение численности прихожан. Очевидно, что в славянских странах подобные преобразования не представляются воз-

можными. Согласно опросу жителей Минска и Гомеля об отношении к данному явлению более половины опрошенных высказались о нем крайне негативно. И это не удивительно. В сознании православного населения церковь всегда являлась и является «храмом души» и святым, неприкосновенным, сакральным местом. В зарубежных странах большинство населения имеют католическую веру, что и является главной предпосылкой в приемлемости такой трансформации. Кроме того, их сознание значительно отличается от нашего. Консерватизм славянского населения является главным отличием.

Современное развитие строительной индустрии приводит к появлению зданий различного назначения, требующих своевременного восстановления. Изученный опыт перепрофилирования общественных зданий показывает, насколько ярким и непредсказуемым может быть этот процесс.

#### Список литературы

1 В глубинке закрытые школы продают под жилье [Электронный ресурс]. – Режим доступа : **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки..** – Дата доступа : 15.05.2021.

2 Коворкинг в здании бывшей церкви в Лос-Анджелесе [Электронный ресурс]. – Режим доступа : **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки..** – Дата доступа : 24.08.2021.

3 Nike transforms West Side church into basketball facility [Электронный ресурс]. – Режим доступа : **Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки..** – Дата доступа : 15.05.2021.

УДК 691.327.32

## КЕРАМЗИТОФИБРОБЕТОН, АРМИРОВАННЫЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ФИБРОЙ

*М. В. СВИРСКАЯ*

*Белорусско-Российский университет, г. Могилев*

Полипропиленовую фибру изготавливают из полипропилена – вещества синтетического происхождения. Представляет собой волокнистые отрезки длиной от 6 до 40 мм. Различается по форме сечения, толщине, конфигурации и по текстуре. Характеризуется высокой прочностью и упругостью, огнестойкостью, высокой сопротивляемостью к агрессивной среде (в т. ч. щелочной), не восприимчива к коррозии. Одно из главных преимуществ – лёгкость и большая рабочая поверхность. Количество волокон в килограмме такой фибры приближено к миллиону. Добавление полипропиленовой фибры образует «эффект трёхмерного армирования»: волокна распределены по раствору в различном направлении и под произвольным углом, что компенсирует возникающие вследствие нагрузок разрушающие напряжения. Бетон становится менее восприимчив к изгибающим нагрузкам [1].

Существенно снижается деформативность после армирования бетона полипропиленовой фиброй по сравнению с бетоном без фибры. Несмотря на то, что стальная фибра более распространена, использование полимерной фибры имеет определенные преимущества: у нее низкий собственный вес, высокая коррозионная и химическая стойкость, а также нет склонности к комкованию из-за небольшой длины волокон [2]. В результате применения полипропиленовой фибры значительно повышается стойкость к ударным нагрузкам и исключается хрупкое разрушение. Особенно эффективно применение полипропиленовой фибры для легких бетонов за счет близких по величине значений модулей упругости.

Были проведены испытания керамзитобетонных и керамзитофибробетонных цилиндров диаметром 150 мм и высотой 300 мм на осевое кратковременное сжатие. Опытным путем установлено, что образцы бетона в виде цилиндров, в составе которых имелась полипропиленовая фибра, получили значительно меньшие разрушения по сравнению с образцами без армирования (рисунок 1).



Рисунок 1 – Характер разрушения опытного цилиндра из керамзитобетона, армированного полипропиленовой фиброй (справа)



Таким образом, добавление полипропиленовой фибры позволяет снизить деформативность бетона, и на диаграмме деформирования появляется ниспадающая ветвь, т. е. дисперсное армирование позволяет нивелировать основной недостаток керамзитобетона – хрупкое разрушение.

Применение полимерной фибры для армирования более эффективно для легких бетонов, чем для тяжелых, потому как в легких бетонах более высокие пределы образования микротрещин по сравнению с тяжелыми [3], а введение полипропиленовой фибры позволяет достигнуть более высоких показателей пределов (нижнего и верхнего) микротрещинообразования. Это показывает, что применение дисперсно армированных легких бетонов перспективно при действии статических цикловых нагрузок, а также в условиях длительного нагружения. Анализ результатов опытов исследователей позволяет сделать вывод о том, что для получения конструктивных легких бетонов, дисперсно армированных полипропиленовыми волокнами, содержание фибровых волокон не должно более 2 % по массе. Рекомендуемое содержание фибры – 0,5–1,5 %. Этот параметр требует уточнения и проведения дальнейших экспериментальных исследований с целью разработки конкретных рекомендаций применительно к белорусским сырьевым материалам [4].

Для получения дисперсно-армированного фибробетона в его состав вводятся полипропиленовые волокна. Однако даже при наличии волнистого профиля, ввиду химической инертности полипропилена к продуктам гидратации цемента и отсутствию химических связей между поверхностью волокон и бетонной матрицей, следует понимать, что полипропиленовое волокно при равной длине и сечении имеет прочность на растяжение, в 4–5 раз меньшую, чем стальное, стеклянное или базальтовое волокно, и значительно меньшую анкерную способность. Но несмотря на это, фибробетон с применением полипропиленового волокна имеет более высокие показатели сопротивления растягивающей нагрузке при изгибе, чем аналогичный бетон без дисперсного армирования. Кроме того, полимерная фибра характеризуется стойкостью к коррозии, химической стойкостью, низким собственным весом, небольшой склонностью к комкованию особенно при использовании коротких волокон [4].

Керамзитобетон на сегодняшний день является перспективным строительным материалом, поскольку позволяет значительно снизить собственный вес конструкций. Однако пористость крупного заполнителя (керамзита) накладывает определённые ограничения на использование этого материала для изготовления несущих конструкций. Одной из основных особенностей работы керамзитобетона под нагрузкой является отсутствие ниспадающей ветви на диаграмме деформирования. Это свидетельствует о хрупком разрушении материала. Этот негативный фактор исключается путём добавления фибры в бетонную смесь. Данной теме посвящены работы многих исследователей, однако их результаты часто противоречивы. Вероятно, это связано с различными свойствами лёгких пористых заполнителей, используемых для изготовления образцов. По результатам одних исследований эмпирически установлено, что этот показатель прочности не изменяется. Однако все исследователи единодушны в утверждении, что дисперсное армирование полимерными волокнами значительно улучшает деформативность лёгких бетонов: фибра способствует устранению хрупкого разрушения лёгкого бетона и улучшению его механических свойств [4].

Однако из-за невысокой смачиваемости фибра имеет плохую адгезию к цементу. Поэтому эффективность фибрового армирования достигается только путем ее заанкеривания в цементной матрице – скручивание волокон в жгут или волокна, имеющие форму спирали. Основной проблемой полипропиленовой фибры является склонность к комкованию.

#### Список литературы

- 1 Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции : [монография] / Ф. Н. Рабинович. – М. : АСВ, 2004. – 560 с.
- 2 Москалькова, Ю. Г. Дисперсное армирование керамзитобетона полипропиленовой фиброй / Ю. Г. Москалькова // Alfabuild. – 2019. – № 12 (5). – С. 60–66.
- 3 Состав бетона с фибрами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://betonvtomske.ru/состав-бетона-с-фибрами>. – Дата доступа : 20.06.2021.
- 4 Москалькова, Ю. Г. Анализ возможности армирования керамзитобетона полимерными волокнами / Ю. Г. Москалькова, Р. П. Семенюк, М. Ю. Дашкевич // Проблемы современного строительства : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 30 мая 2018 г. / БНТУ ; редкол. : В. Ф. Зверев [и др.]. – Минск, 2018. – С. 125–131.

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ЛЕГКИХ КРУПНОПОРИСТЫХ БЕТОНОВ***А. Г. ТАШКИНОВ**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Крупнопористые (беспесчаные) бетоны на пористых заполнителях, имея малые значения плотности, теплопроводности, незначительный расход связующего, широко используются в качестве теплоизоляционных, стеновых и фильтрующих материалов [1]. Определяющее влияние на формирование структуры и свойства крупнопористых бетонов оказывают: зерновой состав, плотность и вид заполнителя, расход и реологические характеристики вяжущего (связующего).

В цементных крупнопористых бетонах расход вяжущего ограничивается в пределах  $70\text{--}150\text{ кг/м}^3$ , что достаточно для обволакивания зерен крупного заполнителя тонким слоем цементного теста, и образования точечных контактов в местах их соприкосновения. Межзерновые пустоты при этом остаются заполненными воздухом, формируя сквозную открытую пористость материала. Применяя вместо цемента полимерные связующие, можно повысить прочность, водостойкость и морозостойкость, а также химическую стойкость крупнопористого бетона, уменьшить его плотность и водопоглощение.

Для максимального сокращения расхода связующего в крупнопористом бетоне целесообразно использовать заполнители с малой поверхностной пористостью и удельной поверхностью, т. е. имеющие относительно крупные зерна с плотной поверхностью. Поэтому в наших опытах применялся керамзитовый гравий фракции  $5\text{--}10\text{ мм}$ , имеющий удельную поверхность  $0,4\text{--}1,5\text{ м}^2/\text{кг}$ . Насыпная плотность используемого керамзитового гравия Витебского и Петриковского заводов составила соответственно  $400\text{ и }500\text{ кг/м}^3$ . В качестве связующих использовались водостойкие и малопроницаемые эпоксидно-каменноугольные и эпоксидно-фурановые составы, с содержанием модификаторов в количестве  $200\%$  от массы эпоксидной смолы ЭД-20. Фурфуролацетоновый манометр совмещался с эпоксидной смолой при комнатной температуре, а более вязкая каменноугольная смола предварительно разогревалась до температуры  $50\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$ .

С увеличением расхода связующего от  $40\text{ до }100\text{ кг/м}^3$  прочность при сжатии крупнопористого бетона на Петриковском керамзите возрастает с  $0,7\text{--}1,2\text{ МПа}$  до  $3,2\text{--}3,4\text{ МПа}$ . Разрушение образцов при верхнем значении прочности происходит по зернам заполнителя. Прочность бетона на Витебском керамзите значительно ниже ( $0,4\text{--}1,3\text{ МПа}$ ), но характер зависимости от расхода связующего аналогичен.

Образцы крупнопористого бетона на эпоксидно-фурановом связующем имеют более высокую прочность, чем на эпоксидно-каменноугольном. Это объясняется тем, что состав содержащий каменноугольную смолу, имеет чрезмерную вязкость, затрудняющую перемешивание связующего с заполнителем и препятствующую формированию в материале прочных межзерновых контактов. Менее вязкий эпоксидно-фурановый состав лучше распределяется по поверхности заполнителей и позволяет получить большую площадь контактов между зернами гравия. Если расход связующего превышает предельное значение (для эпоксидно-фуранового состава оно составляет  $80\text{ кг/м}^3$ ), то происходит его стекание с зерен заполнителя и выделение на нижней поверхности образцов в виде потеков, не сопровождающееся увеличением прочности материала.

Для снижения вязкости эпоксидно-каменноугольного связующего в него вводился растворитель толуол, в количестве до  $30\%$  от массы эпоксидной смолы. Оптимальная вязкость связующего достигается при  $15\%$ -м содержании толуола, что обеспечивает прирост прочности бетона при сжатии на  $22\text{--}31\%$ . Экстремальный характер зависимости прочности крупнопористого бетона от содержания растворителя в связующем объясняется тем, что первоначально, по мере снижения вязкости связующего возрастает однородность его распределения по поверхности заполнителя, увеличивается площадь межзерновых контактов. При вязкости меньшей оптимальной, происходит стекание связующего с зерен заполнителя и уменьшение площади контактов между ними.

Исследовалась также возможность экономии связующего путем введения в его состав тонкодисперсного наполнителя – диабазовой муки с удельной поверхностью  $200 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Расход эпоксидно-фуранового связующего в опытах составлял  $50 \text{ кг}/\text{м}^3$ , содержание наполнителя – до 100 % от массы связующего. При содержании наполнителя в пределах 60–75 % от массы связующего, прочность крупнопористого бетона достигает максимума, возрастая при сжатии на 45 %, при изгибе – на 20 % по сравнению с начальными значениями. В то же время прирост прочности бетона при таком же увеличении (на 60–75 %) расхода не наполненного связующего значительно выше и составляет при изгибе и сжатии, соответственно 77 и 85 %. Это можно объяснить тем, что по мере наполнения связующего увеличивается не только его объем, но и вязкость. При этом возрастает раздвижка зерен наполнителя и, как результат, снижается площадь контактов между ними. К недостаткам крупнопористого бетона на наполненных связующих следует отнести повышенные значения средней плотности и теплопроводности.

Как показывают наши исследования, наиболее эффективным способом увеличения прочности крупнопористых бетонов является вспенивание связующих. При этом в модифицированные эпоксидные составы вводится газообразователь полиэтилгидросилоксан, взаимодействующий с отвердителем полиэтиленполиамином. В результате образуется аммиак и алкиламиносодержащий силикон, которые одновременно вспенивают и отверждают композицию. В этом случае увеличение объема связующего и, как следствие, возрастание площади (и прочности) контактов между зернами наполнителя происходит без роста расхода полимера и средней плотности крупнопористого бетона [2].

Увеличение содержания газообразователя до 15 % в составе эпоксидно-фуранового и эпоксидно-каменноугольного связующих сопровождается возрастанием прочности крупнопористых бетонов при сжатии примерно в 1,5 раза. Однако, если с дальнейшим увеличением содержания газообразователя прочность крупнопористого бетона на эпоксидно-каменноугольном связующем снижается, то на эпоксидно-фурановом продолжает расти, достигая максимума при содержании газообразователя, равного 30 %. В результате прочность образцов при сжатии возрастает на 73–89 %, при изгибе – на 60–69 %. При большем содержании газообразователя прочность межзерновых контактов крупнопористого бетона начинает снижаться из-за чрезмерного утончения стенок газовых ячеек, пронизывающих вспененное связующее. Этот процесс для эпоксидно-фуранового связующего наступает позже, чем для эпоксидно-каменноугольного, имеющего меньшую прочность при значительной кратности вспенивания.

Полученные экспериментальные данные о зависимости прочности крупнопористого бетона (на Петриковском керамзите с расходом связующих  $50 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) от содержания растворителя, наполнителя и газообразователя в связующих обрабатывались методами математической статистики и выражались аналитически в виде полиномов второй степени. Коэффициенты уравнений регрессии определялись по стандартным программам методом наименьших квадратов.

Оптимизированные по прочности составы крупнопористого бетона по аналогии с каркасной технологией полимербетонов, предусматривающей раздельное формирование микро- и макроструктуры материала, можно использовать как каркас для гидроизоляционных и антикоррозионных материалов. Для этого крупнопористый каркас пропитывается (на всю толщину изделия или частично) мастиками, герметиками и растворами на основе органических вяжущих. Полученный при этом материал в виде плиток и панелей можно использовать для защиты от действия воды и агрессивных жидкостей – стен фундаментов зданий, опор мостов, водопропускных труб, откосов плотин, шлюзов, каналов, шламонакопителей. Каркас из неорганических наполнителей уменьшает внутренние напряжения в слое гидроизоляции, улучшает сцепление с защищаемой поверхностью, повышает стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям и, как результат, повышает долговечность защитного покрытия в самых жестких условиях эксплуатации.

#### Список литературы

- 1 Ицкович, С. М. Крупнопористый бетон (технология и свойства) / С. М. Ицкович. – М. : Стройиздат, 1977. – 117 с.
- 2 А. с. № SU1289843 СССР, МПК С04В14/02. Способ получения теплоизоляционных изделий / В. И. Соломатов, Ю. Д. Золотухин, А. Г. Ташкинов. – № 3839891 ; заявл. 15.01.1985 ; опубл. 15.02.1987, Бюл. № 6. – 1987.

## ОБОБЩЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛОК НА ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА

А. С. ХАРЛАП, О. В. КОЗУНОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Под упругим основанием в инженерной практике обычно понимают различные грунтовые и скальные среды (массивы), на которые опираются фундаменты зданий, гидротехнические сооружения, дорожные и аэродромные покрытия.

Конструкция на упругом основании находится под действием внешних нагрузок и реактивного отпора основания, непрерывно распределенного по длине или площади контакта. Закон изменения реактивного отпора не может быть определен из уравнений равновесия. Он зависит от свойств упругого основания и характеризуется его расчетной схемой, или *моделью*. В инженерной практике наиболее часто используется модель основания Винклера, для которой принимается линейная зависимость между реактивным отпором основания и осадкой его поверхности.

Широко распространённые ленточные фундаменты как фундаменты мелкого заложения под многоэтажные здания и сооружения на естественном грунтовом основании проектируются и моделируются в виде системы из перекрестных лент на различных моделях упругого основания.

Исследования Л. И. Манвелова, Э. С. Барташевича [1], И. И. Черкасова [2], М. И. Горбунова-Посадова [3] свидетельствуют о том, что модель Винклера даёт хорошее первое приближение к действительности при проектировании фундаментных конструкций на упругом основании (рисунок 1) [4]. Это простая модель, которая кроме практического применения имеет и методическое преимущество – на примере модели Винклера легко объяснить многие сложные решения, которые при моделировании другими моделями теряются в громоздких математических соотношениях.

Метод перемещений для расчета балки на упругом основании предложил Д. С. Пашевский [5]. Этот метод в классической постановке называется методом деформаций и используется для расчета однопролётных балок на основании Винклера без учета трения на контакте балки с упругим основанием.

В данной работе предложена методика расчета балок на основании Винклера. Этот подход позволяет найти реакции опор балок, выстроить окончательные эпюры внутренних усилий в системе перекрестных балок.

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) однопролетных балок на упругом основании Винклера от действия нелинейных смещений опор рассматриваются следующие опорные закрепления: «заделка – заделка», «заделка – шарнир». Исходные данные рассматриваемых задач: коэффициент постели  $k$ , жесткость балки  $EI$  и её длина  $L$ .

В данной работе предложена методика расчета балок на основании Винклера. Этот подход позволяет найти реакции опор балок, выстроить окончательные эпюры внутренних усилий в системе перекрестных балок.

Для случаев загрузки всего пролета балки неравномерно распределенной нагрузкой и нагрузкой, распределенной по произвольному закону, дифференциальное уравнение изгиба, выраженное через изгибающие моменты, оказывается неоднородным.

Решение дифференциального уравнения (ДУ) изгиба балки на упругом основании Винклера на единичное перемещение [6]

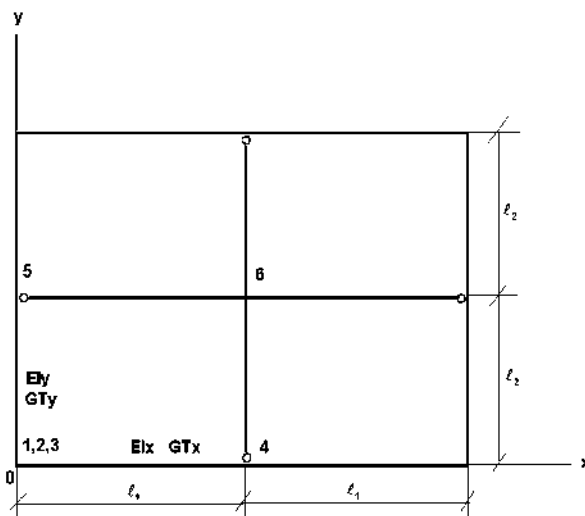


Рисунок 1 – Система перекрестных балок на основании Винклера

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} - ky = q(x) \quad (1)$$

известно из [7] и использовано авторами в работе [4]:

$$y(x) = C_1 \cos\left(\lambda \frac{x}{L}\right) + C_2 \sin\left(\lambda \frac{x}{L}\right) + C_3 \operatorname{ch}\left(\lambda \frac{x}{L}\right) + C_4 \operatorname{sh}\left(\lambda \frac{x}{L}\right) + \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – безразмерный упругий параметр,  $\lambda = \sqrt[4]{kL^4 / EI}$ .

При смещении жёсткой опоры (правая опора) граничные условия задачи, следующие:

$$\text{«заделка – заделка» при } x = 0: y = y' = 0; \text{ при } x = L: y = 1; y' = 0 \quad (3)$$

Выполняя граничные условия (3) для поставленной задачи, из решения ДУ изгиба балки (2) находим постоянные интегрирования  $C_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$ , а по ним – реакции опор. Для построения окончательных эпюр внутренних усилий в системе перекрестных балок (см. рисунок 1) необходимо найти выражения изгибающих моментов и поперечных сил в рассматриваемой однопролетной балке с различными опорными закреплениями на действие единичных линейных и угловых смещений опор и внешней нагрузки, что реализовано в компьютерной среде «Mathematica».

Предложенная новая нетрадиционная математически несложная методика статического расчета системы перекрестных балок (фундаментных лент) на упругом основании Винклера на вертикальную нагрузку основана на методе перемещений для расчета плоских рам на пространственную нагрузку, только в однопролетных балках при определении реакций от распределенной по произвольному закону нагрузки и единичных смещений учитываются реактивные давления, возникающие на контакте подошвы балки с основанием Винклера.

#### Список литературы

- 1 Манвелов, Л. И. О выборе расчетной модели упругого основания / Л. И. Манвелов, Э. С. Барташевич // Строительная механика и расчет сооружений. – 1961. – № 4. – С. 9–12.
- 2 Черкасов, И. И. Механические свойства грунтовых оснований : учеб. пособие / И. И. Черкасов. – М. : Аэротрансиздат, 1966. – 248 с.
- 3 Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкции на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 679 с.
- 4 Босаков, С. В. Метод перемещений в расчетах системы перекрестных балок на упругом основании Винклера / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2019. – № 2. – С. 12–16.
- 5 Пашевский, Д. П. Применение метода деформаций к расчету балки на упругом основании / Д. П. Пашевский // Исследование по теории сооружений, 1954. – VI. – С. 249–256.
- 6 Александров, А. В. Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 400 с.
- 7 Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. М. Гудьер. – М. : Наука, 1975. – 576 с.

УДК 69.057:7

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Н. В. ЧЕРНЮК, Т. В. ЯШИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Придание строительным бетонам и растворам большей долговечности, а конструкциям из них – большей надежности всегда актуально при строительстве зданий и сооружений на транспорте или проведении ремонтно-строительных работ. Из мирового опыта разных способов повышения надежности и долговечности бетонов следует отметить, что более 70 % всего объема бетона укладывается с применением химических добавок.

Строительные бетоны и растворы, состоящие из комплексного вяжущего (минерального портландцемента и полимера) являются материалами, отличающимися высоким уровнем адгезии

онной прочности к разным поверхностям, износостойкости, стойкости к агрессивным воздействиям и пр.

Свойства полимерцементных бетонов зависят от количества полимерного компонента, используемых стабилизаторов и отвердителей, условий твердения и других технологических факторов. Органическим компонентом в таких составах могут быть водные дисперсии полимеров (поливинилацетата, натуральных и синтетических латексов, эмульсии, битумы и т. д.), эпоксидные, карбамидные, фурановые смолы и др. Полимерная добавка может быть представлена также смесью различных полимеров.

Полимерцементные бетоны могут быть получены разными способами:

- введением в состав бетона при смешивании водных дисперсий полимеров (поливинилацетата, латексов и др.), распадающихся в цементной смеси с выделением воды, которая также расходуется в процессе гидратации цемента, а освобождающийся полимер участвует в построении структуры искусственного камня;

- добавление в воду затворения водорастворимых мономеров и полимеров (карбамидных смол, поливинилового и фурилового спиртов, эпоксидных водорастворимых смол) с последующим переводом их в твердое нерастворимое состояние в теле бетона с помощью отверждающих добавок;

- пропиткой бетонных изделий на требуемую глубину маловязкими синтетическими продуктами (стиролом, метилметакрилатом и др.), нанесение смол на поверхности заполнителей и пр.

При выборе для исследований поливинилацетатцементных композиций принимали во внимание высокую технологичность полимерцементных составов на поливинилацетатной дисперсии, не требующую введения стабилизаторов против коагуляции полимерцементной системы; относительно небольшую стоимость полимера; достаточно большой успешный опыт использования полимерцементных композитов в строительной практике; их высокие адгезионные свойства (в 3 раза превышающие адгезию не модифицированных полимером цементных растворов и бетонов), высокую износостойкость и стойкость к маслам, нефтепродуктам, концентрированным щелочам, высокую стойкость к возгоранию (наибольшее время загорания составляет более 300 с при отсутствии пламени и дыма) и др.

Исследования, проводимые с поливинилацетатной дисперсией, показали, что полимерцементные бетоны и растворы обладают рядом отличительных особенностей: характеризуются высокими адгезионными свойствами к разным поверхностям: металлу, дереву, стеклу, бетону, керамике, что важно при ремонтно-восстановительных работах в зданиях на транспорте, когда требуется надежное и долговечное сцепление с поверхностью старого бетона, и с новыми современными материалами композитного характера. Присущая им повышенная износостойкость и низкая возгораемость позволяет использовать их для помещений с большими пассажиропотоками (для повышения долговечности конструкций и безопасности человека). Высокая стойкость к техническим маслам, щелочам, нефтепродуктам делает их практически незаменимыми для зданий с помещениями по ремонту и обслуживанию железнодорожной техники (подвижного состава, локомотивов, колесных пар и др.).

Для полимерцементных композитов рекомендуется дозировка поливинилацетатной дисперсии 0,1–0,2 от массы цемента, а при введении микронаполнителей (снижающих усадку) – от суммарной массы цемента с наполнителем.

Присутствие полимерного компонента в полимерцементных материалах оказывает сложное воздействие на процесс твердения минерального вяжущего. Наличие полимерной добавки снижает интенсивность набора прочности в первые сутки твердения. Такой тормозящий эффект дают высыхающие полимерные пленки. Однако к концу выдерживания образцов достигаются проектные показатели строительно-технических свойств. При дополнительном введении современных химических модификаторов с высоким эффектом гиперпластификации можно получить более высокие прочностные характеристики и улучшенные реологические свойства полимерцементных составов. Повышение однородности смеси, ее связности, пластичности уменьшает микродефектность структуры, что существенно влияет на коррозионную стойкость и долговечность бетонных конструкций.

Введение тонкодисперсных минеральных наполнителей (взамен непрогидратировавшего цемента) в полимерцементные составы не нарушает процессы гидратации портландцемента. Извест-

но, что в наполненных композиционных строительных материалах наполнитель оказывает структурообразующее и упрочняющее действие. При введении в цементно-водную суспензию минеральных наполнителей (шлаковых, кварцевых и других, в объеме до 30 % взамен портландцемента) проявляется в большой степени их структурообразующая способность. В полимерцементном композите образуются смешанные кластерные структуры типа «вяжущее – наполнитель» (независимо от активности минерального компонента) и наблюдается упрочнение оптимально наполненной полимерцементной системы [1].

В исследованиях оптимальные параметры составов и процессов их приготовления определялись математическим методом планирования эксперимента. По уравнениям регрессии и изолиниям поверхности были установлены оптимальное количество наполнителя и его дисперсность (при которой достигалась максимальная прочность образцов). Применение гиперпластификаторов позволяло скорректировать падение подвижности смесей из-за значительного увеличения удельной поверхности микронаполнителей. Чем выше эффект пластификации и гиперпластификации, тем эффективнее введение тонкодисперсных наполнителей. Наполнение позволяет снижать стоимость полимерцементных растворов и бетонов, способствует утилизации отходов и защите окружающей среды от загрязнений и безопасности для человека [2].

Свойства полимерцементных растворов и бетонов зависят существенно от технологии их приготовления. Анализ способов приготовления композитов показал перспективность применения раздельной интенсивной технологии, сочетающей в себе турбулентное перемешивание компонентов связующего (с минеральными добавками-наполнителями и химическими модификаторами реологических и прочностных свойств). По такой технологии создаются наиболее благоприятные условия и для гидратации портландцемента в полимерцементных составах и для формирования их микро- и макроструктуры. Испытания разных составов показали, что продолжительность перемешивания оказывает существенное влияние на однородность и прочность материала, а заметного влияния на подвижность не оказывает. Комплексные исследования по влиянию продолжительности и скорости перемешивания составов показали, что наилучших результатов по прочности и подвижности можно достичь при скорости перемешивания (около 20 м/с) и продолжительности перемешивания смеси от 60 до 120 с. Краткосрочная активация цементного связующего в смесителе турбулентного типа достаточна для организации оптимальной структуры в более короткие сроки и приводит к наибольшему увеличению прочностных показателей и строительно-технических свойств бетонов.

Применение полимерцементных бетонов и растворов способствует улучшению их строительно-технических и технологических свойств, способствует увеличению межремонтных периодов, сокращению трудоемкости работ и сроков их выполнения, увеличению долговечности конструкций и надежности зданий и сооружений на транспорте.

#### Список литературы

1 Яшина, Т. В. Наполненные полимерцементные композиты строительного назначения / Т. В. Яшина, В. И. Соломагов // Известия вузов. Архитектура и строительство. – 1991. – № 12. – С. 46–50.

2 Яшина, Т. В. Модификация бетонов для транспортного строительства / Т. В. Яшина, А. А. Алексеева // Проблемы современного строительства : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 231–233.

УДК 624.138.232

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*С. А. ЧУДИНОВ, О. Н. БАЙЦ*

*Уральский государственный лесотехнический университет,  
г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Строительство лесовозных дорог из укрепленных грунтов является наиболее надежной, экономичной и ресурсосберегающей технологией, поскольку позволяет использовать имеющиеся грунты в качестве конструкционных материалов дорожной одежды. Однако вызванные изменением клима-

та тяжелые погодные проявления (увеличение числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль, увеличение количества осадков, уменьшение максимальной продолжительности сухих периодов, повышение уровня грунтовых вод и т. п.) ограничивают использование традиционных дорожно-строительных материалов, требуя реализации адаптационных технологий в данной сфере [1].

Одной из таких технологий является обработка грунтов путем их комплексного укрепления. В каждом конкретном случае оптимальный состав определяется комплексом, учитывающим как процессы структурообразования при их твердении, так и физико-механические свойства [2]. При этом целесообразно установить оптимальную дозу органических и неорганических добавок, снижающих трещинообразование укрепленных грунтов [3].

Для изучения физико-механических показателей укрепленных грунтов в условиях экстремальных климатических воздействий был проведен ряд лабораторных исследований. Для испытаний был взят суглинистый грунт (суглинок тяжелый с числом пластичности  $I_p = 15$ ), портландцемент марки 400 и стабилизирующая добавка.

Стабилизирующая добавка представляет собой многокомпонентную систему, которая включает комплекс химических компонентов, оказывающих, в конечном итоге, коренное изменение структуры и свойств укрепленных грунтов с улучшением их физико-механических характеристик.

Оценка морозостойкости грунтов, укрепленных комплексным методом, проводилась согласно требованиям ГОСТ 23558-94 [4]. Образцы были изготовлены с добавкой портландцемента (7 %) и стабилизирующей добавкой (0,35 %) от массы грунта.

С целью создания равных начальных условий проведения эксперимента, контрольные образцы укреплялись одним портландцементом в количестве 9 % от массы грунта. В опытах было принято: количество циклов замораживания-оттаивания – 25; температура замораживания  $-18 \pm 2$  °С; степень водонасыщения – полное.

Результаты исследований представлены на рисунке 1.

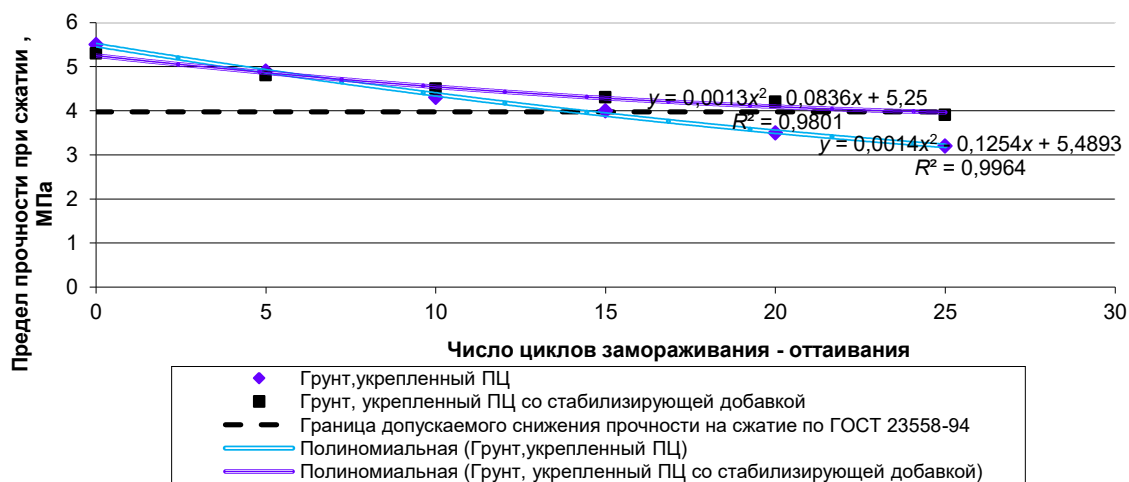


Рисунок 1 – Изменение прочности при сжатии цементогрунтовых образцов в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания

Из графика, представленного на рисунке 1, видно, что введение стабилизирующей добавки позволяет значительно повысить морозостойкость цементогрунтовой смеси при снижении необходимого содержания минерального вяжущего. Так грунт, укрепленный 9 % портландцемента, соответствует марке по морозостойкости F10, а введение 7 % портландцемента и 0,35 % стабилизирующей добавки позволяет достичь марки по морозостойкости F20. С учетом того, что укрепленные грунты с более низкой маркой по морозостойкости F15 рекомендованы для строительства слоев оснований в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца от  $-15$  до  $-30$  °С, а также для строительства покрытий со слоем износа в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца от  $-5$  до  $-15$  °С, использование цементогрунта, укрепленного портландцементом со стабилизирующей добавкой во II дорожно-климатической



зоне, где расположены основные запасы леса, оправдывается не только высокой технической гарантией, но и экономической выгодой. Кроме этого, повышение морозостойкости цементогрунтов с использованием стабилизирующей добавки может обеспечить надежность конструкции дорожной одежды с учетом одной из важных тенденций изменяющегося климата – увеличения числа суток с попеременным переходом температуры воздуха через ноль.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ FEUG-2021-0011.*

#### Список литературы

1 Чудинов, С. А. Адаптационные технологии в строительстве лесовозных дорог в условиях изменения климата / С.А. Чудинов // Вестник Марийского государственного технического университета. – Серия «Лес. Экология. Природопользование». – 2010. – № 2 (9). – С. 76–81.

2 Чудинов, С. А. Повышение эффективности укрепления грунтов портландцементом со стабилизирующей добавкой / С. А. Чудинов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 163.

3 Чудинов, С. А. Укрепленные грунты в строительстве лесовозных автомобильных дорог : [монография] / С. А. Чудинов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – 174 с.

4 ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. – Введ. 1995-01-01. – М. : Стандартинформ, 2005. – 8 с.

УДК 692.67

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИВОДОВ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ<sup>1</sup>, Д. В. ДЬЯКОВ<sup>1,2</sup>, П. П. ЧИРТА<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*<sup>2</sup>Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством, Республика Беларусь*

Существующие в настоящее время системы эскалаторов основаны на традиционных конструкциях 100-летней давности. Современный уровень развития техники требует создания машин, обеспечивающих высокую производительность и безопасность эксплуатации, но при этом отличающихся экономичностью по сравнению с традиционно используемыми [1]. Изготовление конструкции и последующая доводка натуральных объектов требует значительных экономических и временных затрат. Использование имитационных моделей и автоматизация расчетов позволяют уже на стадии разработки добиться получения достаточно эффективной конструкции, которая потребует относительно небольших затрат на стадии доводки. Целью представленной работы является создание моделей конструкции эскалатора, позволяющих оценить динамические эффекты, возникающие при различных режимах работы, и предложить варианты усовершенствования узлов и деталей.

Для создания динамических моделей использованы массовые и инерционные характеристики деталей привода, которые были получены на основе моделей САПР. Характеристики связей между деталями конструкций принимались с учетом рекомендаций, представленных в работе [2].

При анализе кинематики и нагруженности эскалатора рассматривались несколько режимов его работы, отличия которых состояли в следующем:

- линейная скорость роликовой цепи – низкая и высокая;
- направление перемещения пассажиров – вверх и вниз;
- пустой и полностью загруженный эскалатор;
- предварительное натяжение цепи – низкое и высокое.

Даже при учете только двух возможных состояний каждого из четырех указанных параметров следует рассмотреть 16 возможных вариантов работы конструкции.

Оценка динамического поведения большинства эскалаторов связана с анализом четырех основных параметров: силы натяжения звеньев роликовой цепи, силы контакта роликов с направляющей, которая определяет форму цепи, перемещения натяжного элемента, ускорений ступеней эскалаторов.

Для анализа кинематики звеньев цепи на виртуальной модели были размещены 16 датчиков, которые позволяли оценить распределение нагрузок и выявить возможную их асимметрию. Смещение натяжного устройства оценивалось по изменению координат центра масс его подвижной части. Анализ ускорений точек ступеней осуществлялся по трем осям координат.

В модели предусматривалась также возможность неравномерного нагружения ступеней эскалатора, а также чередования нагруженных и ненагруженных ступеней с разным шагом. Кроме того, осуществлялась проверка как для случая симметричной, так и асимметричной нагрузки по ширине ступени. Предусмотрена возможность изменения нагрузки, соответствующая перемещению человека по ступеням эскалатора.

На одной ступеньке располагались три акселерометра. Каждый акселерометр был ориентирован по каждому из трех направлений пространства. Все регистры данных, формирователи сигналов и батареи были закреплены под двумя соседними ступенями, чтобы не мешать остальным телам во время работы эскалатора.

Разработанная модель позволяет оценивать мощность, потребную для обеспечения движения ступеней эскалаторов при разных скоростях перемещения пассажиров.

Отметим, что в разработанной модели длины звеньев цепи принимались постоянными. В то же время из-за большой длины цепи ее деформирование приводит к некоторому отличию расчетных значений по сравнению с измеренными на натуральных конструкциях. Как отмечается в работе [3], разница между теоретической и реальной скоростями в таких случаях составляет менее 7 %.

В ходе выполнения расчетов получены значения собственных частот колебаний конструкции эскалатора, а также динамические силы, действующие на его узлы. Полученные результаты позволяют не только осуществлять оценку кинематических и динамических характеристик привода эскалатора, но и найти значения сил, действующих на несущую металлоконструкцию в процессе эксплуатации.

Таким образом, разработанные методики создания компьютерных моделей и оценки характеристик работы эскалаторов дают возможность тестирования новых идей и оптимизации существующих конструкций без потерь времени и затрат, связанных с созданием прототипов в реальном размере.

#### Список литературы

- 1 Горбатенко, Ю. П. Оцінювання пружних властивостей тягових ланцюгів у задачах динаміки транспортувальних машин / Ю. П. Горбатенко, О. В. Загора // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2015. – № 2 (100). – С. 49–55.
- 2 Марченко, Д. М. Верификация сил трения, реализуемых в MSC.ADAMS при работе функции «Contact» / Д. М. Марченко, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 185–194.
- 3 Cano-Moreno, J. D. Experimental validation of an escalator simulation model // J. D. Cano-Moreno, J. M. Cabanellas-Becerra // Latin American Applied Research. – 2019. – Vol. 49, no. 3. – P. 187–192.

УДК 725.573

### АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ УЧРЕЖДЕНИЙ ДОШКОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*А. В. ЩЕГЛОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Актуальность и необходимость проведения исследования в области реконструкции действующих зданий учреждений дошкольного образования (УДО) обусловлена рядом нерешенных проблем, с которыми сталкиваются в нынешнее время детские сады.

Одной из наиболее значимых на сегодняшний день является проблема недостаточного обеспечения детей дошкольного возраста местами в детских садах в городах и поселках городского типа. На начало 2021 г. в Республике Беларусь число функционирующих учреждений дошкольного образования государственной и частной форм собственности сократилось до 2936 учреждений, в которых обучалось около 425 тыс. детей. Для сравнения в 2010 году число УДО составляло 4099 учреждений, которые посещало 384 тыс. детей (рисунок 1).

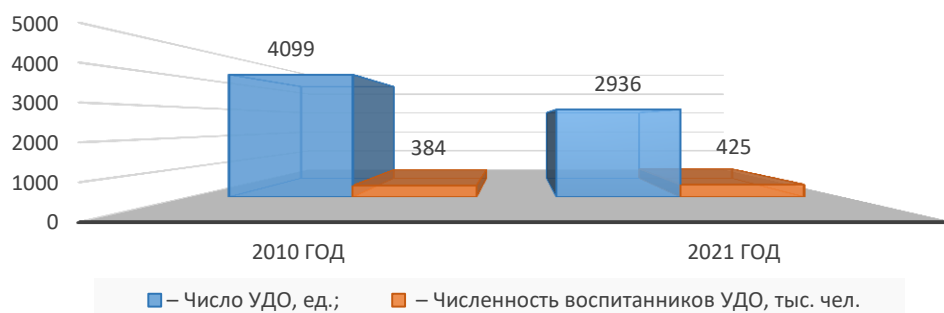


Рисунок 1

Согласно данным, которые содержатся в статистическом бюллетене «Образование в Республике Беларусь (2018/2019 учебный год)», число учреждений дошкольного образования в период с 2011 по 2019 год сократилось на 283 объекта [1]. Такая внушительная цифра связана с программой оптимизации учреждений образования, под которую попали малокомплектные детские сады. В основном сокращение учреждений дошкольного образования происходило в сельских населенных пунктах – 374 объекта, в то время как в городах и поселках городского типа за этот же период было открыто 91 новое учреждение.

Начиная с 2020 года свои коррективы в статистические данные по численности детей, посещающих УДО, внесла эпидемиологическая ситуация в стране в связи с COVID-19. Если в период с 2016 по 2019 год число воспитанников УДО выросло с 418,1 до 436,6 тыс. человек (на 18,5 тыс.), то с 2020 по 2021 г., всего за год, уменьшилось до 424,1 тыс. человек (на 12,5 тыс.).

Таким образом, можно сделать вывод, что на число воспитанников УДО влияют не только демографические колебания населения, но и такой непредсказуемый фактор, как эпидемиологическая ситуация, из-за которой родители, если есть возможность, предпочитают не водить ребенка в детский сад для минимизации контактов, отказываются от услуг УДО. Этим фактором и обусловлен резкий спад воспитанников учреждений дошкольного образования в 2020 г. по сравнению с 2019 г. (рисунок 2).



Рисунок 2

Также для выявления наиболее острых проблем УДО в ходе исследования был проведен опрос воспитателей и вспомогательного персонала из 10 разных учреждений дошкольного образования в г. Гомеле и Гомельской области.

Согласно проведенному анкетированию работники УДО указывают на следующие актуальные проблемы:

1) более 50 % опрошенных воспитателей считают, что на 2021/22 учебный год в работе с детьми применяется устаревшая, по сравнению с другими странами, образовательная программа и методика обучения дошкольников;

2) 70 % анкетированных указывают на несоответствие современным требованиям технической и ресурсной базы (отсутствует либо представлено в небольшом количестве инновационное обеспечение для обучения и развития воспитанников);

3) около 50 % работников не устраивают условия труда на рабочем месте;

4) 40 % говорят о высокой нагрузке, переработках и т. д.;

5) 60 % опрошенных не устраивает низкий уровень заработной платы;

6) до 20 % воспитателей считают, что в нынешнее время всё чаще встречается сложный контингент детей и их родителей.

По мнению опрошенных работников УДО, современные здания учреждений дошкольного образования должны отвечать следующим требованиям:

– иметь уникальный эстетический облик здания;

– быть гибкими в объемно-планировочной структуре;

– иметь способность к мобильности и трансформации при необходимости;

– должна быть четко организована архитектурная среда в интерьере здания;

– необходимо развитое архитектурное пространство в экстерьере (наличие детских игровых комплексов и спортивных площадок, отвечающих современным требованиям; использование ландшафтной архитектуры для организации игрового пространства).

Вышеуказанным требованиям соответствует лишь незначительная часть от фонда всех типов учреждений дошкольного образования в Республике Беларусь. Как правило, передовыми в обучении и развитии детей дошкольного возраста выступают УДО частной формы собственности. Яркими примерами в плане уникальности и эстетичности как внешнего облика здания детского сада, так и наполнения его новейшей обучающей материальной базой, могут служить Минские учреждения дошкольного образования: детский сад № 2 д. Копище «Желтый жираф», детский сад № 3 д. Копище «Космический детский сад», частные детские сады: «Ромашка», «Зеленый холм», «Делакруа», «Magic Land club» и др.

Следовательно, задача поиска решений вышеуказанных актуальных проблем при проектировании и строительстве новых и реконструкции либо модернизации уже существующих зданий учреждений дошкольного образования в условиях переменной нагрузки численности воспитанников, непредсказуемого фактора в виде эпидемиологической ситуации, жесткой объемно-планировочной структуры и устаревшей технической и ресурсной базы сегодня выходит на первый план.

#### Список литературы

1 Образование в Республике Беларусь (2018–2019 учебный год) : стат. бюллетень. – Минск : Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2018. – 46 с.

2 Рекомендации по реконструкции и модернизации зданий дошкольных учреждений : утв. Указанием Москомархитектуры 01.07.1997. – М. : НИИЦ, 1997. – 88 с.

3 ТКП 45-3.02-249-2011 (02250). Здания и помещения учреждений, обеспечивающих получение дошкольного образования. Правила проектирования. – Введ. 05.12.2011. – Минск : Минстройархитектуры, 2012. – 60 с.

УДК 69.032.22:711.4-121

## ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

*Е. Е. ЯНЬШИНА, В. М. ПРАСОЛ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современной градостроительной политике прослеживается тенденция более рационального использования пространства и уплотнения существующей застройки. Поэтому развитие многих крупных городов Беларуси происходит ввысь и вглубь, без расширения границ, за счет более рационального использования городских территорий. Такой подход позволяет существенно снизить затраты на развитие инженерно-транспортной инфраструктуры, повысить престижность возводимых комплексов зданий.

При проектировании зданий и инженерных сооружений, а также при выполнении работ начального этапа как проектировщикам, так и подрядным организациям необходимо решать трудные гео-

технические проблемы, связанные со стесненными условиями городской застройки. Пренебрежение поставленными вопросами может привести в наилучшем случае к нарушению условий нормальной эксплуатации существующих инженерных сооружений и дальнейшей эксплуатации строящихся объектов, а в худшем – к чрезвычайным и аварийным ситуациям, угрожающим не только здоровью, но и жизни людей.

Плотная городская застройка предполагает наличие пространственных препятствий на строительной площадке и расположенной рядом с ней территории: ограничение по протяженности, ширине, высоте и глубине размеров рабочей зоны и подземного пространства, мест размещения транспортных средств, повышенный уровень строительного, экологического, материального риска.

Основной проблемой, с которой доводится встречаться строителям при изучении геотехнического пространства в условиях плотной застройки, считается организация территории строительства, отвечающей актуальным требованиям. На территории строительной площадки должны размещаться площадки для складирования материалов, временные сооружения, помещения бытового назначения. Площадка должна быть обеспечена подъездными путями, электроэнергией, водой. В ряде случаев данную проблему можно устранить путем аренды помещений в зданиях, расположенных в непосредственной близости от объекта строительства.

Другой существенной проблемой является выбор типа и конструкции фундамента будущего сооружения. При выборе фундаментов в стесненных условиях строительства необходимо учитывать напряженно-деформируемое состояние грунтового массива, которое возникает из-за взаимного влияния существующих и возводимых зданий. В этом случае эпюры напряжений в грунтовом массиве будут накладываться друг на друга, что может повлечь за собой перенапряжение уже нагруженного грунтового состояния. Обычно следствием этого является развитие дополнительных деформаций существующих зданий, приводящее их сначала к аварийному состоянию, а потом и к окончательному разрушению.

В стесненных условиях городской застройки целесообразно использовать буронабивные сваи. При устройстве буронабивных свай бурится скважина под защитой инвентарных обсадных труб. Их применение позволяет выполнять работы в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений, исключает обсыпание стенок и деформацию грунтов. Также упрощает содержание строительной площадки, сокращает потребность воды. Изготавливается арматурный каркас, который в дальнейшем монтируется в пробуренную скважину и укладывается бетон. Выбор того или иного метода зависит от геологических условий участка, выделенного под строительство, а также от экономической целесообразности.

При строительстве и эксплуатации современных зданий, строений и сооружений в стесненных условиях городской застройки должны ставиться задачи по улучшению городской инфраструктуры, решаемые при выполнении следующих этапов.

- 1 Оценка геотехнической ситуации строительства.
- 2 Размещение на строительной площадке комплекса строительной инфраструктуры.
- 3 Перемещение существующих коммуникаций с учетом нового строительства.
- 4 Разработка мероприятий по предотвращению возможных разрушений зданий, расположенных в непосредственной близости от строящихся объектов.
- 5 Соблюдение определенных технологических норм.
- 6 Разработка технических и технологических мероприятий, направленных на защиту экологической среды объекта и существующей застройки и т. д.

В процессе реализации поставленных задач и устранения важных градостроительных проблем при возведении сооружений в условиях сформировавшейся плотной городской застройки можно обеспечить качество, долговечность не только непосредственно возводимых объектов, но и существующей прилегающей застройки.

#### Список литературы

- 1 **Симагин, В. Г.** Проектирование и устройство фундаментов вблизи существующих сооружений в условиях плотной застройки / В. Г. Симагин. – М. : Ассоциации строительных вузов, 2010. – С. 52.
- 2 **Копотилова, А. С.** Особенности строительства в условиях плотной городской застройки / А. С. Копотилова // Молодой ученый [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/183/46924/>. – Дата доступа : 14.01.2018.
- 3 Использование буронабивных свай в стесненных условиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://burinzhstroy.ru/buronab-svai-v-sesn-uslov>. – Дата доступа : 05.11.2020.

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

УДК 656.211.5:725.31

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ «ИНТЕРЬЕРНОЙ» НАВИГАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ


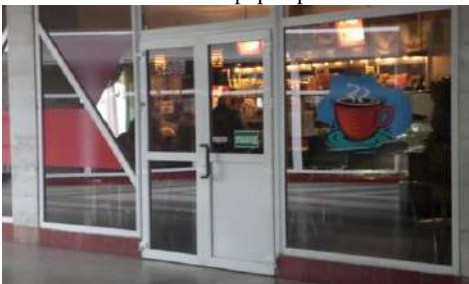

А. Н. БЕЛОУС


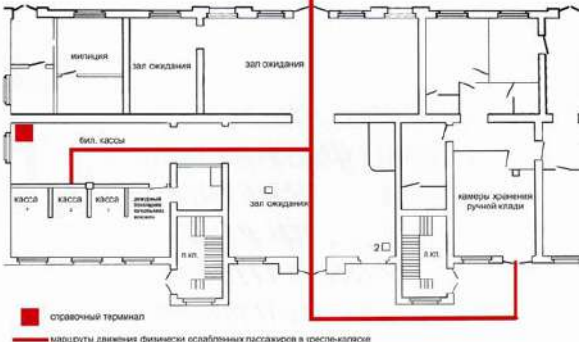
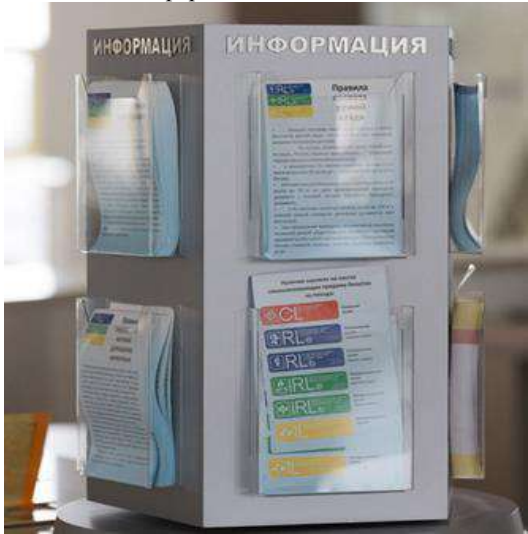

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

«Интерьерная» или внутренняя навигация сегодня находит широкое применение на железнодорожных вокзалах Белорусской железной дороги, что позволяет пассажирам снизить напряжение поискового поведения и сократить время на передвижение или поиск нужного объекта, например, билетных касс, буфета или выхода на перрон т. п. Особенно это важно для впервые прибывающих пассажиров, которые через наглядно-действенное мышление пытаются ориентироваться в незнакомом для них месте. В этом случае, как говорят психологи, работает следующая модель поведения: «Двигайся в нужном направлении по информационным знакам».

В связи с этим на железнодорожных вокзалах в зависимости от их планировочных особенностей, а также дизайна административных помещений (билетных касс, справочных бюро и т. п.) используются различные элементы «интерьерной» (внутренней) навигации, краткая характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая характеристика элементов «интерьерной» навигации на железнодорожных вокзалах

Элемент	Краткая характеристика
<p>Указатели объекта</p> 	<p>Визуальная идентификация объекта инфраструктуры</p>
<p>Указатели информирования</p> 	<p>Информирование о расположении объектов и направлений к объектам, находящимся на территории вокзала, станции или остановочного пункта</p>
<p>Информационные табло (стенды)</p> 	<p>Отображение информации о прибывающих и отправляющихся поездах (комфортное восприятие информации пассажирами)</p>

Элемент	Краткая характеристика
<p>Указатели направления движения (стрелки)</p> 	<p>Обозначение направления движения к различным объектам инфраструктуры</p>
<p>Планы этажей</p> 	<p>Информирование пассажиров о размещении вокзальных помещений и выходах на перрон и посадочные платформы</p>
<p>Информационные пилоны</p> 	<p>Отдельно стоящие конструкции с информационным сообщением для пассажиров или рекламой конкретных товаров и услуг</p>
<p>Стела</p> 	<p>Информирование пассажиров о размещении основных объектов, находящихся на территории вокзала, станции или остановочного пункта, и направлений к таким объектам (вокзальных помещений и выходах на перрон и посадочные платформы)</p>

Окончание таблицы 1

Элемент	Краткая характеристика
<p>Лайтпостеры (клик-профиль быстро меняющее изображение)</p> 	<p>Информирование пассажиров о различных рекламных акциях</p>
<p>Рецепция (информационные стойки)</p> 	<p>Взаимодействие работника вокзала с пассажирами по их информированию об оказываемых услугах («Живое общение»)</p>

Анализ таблицы 1 показал, что «Интерьерная» или внутренняя навигация может не только информировать, но и выполнять различные социальные функции (таблица 2).

Таблица 2 – Краткая характеристика функций «интерьерной» навигации на железнодорожных вокзалах

Функция	Краткая характеристика
Рационализирующая	Удобство прочтения и просмотра объектов навигации
Гуманизирующая	Дизайн способствует коммуникации (помогает людям находить общий язык между собой)
Распределительная	Распределение пассажиропотоков

Помимо вышеизложенного следует отметить подвесные указатели, указатели к выходам и туалетам, таблички-указатели, а также таблички на двери и другие крупноформатные указатели на вокзалах. При этом «Интерьерная» (внутренняя) навигация будет эффективной, если она соответствует таким критериям, как информативность, наглядность и простота восприятия, видимость из разных точек, достаточный размер текста.

Таким образом, «Интерьерная» (внутренняя) навигация – это один из способов, позволяющих провести пассажира по кратчайшим расстояниям в нужное место, что значительно экономит его время и нервы при поиске нужного объекта.

#### Список литературы

1 Шлыков, А. А. Исследование проблемы навигации внутри современных зданий со сложной архитектурой / А. А. Шлыков, О. Ф. Абрамова // Современная техника и технологии. – 2014. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://technology.snauka.ru/2014/02/3085>. – Дата доступа : 03.10.2021.




## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ

*А. Н. БЕЛОУС, А. Ю. КУЛАЖЕНКО*






*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Комфорт поездки как совокупность удобств, предоставляемых пассажирам в пути следования, включает в себя и гарантию безопасного их пребывания на железнодорожных вокзалах, перронах и других объектах транспорта, что стало возможным благодаря применению различных технических средств охраны и досмотрового оборудования. Краткая характеристика таких средств и оборудования приведена в таблице 1.

*Таблица 1 – Краткая характеристика технических средств безопасности на железнодорожных вокзалах*

Технические средства и оборудование	Краткая характеристика	Преимущества
Стационарные рентгеновские установки конвейерного типа 	Выявление объектов, запрещенных к свободному обращению (предотвращение скрытого провоза опасных (токсичных, взрывчатых и т. п.) веществ	Запись и сохранение данных об объектах контроля на протяжении определенного промежутка времени Безопасная проверка продуктов питания Отсутствие негативного влияния на состав и химические свойства досматриваемых продуктов Эффективная защита здоровья персонала Высокая пропускная способность
Стационарные рентгеновские установки для обследования пассажиров 	Проекционное рентгеновское изображение человека в полный рост с целью выявления спрятанных под одеждой, а также проглоченных или спрятанных в естественных полостях тела человека предметов, запрещенных к перевозке на транспорте (холодное и огнестрельное оружие, взрывчатые и наркотические вещества и т. д.)	Определение плотных предметов за стальным листом толщиной до 32 мм Наиболее объективный, достоверный и быстрый способ досмотра пассажиров и их багажа
Стационарные многозонные металлодетекторы 	Обнаружение запрещенных предметов в различных зонах при помощи светодиодов на боковых панелях	Эффективный способ определения запрещенных предметов при помощи индикации тревоги квадратов досмотрового туннеля

Окончание таблицы 1

Технические средства и оборудование	Краткая характеристика	Преимущества
<p data-bbox="197 248 584 273">Аппаратура радиационного контроля</p> 	<p data-bbox="632 248 999 465">Обеспечение транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры в целях обнаружения и идентификации радиоактивных веществ при их несанкционированном проносе на транспортные объекты физическими лицами</p>	<p data-bbox="1019 248 1425 353">Эффективный способ предотвращения использования опасных предметов, которые могут повлиять на уровень радиации</p>
<p data-bbox="225 651 560 707">Аппаратура обнаружения паров и следов взрывчатых веществ</p> 	<p data-bbox="632 651 999 813">Обнаружение и идентификация взрывчатых веществ (ВВ) по их следовым количествам на поверхностях упаковок, на одежде и руках человека, а также на других подозрительных объектах</p>	<p data-bbox="1019 651 1425 757">Простой в эксплуатации прибор, обнаруживающий широкий спектр взрывчатых веществ, включая маркеры ИСАО</p>
<p data-bbox="233 965 552 990">Ручные металлообнаружители</p> 	<p data-bbox="632 965 999 1126">Обеспечение безопасности в зданиях, на транспорте, во время массовых мероприятий путем выявления запрятанных под одежду оружия, ножа или газового баллончика</p>	<p data-bbox="1019 965 1425 1048">Простой в эксплуатации прибор, при работе с которым не требуется специальная подготовка</p>
<p data-bbox="233 1211 552 1236">Взрывозащитные контейнеры</p> 	<p data-bbox="632 1211 999 1294">Обеспечение безопасности при транспортировке и ликвидации взрывных устройств</p>	<p data-bbox="1019 1211 1425 1350">Выдерживание воздействия взрывного устройства массой до 4,5 кг без потери герметичности, что позволяет его неоднократное повторное использование по назначению</p>
<p data-bbox="193 1532 584 1588">Системы подавления радиочастотного управления взрывными устройствами</p> 	<p data-bbox="632 1532 999 1749">Формирование широкополосной заградительной помехи в диапазоне от 10 до 500 МГц (в некоторых образцах – до 1000 МГц) при суммарной мощности сигнала, подводимого к одной или нескольким антеннам, от 10 до 500 (1000) Вт</p>	<p data-bbox="1019 1532 1425 1671">Управление подрывом радиоуправляемых взрывных устройств осуществляется на безопасном расстоянии (50 м и более), тем самым обеспечивается конфиденциальность действий</p> <p data-bbox="1019 1677 1425 1805">Наличие режима прицельной и заградительной помехи обеспечивает возможность оптимального использования изделия в различных ситуациях</p>

Следует отметить, что поездка в поезде примерно в 3 раза безопаснее по сравнению с авиацией и в 10 раз – по сравнению с автомобилем.

Таким образом, согласно анализу данных, приведенных в таблице 1, технические решения по обеспечению транспортной безопасности условно можно разделить на три основные категории (таблица 2).

**Таблица 2 – Краткая характеристика технических решений по обеспечению транспортной безопасности на железнодорожных вокзалах**

Оборудование и устройства	Эффективность технических решений
Системы биометрического распознавания лиц	Экономия времени пассажиров в ходе проверки безопасности
Сканеры безопасности, встроенные в турникеты	
Мобильные приложения для оперативного обращения в милицию прямо в ходе поездки	Обеспечение безопасности в поезде или на пассажирской платформе
Системы распознавания опасных ситуаций	
Роботы-охранники (пока больше для наблюдения)	
Специальные подвижные ограждения для железнодорожных платформ	
Системы подсчета пассажиров в режиме реального времени (для оперативного реагирования в случае ЧП)	
Установка тревожных кнопок в поездах метро	
Использование дронов и оснащение скоростных поездов оборудованием для диагностики железнодорожных путей и мостов и прочие	Формирование правильного и безопасного поведения пассажиров на железнодорожном транспорте (вокзале, пассажирской платформе и т. д.)
Применение специальных информационных материалов в формате рассказов для детей по их обучению безопасному поведению на железнодорожном транспорте, а также использование технологий виртуальной реальности для обучения персонала поведению в кризисных ситуациях	

Анализ таблицы 2 показал, что технические решения по обеспечению безопасности пассажиров железнодорожных вокзалов направлены на устойчивое и безопасное функционирование транспортного комплекса страны и предотвращают незаконное вмешательство в деятельность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств, используемых для осуществления пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.

#### Список литературы

- 1 Методические рекомендации по разработке типового порядка оценки эффективности мер по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры / М. С. Колотухина. – М. : АО Транссеть, 2019. – 476 с.
- 2 Разработка концепции развития документов технического нормирования в области транспортной безопасности на железнодорожном транспорте / Ш. В. Бузиков [и др.]. – Киров : ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», 2019. – 226 с.
- 3 **Томилов, В. В.** Транспортная безопасность / В. В. Томилов. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. – 72 с.

УДК 656.224.025.2

## **КОНСОЛИДАЦИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

*ВАН ЮЙБЯНЬ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Организация высокоскоростного движения поездов является эффективной при достаточно мощных величинах пассажиропотоков между станциями зарождения и погашения. Как правило, в качестве такой величины в различных источниках фигурирует мощность свыше 1 млн пассажиров в год.

Однако анализ исполненных пассажиропотоков в межгосударственном сообщении (по данным отчета ЦО-27) показывает, что максимальная суммарная возможность всех отправленных пассажиров со станции Минск-Пассажирский в 2018 году составила 688162 чел., со станции Брест-Центральный – 246409 чел. (по остальным еще меньше), что гораздо меньше необходимой мощности.

Традиционно в таких случаях рассматриваются вопросы консолидации вагонопотоков в железнодорожных узлах, когда в крупных и средних городах имеется несколько железнодорожных пассажирских станций. Например, в Москве насчитывается десять железнодорожных вокзалов: Белорусский, Восточный, Казанский, Киевский, Курский, Ленинградский, Павелецкий, Рижский, Савёловский, Ярославский. Поскольку пассажиропотоки между одними вокзалами одного узла могут быть перевезены другими видами внутригородского транспорта, для всей железнодорожной сети внутриузловые пассажиропотоки оказывают незначительное влияние на выбор вида транспорта (рисунок 1).

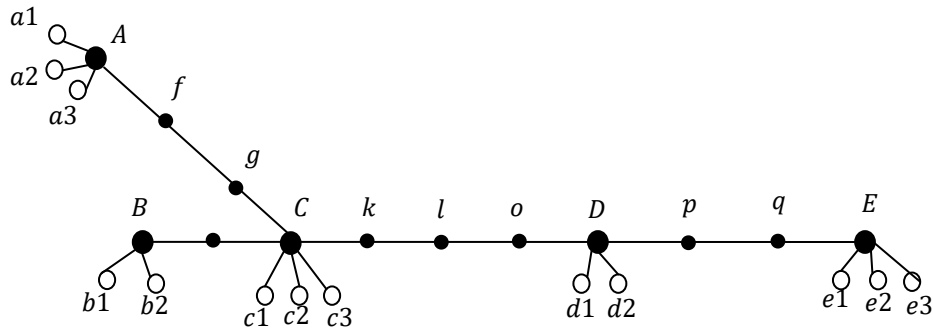


Рисунок 1 – Консолидация пассажиропотоков в пределах узла

Как показано на рисунке 1, пассажиропотоки от и до станций  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  могут быть объединены в пассажиропоток от и до станции  $A$ . Пассажиропотоки от и до станций  $b_1$  и  $b_2$  могут быть объединены в пассажиропоток от и до станции  $B$ , и так далее, так что пассажиропотоки между объединенными узлами:

$$f(S_{ij}) = \sum_{i_s \in I} \sum_{i_e \in J} f(S_{i_s, i_e}), \quad (1)$$

где  $i_s$  – станции в пределах транспортного узла  $i$ ;  $i_e$  – станции в пределах транспортного узла  $j$ ;  $f(S_{ij})$  – общее количество пассажиров между транспортными узлами  $i$  и  $j$  после консолидации, чел.;  $(S_{i_s, i_e})$  – пассажиропоток между станцией  $i_s$  и станцией  $i_e$ , чел.

Однако для условий Республики Беларусь такая ситуация не характерна, так как в узлах расположен, как правило, только один вокзал для обслуживания пассажиров в международном сообщении. В связи с этим предлагается для оценки эффективности организации высокоскоростного движения поездов, рассматривать консолидацию пассажиропотоков со станций Белорусской железной дороги в Минском узле, который будет исполнять роль хаба, а подвоз пассажиров организовывается поездами межрегиональных и региональных линий.

Тогда, кроме консолидации пассажиропотоков в узлах, необходимо рассматривать консолидацию пассажиропотоков в зоне тяготения (рисунок 2).

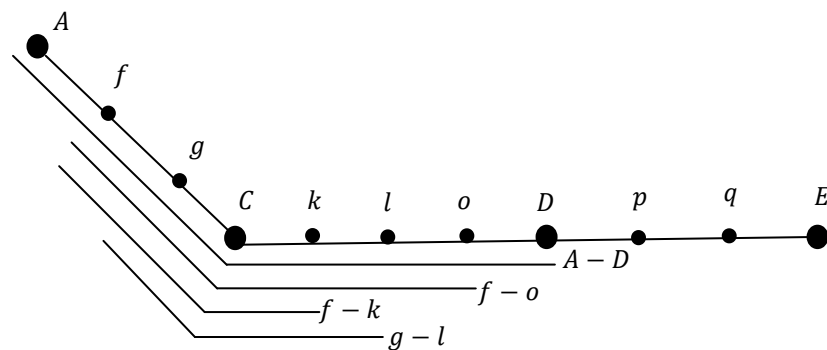


Рисунок 2 – Консолидация пассажиропотоков в пределах зоны тяготения

Как показано на рисунке 2, потоки, берущие начало и заканчивающиеся в зонах *A-C* и *C-D* соответственно, такие как *f-o*, *f-k*, *g-l* и т. д., могут быть объединены в зоне *A-D*. Аналогично, движение в зонах *o-g*, *l-f*, *k-g* и т. д. может быть интегрировано в зону *D-A*.

На основе сегментов движения поездов пассажиропотоки между ключевыми узлами группируются вместе, и после группировки получают пассажиропотоки через линию для сегмента

$$f(S_{IJ}) = \sum_{S_j \in S_{IJ}} f(S_j), \quad (2)$$

где  $S_{IJ}$  – пассажиропотоки между узлами  $I$  и  $J$ ;  $S_j$  – пассажиропотоки с начальным и конечным пунктами в зоне тяготения  $S_{IJ}$ ;  $f(S_{IJ})$  – общее количество пассажиров между транспортными узлами  $I$  и  $J$  после консолидации, чел.;  $f(S_j)$  – пассажиропоток в зоне  $S_j$ , чел.

В результате расчетов суммарная мощность консолидированного пассажиропотока между Минском и Москвой при организации высокоскоростного движения (с учетом индуцированного спроса) к 2026 году может составить около 1,4 млн пассажиров в год.

УДК 629.45

## ПЛАЦКАРТНЫЙ ВАГОН С МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ ИНТЕРЬЕРОМ

*С. М. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*М. А. МАМРУКОВА*

*НТЦК ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель*

В настоящее время в сфере железнодорожного транспорта разрабатываются различные конструктивные схемы размещения пассажиров в вагоне. Тверской вагоностроительный завод выпустил плацкартный вагон с обновленным интерьером, по специальному концепту для составов дальнего следования.

Главная идея нового плацкарта – возможность организации личного пространства для пассажира за счет перегородок со встроенными лестницами и индивидуальных шторок (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид плацкарта

Плацкартный вагон с модернизированным интерьером имеет ряд достоинств и недостатков. Наиболее существенный недостаток заключается в наличии индивидуальных шторок, из-за которых вентиляция и система кондиционирования воздуха работает неэффективно.

В вагонах, где имеется система охлаждения (кондиционирования) воздуха, применяется приточно-механическая вентиляция. При приточно-механической вентиляции воздух нагнетается в вагон через воздухопровод и вентиляционные решетки, находящиеся в пассажирском отделении, а удаляется воздух из вагона через потолочные вытяжные дефлекторы, открытые двери и неплотности в вагоне. Приточно-механическая вентиляция вагона создает подвижность воздуха в зоне пребывания

ния пассажиров, очищает воздух от пыли и химических примесей, участвует совместно с охлаждающей установкой в охлаждении пассажирских помещений, а при калориферном отоплении – в подогреве воздуха и подаче его в вагон (рисунок 2).



Рисунок 2 – Панель воздуховода с USB-зарядкой и освещением

В новом плацкарте каждое место оборудовано персональным воздуховодом, который выведен к изголовью, что позволяет регулировать поток воздуха. Данное расположение воздуховода нецелесообразно, т. к. создается эффект обдувания пассажира, а наличие индивидуальных шторок приводит к нарушению подвижности воздуха в вагоне.

Вентиляция в вагонах не всегда находится в рабочем состоянии, она может быть отключена как по техническим причинам, например, когда поезд совершил остановку, так по причине невнимательности работников железной дороги. В данной компоновке плацкарта это недопустимо, т. к. выполнена глухая конструкция окон, следовательно приток свежего воздуха будет затруднен или вовсе отсутствовать, вследствие чего в воздухе падает концентрация кислорода и возрастает концентрация углекислого газа (двуокись углерода), у пассажира учащается пульс и дыхание, повышается температура, появляются головные боли и т. д. Риск передачи вирусов от человека к человеку значительно увеличивается.

#### Список литературы

- 1 Зворыкин, М. А. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах / М. А. Зворыкин, В. М. Черкез. – М. : Транспорт, 1977. – С. 17–21.
- 2 Демьянков, Н. В. Холодильные машины и установки / Н. В. Демьянков. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1976. – 360 с.
- 3 Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах и на локомотивах / М. Г. Маханько [и др.] ; под общ. ред. М. П. Сазонова. – М. : Транспорт, 1981. – 254 с.

УДК [656.025.2:325.1]”19”

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ТЕОРИЙ И МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ В НАЧАЛЕ XX ВЕКА

*Т. А. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

«Подвижность населения» является одним из важнейших показателей, характеризующий уровень транспортного обслуживания населения, который оказывает значительное влияние на развитие не только транспортной сети, но и различных видов транспорта, так как отражает сложившуюся территориальную и социальную организацию городов и других населенных мест. При этом, чем выше рост подвижности населения, тем выше степень удовлетворения потребностей населения в транспорте.

Следует отметить, что данному показателю при перевозке пассажиров, как на железнодорожном, так и автомобильном транспорте уделялось и уделяется большое внимание исследователями,

начиная с XX века и по настоящее время. Например, в начале XX века был сделан ряд попыток по созданию теории подвижности населения, в которой указывалось, что «процент роста подвижности всегда выше процента роста населения, или что рост общего числа пассажиров пропорционален квадрату роста населения». Однако, как показала практика, эта теория оказалась неверной [1].

В таблице 1 приведена краткая характеристика теорий и методов по определению подвижности населения в начале XX века [1, 2].

*Таблица 1 – Краткая характеристика теорий и методов определения подвижности населения в городах в начале XX века*

Наименование теории, метода	Краткая характеристика	Недостатки
Статистическая теория	Статистический учет пассажиропотока (подвижность населения – это интенсивность использования транспорта)	Не учитываются факторы, оказывающие влияние на рост или снижение подвижности населения
Экстраполирование наблюдений за ростом подвижности населения	Выполнение расчетов на основе статистических экстраполяций	Не в полном объеме учитываются социально-экономические факторы, что приводит к ошибочным результатам
Прямая аналогия	Использование прямых аналогий с западно-европейскими и американскими городами	Не учитываются различия социально-экономических условий в городах
Подсчет количества поездок по социальным категориям	Распределение населения по социальным категориям (рабочие, служащие, учащиеся и т. д.)	При определении общего количества поездок используются интуитивные предположения о их наличии

Анализ таблицы 1 показал, что первые попытки разработки и учета показателя «Подвижность населения» имели ряд серьезных недостатков, которые приводили к ошибочным результатам, так как в основном опирались на интуицию исследователя и не учитывали в полном объеме различные факторы. Однако благодаря данным методам были выявлены различные факторы, оказывающие влияние на уровень подвижности населения, среди которых экономические, социокультурные, а также возрастной состав и др., что позволило в дальнейшем наметить перспективы развития транспортных систем городов и их пригородных зон.

#### Список литературы

- 1 Зильберталь, А. Х. Проблемы городского пассажирского транспорта / А. Х. Зильберталь. – М.–Л. : Гострансиздат, 1937. – 277 с.
- 2 Петров, В. К. Городской транспорт / В. К. Петров, В. Г. Сосынец. – М.–Л. : Наркомхоз РСФСР, 1939. – 292 с.

УДК [656.025.2:325.1]”19”

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОДВИЖНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ И ИХ ПРИГОРОДНЫХ ЗОН В СЕРЕДИНЕ XX ВЕКА

*Т. А. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Уровень транспортного обслуживания населения городов и их пригородных зон во многом зависит от подвижности населения, что выражается числом передвижений в год на одного жителя и является одной из важнейших социальных характеристик образа жизни городского населения. При этом, чем больше численность населения города, тем больше в нем возможностей для удовлетворения культурно-бытовых потребностей человека, а следовательно, и больше подвижность его жителей. В связи с этим разработке методик по определению данного показателя для различных видов транспорта придается большое значение, начиная с XX века и по настоящее время. Следует отметить, что представленные в исследованиях во второй половине XX века характеристики показателя «Подвижность населения» актуальны и в XXI веке.

Сравнительный анализ некоторых методик по определению подвижности населения в середине XX в., проживающего как в городах, так и их пригородных зонах, приведен в таблице 1 [1, 3, 5, 6].

Таблица 1 – Сравнительный анализ методик по определению подвижности населения

Автор методики	Краткая характеристика	Недостатки
Давидович В. Г.	Аналитический расчетный способ определения подвижности населения в городах, исходя из передвижений и поездок в сутки с трудовыми и культурно-бытовыми целями по каждой группе трудящихся с учетом режима труда и отдыха в году (количество рабочих дней в неделе, дни отпуска, отдыха и т. д.)	Учет влияния большого числа меняющихся факторов, что затрудняет использование методики
Черепанов В. А.	Анкетное и талонное обследования передвижений населения города для определения годового объема пассажиропотоков как суммы перевозок постоянного городского населения, пригородных, дальних и местных пассажиров	Возникновение погрешностей из-за неполного соответствия результатов талонного и анкетного опросов реальным значениям
Самойлов Д. С.	Функциональное зонирование территории города в пределах пешеходной доступности, исходя из структуры общегородских магистралей с последующим отдельным суммированием уличного и внеуличного транспорта и составлением сводных пассажиропотоков на основе принципа наименьших затрат	Необходимость постоянного определения коэффициентов неравномерности перевозок, зависящего от количества населения и его состава, а также посещаемости культурно-бытовых объектов
Молодых И. А.	Построение транспортных систем для пассажирских пригородно-городских сообщений крупных городов	Необходимость разработки интегральных показателей работы пассажирского транспорта с учетом системы организации скоростных сообщений

Помимо вышеизложенного следует отметить комплексные исследования маятниковых трудовых миграций и их связи с развитием систем расселения, которые широко представлены в период с 1973 по 1976 г. в научных трудах Курмана М. В., Ванды Л. Э., Гольца Г. А., Голована К. А. и Романенковой Г. М., разработавших методики по количественной и качественной оценке трудовых ресурсов, а также пространственной мобильности населения [2, 4].

Таким образом, сравнение методик показало, что изменение условий жизни населения как в городах, так и их пригородных зонах вызывают необходимость уточнения и конкретизации представления об уровне и качестве их транспортного обслуживания.

#### Список литературы

- 1 Гольц, Г. А. Анализ и классификация распределений трудовых передвижений населения по дальности в городах и пригородных зонах / Г. А. Гольц // Тр. Ин-та комплексных трансп. проблем. – 1968. – Вып. 9.
- 2 Гольц, Г. А. Транспорт и расселение / Г. А. Гольц. – М.: Наука, 1981. – 248 с.
- 3 Давидович, В. Г. Планировка городов и районов / В. Г. Давидович. – М.: Стройиздат, 1964. – 326 с.
- 4 Курман, М. В. Актуальные проблемы демографии / М. В. Курман. – М.: Статистика, 1976. – 220 с.
- 5 Самойлов, Д. С. Городской транспорт / Д. С. Самойлов. – М.: Стройиздат, 1983. – 384 с.
- 6 Черепанов, В. А. Транспорт и градостроительство / В. А. Черепанов. – М.: Стройиздат, 1964. – 392 с.

УДК 656.2.08.002.52 (470)

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРНИКЕТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Т. А. ВЛАСЮК, Л. А. ГОНЧАРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*


Для обеспечения безопасности пассажиров на железнодорожных вокзалах Российской Федерации как основного элемента инфраструктуры железнодорожного транспорта применяют различные меры, в том числе технологические, например, устройство турникетов, позволяющих не только рассредоточить, но и управлять пассажиропотоками. Особенно это актуально при входе на пассажирскую платформу, являющейся местом повышенной опасности, где возможно столпотворение пассажиров при посадке в поезда. В связи с этим целесообразно применение распашных турникетов, обеспечивающих равномерный проход к вагонам, а также раздвижных турникетов, устанавливаемых на входах для регулирования пассажиропотока в час пик (таблица 1).



Таблица 1 – Краткая характеристика турникетов, обеспечивающих безопасность и разделение пассажиропотока на железнодорожных вокзалах

Тип турникета	Конструкционные особенности	Назначение
<p data-bbox="252 284 450 309">Турникет – трипод</p> 	<p data-bbox="555 284 1078 528">Универсальность. Возможность выбора способа крепления для максимально эффективной защиты прохода. Автоматизация процесса пропуска (возможность считывания информации с пластиковых карт). Определение режима прохода (свободный или однократный, двусторонний или односторонний). Подсчет количества проходов через турникет и прочее</p>	<p data-bbox="1106 284 1396 416">Установка в помещениях вокзала различной планировки, включая нестандартную (например, залы ожидания)</p>
<p data-bbox="296 665 405 689">Тумбовый</p> 	<p data-bbox="555 665 1078 719">Возможность установки в ряд, без дополнительных ограждений</p>	<p data-bbox="1106 665 1396 775">Использование в качестве преграждающих устройств при входе в вокзал или на пассажирскую платформу</p>
<p data-bbox="288 1032 413 1057">Створчатые</p> 	<p data-bbox="555 1032 1078 1111">Комфорт для проходящих пассажиров. Возможность подачи тревожного сигнала на пост охраны</p>	<p data-bbox="1106 1032 1396 1137">Обеспечение разделения пассажиропотока при входе в вокзал или на пассажирскую платформу</p>
<p data-bbox="296 1270 405 1294">Роторный</p> 	<p data-bbox="555 1270 1078 1348">Возможность дополнительной защиты. Обеспечение полной защиты от несанкционированного проникновения</p>	<p data-bbox="1106 1270 1396 1348">Установка в помещениях вокзала с большими пассажиропотоками</p>

Окончание таблицы 1

Тип турникета	Конструкционные особенности	Назначение
<p>Калитка</p> 	<p>Модель в виде карусели (ось с одной лопастью, которая может быть приведена в движение как вручную охранником, так и автоматически)</p>	<p>Организация одностороннего прохода (например, к билетным кассам)</p>

Следует отметить, что турникеты позволяют исключить безбилетный проход пассажиров.

Таким образом, при помощи турникетов можно минимизировать чрезмерное скопление пассажиров на железнодорожных вокзалах, избежать больших очередей в билетные кассы и повысить безопасность пребывания в залах ожидания. Применение турникетов особенно актуально в период пандемии, так как при их помощи возможно регулирование заполняемости помещений вокзалов на различных видах транспорта и соблюдение дистанции между пассажирами.

#### Список литературы

1 О пользе турникетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://newsnn.ru/news/society/07-04-2009/o-polze-turniketov>. – Дата доступа : 23.09.2021.

2 Турникеты для вокзалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://turnikets.ru/tipovye-resheniya/turnikety-dlya-vokzalov>. – Дата доступа : 23.09.2021.

УДК 656.224.072.4(512.31)

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОКЗАЛАХ ГУАНЧЖОУ

*Т. А. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*ЦЗЭН СЯНЬФЭН*

*Гуанчжоуский профессионально-технический колледж  
железнодорожного транспорта, Китайская Народная Республика*

Город Гуанчжоу (провинция Гуандун) является одним из крупнейших мегаполисов КНР, численность которого превышает 12 млн человек. В настоящее время г. Гуанчжоу интенсивно развивающийся крупнейший торгово-промышленный, научно-технический, образовательный, культурно-исторический и транспортный центр страны, расположенный на юге материкового Китая, который связан регулярными железнодорожными маршрутами со многими городами Китая (рисунок 1).



Рисунок 1 – Высокоскоростное железнодорожное сообщение Гуанчжоу с городами КНР

При организации высокоскоростного движения на железнодорожном транспорте вокзал следует рассматривать как важнейший элемент в системе обслуживания пассажиров, где зарождаются и погашаются пассажиропотоки. При этом основная задача заключается в выполнении технологических операций по распределению многочисленных потоков пассажиров, прибывающих или отправляющихся согласно маршрутов следования. Эта проблема в г. Гуанчжоу решается на четырех железнодорожных вокзалах: Центральном, Восточном, Южном и Северном. Распределение пассажиропотоков по прибытию и отправлению осуществляется за счёт специализации платформ. Следует отметить, что каждый вокзал имеет свое функциональное назначение, исходя из скоростных характеристик подвижного состава и типа станции (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика железнодорожных вокзалов Гуанчжоу с учетом особенностей распределения пассажиропотоков

Наименование вокзала	Функциональное назначение	Направления следования	Особенности распределения пассажиропотоков
Центральный (Guangzhou Railway Station)	Отправление поездов дальнего следования	Пекин, Маомин, Чжухай, Ухань	Отправление происходит с верхних уровней вокзала; прибытие – на нижние; существует также зона для транзитных пассажиров
Восточный (Guangzhou East Railway Station)	Отправление скоростных поездов CRH до Шэньчжэня и границы с Гонконгом. Конечная станция для поездов железных дорог Гуан-Жиу, Гуан-Шаня, Жиу-Цзюлун	Гуанчжоу-Шэньчжэнь; Гуанчжоу – Мэйчжоу – Шаньтоу	Вертикальная система организации пространства: первый этаж – для пассажиров Шэньчжэнь и Цзюлун; второй этаж – кассы для пассажиров дальнего следования; третий этаж – кассы и залы ожидания для пассажиров, следующих на Коулун; третий этаж – зал ожидания для пассажиров внутренних рейсов, а также регистрации для пассажиров, следующих на Цзюлун
Южный (Guangzhou South Railway Station)	Отправление скоростных поездов	Пересадочная станция и конечная остановка между Гуанчжоу – Шэньчжэнь – Гонконг XRL, Гуанчжоу – Маомин, Междугородняя железная дорога Гуанчжоу – Чжухай и ВС Пекин – Гуанчжоу	Вертикальная система организации пространства: подземный этаж – подземный гараж; первый этаж – для пассажиров, следующих в Ухань, Чжухань, Шэньчжэнь; второй этаж – VIP-залы ожидания; третий этаж – зал ожидания и коммерческая зона
Северный (Shenzhen North Station)	Отправление скоростных и сверхскоростных поездов. Промежуточная станция высокоскоростной железной дороги Ухань – Гуанчжоу	Ухань – Гуанчжоу Пекин – Гуанчжоу	Отправление происходит с верхних уровней, прибытие – на нижние; существует также зона для транзитных пассажиров

Вертикальная система организации пространства на железнодорожном вокзале формирует его как многофункциональный комплекс и обеспечивает наиболее полное разделение путей движения пассажиров, а также компактное размещение офисов по продаже билетов (билетные кассы), залы ожидания и т. д. (рисунок 2).



Рисунок 2 – Вертикальная планировка пространства железнодорожного вокзала

Следует отметить, что в КНР существует особый режим допуска на перрон и пройти к поезду можно только к моменту его подачи, а на станциях, которые поезда проезжают без остановки, на перроне и пассажирских платформах можно наблюдать только служащих вокзала. Согласно требованиям безопасности, на железнодорожном транспорте КНР не допускается свободного доступа на пассажирские платформы с поездами, как в Республике Беларусь или СНГ, а формирование пассажиропотоков на конкретные поезда осуществляется у внутренних термина-

лов внутри вокзала, где наблюдается скопление большого количества людей, которые ежедневно прибывают и отправляются с железнодорожных вокзалов. В связи с этим для распределения пассажиропотоков на железнодорожных вокзалах устраивают турникеты (рисунок 3).



Рисунок 3 – Распределение пассажиропотока на железнодорожном вокзале по зонам обслуживания

Помимо вышеперечисленных особенностей, следует также отметить, что на входе в вокзал проверяют как билет, так и сумки-багаж, и пассажирам необходимо пройти лично через рамку контроля (рисунок 4).



Рисунок 4 – Выход пассажиров на перрон (Северный железнодорожный вокзал г. Гуанчжоу)

Можно сказать, что формула «вокзал только для пассажиров» остаётся основным исходным положением, определяющим стратегию работы железнодорожных вокзалов г. Гуанчжоу.

Таким образом, опыт работы железнодорожных вокзалов г. Гуанчжоу Китайской Народной Республики, показывает, что для повышения эксплуатационных качеств и уровня удобств, предоставляемых пассажирам, необходимо строгое функциональное зонирование основных участков и помещений вокзала с выделением из них следующих характерных зон:

- путей пешеходного движения;
- участков и зон, предназначенных для осуществления различного рода операций (с учетом степени возможной концентрации пассажиров в очередях) и размещения учреждений так называемого попутного обслуживания;
- непроходных участков, помещений и зон, предназначенных для кратковременного отдыха и ожидания пассажиров.

#### Список литературы

1 Покацкая, Е. В. Пассажирский железнодорожный комплекс. Вокзалы : учеб. пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / Е. В. Покацкая, А. С. Левченко. – Самара : СамГАПС, 2007. – 66 с.

2 Как устроен китайский вокзал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fishki.net/52109-kak-ustroen-kitajskij-vokzal-34-foto.html>. – Дата доступа : 23.09.2021.

## ПОДГОТОВКА ВОДИТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*В. И. ЖУКАЛОВ*

*Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*

Урбанизированная территория – характерная черта нашего времени. Из-за стремительного роста городского населения идет постоянное развитие производственных территорий, транспортных и инженерных сооружений. Отрицательными моментами урбанизации является увеличение этажности, плотности застройки, сокращение размеров придомовых территорий. Большинство пожаров происходит именно в городской черте. По этой причине оснащение подразделений по чрезвычайным ситуациям современной пожарной техникой должно поддерживаться на высоком уровне. Содержание пожарной аварийно-спасательной техники в постоянной боевой готовности и ее грамотная эксплуатация требует от водительского состава качественных знаний, умений и навыков. Для достижения этой цели в Гомельском филиале Университета гражданской защиты МЧС Беларуси реализуется программа профессиональной подготовки рабочих по профессии 8332-001 «Водитель автомобиля» (уровень квалификации – 6-й разряд). Обучение осуществляется путем профессиональной подготовки водителей, имеющих право управления автомобилями, отнесенными к категории механических транспортных средств «С» либо «СЕ».

Основные требования, предъявляемые к профессии водителя пожарной аварийно-спасательной техники, изложены в едином тарифно-квалификационном справочнике работ и профессий рабочих [1]. Вместе с тем в ведомственных нормативных правовых актах Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь более полно раскрыты обязанности водителя при несении им дежурной службы в подразделениях [2–4]. Для изучения всего разнообразия выполняемых водителем пожарного автомобиля обязанностей учебным планом предусмотрено изучение таких профессиональных дисциплин, как «Безопасность дорожного движения», «Основы конструкций автомобиля», «Основы безопасного ведения работ и оказания первой помощи».

Изучение вопросов дисциплины «Безопасность дорожного движения» призвано повысить уровень знаний водителей в области обеспечения безопасности дорожного движения при управлении служебным транспортом оперативного назначения МЧС и умений по грамотному ориентированию и принятию обдуманных решений в различных дорожно-транспортных ситуациях.

Дисциплина «Основы конструкций автомобиля» призвана сформировать знания по назначению, устройству, принципу действия агрегатов, механизмов, приборов и оборудования, установленных на пожарном автомобиле. Основные задачи обучения: изучить общее устройство автомобиля, функциональное назначение, устройство, принцип действия и особенности конструкции агрегатов, механизмов, приборов и оборудования современных пожарных автомобилей, алгоритмы управления и правила эксплуатации водопенными коммуникациями пожарных автоцистерн.

Целями изучения дисциплины «Основы безопасного ведения работ и оказания первой помощи» являются формирование профессиональной компетентности по обеспечению здоровых и безопасных условий труда работников подразделений по чрезвычайным ситуациям, формирование знаний и умений по оказанию первой помощи пострадавшим с различными формами повреждений, готовности к профессиональной практической деятельности по решению задач экстренного реагирования в чрезвычайных ситуациях, формирование профессиональных компетенций работников по ведению аварийно-спасательных работ с использованием аппаратов со сжатым воздухом.

С целью закрепления и конкретизации результатов теоретического обучения, приобретения слушателями умений практической работы предусмотрена программа производственного обучения, во время прохождения которой водители получают необходимый объем умений для успешной работы на специальных агрегатах и ином оборудовании автомобиля МЧС, для выполнения работ по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, в том числе с использованием аппаратов со сжатым воздухом, а также научатся безопасно управлять автомобилем МЧС оперативного назначения. Для лучшего усвоения знаний, умений и приобретения навыков производственное обучение чередуется с теоретическим обучением и проводится профессорско-преподавательским составом в подгруппах с количеством слушателей не более 15 человек. Практическая отработка при-

емов вождения пожарного автомобиля проводится на автодроме индивидуально под руководством старшего инструктора-водителя.

Непосредственно при прохождении водителями производственной практики формируются профессиональные компетенции в области безопасного управления пожарными автомобилями оперативного назначения, по работе на специальных агрегатах пожарного автомобиля при ликвидации чрезвычайных ситуаций. В период прохождения слушателями производственной практики выполняется квалификационная пробная работа, включающая в себя упражнения, максимально приближенные к выполняемым в боевой работе: следование к месту чрезвычайной ситуации с соблюдением правил дорожного движения, движение автомобиля по элементам автодрома и работа на пожарном автомобиле при ликвидации чрезвычайной ситуации.

Итоговая аттестация слушателей проводится с целью подтверждения результатов освоения содержания учебного плана профессиональной подготовки рабочих по профессии 8332-001 «Водитель автомобиля» (уровень квалификации – 6-й разряд) и проводится в форме квалификационного экзамена. Для проведения квалификационного экзамена создается квалификационная комиссия. Состав квалификационной комиссии утверждается приказом руководителя в количестве не более трех человек. В состав комиссии могут включаться представители областных (Минского городского) управлений МЧС, представители заинтересованных организаций. На основании результатов сдачи экзамена по теоретическим дисциплинам и оценки выполнения квалификационной пробной работы квалификационная комиссия принимает решение о присвоении слушателю квалификационного разряда по профессии.

Таким образом, выстроенная система подготовки водителей пожарных автомобилей призвана обеспечить оперативность реагирования подразделений МЧС на чрезвычайные ситуации различного уровня.

#### Список литературы

1 Об утверждении выпуска 52 Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих : постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь, 25.11.2003 г. № 147 : в ред. постановления М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь, 22.09.2020 г. № 72 [Электронный ресурс] // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

2 Об утверждении Боевого устава органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по организации тушения пожаров : приказ М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 4 янв. 2021 г. № 1 [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа : <http://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа : 15.05.2021.

3 Об утверждении Устава службы органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь : приказ М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 4 янв. 2021 г. № 2 [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа : <http://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа : 18.10.2021.

4 Об утверждении Правил безопасности в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь : приказ М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 27.06.2016 г. № 158 [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа : 18.10.2021.

5 Об утверждении Правил организации технической службы в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь : приказ М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 22 дек. 2009 г. № 162 : в ред. приказа М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 30 дек. 2016 г. № 329 [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа : <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа : 18.10.2021.

УДК 656.224.072

## ПРОВОДНИК КАК ГАРАНТ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ

*С. В. ЗАВЬЯЛОВА, А. А. ЗАВЬЯЛОВА*

*Филиал СамГУПС в г. Нижнем Новгороде*

*МБОУ «Школа 60», Ленинский район, г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

В наш век информационных технологий, век развития и внедрения интеллектуальных систем организовывать безопасность пассажирских перевозок стало значительно проще. Человечество осваивает новые технологии и в будущем на железной дороге, возможно, появятся роботы, которые заменят человека по выполнению ряда функций, произойдет исчезновение ряда должностей. Как и

в любой системе, в интеллектуальной системе возможен сбой, поэтому создать наилучшие условия по безопасности пассажиров на железнодорожном транспорте может только человек. Профессия «проводник пассажирского вагона», несмотря на стремительные шаги в развитии технологий, не может быть вытиснутой робототехнологиями.

В обязанности проводника пассажирского вагона входят: следить за размещением пассажиров, обеспечивая их бельем, чаем, кондитерскими изделиями; информировать о прибытии на станции; по графику производить уборку вагона; контролировать работу вентиляции, электрооборудования, освещения, отопления; при необходимости оказывать первую медицинскую помощь, помогать пенсионерам и людям с ограниченными возможностями; наблюдать за поведением пассажиров, соблюдением правил в железнодорожном транспорте [1].

Из этого следует, что проводнику пассажирского вагона необходимо обладать такими качествами, как пунктуальность, коммуникабельность, ответственность, тактичность, организованность, обладание быстрой реакцией, внимательность, четкая речь, трудолюбие [1].

Профессия «проводник пассажирского вагона» включает и дополнительные профессии: электрика, фельдшера, официанта, а также и психолога, для того чтобы разрешать или предотвращать конфликтные ситуации, уметь находить индивидуальный подход к каждому пассажиру, обеспечивая спокойную, комфортабельную и безопасную поездку пассажиров.

В филиале Самарского государственного университета путей сообщения в городе Нижнем Новгороде организованы курсы обучения проводников, на которых обучаются студенты среднего профессионального образования.

Из собственных впечатлений работы проводником в студенческие годы Сергей Ксюнов вспоминает: «Работа проводником для меня оказалась несложной, все получалось. Главное для проводника – это умение общаться с людьми, быть своего рода психологом, а также следить за сигналами, знать железнодорожные инструкции и **обеспечивать безопасность проезда пассажиров**. Работа проводником многообразна. Ты не сидишь на одном месте, как в офисе. У тебя нет монотонности жизни, каждый день новые города, новые люди. Некоторые торговцы на станциях стали мне друзьями, увидев в очередной раз, дешевле продавали арбузы, дыни, рыбу. Главное в работе проводника – умение взаимодействовать с людьми» [2].

Благодарные пассажиры оставили приятные отзывы о работе Сергея: «Знает свое дело хорошо!», «Все было на высоком уровне», «Отличное профессиональное обслуживание и быстрая реакция на просьбы», «Забота не по обязанности, а от души!», «Сергей очень вежливый, отзывчивый, доброжелательный, внимательный и заботливый; отмечаю его обаяние и вежливость в общении». Сергей, работая проводником, внимательно выслушивал заказы пассажиров на обеды, ничего не забывал и не перепутывал, что особенно важно в поездке на отдых, чтобы не испортить пассажирам настроение. Безупречное обслуживание было им организовано, и чистота в салоне и туалетах соблюдалась. У всех пассажиров было отличное настроение [2].

Выпускник Нижегородского техникума железнодорожного транспорта Антон Павлов вспоминает: «Работа проводником – это ответственная и важная работа! Честно говоря, думаю, что попробовать стоит и не нужно бояться. Главное помнить, что своих минусов хватает везде, и от них никуда не уйдешь». Многие пассажиры оставляли и свои отзывы, к примеру, «Выражаем благодарность проводнику поезда номер 339 вагон номер 2 Антону за компетентное обслуживание, хорошее отношение, за чистоту в вагоне и отзывчивость; у тебя не простая работа, все мы разные. Ты большой молодец! Желаем тебе хороших пассажиров (адекватных)», август, 2019 г. [3].

Из всего сказанного следует, что огромная ответственность за успешную поездку возлагается на проводника пассажирского вагона. В пути следования могут быть разные ситуации, поэтому необходимо поддерживать благоприятную обстановку в течение всего следования пути, а это возможно только человеку, так как живое общение не может заменить робот. Человеку свойственно быстро улаживать конфликтные ситуации, умение находить выход из любой сложившейся ситуации мгновенно.

#### Список литературы

1 Проводник поезда [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://profitworks.com.ua/professii/transportnaya-sfera/provodnik-poezda>. – Дата доступа : 17.09.2021.

2 Ксюнов, С. В. Работа в частной компании АО ТК «Гранд Сервис Экспресс» / С. В. Ксюнов, С. В. Завьялова // Молодая мысль третьего тысячелетия : материалы XIII Межрегиональной студ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 26 марта 2021 г., Улан-Уде / Улан-Удэнский колледж железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «ИрГУПС». – Улан-Уде, 2021. – С. 155–157.

УДК 656.211.089:614.842/.847

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СПЕЦТРАНСПОРТА НА ПЕРРОНЕ И ПАССАЖИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*С. В. ИВАНОВ, В. В. КОПЫТКОВ*

*Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, г. Гомель*

В современном мире развитие транспорта играет решающую роль в организации социальной коммуникации, в вопросах материального, информационного и иных видов обеспечения жизнедеятельности. При этом, начиная с середины XIX века, с развитием темпов промышленной и индустриальной революции различные виды транспорта в своем совершенствовании сделали огромный скачок. Данный факт является неоспоримым плюсом, однако уже в то время появились примеры того, как правила обеспечения безопасности на транспорте попросту не успевали за развитием этого самого транспорта.

Как известно, одним из самых безопасных видов транспорта является железнодорожный, развитие которого зависит от окружающей инфраструктуры, объемов пассажирских и грузовых перевозок, габаритами подвижного состава, а также близостью расположения инфраструктуры от жилых, общественных и административных зданий и сооружений. Это напрямую влияет на состояние и требования безопасности, так как любое несоблюдение установленного регламента, отступление от предписанных правил влечет за собой непрогнозируемые и чаще всего отрицательные последствия.

При возникновении пожара на железнодорожном транспорте, товарных и сортировочных станциях руководитель тушения пожара должен провести следующие организационные работы [1]:

- установить местонахождение подвижного состава, наличие людей и принятые меры к их эвакуации; вид груза в горящем и соседних с ним вагонах, принятые меры к расцепке и отводу соседних вагонов, поездов, обесточиванию электрических сетей;
- поддерживать постоянную связь с дежурным по отделению дороги, привлекая его для выяснения обстановки и консультации по вопросам эвакуации вагонов и передвижения поездов, при необходимости потребовать полное прекращение движения железнодорожного транспорта в районе проведения работ;
- до начала тушения в районе прохождения контактных электросетей потребовать оформления в установленном порядке письменного допуска;
- использовать пути и способы прокладки рукавных линий с учетом движения или маневрирования поездов, осуществляя прокладку рукавных линий, как правило, под рельсами и вдоль путей;
- с учетом особенностей железнодорожного транспорта назначить лиц, ответственных за соблюдение требований правил безопасности;
- при наличии опасных грузов, потребовать у машиниста аварийную карточку и принять соответствующие меры по защите личного состава;
- установить наличие угрозы соседним поездам, возможность вывода всего состава или отдельных горящих вагонов в безопасное место;
- организовать при необходимости защиту и отвод негорящих вагонов из состава или смежных путей из опасной зоны, в первую очередь вагонов с людьми, взрывчатыми и отравляющими грузами, цистерн с ЛВЖ, ГЖ и ГГ;
- при растекании горячей жидкости организовать устройство обваловки участка или лотков для стока горячей жидкости в безопасное место;
- при недостатке воды и невозможности подъезда к месту пожара, необходимого количества технических средств МЧС потребовать подачу пожарного поезда.

Несмотря на безопасность железнодорожного транспорта и четкий алгоритм действий при ликвидации ЧС всегда будут иметься форс-мажорные факторы, которые предусмотреть невозможно (наличие водоисточников и возможность подъезда спецтранспорта при возгорании железнодорожного состава в пути следования).



С целью минимизации финансовых и людских потерь в нормативных документах МЧС и БелЖД [1, 2] предложен типовой план действий.

При получении сигнала о пожарах в подвижном составе в пути следования работникам МЧС взаимодействовать с соответствующими службами железной дороги для отправки к месту пожара маневровых локомотивов, пожарных и ремонтно-восстановительных поездов, платформ для погрузки пожарных автомобилей и цистерн с водой к месту пожара, обесточивания электросети и снятия остаточного напряжения с контактных проводов; на месте тушения пожара принять меры по остановке движения поездов, для чего немедленно выслать в двух направлениях на расстояние не менее 1 км сигнальщиков, оснастив их средствами связи и средствами для подачи сигналов.

В то же время необходимо учитывать и специфику объектов железнодорожного транспорта: организация работы спецтранспорта в местах массового нахождения людей, на перронах и пассажирских платформах. Причем для каждого вида спецтранспорта могут быть рассмотрены как общие, так и индивидуальные требования. Например, задача для большинства спецслужб – как можно быстрее и ближе подъехать к месту вызова – будет общей, однако, исходя из габаритов и специфических задач каждого вида техники, исполнение и решение данного требования уже будет отличаться.

Кроме нормативной документации и проведения совместных учений, как показывает практика, для успешной ликвидации ЧС необходимо предусмотреть следующие конструктивные особенности:

- должен быть обеспечен въезд на перрон и пассажирскую платформу, в том числе беспрепятственный проезд по ним и подъезд к подвижному составу для выполнения задач;
- перроны и железнодорожные платформы должны быть оборудованы безбарьерной средой для организации транспортировки пострадавших и (или) оборудования;
- места для посадки и высадки пассажиров следует конструктивно отделить от стоянок наливных составов и составов с опасными грузами, взрывопожароопасных объектов;
- при наличии контактных сетей необходимо оборудовать и обозначить места возможного заземления техники и экстренного обесточивания при тушении пожаров и ликвидации ЧС;
- следует определить места прокладки пожарных рукавов при тушении возможных пожаров, для исключения их повреждения подвижным составом, оборудованием и иными факторами (как правило, под рельсами и вдоль железнодорожных путей);
- перроны и железнодорожные платформы должны быть оборудованы системой оповещения, которая при необходимости может использоваться при ликвидации ЧС (оповещение задействованного личного состава, подача сигналов и т. д.);
- железнодорожные платформы, предназначенные для загрузки (разгрузки) грузовых составов, должны быть оборудованы стационарными установками пожаротушения либо сухотрубами для использования пожарной техникой.

Данные мероприятия позволят минимизировать риски и обеспечить безопасную эксплуатацию железнодорожного транспорта и сопутствующей инфраструктуры, а также оптимизировать работу транспорта специальных служб при выполнении соответствующих задач.

#### Список литературы

- 1 Об утверждении Боевого Устава ОПЧС РБ : приказ МЧС № 1 от 04.01.2021.
- 2 Об утверждении Инструкции по тушению пожаров на подвижном составе на железнодорожном транспорте : приказ БелЖД № 133Н от 26.03.2009.

УДК 656.021/.022+656.13.05

### **ВНЕДРЕНИЕ ПЛАНА УСТОЙЧИВОЙ МОБИЛЬНОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИМБИОТИЧЕСКОГО ГОРОДА**

*Д. В. КАПСКИЙ, В. Н. КУЗЬМЕНКО, Д. В. МОЗАЛЕВСКИЙ, А. В. КОРЖОВА,  
А. С. КРАСИЛЬНИКОВА, М. Г. КАРАСЕВА, А. А. КУСТЕНКО  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Сравнение данных об интенсивности движения транспортных средств в городах Полоцк и Новополоцк в 2018 и 2021 годах показывает, что в среднем в основных транспортных узлах в 2021 году в утренний час пик зафиксирована интенсивность движения ниже на около 10 %, чем в 2018

году. Данные об интенсивности движения для вечернего часа пик в 2018 и 2021 годах примерно равны. Но это обусловлено тем, что измерения интенсивности движения в 2018 году выполнялись в период с 16 до 17 часов, что не совсем соответствует реальному вечернему часу «пик» в этих городах. Поэтому реальные значения интенсивности движения в вечерний час пик в 2018 году были бы выше примерно на 10 % по сравнению с вечерними пиковыми значениями 2021 года. Следовательно, в основном из-за пандемии COVID-19, в целом произошло снижение интенсивности движения в пиковые и межпиковые периоды на 10 %, по сравнению с 2018 годом. Кроме общего снижения интенсивности движения можно отметить и значительное перераспределение транспортных потоков по улицам. Особенно это характерно для центральной части города Полоцка. В городе Полоцке после реализации мер по успокоению движения на ул. Коммунистической (устройство островков безопасности, специализированных искусственных неровностей, кольцевых пересечений малого радиуса) интенсивность движения транспортных средств на перекрестке ул. Коммунистическая – ул. Гоголя снизилась приблизительно на 50 %. После строительства кольцевой развязки на пересечении ул. Юбилейной – пр-та Ф. Скорины упростились условия выполнения левого поворота со стороны моста и интенсивность движения в указанном направлении увеличилась (и снизилась в прямом направлении). Организация поворота налево с ул. Зыгина с двух полос позволила повысить пропускную способность перекрестка, снизить длину очереди, уменьшить задержки и остановки транспорта и тем самым снизить объем выбросов от автомобилей на перекрестке ул. Богдановича – ул. Зыгина.

Выделение специализированных левоповоротных полос на ул. Зыгина от ул. Богдановича до регулируемого пешеходного перехода позволила снизить задержки транзитного транспортного потока и за счет повышения равномерности движения уменьшить объем выбросов от автомобилей. Реализация мероприятий по сдерживанию скорости на ул. Коммунистической (реализовано) и устройство островков безопасности на ул. П. Бровки (в процессе реализации) снижает вероятность и тяжесть последствий аварий с участием пешеходов и велосипедистов. Устройство координированного управления на участке ул. Зыгина, ул. Октябрьской позволило снизить задержки и остановки транспорта, повысить равномерность движения транспортного потока и уменьшить выбросы от автомобилей. Корректировка организации движения на перекрестке ул. Октябрьской и ул. Е. Полоцкой позволила повысить пропускную способность перекрестка за счет запрещения некоторых левых поворотов, и организации левоповоротного движения с двух полос с ул. Е. Полоцкой в сторону ул. Зыгина.

Устройство координированного управления на участке ул. Молодежной (от Заводского проезда до Калинина) в г. Новополоцке позволило уменьшить задержки и остановки транспорта и снизить выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ. Необходимо отметить, что Проектом было реализовано координированное управление светофорными объектами и на другом участке ул. Молодежной (от ул. Василевцы до Заводского проезда). Но по требованию ГАИ г. Новополоцка с целью сохранения существующих пешеходных фаз на некоторых перекрестках (организация движения без внутрифазных конфликтов поворотный транспорт – пешеход) мероприятия по координированному управлению транспортным потоком на данном участке ул. Молодежной были отменены.

В данный момент на указанном участке отсутствует координация, и жители города, участвовавшие в анкетировании, отметили данный недочет в координированном управлении по ул. Молодежной. Также хочется отметить, что закрытие нерегулируемых пешеходных переходов через ул. Молодежную и устройство меньшего количества регулируемых переходов является не всегда оптимальным решением. С одной стороны, уменьшилось количество конфликтных точек, увеличилась скорость транспортного потока, снизились выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ, но, с другой стороны, был создан дискомфорт для пешеходов и велосипедистов, нарушены сформировавшиеся траектории движения. В результате на данный момент некоторые пешеходы нарушают и переходят улицу в местах закрытых нерегулируемых пешеходных переходов (у магазина Дионис, например). Люди, которые ранее пользовались данными переходами, решение по закрытию переходов оценивают крайне негативно. Нарушениям также способствуют оставшиеся недемонтированными благоустроенные подходы (из тротуарной плитки и асфальтобетона) к закрытым переходам.

Проектом реализован участок совместной пешеходной и велосипедной дорожки на ул. Зыгина, где велосипедная дорожка находится выше в высотных отметках, чем пешеходная дорожка. Такой вариант разделения по высоте совместных пеше-велодорожек выполнен впервые в Республике Беларусь. Неоднозначную реакцию у респондентов вызвали мероприятия по устройству обособлен-

ной велодорожки на проезжей части на ул. Коммунистической, поскольку, по их мнению, практически отсутствует движение велосипедистов по ней. Интенсивность движения велосипедистов в 2018 г. измерялась в апреле при неблагоприятных погодных условиях, поэтому суммарное увеличение числа велосипедистов отчасти учитывает и межсезонные изменения популярности велосипеда.

Сравнение данных об интенсивности движения велосипедов в городах Полоцк и Новополоцк в 2018 и 2021 годах показало, что интенсивность движения велосипедистов в 2021 году больше, чем в 2018 году. На некоторых перекрестках интенсивность велосипедистов увеличилась в 3–5 раз. Но в реальности с учетом того, что измерения в 2018 году проводились в апреле при неблагоприятных погодных условиях, а в 2021 году в мае в теплые дни, то количество перемещений на велосипедах с целью дом – работа существенно не изменилось. Увеличение количества велосипедистов произошло в первую очередь в вечернее время – велосипед используется для прогулочных целей, поскольку мероприятия по развитию велосипедной сети были выполнены в центральной части и в рекреационных зонах, а наиболее удаленные зоны города пока не включены в единую маршрутную велосипедную сеть городов, что сдерживает развитие велодвижения. Результаты анкетирования показывают, что среди реализованных Проектом мероприятий нету ярко выраженных лидеров (более 70 % одобрения), кому бы респонденты отдавали наибольший приоритет. Наибольшее одобрение получили мероприятия по устройству велодорожки в г. Новополоцке вдоль р. Западная Двина (31,5 % респондентов считают данное мероприятие наиболее значимым).

Также хотелось бы отметить, что в процессе реализации Проекта наилучшим мероприятием с учетом обеспечения устойчивой мобильности было устройство в г. Полоцке полосы для городского пассажирского транспорта на ул. Богдановича, ул. Зыгина и ул. Октябрьской на период закрытия и ремонта моста на ул. Юбилейной, которое позволило максимально снизить задержки для пассажирского транспорта при проезде данного участка улиц, а также послужило причиной пересадки некоторых жителей с личного транспорта на пассажирский на период закрытия моста. В целом за время реализации проекта улучшены условия движения для пешеходов и велосипедистов (понижен бортовой камень, устроены вело-пешеходные дорожки в парках и местах отдыха, обособленные велодорожки на проезжей части, обновлены существующие велодорожки), для увеличения привлекательности городского пассажирского транспорта установлены новые остановочные павильоны, выделены полосы для автобусов и маршрутных такси, для уменьшения задержек транспорта выполнены работы по реконструкции транспортных узлов, по корректировке разметки на перекрестках и улицах, по координированному управлению светофорными объектами. По независящим от Проекта причинам не удалось соединить Полоцк и Новополоцк велодорожкой, проходящей через д. Экимань, а также снизить задержки транспорта и уменьшить неудобства жителей г. Полоцка на железнодорожных переездах.

Стоит отметить, что не все мероприятия по улучшению организации дорожного движения и повышению безопасности движения оцениваются положительно большинством жителей, поскольку новые, не совсем понятные, непривычные решения воспринимаются человеком с опаской. Поэтому стоит организовывать встречи, на которых необходимо общаться с жителями и объяснять, почему реализуемые мероприятия принесут пользу, а также учитывать мнение жителей при реализации проектов – в комментариях опроса респонденты отмечали, что им не хватает информации о планируемых мероприятиях и проектах до начала их реализации. При организации такого диалога между жителями и властью одобрение изменений в городе будет увеличиваться.

УДК 656.025.6

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ СИМБИОТИЧЕСКОГО ГОРОДА**

*Д. В. КАПСКИЙ, В. Н. КУЗЬМЕНКО, Д. В. МОЗАЛЕВСКИЙ,  
А. С. КРАСИЛЬНИКОВА, М. Г. КАРАСЕВА, А. А. КУСТЕНКО  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Исследование подвижности населения, как одного из важнейших показателей транспортного обслуживания населения, проводилось в виде электронного анкетирования [1–3]. Для этого на официальных сайтах городов Полоцка и Новополоцка были размещены ссылки на электронную анкету, которая также распространялась и посредством социальных сетей.

Результаты проведенного опроса по изучению структуры мобильности жителей городов Полоцка и Новополоцка в 2021 году приведены на рисунках 1–8. При этом количество жителей двух городов, заполнивших анкету, следующие : Полоцк – 48,8 %, Новополоцк – 47,5 %, пригород – 3,7 %.

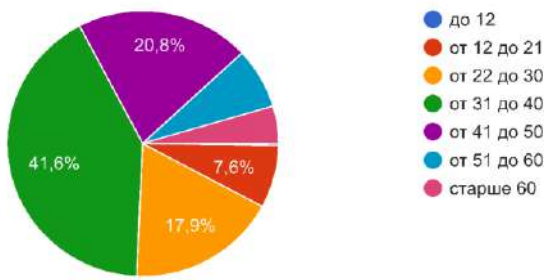


Рисунок 1 – Возраст респондентов

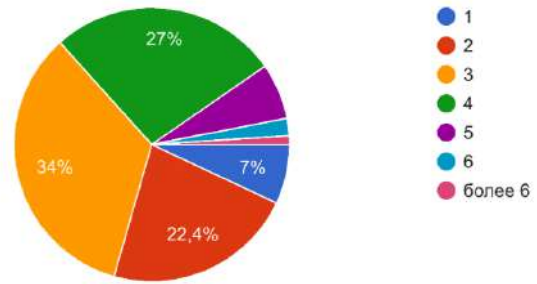


Рисунок 2 – Количество членов в семье респондентов

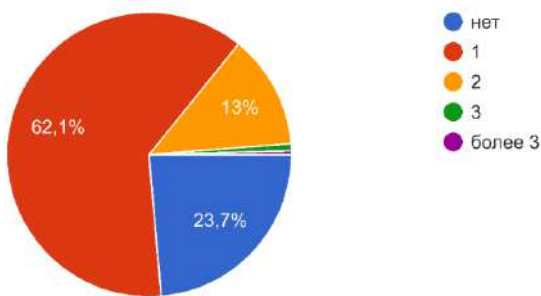


Рисунок 3 – Количество автомобилей в семье респондентов

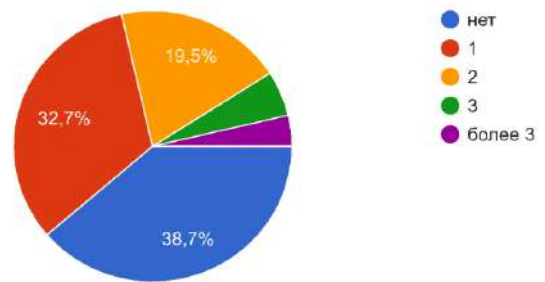


Рисунок 4 – Количество велосипедов в семье респондентов

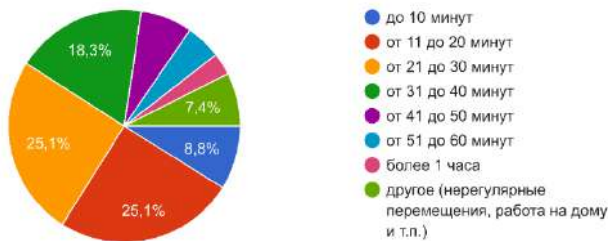


Рисунок 5 – Время, затрачиваемое респондентом на передвижения от дома до места работы

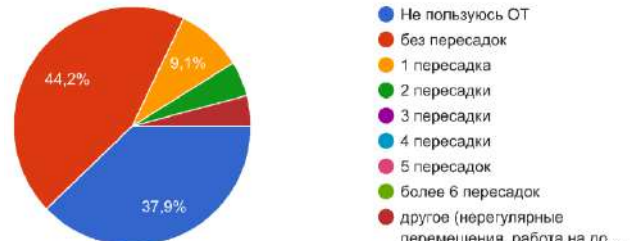


Рисунок 6 – Количество пересадок, совершающих респондентами в городском пассажирском

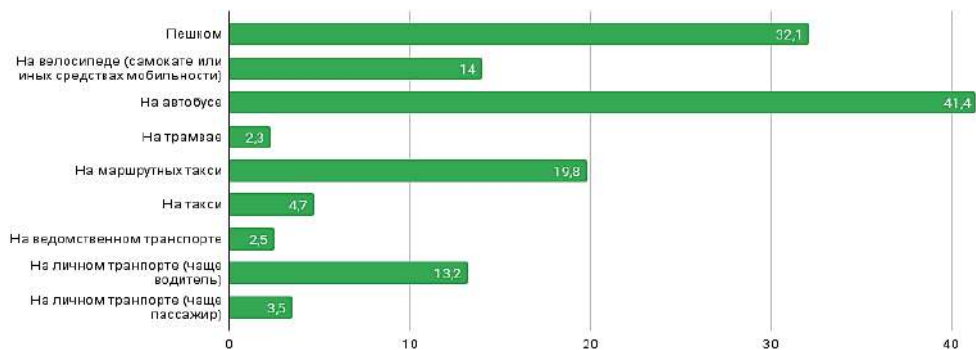


Рисунок 7 – Предпочтения респондентов по выбору вида транспорта для перемещений из дома на работу (в %-м соотношении к общему числу респондентов)

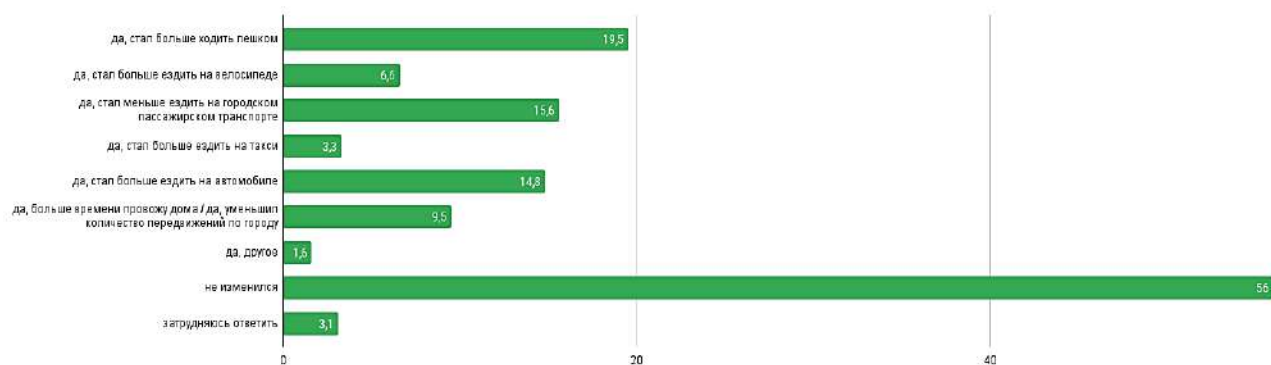


Рисунок 8 – Изменения предпочтений при перемещении респондентов из-за COVID-19

Анализ результатов проведенного анкетирования показал, что наиболее мобильной группой городского населения являются граждане в возрасте от 31 до 40 лет (41,6 %). При этом время, затрачиваемое респондентом на передвижения от дома до места работы, составляет в среднем от 11 до 30 минут. 44,2 % населения совершают поездки в городском пассажирском транспорте на работу (учёбу) без пересадок и 37,9 % респондентов вообще не пользуются общественным транспортом. Следует отметить, что для 56 % населения не произошло изменений предпочтений при перемещении из-за COVID-19.

Таким образом, полученные результаты позволяют уточнить и конкретизировать сложившуюся ситуацию по транспортному обслуживанию в городах Полоцк и Новополоцк в период сложных санитарно-эпидемиологических условий и наметить программу по дальнейшему совершенствованию городских маршрутов с учетом транспортной доступности социально значимых для населения объектов.

#### Список литературы

- 1 **Ваксман, С. А.** Систематизация показателей транспортных систем городов. Общие показатели / С. А. Ваксман, Н. Г. Кочнев // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург : АМБ, 2007. – С. 248–257.
- 2 **Капский, Д. В.** Повышение безопасности движения путем совершенствования его организации в населенных пунктах (методологические основы) / Д. В. Капский // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 16–17 июня 2009 г. / Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург, 2009. – С. 143–147.
- 3 **Капский, Д. В.** Транспорт в планировке городов : пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». В 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2019. – Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.

УДК 656.078:338.47

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ СИМБИОТИЧЕСКОГО ГОРОДА

*Д. В. КАПСКИЙ, В. Н. КУЗЬМЕНКО, Д. В. МОЗАЛЕВСКИЙ,  
А. С. КРАСИЛЬНИКОВА, М. Г. КАРАСЕВА*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

**Постановка проблемы.** В мире продолжается поиск вариантов оценки качества транспортных систем. Так, многие страны, в т. ч. и Беларусь, стремятся изменить энергетический баланс производства и потребления энергии в пользу электрической. США, Япония, Корея, Германия, Англия, Франция, Китай и др. страны включили освоение гибридных и электротехнологий на транспорте в число национальных приоритетов и оказывают этому направлению серьезную господдержку. Необходимо оценить эффективность мер по совершенствованию транспортной системы, которые включают не только мероприятия по повышению безопасности дорожного движения, но и снижению вредных выбросов, увеличения доли использования электротранспорта и популяризации маршрутного пассажирского транспорта, изменения способов передвижения СИМ, внедрению сетевых систем координированного управления, и пр. Необходимо разработать методологию исследования и индикаторы

эффективности реализации комплекса мероприятий. Разработана схема проведения мониторинга эффективности реализованных мероприятий по устойчивой мобильности в городах Полоцк и Новополоцк по индикаторам эффективности реализации транспортных мероприятий.

Методология исследования эффективности реализуемых мероприятий представлена совокупностью методик расчета по каждому индикатору с учётом условий Республики Беларусь и представленных стратегических материалов.

Методики расчета прямого сокращения выбросов CO<sub>2</sub> от транспортных мероприятий. Все методики для расчета прямого сокращения выбросов CO<sub>2</sub> могут быть сгруппированы в две категории: нисходящий подход и восходящий подход.

Нисходящий подход основывается на общем потреблении топлива транспортом и прямом мониторинге транспортных выбросов.

Восходящий подход основывается на транспортной деятельности. Использование любого из подходов определяется доступностью исходных данных.

С учетом местных условий выбран восходящий подход.

Прямое сокращение выбросов CO<sub>2</sub> в Проекте является разностью суммарных объемов эмиссии выбросов между базовым и реализованными транспортными мероприятиями с последующей оценкой выполнения проектных прогнозных показателей. Исходя из реализованных мероприятий по развитию общественного транспорта в исследуемых городах были рассмотрены модель ТЕЕМР («Модель для оценки выбросов от транспортных проектов»), которая опирается на унифицированные рекомендации по таким видам работ ГЭФ, и «модальная модель», адаптированная к условиям Республики Беларусь и применяемая в нормативной документации.

Алгоритмы расчета обеих рассмотренных моделей позволяют определить значение ожидаемого эффекта от реализуемых мероприятий. Возможность применения алгоритмов расчета обусловлена получением адекватных значений для исходных данных.

Для реализованных мероприятий расчет эмиссии выбросов CO<sub>2</sub> можно выполнить по «модальной модели», адаптированной к условиям Республики Беларусь и применяемой в нормативной документации (ТКП 17.08-03-2006 с изменениями 1, 2, 3). Исходными данными в модели служат транспортные издержки при разных режимах движения.

На указанных участках будут выполнены замеры интенсивности движения транспортных, пешеходных и велосипедных потоков для утреннего и вечернего пика, скорости движения ТП в аналогичные временные периоды, а также параметры пассажиропотоков и средние скорости сообщения ГПТ. Полученные данные будут использованы для расчета показателей эффективности реализованных мероприятий в Проекте.

**Заключение.** Разработана методология исследования по каждому индикатору эффективности реализованных Проектом мероприятий по устойчивой мобильности в г. Полоцк и в г. Новополоцк. Разработаны методические рекомендации и схема проведения мониторинга эффективности реализованных Проектом мероприятий, в том числе по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>. Подготовлена анкета для проведения исследования подвижности населения и опроса жителей г. Полоцка и г. Новополоцка по вопросам удовлетворенности от реализации транспортных мероприятий Проекта. Предложен перечень площадок для размещения анкеты.

УДК 656.02:303.62 (476.5)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МНЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДОВ ПОЛОЦКА И НОВОПОЛОЦКА ПО ВОПРОСАМ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УСТОЙЧИВОЙ МОБИЛЬНОСТИ**

*Д. В. КАПСКИЙ, В. Н. КУЗЬМЕНКО, Д. В. МОЗАЛЕВСКИЙ,  
А. С. КРАСИЛЬНИКОВА, М. Г. КАРАСЕВА, А. А. КУСТЕНКО  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Качество планировочных решений, реализованных в городах, в большей степени определяют не только безопасность дорожного движения в целом, но и мобильность населения, а также его предпочтения по выбору транспортного средства для передвижения. В связи с этим в 2021 году было проведено анкетирование жителей городов Полоцка и Новополоцка с целью изучения их мнения о работе го-

родского пассажирского транспорта и совершенствования организации дорожного движения. Результаты опроса согласно электронных анкет посредством социальных сетей приведены на рисунках 1–18.

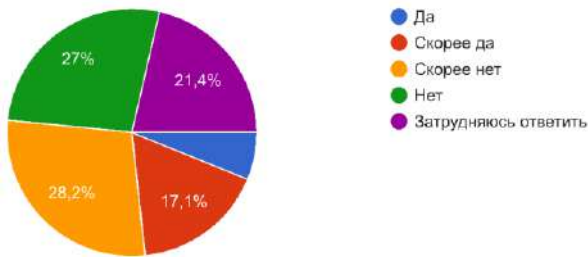


Рисунок 1 – Улучшилась ли работа городского пассажирского транспорта в городе в последнее время по мнению респондентов

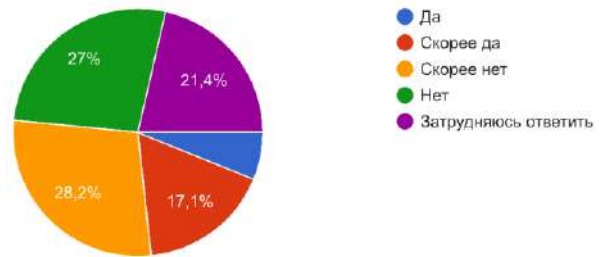


Рисунок 2 – Важно ли соблюдение расписания движения городского пассажирского транспорта по мнению респондентов

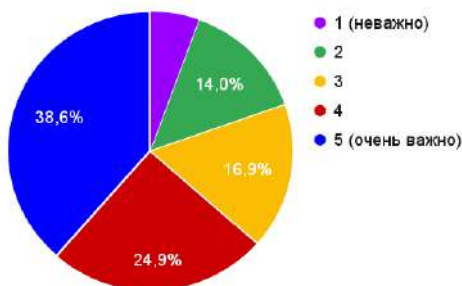


Рисунок 3 – Важна ли скорость перемещения городского пассажирского транспорта по мнению респондентов

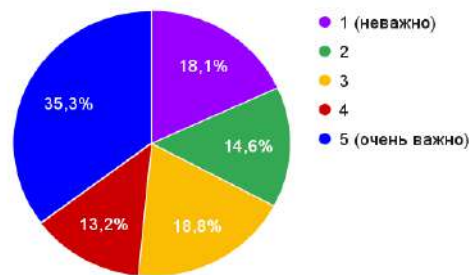


Рисунок 4 – Важна ли единая система оплаты проезда для двух городов по мнению респондентов

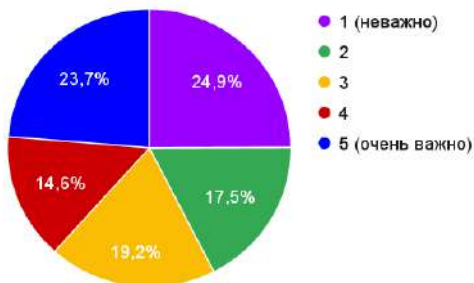


Рисунок 5 – Важна ли возможность оплаты проезда с помощью мобильных приложений по мнению респондентов

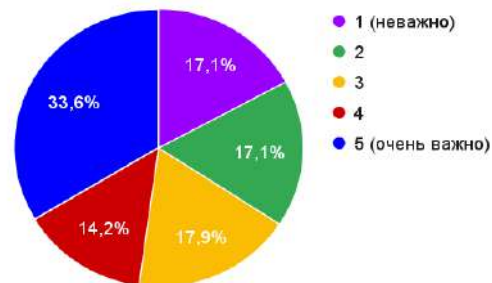


Рисунок 6 – Важно ли наличие онлайн-информации о времени прибытия транспорта (в телефоне) по мнению респондентов

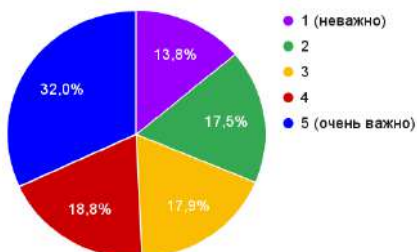


Рисунок 7 – Важно ли наличие электронных табло на остановочных пунктах с реальным временем прибытия транспорта по мнению респондентов

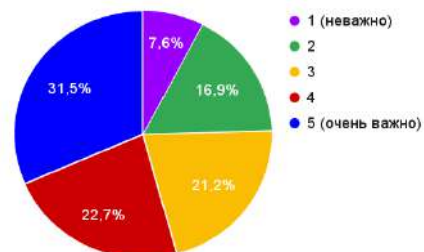


Рисунок 8 – Важно ли обустройство остановочных пунктов (комфортные павильоны, удобные подходы и т. п.) по мнению респондентов

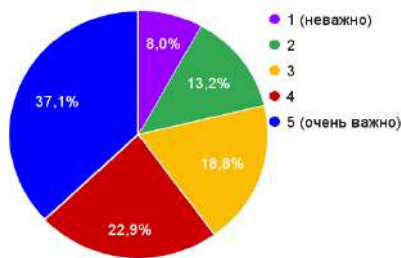


Рисунок 9 – Важен ли комфортный подвижной состав (кондиционирование салона, низкопольность, удобные кресла и т. п.) по мнению респондентов

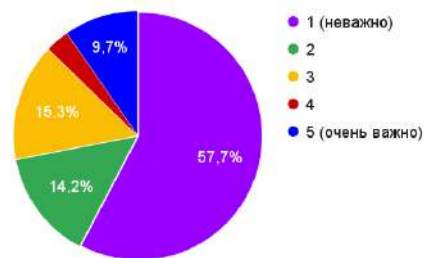


Рисунок 10 – Важна ли единая окраска подвижного состава по мнению респондентов

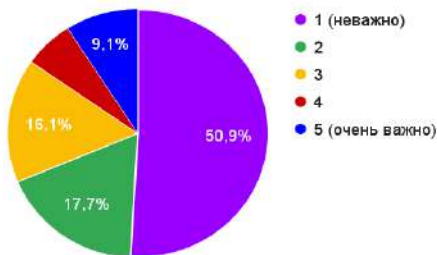


Рисунок 11 – Важно ли наличие Wi-Fi в салоне/ на остановочном пункте по мнению респондентов

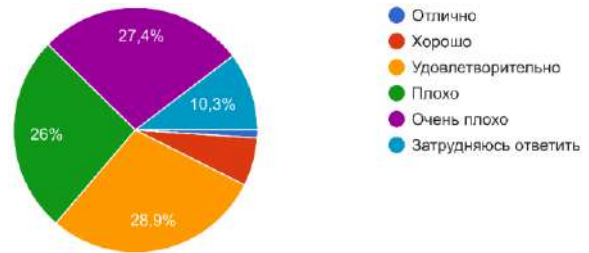


Рисунок 12 – Оценка качества и полноты информации о маршрутах на остановочных пунктах по мнению респондентов

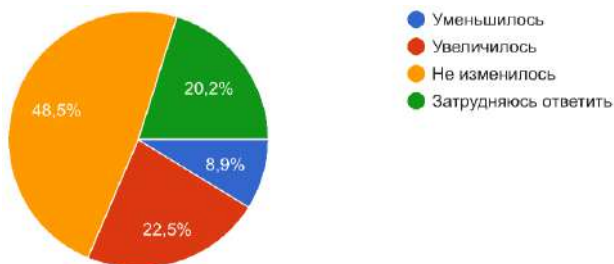


Рисунок 13 – Изменилось ли время перемещения между начальными и конечными пунктами маршрутов в последнее время по мнению респондентов

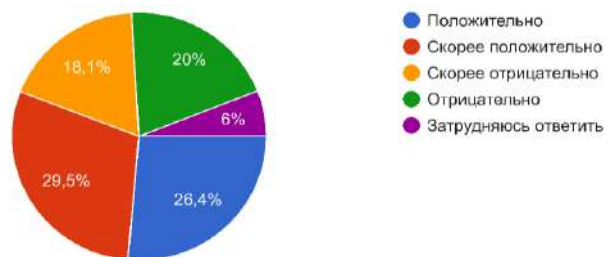


Рисунок 14 – Отношение респондентов к выделению полос для автобусов и обеспечению приоритета городского пассажирского транспорта

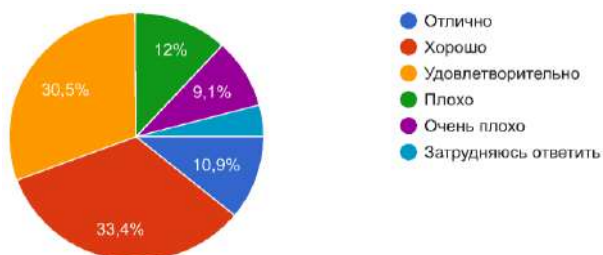


Рисунок 15 – Отношение респондентов к установленным новым павильонам на остановочных пунктах

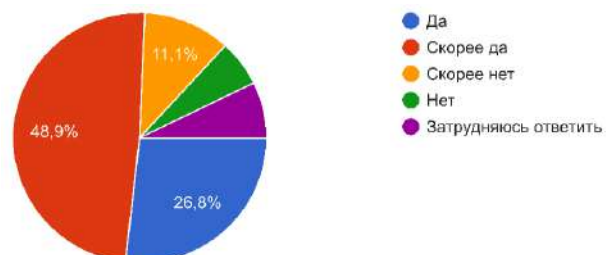


Рисунок 16 – Удобство расположения остановочных пунктов по мнению респондентов

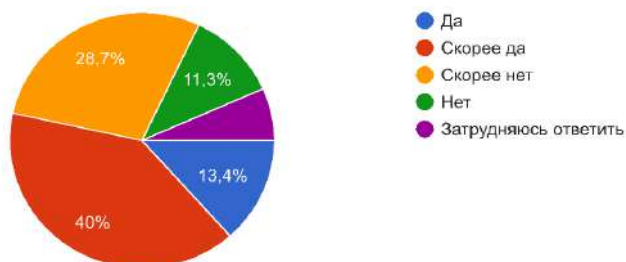


Рисунок 17 – Является ли городской пассажирский транспорт удобным и комфортным для ежедневных перемещений по мнению респондентов



Рисунок 18 – Готовы ли респонденты пересесть на городской пассажирский транспорт для ежедневных перемещений



Выполненный анализ показал, что необходимо улучшение работы городского пассажирского транспорта, о чем отмечают 28,2 %. При этом одним из важнейших элементов его работы, по мнению 67,8 % респондентов, является соблюдение расписания движения городского пассажирского транспорта и скоростного режима (38,6 %). Респондентами также отмечается важность применения единой системы оплаты проезда для двух городов (35,3 %). При этом 23,7 % респондентов используют возможность оплаты проезда с помощью мобильных приложений, а 33,6 % – рассматривают наличие онлайн-информации о времени прибытия транспорта (в телефоне) как значимый фактор улучшения работы городского транспорта. Следует отметить, что для 28,7 % анкетированных городской пассажирский транспорт не является удобным и комфортным для ежедневных перемещений и 28,9 % респондентов не готовы пересесть на городской пассажирский транспорт для ежедневных перемещений.

Таким образом, анкетирование показало, что необходимо совершенствование работы городского пассажирского транспорта с учетом современных условий и требований к планировочной сети, а также создания комфортных условий поездки.

#### Список литературы

- 1 Горев, А. Э. Основы теории транспортных систем : учебное пособие / А. Э. Горев. – СПб. : СПбГАСУ, 2010. – 214 с.
- 2 Капский, Д. В. Повышение безопасности движения путем совершенствования его организации в населенных пунктах (методологические основы) / Д. В. Капский // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 16–17 июня 2009 г. / Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург, 2009. – С. 143–147.
- 3 Капский, Д. В. Транспорт в планировке городов: пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» : в 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск: БНТУ, 2019. – Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.

УДК 656.18:711.7

### ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ В СИМБИОТИЧЕСКОМ ГОРОДЕ

*Д. В. КАПСКИЙ, В. Н. КУЗЬМЕНКО, Д. В. МОЗАЛЕВСКИЙ, А. В. КОРЖОВА  
А. С. КРАСИЛЬНИКОВА, М. Г. КАРАСЕВА, А. А. КУСТЕНКО  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

В настоящее время формирование и развитие симбиотических городов является актуальным направлением градостроительства не только за рубежом, но и в Республике Беларусь, о чем свидетельствуют современные концепции реформирования городов, основанные на симбиозе урбанистических и природных элементов. При этом проектные предложения должны решать существующие в городе экологические проблемы, нейтрализовать и преобразовать их путем симбиотического воздействия.

Рассмотрим на примере проекта «Зеленые города» устройство велодорожек в городах Новополоцк и Полоцк для уменьшения негативного воздействия от автотранспортных средств. Так, общая протяженность велодорожек в городе Новополоцке составляет 25,5 км, из которых проектом «Зеленые города» построено 12,6 км. Общая протяженность велодорожек в городе Полоцке составляет 15 км, из которых Проектом «Зеленые города» построено 6,5 км. Результаты расчета удельной протяженности велодорожек до и после реализации мероприятий проекта приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Оценка протяженности велодорожек

Город	Протяженность велодорожек, км (до реализации Проекта)	Протяженность велодорожек, км (после реализации Проекта)	Удельная протяженность велодорожек, км на 100 000 жителей (до реализации Проекта)	Удельная протяженность велодорожек, км на 100 000 жителей (после реализации Проекта)
Новополоцк	12,9	25,5	12,0	26,0
Полоцк	8,5	15	10,0	18,6
Суммарно по двум городам	21,4	40,5	11,1	22,6

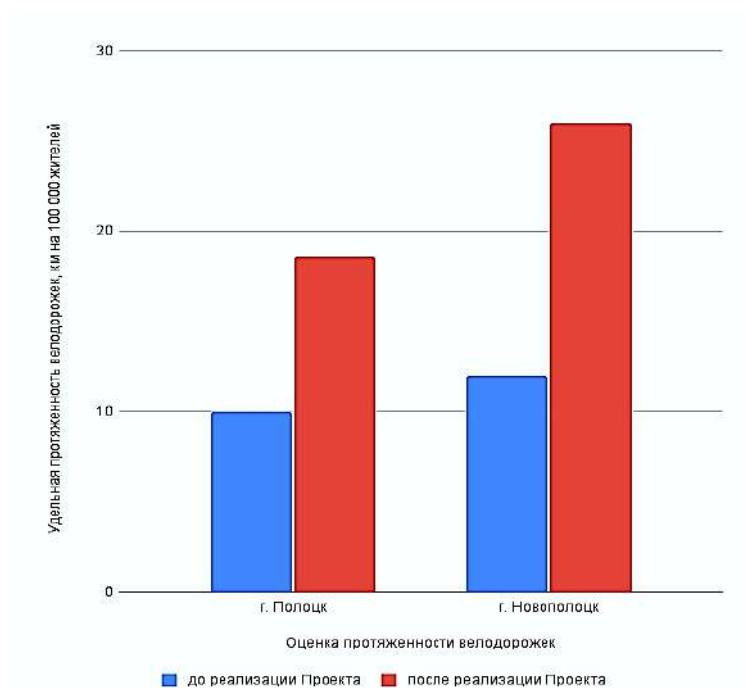


Рисунок 1 – Диаграмма изменения удельной протяженности велодорожек в г. Новополоцке и г. Полоцке

Транспортные проблемы в час пик возникают из-за краткосрочного резкого увеличения интенсивности движения транспортных средств, которая превышает пропускную способность некоторых участков уличной сети. В таком случае снижается скорость потока, увеличивается время в пути, возрастает очередь транспортных средств перед «узким» участком. По результатам реализации мероприятий были улучшены условия движения на пяти перекрестках в г. Полоцке и шести пешеходных переходах в г. Новополоцке.

Результаты расчета количества поездок на городском пассажирском транспорте на душу населения приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2 – Количество поездок на городском пассажирском транспорте на душу населения в г. Полоцке и Новополоцке с динамикой по годам

Город	Количество поездок на душу населения			
	2017	2018	2019	2020
Новополоцк	188	201	190	152
Полоцк	166	170	164	138

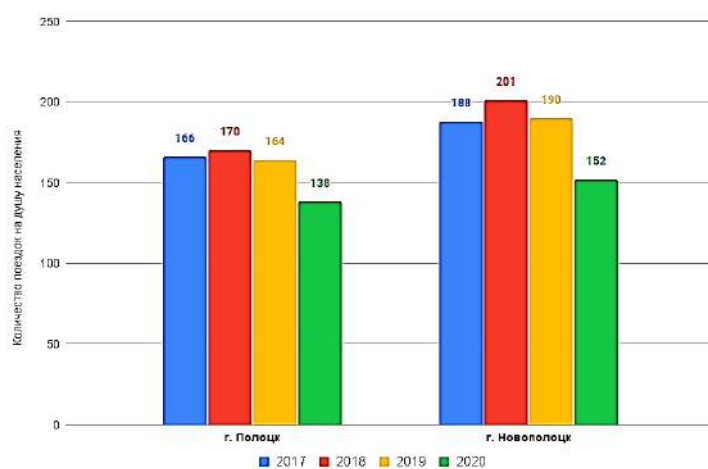


Рисунок 2 – Диаграмма изменения количества поездок в городском пассажирском транспорте на душу населения в г. Новополоцке и г. Полоцке

Таким образом, развитие велосипедного транспорта и учёт интересов велосипедистов в организации дорожного движения является мощным стимулом для развития велосипедного движения и повышения уровня велокультуры и, как следствие, понимание обществом экологических, экономических и валеологических преимуществ велосипеда. При этом необходимо отметить, что велосипедный транспорт в городской транспортной системе имеет свою нишу по расстоянию и скорости движения, что позволяет его рассматривать как самостоятельный вид транспорта по обеспечению пассажирских перевозок.

#### Список литературы

- 1 Велосипедный транспорт в городах : [монография] / Ю. В. Трофименко [и др.]. – М. : МАДИ, 2020. – 154 с.
- 2 Трофименко, Ю. В. Оценка эколого-экономического эффекта от развития велосипедного движения в крупных городах / Ю. В. Трофименко, А. Б. Галышев // Автотранспортное предприятие – М., 2015. – № 4. – С. 29–31.

УДК 656.022:711.7

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СЕТИ ГОРОДСКОГО МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

*Д. В. КАПСКИЙ*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*С. В. СКИРКОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный город представляет собой чрезвычайно сложный, саморазвивающийся организм, пытающийся сделать свою транспортную систему более устойчивой, в частности, за счет развитой системы маршрутного пассажирского транспорта, которая позволяет устойчиво развиваться городу. Однако, учитывая, что именно транспортная система города и городская логистика несет ответственность за повышенный уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, городской шум, заторы на дорогах и аварийность, именно она должна стать основным направлением для непрерывного устойчивого экономического роста городских систем за счет оптимизированной системы маршрутного пассажирского транспорта. Именно такая система способна негенерировать лишних поездок, исключить излишние поездки на индивидуальном транспорте, повысить привлекательность маршрутного пассажирского транспорта и в целом мобильность населения, для чего необходимо правильно формировать такую сеть с учетом развития средств индивидуальной мобильности и немоторизованного транспорта.

Современный мир становится все более урбанизированным. В течение последних 100 лет мир пережил быструю урбанизацию [1]. Начиная с 2007 года, более половины населения мира живет в городах [2]. Согласно докладу ООН, посвященному изучению перспектив урбанизации, к 2050 году около 70 % жителей нашей планеты будут проживать в городах. Это создаст новые вызовы к планированию городского пространства и стратегий бизнес-сообщества в плане обслуживания конечных потребителей (распределения товаров в розничных точках и обеспечение интернет-продаж), с одной стороны, и обеспечения рабочей силой предприятий, планирование развития общественного транспорта как стороны муниципалитетов, так и совокупности коммерческих услуг (такси, аренда транспортных средств, коммерческие маршруты) – с другой. При этом, согласно данным Всемирного Банка, именно города и мегаполисы генерируют 80 % глобального ВВП и являются центрами экономического и социального взаимодействия. Однако на них также приходится и около 70 % глобальных выбросов углерода и более 60 % использования ресурсов [3]. Продолжающийся рост городского населения повлияет на расширение городских территорий, что увеличит спрос на грузовой и пассажирский транспорт. Несмотря на то, что урбанизация создает новые возможности как для мигрантов, так и для владельцев городского бизнеса, она также сопряжена с множеством проблем. В Республике Беларусь за последние 20 лет количество автомобилей увеличилось в 4 раза и превысило 3 млн единиц [4]. Этот рост вызвал ряд проблем, связанных с увеличением нагрузки на дорожную сеть, особенно в городах [5]. Снизилась скорость сообщения, ухудшились режимы движения, появились перегрузки, возросло количество аварий. Согласно итогам переписи населения

2019 года в Республике Беларусь проживают 9 413 446 человек [6]. Население Беларуси за 20 лет сократилось почти на 631,8 тыс. человек, при этом городских жителей стало больше. Так, количество городского населения увеличилось с 6 961 516 человек в 1999 году до 7 299 989 в 2019-м, что составляет более 77,5 % от общей численности населения. Сельских жителей, наоборот, стало меньше примерно на 970 тыс. человек: с 3 083 721 до 2 113 457. Именно поэтому качество транспортных систем выходят на первый план, принося не только положительные, но и отрицательные эффекты в городскую жизнь (рисунок 1).

Таким образом, это динамичное развитие городских территорий из-за быстрой урбанизации создает серьезные проблемы для предоставления транспортных услуг растущему населению. В связи с этим необходима трансформация городской логистики, требующая комплексного понимания транспортных, экономических, экологических и социальных аспектов для выработки устойчивых решений в сфере планирования и координации потоков товаров (грузов) и пассажиров, личного, маршрутного пассажирского и коммерческого (грузового) транспорта. Безусловно это влечет за собой необходимость создания соответствующей инфраструктуры в черте города с учетом интересов всех заинтересованных сторон (жителей города, бизнес-сообщества, государственных структур, туристов и пр.), а также разработки четких критериев оценки эффективности (операционные затраты на логистику, вложения в инфраструктуру, экологические потери, экономические потери, социальные издержки, уровень сервиса и качества предоставляемых услуг пассажирам, и др.) и устойчивого развития транспортных систем и симбиотических городов в целом, что невозможно без целостно сформированной системы городского пассажирского транспорта.



Рисунок 1 – Подходы к оценке влияние автомобилизации на человека

Существует достаточно много аналогичных методик расчета транспортных систем городов, различающихся подробностью рассмотрения и набором учитываемых факторов. Многие из таких методик предлагаются для курсовых работ в различных высших учебных заведениях, направления обучения в которых связано с градостроительством и транспортным планированием. В основе предлагаемой расчетной схемы лежат подходы, базовые положения которых разработаны М. С. Фишельсоном [7] – основателем советской научной школы транспортно-градостроительного планирования. Разработанные им методические подходы адаптированы к современным условиям на основе практического опыта авторов данного издания. Основа методики – оценка (прогнозирование) транспортного спроса, определяющего проектные и организационные решения в части ГМПТ. При этом важно понимать, что параметры транспортного спроса сами могут являться объектом управления, но данный аспект находится вне зоны рассмотрения рассматриваемой методики.

Существенным допущением многих разработанных методик проектирования систем маршрутного пассажирского транспорта является то, что они ориентированы на создание систем ГМПТ в

новых городах, планировочная структура которых задается в рамках разработки таких проектов. С точки зрения обучения навыкам транспортного планирования такой подход оправдан, но на практике появление новых городов – крайне редкое событие в современном градостроительстве. Поэтому в практической работе полученная в результате расчетов «идеализированная» транспортная система должна быть откорректирована с учетом особенностей сложившейся структуры ГМПТ и маршрутной сети, а также возможностей по реализации разработанных предложений.

Методы оценки транспортного спроса как основы проектирования системы ГМПТ базируются на исследовании замкнутой системы передвижений в городах. Выделение территорий городских агломераций можно производить на основе следующих критериев [8]: высокая территориальная концентрация населения, производственной деятельности и объектов сферы услуг при значительной неоднородности территории по функциям и их плотности; достаточно высокая плотность городского населения и отсутствие значительных разрывов застройки; благоприятная временная транспортная доступность от окраин до центра агломерации (не более 1,5 часов), наличие транспортных коридоров, обеспечивающих успешное взаимодействие разных видов транспорта; значительная доля населения городских населенных пунктов пригородной зоны от общей численности городского населения агломерации (не менее 10 %); наличие массовых маятниковых трудовых, учебных, культурно-бытовых, деловых и рекреационных миграций; значительная доля трудоспособного населения, проживающего в пригородной зоне, но работающего в центре (ядре) агломерации (не менее 15 %); достаточно тесные связи по социально-бытовой и инженерно-технической инфраструктуре; преобладающая взаимодополняемость видов деятельности и территориальных единиц в городской агломерации (что предопределяет развитие тесных связей внутри агломерации); относительная целостность рынков труда, недвижимости, земли в пределах агломерации. Существуют также методики численных расчетов границ зон влияния на основе средневзвешенных показателей интенсивности связей.

На практике сбор информации о территории и транспортной системе в границах агломерации (зоны влияния) может вызывать определенные затруднения, так как статистические данные и данные иных информационных источников группируются по административно-территориальным единицам, границы которых, как правило, не совпадают с границами агломераций. Кроме того, при расчете системы маршрутного пассажирского транспорта на перспективу используемые в качестве источника исходной информации документы территориального планирования также разрабатываются в пределах административных или муниципальных границ. Таким образом, процедура сбора исходной информации может потребовать изучения документации на смежные административно-территориальные единицы, находящиеся в границах агломерации. Отдельно следует обратить внимание на ситуации, при которых рассматриваемый город входит в состав агломерации более крупного города-центра. В этих случаях расчет спроса на передвижения должен учитывать внешние по отношению рассматриваемого города передвижения.

#### Список литературы

- 1 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division // World urbanization prospects: The 2014 revision (ST/ESA/SER.A/366). – New York : Author, 2015.
- 2 **Chester, M. V.** Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains / M. V. Chester, A. Horvath // Environ. Res. Lett. – 2009. – No. 4.
- 3 Цель 11: Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cities/>. – Дата доступа : 10.02.2021.
- 4 Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь в 2020 году : аналитический сб. / сост. Д. М. Корзюк ; под общ. ред. Ю. Г. Назаренко. – Минск : МВД Респ. Беларусь, 2021. – 94 с.
- 5 **Капский, Д. В.** Методология повышения качества дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.
- 6 Подведены итоги переписи населения Республики Беларусь 2019 года [Электронный ресурс] / Новости PRAVO.BY. – Режим доступа : <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2020/september/54414/>. – Дата доступа : 10.02.2021.
- 7 **Овечников, Е. В.** Городской транспорт : учебное пособие для вузов / Е. В. Овечников, М. С. Фишельсон. – М. : Высш. шк., 1976. – 352 с.
- 8 **Лосин, Л. А.** Административно-территориальные преобразования и формирование локальных центров расселения на территории Санкт-Петербургской городской агломерации / Л. А. Лосин, В. В. Солодилов, Г. П. Ляпунова // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – 2020. – № 2 (61).

## ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА РАБОТЫ ВОДИТЕЛЕЙ СПЕЦТРАНСПОРТА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*Д. М. КОВШАР, В. В. КОПЫТКОВ*

*Гомельский филиал Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*

От профессионализма водителя, оперативности его действий зависит как безопасность дорожного движения, так и эффективное использование имеющихся на автомобиле спецагрегатов. Сложные дорожно-транспортные условия вместе с градостроительной планировкой предъявляют высокие требования к подготовке водителя.

В современных автомобилях использованы последние достижения техники, что, с одной стороны, упрощает управление автомобилем, но с другой – возросшие скорости и интенсивность движения вызывают трудности в управлении автомобилем в городских условиях, которые могут превышать психофизиологические возможности человека.

В подготовке водителей спецтранспорта можно выделить два этапа: 1-й этап – при получении категории В или С будущий водитель изучает не только конструкцию автомобиля, но и проходит практическое вождение на автодромах и городских улицах. Проходя курс обучения на автодроме, обучающиеся учатся водить автомобиль по ограниченным проездам, в стесненных условиях, отрабатывают приемы преодоления препятствий. Развитие умения вести автомобиль в стесненных условиях – в узких проездах, на крутых поворотах – необходимо современному водителю спецтехники, потому что это требует реальная обстановка, характеризующая возрастающими плотностями транспортных потоков. Однако лица, осуществляющие эксплуатацию спецмашин, должны иметь не только соответствующую конструкцию базового шасси автомобиля и практическую подготовку вождения, но и знать технические характеристики, принцип работы и конструкцию имеющихся на автомобиле спецагрегатов (насосы, нефтеналивное оборудование и т. п.). Такая подготовка является дополнительной, её проводят после получения соответствующих прав, а длительность зависит от вида спецтранспорта. И это является вторым этапом обучения.

Помимо технологических навыков, водитель обязан обладать отличным здоровьем и оперативным мышлением, которое помогает своевременно принимать верные решения. У него должно быть отличное зрение, во избежание различных проблем при перевозке людей и транспортировке грузов. Помимо этого водитель спецтранспорта обязан владеть прекрасным глазомером, поскольку от его решения будет зависеть жизнь и здоровье не только сотрудников, но и других участников дорожного движения.

Также в данном случае отлично подойдут и другие качества, широко применяемые во всех сферах работы. Стрессоустойчивость, выносливость к физическим нагрузкам, самообладание и дисциплинированность – это обязательные черты, которые должны присутствовать у каждого водителя спецтранспорта. Водитель обязан в кратчайшие сроки все тщательно взвесить и начать действовать, поскольку от его запинки зависит не только жизнь человека, но и эффективность работы всего предприятия, защита окружающей среды. Поэтому перед тем, как преступать ко второму этапу обучения, водители проходят дополнительное медицинское освидетельствование.

Качество профессиональной подготовки водителей в большей степени зависит не только от оснащённости учебных учреждений, но и пригодности и профессиональной ориентации человека к конкретному виду трудовой деятельности.

Современные технологии позволяют формировать определенные навыки водителей спецтранспорта на динамическом тренажере, который состоит из двух основных частей: рабочего места обучающегося и системы воспроизведения окружающей обстановки.

Рабочим местом обучающегося служит макет кабины водителя со всеми расположенными органами управления. Реальная обстановка кабины вместе с шумами и вибрациями от работающих агрегатов создает фон для выработки правильных рабочих приемов. Компьютерная программа позволяет модулировать различные условия вождения, такие как дорожные, погодные условия, плотность дорожного потока, состояние дорожного покрытия, смена дня и ночи. Каждое рабочее место можно рассматривать как тренажер, предназначенный для подготовки водителей определенных видов ра-

бот, учитывая их назначение, габариты, скорость передвижения с использованием световой и звуковой сигнализации.

А главное, необходимо широкое распространение и внедрение в учебный процесс специальных тренажеров, а точнее тренажерных комплексов, что безусловно повысит эффективность учебного процесса в качественной подготовке водителей специальных транспортных средств и сделает обучение более безопасным.

#### Список литературы

1 О некоторых вопросах автомобильных перевозок пассажиров : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 июня 2008 г. № 972.

2 Правила автомобильных перевозок пассажиров : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.06.2008 № 972.

3 Об утверждении Правил по обеспечению безопасности перевозки опасных грузов автомобильным транспортом : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 17 мая 2021 г. № 35.

УДК 656.025.2.004

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРТФОЛИО-АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТРАНСПОРТА

*Ю. И. КУЛАЖЕНКО, Т. А. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для оценки безопасности пассажирских перевозок на различных видах транспорта может быть применен портфолио-анализ, который в настоящее время находит широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека как в отечественной, так и зарубежной практике. При этом в отличие от сложившихся методов оценки портфолио-анализ позволяет смещать акценты от жестких факторов традиционных подходов к более гибким условиям альтернативных вариантов.

Рассмотрим особенности применения портфолио-анализа для оценки безопасности пассажирских перевозок на различных видах транспорта, который позволяет оценить как количественные, так и качественные показатели, на основе построения диаграмм исходя из предпочтений пассажиров согласно опросов. Для этого на шкалу (плоскость) наносятся точки (оценки в виде плюсов) и по их расположению делается анализ сложившейся ситуации. Точки (плюсы), наносимые на шкалу, – это признаки, с помощью которых характеризуется показатель (таблица 1).

*Таблица 1 – Пример портфолио-анализ для оценки безопасности пассажирских перевозок на различных видах транспорта*

Признак	Слабая сторона					Сильная сторона				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Комфорт поездки			+					+	+	
Ценовая политика		+							++	
Услуги		+	++							
Сервис для пассажиров			+						++	
Доступность		+	+							+
Квалификация работников										+++
Имидж									++	+
Время поездки			+						+	+
Рекламная деятельность			+						+	+
Безопасность транспортного средства			+	+						+
Безопасность поездки			+	+						+
Безопасность инфраструктуры			+++							

*Примечание – Синий цвет – автомобильный транспорт, красный – железнодорожный, зеленый – воздушный.*

Таким образом, портфолио-анализ наглядно показывает преимущества и недостатки различных видов транспорта по обеспечению безопасности пассажирских перевозок на основе признаков, их характеризующих. Проведение портфолио-анализа позволяет решить следующие задачи:

- оценить конкурентоспособность и относительные доли рынка, занимаемые различными видами транспорта;
- оценить привлекательность каждого вида транспорта;
- построить матричные модели, на основании которых необходимо получить рекомендации по дальнейшему совершенствованию видов транспорта. Устранение выявленных недостатков позволит снизить риск наступления проблемной ситуации, а также разработать мероприятия по ее недопущению. Портфолио-анализ является современным инструментом сопровождения совершенствования и оценки различных видов транспорта, который ориентирован на обновление и совершенствование качества перевозки пассажиров.

#### Список литературы

- 1 Глухов, Н. И. Актуальные проблемы оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры / Н. И. Глухов, В. А. Протопопов. – Иркутск, 2012.
- 2 Терроризм и безопасность на транспорте : сб. материалов X Междунар. науч.-практ. конф., 16–17 февр. 2011 г. / под ред. Н. В. Николаевой. – М. : Юристпруденция, 2012. – 299 с.
- 3 Протопопов, В. А. Две трактовки многокритериальной оценки уровня уязвимости объектов транспортной инфраструктуры / В. А. Протопопов // Моделирование. – 2012. – № 3. – С. 55–59.

УДК 656.013+656.08

### РОЛЬ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПассажиРОВ

*Т. С. МЕЛЬНИК, О. В. ХРИСТОФОР, А. М. КРАШНОШТАН*  
*Акционерное общество «Украинская железная дорога», г. Киев*

Проблемы транспортной инфраструктуры Украины в последние годы критически обострились, причиной чему послужили интенсивный рост урбанизационных процессов, сезонные всплески спроса на пассажирские перевозки, растущий уровень автомобилизации населения, ускоренный сложной эпидемиологической ситуацией, что особенно ощущается в мегаполисах, крупных городах и их пригородах.

Указанные проблемы годами не находят своего решения и вследствие того, что темпы обновления подвижного состава городского и междугородного пассажирского транспорта не соответствуют желаемым, что объясняется хронически низким финансированием. Отдельно проводимые мероприятия, направленные на улучшение транспортной инфраструктуры, носят очаговый, выборочный характер, однако отсутствие комплексного подхода не позволяет достичь ожидаемых результатов и улучшить транспортную ситуацию. Неизбежными последствиями этого становятся снижение безопасности на транспорте, ухудшение экологии, спад эффективности функционирования регионов страны, рост транспортной усталости населения, особенно жителей больших городов, что негативно влияет на качество жизни людей.

Таким образом, транспортная система страны нуждается в коренных изменениях, в частности, в комплексной модернизации, новой структуризации транспортных сетей и инфраструктуры. Рациональным и соответствующим требованиям времени способом решения этой сложной задачи может стать создание пунктов пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой.

Создание транспортно-пересадочных комплексов (далее – ТПК), даже на базе существующих вокзалов и станций, – задача сложная прежде всего в техническом плане, требует значительных затрат времени и средств. Принятие решения относительно выбора параметров ТПК, в том числе сформированных с участием железнодорожного транспорта, – это следующая задача, направленная на повышение эффективности управления пассажирскими и транспортными потоками.



Сегодня существует немало работ, посвященных различным аспектам создания, функционирования и развития объектов транспортной инфраструктуры, в которых пассажиры могут осуществить пересадку с одного вида транспорта на другой.

Для определения объекта транспортной инфраструктуры с возможностью перемещения пассажиров между видами транспорта чаще всего употребляется термин «транспортно-пересадочный узел», хотя в отдельных работах встречаются другие названия объектов транспортной инфраструктуры, где осуществляется пересадка пассажиров, в частности: «общественно-транспортный центр» (Азаренкова З. В. и Степанова Л. Н.) «общественно-транспортный комплекс» (Унашева С. и Коршунова Н. М.) «транспортно-коммуникационный узел» (Хайруллина Ю. С.). Приведенные дефиниции были введены авторами, исходя из состава объектов зоны пунктов (узлов) пересадки пассажиров на другие виды транспорта.

Большинство первоисточников сходятся в том, что транспортно-пересадочный узел (ТПУ) – это узловый элемент планировочной структуры города транспортно-общественного назначения, в котором осуществляется пересадка пассажиров между различными видами городского и внешнего транспорта или между различными линиями одного вида транспорта, а также попутное обслуживание объектами социальной инфраструктуры. Соглашаясь с таким определением в целом, одновременно отметим, что приведенные характеристики относятся не ко всем типам и уровням транспортно-пересадочных узлов. В частности, ТПУ низших организационных уровней могут создаваться за пределами городов и не входить в их планировочные структуры. Кроме того, пункты пересадки, где осуществляется переход пассажиров между различными линиями, но одного вида транспорта, с нашей точки зрения, не следует рассматривать в качестве ТПУ ни одного из уровней, ведь ключевая идея создания таких узлов и заключалась в сочетании, как минимум, двух видов транспорта. Наконец, предлагая создание ТПК различных организационных уровней и поддерживая идею развития объектов обслуживания в их общественной зоне, считаем, что для ТПК низших организационных уровней не обязательно иметь такие объекты, но именно их наличие будет выступать одной из главных отличий ТПК от ТПУ.

Таким образом, с учетом главного назначения, функций и задач объектов транспортной инфраструктуры, в которых осуществляется пересадка пассажиров с одного вида транспорта на другой и предоставляются дополнительные услуги по транспортному и нетранспортному обслуживанию населения, предлагаем для их определения использовать именно категорию «транспортно-пересадочные комплексы».

Независимо от варианта организации ТПК их планирование должно отвечать следующим обязательным требованиям: безопасность пассажиров и их личных вещей; минимизация времени на осуществление пересадки; удобные условия для пребывания в зоне ТПК и осуществления пересадки; полное информационное обеспечение и сопровождение клиентов комплекса.

В любом ТПУ, а тем более в ТПК, должны быть выделены транспортная и общественная зоны. В свою очередь общественная зона может включать сервисную, торговую и развлекательную. Таким образом, состав объектов зон ТПУ/ТПК является многофункциональным и определяется его организационным уровнем.

В отечественной практике планирования градостроительства не было необходимости в выделении мест для парковки личного автотранспорта вследствие его незначительного количества. Однако в постсоветские времена ситуация кардинально изменилась, и сейчас существует проблема критической нехватки парковочных мест, особенно в центральных районах городов, даже средних и небольших. Эта проблема уже длительный период не решается, а лишь обостряется. Поэтому очень важным элементом ТПК должны стать перехватывающие парковки, на которых владельцы автомобилей смогут оставлять свой личный транспорт и осуществлять пересадки на общественный для продолжения поездки. Создание привлекательных условий для пересадки владельцев автотранспорта на общественный транспорт будет способствовать повышению эффективности эксплуатации последнего, снижению загрязнения воздуха вредными выбросами автотранспорта, уменьшению заторов на автомобильных дорогах, упорядочению зон стоянок личного автотранспорта, повышению безопасности и снижению аварийности.

Создание оптимально спланированных многофункциональных ТПК будет стимулировать воспользоваться их услугами не только владельцев автотранспорта, но и тех потребителей, для которых такие комплексы предназначались в первую очередь, поскольку их условия позволяют пассажирам максимально удобно, комфортно, безопасно и быстро совершать пересадки между видами транспорта и попутно, при необходимости, с такими же выгодами пользоваться торговыми и/или развлекательными услугами.

**Выводы.** Вследствие того, что в ТПК пассажиры защищены от неблагоприятных погодных условий, передвигаясь или транспортными средствами, или сооружениями пересадочного пункта, такой способ пересадки получил название «сухие ноги», обеспечивая невоспроизводимое преимущество ТПК. Другим преимуществом таких комплексов является создание комфортной и пока уникальной для нашей страны сопутствующей инфраструктуры для жителей определенного района города или пригородной зоны. Однако наиболее весомым, стратегическим преимуществом ТПК должна стать реализация функции оптимального перераспределения пассажиропотоков между всеми видами транспорта общего пользования. Это позволит разгрузить автомобильные потоки, упорядочить пешеходные потоки, создать организованные перехватывающие паркинги, значительно повысить эффективность использования подвижного состава пассажирского транспорта и, что особенно важно, обеспечить максимальную безопасность пассажиров.

УДК 656.224"20"

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В XXI ВЕКЕ

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожные пассажирские перевозки зарождались в России в XIX в. как развлекательное мероприятие жителей Санкт-Петербурга для выезда в Павловск, поскольку в самой столице были ограничения на алкогольно-развлекательные действия. Функциональные особенности формирования системы железнодорожных пассажирских перевозок с XIX по XXI век имели изменения, связанные с их назначением, что было связано с обеспечением передвижения зажиточной части населения на значительные территории империи. Перевозки пассажиров по железным дорогам стали конкурирующими, по сравнению с водным транспортом. Данная задача решалась эффективно не только в России XIX в., но и в Беларуси, как части империи. С учетом того, что территория Беларуси покрыта густой сетью судоходных рек, то они эффективно использовались для пассажирских перевозок. Сеть водных путей позволяла делать устойчивое сообщение с городами стран Балтии, Украины и Польши, которые входили в состав империи. Положительный опыт интеграции рассматриваемой пассажирской сети заключался в том, что, находясь на окраине крупной империи, сеть развивалась с использованием её огромных ресурсов. Этот опыт утрачен в XXI в. Строительство железных дорог в Беларуси позволило её населению получить устойчивое пассажирское сообщение с крупными промышленными и культурными центрами империи.

Для советского периода характерным стало новое функциональное назначение железнодорожных пассажирских перевозок – обеспечение массовых передвижений населения и стратегическое обеспечение мобилизационных перевозок для военных целей. С распадом СССР и разделением единой сети эти функции утратили свое значение. Пассажирские перевозки получили коммерческую направленность. Её результатом стало сокращение объёма выполнения пассажирских перевозок по видам сообщений: в международном – в 5–7,5, межрегиональном – 2, внутрирегиональном (пригородном) – 2,4 раза.

С использованием методов системного анализа выделены проблемы, которые возникали в различные периоды формирования системы железнодорожных пассажирских перевозок и являются актуальными для железных дорог Беларуси в наше время.

1 В период строительства железных дорог и расширения их сети главный упор делался на выполнение прямого сообщения из городов территориального формирования в столичные города им-

перии. Массового значения и актуальности у местного населения эти перевозки не имели. Перевозки в местном и пригородном сообщении не были актуальными. Это отразилось на создании и приобретении подвижного состава, качественных параметрах железнодорожной инфраструктуры. Подвижной состав для этого вида сообщения практически не производился и не эксплуатировался на значительной территории Беларуси.

2 Массовые перевозки пассажиров в Беларуси сложились в 20–30-е годы XX в. При этом внутри Беларуси эти перевозки были ограниченными, а основная их доля приходилась на международное сообщение. В этот период были технологически отработаны варианты назначения пассажирских поездов на сверхдальние расстояния (Владивосток – Негорелое, Париж – Негорелое). Для решения проблемы различной колеи пути использовалось перемещение пассажиров прямого международного сообщения через подсистему таможенно-пограничного контроля с пересадкой в подвижной состав соседнего государства.

3 Конец XX в. ознаменовался массовыми перевозками пассажиров по всем видам сообщений, характерным для Беларуси. Слабое развитие воздушного транспорта в международном сообщении, полное его исключение из местного сообщения привело к активному спросу на перевозки в международном железнодорожном сообщении (свыше 40 поездов белорусского формирования в новые постсоветские страны и государства Европы). По сравнению с 1985 г. объёмы перевозок пассажиров в 1991 г. выросли на 46 %. При этом вырос дефицит транспортного обслуживания населения до уровня 20–25 %. Проявились также проблемы: дефицит подвижного состава более высокого коммерческого качества; отсутствие финансовых средств и механизма его приобретения; снижение скоростей движения пассажирских поездов; железнодорожная инфраструктура оказалась не готова к сложившемуся объёму перевозок.

4 В XXI в. произошло резкое изменение функциональной направленности пассажирских перевозок: активное развитие авиационного транспорта при выполнении международных перевозок. Практически из международного сообщения в этот период выведены почти все поезда белорусского формирования (остался один поезд Минск – Варшава). Назначение поездов дальнего сообщения потеряло актуальность из-за их низкой рентабельности и падения спроса у пассажиров на эти поездки. В региональном сообщении произошли существенные изменения его функционального назначения. Если в предыдущие периоды оно использовалось для рабочих и дачных перемещений населения, то в XXI в. главным его назначением стало транспортное обеспечение населения по всей совокупности.

Возникшие проблемы в современных условиях имеют следующие направления.

1 Международные перевозки. Главное их функциональное назначение напрямую связано с международным туризмом, который выполняется на 60–70 % в летний период. Основным видом его транспортного обеспечения стал воздушный транспорт. Железнодорожный транспорт страны в данном виде перевозок носит вспомогательный характер: перемещение туристов в международные аэропорты Москвы, Киева, Риги, Вильнюса и Варшавы. Это накладывает новые функциональные требования к железнодорожному транспорту: прибытие поезда в пункт назначения к установленному времени; удобство доставки пассажира от железнодорожного вокзала в аэропорт (следует учитывать наличие у пассажиров багажа). Произошло снижение количества деловых поездок на железнодорожном транспорте. Эта категория пассажиров практически перешла на воздушный и автомобильный транспорт. Перевозки пассажиров на дальние расстояния из Беларуси в Россию (маршруты в Иркутск, Новосибирск, Караганду и др.) постепенно стали сокращаться. Главной причиной их снижения, по мнению аналитиков, следует считать резкое увеличение тарифа на перевозки при невысоком качестве их исполнения, большую продолжительность поездки и неудобное время прибытия и отправления как на начально-конечные пункты, так и промежуточные станции.

2 Внутривнутриреспубликанские перевозки. Перевозки в межрегиональном сообщении снижены многократно, что связано со следующими факторами: низкие скорости движения поездов и качество сервиса; неудобное прибытие поездов на конечные пункты; высокая конкуренция со стороны автомобильного транспорта. Учитывая небольшие размеры страны, удобным стало использование для поездок в столицу страны микроавтобусов. Перевозки пассажиров в региональном сообщении имеют проблемы, связанные с расширением зон тяготения к населённым пунктам, строительством коттеджных посёлков, появление городов-спутников. Технология перевозок практически не изменилась, что привело к сокращению объёма перевозок, низкой их рентабельности.

Пути решения отмеченных проблем имеют следующие направления.

Международные перевозки: 1) создаётся устойчивое железнодорожное сообщение – между Минском и Москвой по вариантам: дневной поезд – ускоренный (использование поездов повышенной ком-

фортности «Ласточка» с минимальным количеством остановок, время в пути 6 ч); ночной экспресс – поезд повышенной комфортности, сформированный из купейных вагонов; ночной поезд эконом-класса, сформированный из купейных и плацкартных вагонов; 2) между областными центрами Беларуси и Москвой и Санкт-Петербургом и для вывоза населения к местам отдыха в летний период используются ночные поезда эконом-класса.

Внутриреспубликанские перевозки:

1) межрегиональное сообщение:

– использование ускоренных электро – поездов (до 160 км/ч) в пассажирском сообщении между областными центрами и г. Минском. Ускорение их движения свыше 160 км/ч для условий Беларуси является нецелесообразным. Это связано с тем, что при повышении скорости движения поездов необходима дорогостоящая модернизация железнодорожной инфраструктуры. Вторым фактором является небольшой объём перевозок (достаточно два зеркальных рейса);

– использование ночных поездов локомотивной тяги для сообщения г. Минска с областными населенными пунктами;

2) региональное сообщение: использование поездов эконом- и бизнес-класса моторвагонной тяги; ввод городской электрички в столице и крупных населенных пунктов для пассажирского сообщения с городами-спутниками.

Краткие выводы: учёт функциональных особенностей выполнения пассажирских перевозок в XXI в. позволит эффективно выполнять устойчивое транспортное обслуживание населения всей страны, а не отдельных регионов.

УДК 656.224.003

## **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОХОДОВ ОТ ВЫПОЛНЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В УКРАИНЕ**

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Т. В. ГОРЯИНОВА*

*Акционерное общество «Украинские железные дороги», г. Киев*

При формировании доходов от железнодорожной перевозки пассажиров по видам сообщений учитываются объемы перевозок (пассажирооборот) и доходная ставка по каждому виду пассажирского сообщения и классу обслуживания пассажиров. С учетом того, что значительная часть пассажирских сообщений носит социально-значимый характер (местные, пригородные и городские перевозки), их выполнение является убыточным. Для определения доходов от перевозки пассажиров во внутригосударственном (кроме пригородного и городского) и международном сообщениях используется показатель «доходная ставка» с выделением билетной и плацкартных составляющих. Этот показатель используется при формировании соответствующего тарифа.

Используемый для этой цели показатель «доходная ставка» формируется на базе калькуляции перевозок пассажиров по видам сообщений за отчетный период и её корректировки с учетом отчетных данных текущего года и за предыдущие три года, планового повышения стоимости проезда и других факторов влияния на такой показатель по каждому региональному филиалу, а также в границах филиала (железнодорожной дороги) отдельно по видам сообщения и категориям поездов собственного формирования.

Значения показателей «доходная ставка, билетная составляющая», «доходная ставка, плацкартная составляющая» соответствуют последним актуальным значениям данных показателей на момент планирования, с учетом перевозок пассажиров, а также изменений в данной области за прогнозируемый период.

Сумма доходов от перевозок пассажиров в части билетной составляющей рассчитывается как произведение запланированных объемов перевозок (пассажирооборот) по региональным филиалам и доходной ставки за 10 пассажиро-километров (с включением билетной составляющей).

Для расчета используется показатель «пассажирооборот», который сформирован для каждого регионального филиала по всем владельцам, вагоны которых проследовали по территории данного регионального филиала, и в целом по акционерному обществу по видам сообщения и категориям проезда.

Расчётные суммы доходов от перевозок пассажиров в части билетной составляющей отражаются по каждому региональному филиалу.

Сумма доходов от перевозок пассажиров в части плацкартной составляющей рассчитывается по владельцам вагонов как произведение запланированных объемов перевозок (пассажиروоборот) и доходной ставки за 10 пассажиро-километров (с включением плацкартной составляющей). С учётом развития бизнеса транспортной деятельности в Украине в области пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте рассчитанные суммы доходов от перевозок пассажиров в части плацкартной составляющей отражаются по каждому владельцу вагонов.

Прогнозирование доходов от пассажирских перевозок АО «Укрзализныця» выполняется методом трендовой индексации в соответствии с прогнозными объемами перевозок пассажиров (пассажируоборот) по видам сообщений: в международном, прямом, местном и средней доходной ставки за 10 пас·км по каждому виду сообщений.

Уровень доходной ставки зависит от установленного тарифа, средней дальности поездки, а также других показателей функционирования пассажирского хозяйства.

Основу для расчетов составляют фактически полученные доходы по видам сообщений от перевозок пассажиров за соответствующий период. При этом важную роль играет класс обслуживания в зависимости от категории поезда: экспресс (дневной или ночной), скорый, пассажирский (дневной или ночной), пригородный, городского сообщения.

Учитывая, что отчетные данные отражают только фактически реализованный спрос населения на перевозки, фактическое использование подвижного состава и инфраструктуры при прогнозировании пассажирских перевозок, подробно изучаются другие факторы, которые могут влиять на объемы и структуру доходов от таких перевозок, а именно:

- наличие подвижного состава соответствующего качества и в достаточном количестве;
- наличие спроса населения на перевозки определённого качества предоставляемого сервиса;
- уровень социально-экономического развития страны определяет состояние тарифной политики и состояние государственной поддержки пассажирских перевозок;
- высокая сезонность выполнения пассажирских перевозок: в летний период перевозится до 70 % пассажиров от их общего количества;
- большое значение при формировании доходов от пассажирских перевозок имеет численность населения страны и её регионов;
- реальные доходы населения определяют уровень доходов: доходность железнодорожных перевозок зависит от возможности населения приобретать услуги с высокой добавленной стоимостью и высокими потребительскими качествами;
- инфляционные процессы в стране играют свою роль при организации раннего бронирования поездов: создается неопределенность стоимости проезда на различные сроки отсрочки поездки;
- спрос населения на другие виды транспорта: конкуренция с воздушным транспортом в международном сообщении, автомобильным – в междугородном и пригородном. При формировании спроса на железнодорожные пассажирские перевозки в условиях жесткой конкуренции важное значение имеет возможность манёвра тарифами в зависимости от спроса на перевозки.

Доходность пассажирских перевозок в современных условиях также связана с другими инициативами (переаттестация пассажирских вагонов, их обновление, создание необходимой структуры парка пассажирских вагонов, которая может обеспечить высокодоходную их эксплуатацию).

Формирование доходов от перевозок пассажиров в части билетной составляющей тесно связано с расходами владельца железнодорожной инфраструктуры на её содержание, стоимостью тяговой составляющей и энергоресурсов и затратами последних на перевозочный процесс. Инфраструктурная и тяговая составляющие тарифицируются с учётом полученной калькуляции и возможной надбавки на полученный результат. При этом часть налогов может формироваться государством по нулевой ставке. В большинстве стран государство несёт расходы за содержание железнодорожной инфраструктуры за счёт бюджета, что позволяет снижать тарифы на определённые виды перевозок пассажиров.

В качестве базы для прогнозирования доходов от перевозки пассажиров во внутреннем (кроме пригородного) и международном видах сообщения принимаются условия: 1) чем выше мы считаем, что доходы успешно прогнозируются, тем больше потерь несет железнодорожная компания; 2) при формировании доходов, подтверждаемых реальной калькуляцией, устанавливается конкурентный тариф.

Доходная ставка билетной составляющей прогнозируется с учетом отчетных данных за прошлые годы, планового повышения стоимости проезда и других, ранее отмеченных, факторов влияния на такой

показатель по каждому региональному филиалу в разрезе вида сообщения. При этом здесь важную роль играет бюджетное финансирование расходов на инфраструктуру.

С учётом вышеотмеченного делается заключение по современным аспектам формирования доходов от выполнения железнодорожных перевозок в Украине. Они распределяются на три независимые составляющие: вокзальная, плацкартная, билетная. При этом: 1) вокзальная составляющая выводится из централизованного тарифа в пользу местного бюджета или бизнеса; 2) плацкартная составляющая в рамках государственного регулирования обеспечивает доходы бизнеса и железнодорожной компании в соответствии с реформированием Укрзализныци; 3) билетная составляющая формируется в рамках частно-государственного партнёрства. Суммарно это делает предсказуемыми доходные поступления, покрывающие расходы и обеспечивающие социальную направленность пассажирских перевозок.

УДК 656.2.078(003)

## **ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПассаЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. С. КОЦУР*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Качественное развитие пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте рассматривается приоритетным направлением отрасли, от которых зависит повышение эффективности её экономики, обеспечение стабильности и устойчивости работы. Оно базируется на проведении эффективной инновационной политики, которая представляет вид деятельности, основанный на использовании новых форм организации, управления и финансирования пассажирских перевозок. Особенностью инновационной деятельности на железнодорожном транспорте является то, что основные направления её проведения зависят от целей каждого субъекта транспортной системы, в которых выполняются пассажирские перевозки. С учётом того, что при выполнении пассажирских перевозок на железной дороге имеет место многоуровневая система, то цели инноваций в данном случае являются различными для каждого уровня: для отраслевых предприятий цель инноваций не заключается в максимизации прибыли при уменьшении затрат на выполнение транспортной деятельности; в отличие от бизнеса на транспорте многих стран это связано с функциональной особенностью пассажирских перевозок железнодорожным транспортом Беларуси – социальная ответственность перед населением.

При выполнении железнодорожных пассажирских перевозок ресурсы железнодорожных предприятий ограничены, поэтому большое значение имеет инновационная деятельность. Мировой опыт показывает, что инновационная привлекательность создается системой мер, направленных на популяризацию пассажирских перевозок у населения в условиях жёсткой конкуренции с другими видами транспорта. Следует учитывать, что инновационная деятельность в области пассажирских перевозок носит дорогостоящий характер для железнодорожной администрации. Это приводит к убыточности пассажирских перевозок, что требует значительного субсидирования расходов из бюджета, увеличивая на него дополнительную нагрузку.

Инновационная деятельность отраслевых предприятий железной дороги, участвующих в выполнении пассажирских перевозок (в рамках отраслевых функциональных служб), представляет собой сложную, взаимосвязанную и взаимообусловленную совокупность видов их деятельности, направленную на стабильную и устойчивую работу. С учётом убыточности пассажирских перевозок и необходимости их выполнения в установленных государством размерах о получении дополнительной прибыли и других положительных экономических эффектов в результате инновационных вложений речь не идёт. Первоочередным является решение проблемы обеспечения качества выполнения пассажирских перевозок, сохранения и расширения сферы данного вида деятельности, рабочих мест, высвобождении финансовых ресурсов, направляемых на повышение заработной платы персонала.

По продолжительности инновационная деятельность предприятий железнодорожного транспорта в области пассажирских перевозок предполагает определение долгосрочных стратегических целей, выбор перспективных и выгодных вложений капитала, привлечение бизнеса в рамках государственно-частного партнёрства в отдельных сегментах данного вида деятельности, не связанных с безопасностью пассажиров. При этом, важное значение имеет выделение приоритетов в инновационном развитии, оценка альтернативных инновационных проектов, разработка технологических, маркетинговых, финансовых прогнозов и оценка последствий их реализации. Следует учитывать, что инновационная деятельность в области пассажирских перевозок не предполагает реформирование отраслевых предприятий железнодорожного транспорта, но нацелена на обеспечение оптимального использования имеющихся у них ресурсов, рациональное сочетание различных источников финансирования, на достижение положительных интегральных показателей эффективности пассажирских проектов в целом. Инновационная деятельность в области пассажирских перевозок не всегда направлена на экономически целесообразные направления деятельности предприятий с учетом социальных приоритетов пассажирских перевозок, особенно во внутриреспубликанском сообщении.

Инновационная деятельность на железнодорожном транспорте в области пассажирских перевозок имеет основные направления, к которым отнесено активное использование информационных технологий в управлении пассажирскими перевозками, приобретение современного инновационного подвижного состава, использование инновационных технологий по технической эксплуатации железнодорожной инфраструктуры для обеспечения плавности хода подвижного состава при его следовании с высокой скоростью, использования интернета для работы с пассажирами.

Инновационные технологии в железнодорожной отрасли при выполнении пассажирских перевозок в Республике Беларусь имеют поддержку со стороны государства, которое заинтересовано в создании и поддержании его имиджа. С этой целью для перевозок используется инновационный подвижной состав: для внутриреспубликанских перевозок – белорусского производства «Stadler»; международные перевозки выполняются с использованием поездов, производимых в России – «Ласточка» и «Стриж». Для снижения финансовой нагрузки на пассажирские перевозки со стороны государства для инноваций используется упрощенное налогообложение, а для отдельных видов, при производстве транспортных средств для пассажирских перевозок, элементов железнодорожной инфраструктуры, упрощение процедуры вложения капитала и вывоза прибыли из страны (при выполнении инновационной деятельности), расширение рынка производства и продаж инновационных транспортных услуг. При этом со стороны государства рассматриваются риски реализации инновационных проектов, которые должны сводиться к минимальным значениям с учетом привлечения кредитных ресурсов иностранных инвесторов. Риски связаны с привлечением иностранного капитала в область реализации пассажирских перевозок: приобретение инновационного тягового подвижного состава (электровозов с асинхронными тяговыми двигателями, у которых межремонтный цикл повышен в 4–5 раз по отношению с действующим парком); современное развитие транспортной инфраструктуры.

При формировании инновационной стратегии пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте имеются особенности, которые следует учитывать. К ним отнесены: состояние рынка транспортных услуг в регионе и за его пределами; долевое участие исполнителей перевозок; экономическое положение железнодорожной отрасли и её структурных предприятий; возможности бюджета страны для участия в инвестировании важнейших инновационных проектов социального назначения (развитие региональных, городских перевозок, закупка электропоездов); технологический уровень производства и исполнения транспортных услуг; условия финансирования инновационных проектов.

Цели инновационных проектов в области пассажирских перевозок для железнодорожных предприятий включают стратегии долгосрочного прогнозирования, которые дают возможность транспортному предприятию определиться с возможностями улучшения результатов хозяйственной деятельности путем инновационного развития. Важное значение имеет эффективное управление инновационной деятельностью. Оно представляет собой систему принципов и методов разработки и реализации управленческих решений, связанных с осуществлением различных аспектов деятельности предприятия при выполнении пассажирских перевозок. При этом следует учитывать, что одним из основных результатов эффективной инновационной деятельности транспортного

предприятия при выполнении пассажирских перевозок является возрастание эффекта его хозяйственной деятельности, выражаемого стабильностью его работы и устойчивого развития. В процессе реального внедрения инновационных проектов этот эффект достигается за счет качественного управления инновациями и получения результативности от реализации проектов по периодам их внедрения. В результате рассматривается прирост собственного капитала транспортного предприятия за счет инновационных факторов. Оно имеет реальную возможность больше капитализировать, не изменяя своей дивидендной политики. Это обеспечивает рост чистых активов транспортного предприятия за счет внутренних его резервов, получаемых при внедрении инновационных проектов. В результате автоматически повышается его рыночная стоимость. Активная инновационная деятельность формирует представление о транспортном предприятии как успешно развивающемся хозяйствующем субъекте, что позволяет ему расширять круг своих коммерческих связей, обеспечивать формирование финансовой гибкости работы. Ожидаемая эффективность инноваций при выполнении пассажирских перевозок предполагает требуемый уровень финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия на всех этапах его функциональной деятельности.

УДК 656.08

## **ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Н. Г. ЯННИС*

*Афинский национальный технический университет, Греция*

Железнодорожные пассажирские перевозки имеют специфику, характерную для обеспечения безопасности их выполнения. Функции обеспечения безопасности выполнения пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте существенно отличаются от его выполнения на других видах транспорта. Это связано с последствиями нарушения безопасности перевозок – количеством пострадавших при авариях и инцидентах. Наибольшее удельное количество пострадавших при авариях приходится на железнодорожный транспорт (420–1200 чел. на одну катастрофу). Вторым по значимости является воздушный (190–680 пас.), и замыкает статистику автомобильный транспорт (42–93 чел. на одно ДТП).

Обеспечение безопасности железнодорожных пассажирских перевозок функционально распределяется по объектам их исполнения: при выполнении начально-конечных операций и в процессе перевозки.

Специфика железнодорожного транспорта при выполнении начально-конечных операций связана с открытым доступом пассажиров в зоны опасного их соприкосновения с движущимся подвижным составом при их нахождении на посадочных платформах. В отличие от других видов транспорта на железной дороге по одним и тем же путям вдоль пассажирских платформ выполняется движение как пассажирских, так и грузовых поездов. Количество специализированных пассажирских станций в Беларуси сегодня является ограниченным. На таких станциях выделены специализированные парки и посадочные пассажирские платформы, что полностью обеспечивает безопасность находящихся на них пассажиров. Наиболее эффективными показали себя пассажирские станции тупикового типа, на которых подвижной состав под посадку или высадку подаётся при ограничении доступа пассажиров в опасную зону. Безопасность пассажиров обеспечивается при их нахождении на платформах за счёт исключения передвижений подвижного состава других видов движения на перронных путях. Этот фактор следует учитывать при проектировании и строительстве новых, а также модернизации действующих пассажирских станций.

В процессе перевозки безопасность пассажиров обеспечивается по нескольким направлениям: внутри подвижного состава, самого подвижного состава при магистральном движении, по прибытии и отправлениям.

С использованием факторного анализа безопасность пассажиров внутри подвижного состава рассматривается по следующим параметрам:

– конструкционные особенности подвижного состава;



- логистика внутреннего нахождения пассажиров в вагонах в процессе движения поезда;
- безопасность сервисного обслуживания пассажиров;
- экология в процессе движения поезда.

Конструкционные особенности подвижного состава имеют следующие аспекты:

1) исключение падения пассажиров с верхних полок купейных или плацкартных вагонов при их кратковременном отдыхе, особенно в ночное время. Для этого верхние полки пассажирских вагонов оборудуются устройствами или ремнями безопасности, исключающими падение пассажиров при движении поезда. На ряде железных дорог для исключения падения детей с верхних полок используется специальное их расположение (продольное по ходу поезда);

2) исключение поражения пассажиров электрическим током. Современный подвижной состав является энергонасыщенным и имеет контур высокого напряжения, который представляет смертельную опасность для пассажиров;

3) система пожаротушения и эвакуации пассажиров при экстренных ситуациях в купейных и плацкартных вагонах должна обеспечивать также своевременное оповещение пассажиров об опасности;

4) с учётом конструкционных особенностей вагонов и лучшего обеспечения безопасности пассажиров по данному фактору считается целесообразным использование вагонов салонного типа и поездов безтамбурной конструкции (электро- и дизельпоезда) при перевозках в дневное время суток.

Логистика внутреннего нахождения пассажиров в вагонах в процессе движения поезда в сфере безопасности перевозки пассажиров ранее не рассматривалась. Однако на качество её исполнения приходится около 25–30 % травматизма пассажиров в процессе движения поезда. Это связано с рядом факторов:

1) не всегда схемы передвижения пассажиров внутри вагонов или поезда обеспечивают устойчивость пассажиров при их передвижении внутри вагонов или по поезду во время движения. Наиболее безопасной является схема в вагонах салонного типа, которые не загромождаются багажом и ручной кладью, что создаёт искусственные препятствия при передвижении пассажиров;

2) логистика передвижения пассажиров напрямую связана с эргономикой подвижного состава: размещением вспомогательного оборудования, ручек для опоры пассажиров при неожиданной качке вагона;

3) логистика внутреннего передвижения пассажиров должна исключать или ограничивать встречное передвижение пассажиров в коридорах и тамбурах вагонов.

Безопасность сервисного обслуживания пассажиров имеет следующие особенности:

- безопасное выполнение обеспечения горячими напитками и пользования ими устройствами нагрева воды (титаны, электроподогреватели, наполнение термосов);

- безопасность потребляемой пассажирами пищи и напитков в пути следования, по фактору которой приходится 15–20 % отравлений пассажиров;

- включение вагонов, оборудованных устройствами приёма пищи и напитков позволяет создать условия безопасного сервиса пассажиров в пути следования.

Экология в процессе движения поезда является существенным фактором снижения уровня безопасной перевозки пассажиров. Это связано с рядом факторов:

- экологическое загрязнение придорожной территории при удалении продуктов жизнедеятельности пассажиров (особенно при прохождении поезда около пассажирских платформ);

- санитарное состояние внутренней территории вагона, санитарная обработка внутреннего оборудования, с которым имеет касание пассажир (особенно в период пандемии);

- выполнение экологических и эргономических требований внутренней отделки вагонов безопасными материалами.

При движении поезда на безопасность перевозки пассажиров оказывает фактор скоростного режима движения поезда, который связан со следующими проблемами:

- состояние железнодорожной инфраструктуры: путевого развития, устройств управления движением поездов, энергоснабжения;

- уровень развития базы технической эксплуатации подвижного состава;

- качественное состояние подвижного состава;

- наличие ограничений по скорости движения поездов на перегонах и станциях.

С учётом особенностей обеспечения безопасности железнодорожных пассажирских перевозок формируется современная система нового формата организации пассажирских перевозок на Белорусской железной дороге, который предусматривает следующие параметрические направления:

- пропуск скоростных международных поездов на направлении Москва – Брест ночного и дневного следования;
- назначение пассажирских поездов бизнес-класса обслуживания пассажиров;
- модернизация пассажирских вокзалов с учётом повышения уровня безопасности нахождения и обслуживания на них пассажиров;
- внедрение информационных технологий в транспортный процесс, что уменьшает продолжительность нахождения пассажиров и их количество в опасных зонах.

Комплексное обеспечение безопасности перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте позволит более успешно ему конкурировать с другими видами транспорта, что обеспечит стабильность выполнения объёмных показателей железной дороги по пассажирским перевозкам, которая позволит гарантировать ей необходимую доходность для успешного функционирования пассажирской системы.

УДК 656.08:629.43

## **ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ В ПАССАЖИРСКИХ БИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ «ТРАМВАЙ-ПОЕЗД»: ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

*К. Ю. НИКОЛАЕВ*

*Институт экономики и развития транспорта, Российский университет транспорта (МИИТ),  
г. Москва, Российская Федерация*

«Трамвай-поезд» представляет собой специальное транспортное средство, которое движется как трамвай по городской инфраструктуре и как поезд по железнодорожной инфраструктуре. То есть пассажир использует одно и то же транспортное средство для передвижения по железной дороге и по городу. Подвижной состав, используемый в бимодальной транспортной системе «трамвай-поезд» должен отвечать повышенному количеству требований, так как ему предстоит работать на участках инфраструктуры с различными Правилами технической эксплуатации. Для определения свода требований к подвижному составу системы «трамвай-поезд» рассмотрены нормативные документы взаимодействующих инфраструктур железной дороги [1], трамвая [2] и технический регламент Таможенного союза для железнодорожного подвижного состава [3].

Сейчас в регламенте [3] выделяется пять видов железнодорожного подвижного состава: локомотивы; моторвагонный подвижной состав и его вагоны; пассажирские вагоны локомотивной тяги; грузовые вагоны; специальный железнодорожный подвижной состав.

На подвижной состав типа «трамвай-поезд» накладываются требования и ограничения по регламенту [3] в качестве моторвагонного подвижного состава и в качестве специального самоходного подвижного состава.

Для более полного учета условий эксплуатации на городских улицах и исключения явно избыточных, трудновыполнимых требований предлагается выделить в регламенте [3] отдельный тип подвижного состава – «трамвай-поезд», к которому будут предъявляться следующие основные требования [4]:

- наличие локомотивных устройств безопасности, применяемых на железной дороге;
- наличие средств сигнализации, предусмотренных правилами дорожного движения и инструкцией по сигнализации на железнодорожном транспорте;
- наличие автосцепного устройства или специальных переходников для обеспечения возможности оперативной сцепки в ситуации выхода из строя транспортного средства;
- наличие на борту системы радиосвязи с поездным диспетчером на железной дороге и диспетчером в городской сети;
- расположение кабины водителя, обеспечивающее обзор устройств путевого хозяйства и сигналов;
- наличие двух постов управления и пассажирских автоматических дверей с контролем положения на левую и правую стороны транспортного средства (на маршрутах, где нет устройств разворота подвижного состава);

– дизельный двигатель или аккумуляторная батарея для движения в автономном режиме, равно как и высоковольтное оборудование, должны размещаться в отдельном от людей отсеке транспортного средства или на крыше;

– прочностные характеристики кузова вагона, предусматривающие максимальную защиту пассажиров и водителя (в случае столкновения иного транспортного средства с передней или хвостовой частью вагона, а также при получении бокового удара);

– тормозные характеристики транспортного средства, обеспечивающие тормозное усилие, достаточное для остановки полностью нагруженного вагона на максимально допустимом уклоне, а также для удерживания вагона от самопроизвольного ухода при остановке на неблагоприятном профиле линии.

– подвижной состав должен соответствовать наименьшему габариту, применяемому на маршруте;

– кроме того, уровни шума, вибрации в кабине и салоне транспортного средства должны находиться в пределах действующих санитарных норм.

По условиям инфраструктуры: нагрузка на ось не более 14 тонн, ширина подвижного состава не более 2600 мм, высота 3300 мм (или меньше по местным требованиям), ширина колеи – 1520-1522 мм. Вышеназванные ограничения на существующую трамвайную инфраструктуру установлены нормативными документами. Они могут быть частично сняты в рамках проектов запуска бимодальной транспортной системы «трамвай-поезд» при модернизации или строительстве городской трамвайной инфраструктуры по стандартам путевого развития, применяемого на железнодорожном транспорте, или по стандартам «скоростного трамвая».

По условиям безопасности подвижной состав должен быть оборудован: автоматической пожарной сигнализацией и системой пожаротушения, спутниковой навигацией, системой сигнализации и информирования об исправности составных частей подвижного состава, крэш-системой, поездной радиосвязью. Также необходимо комплексное локомотивное устройство безопасности, включающее в себя: прибор контроля скорости движения, регистратор параметров движения, устройства автоматической локомотивной сигнализации, систему автоведения поезда, устройства контроля бдительности машиниста и автоматической остановки, автоматизированную систему управления, обеспечивающую контроль скорости движения и возможность получать (передавать) речевую информацию при подъездах к входным и выходным светофорам, железнодорожным переездам и станциям. Должно быть предусмотрено оборудование подвижного состава устройствами тормозов следующих видов: пневматические, автоматические, электропневматические, электродинамические, рельсовые, стояночные, ручные. В том случае, если потребное по нормативам тормозное усилие достигается ограниченным набором видов тормозов, и некоторые виды тормозов могут взять на себя несколько функций, возможно уточнение (сокращение) потребного перечня видов тормозов. Кроме того, необходимо установить устройства контроля плотности пневматической тормозной магистрали, стоп-краны [3].

Требования в части устройств, используемых пассажирами: устройства связи «пассажир-машинист», автоматические двери с устройствами контроля их положения, система общего и аварийного освещения салона, наличие аварийных выходов из подвижного состава. Головные вагоны при эксплуатации на протяженных пригородных маршрутах необходимо оборудовать экологически чистыми туалетными комплексами, а также специально выделенными местами в салоне для проезда людей с инвалидностью и пассажиров с детьми. Подвижной состав типа «трамвай-поезд» должен быть включен в общую систему нумерации подвижного состава железных дорог; иметь на борту установленные знаки и надписи для подвижного состава, предназначенного для работы на железных дорогах Российской Федерации.

Сформированный выше перечень требований к подвижному составу типа «трамвай-поезд» носит обязательный характер. Кроме того, владельцы инфраструктур могут устанавливать дополнительные требования к этому виду подвижного состава на основе специфики местных условий. Поиск оптимальных конструктивных решений в области проектирования специального подвижного состава «трамвай-поезд», взаимодействующей с железнодорожными / трамвайными путями на колею 1520/1524 мм, является полем для дополнительных крупных теоретических и практических исследований.

#### Список литературы

1 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России от 21.12.2010 № 286 (в ред. приказа Минтранса России от 25.12.2018 № 472) // СПС КонсультантПлюс.

2 Правила технической эксплуатации трамвая : утв. распоряжением Минтранса России от 30.11.01 № АН-103-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200069134>. – Дата доступа : 30.08.2021.

3 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава». Решение Комиссии Таможенного союза от 15.07.2011 № 710 (в ред. от 30.10.2018) // СПС КонсультантПлюс.

4 **Николаев, К. Ю.** Основные требования безопасности в пассажирских бимодальных транспортных системах // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь. Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 285–288.

УДК 656.224.072.4.003

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ**

*Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, М. Ю. САВЕЛЬЕВ, А. А. СИДРАКОВ*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Проекты создания высокоскоростных железнодорожных магистралей являются одними из наиболее значимых в стратегии развития транспорта Российской Федерации. Основным проектом, призванным соединить между собой центры четырех регионов: городов Москва, Тверь, Великий Новгород и Санкт-Петербург, является проект высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург (далее ВСЖМ-1). Высокая скорость, в сочетании с удобством расписания, надежностью и комфортностью привлекут на ВСЖМ-1 значительные пассажиропотоки.

Для прогнозирования пассажиропотоков на ВСЖМ-1 предложена методика прогноза, соответствующая принятой международной практике и основанная на методиках, использованных при разработке Обоснований инвестиций в строительство ВСМ «Москва – Казань – Екатеринбург» и ВСМ «Центр – Юг».

Методика оценки пассажиропотоков включает в себя следующие основные этапы:

- сбор данных о существующих пассажиропотоках в зоне тяготения ВСМ;
- прогноз социально-экономических факторов, влияющих на подвижность населения;
- прогноз суммарного спроса на передвижения;
- прогноз составляющих затрат на передвижения для ВСМ и конкурирующих видов транспорта;
- расчет обобщенных затрат на поездку на ВСМ и конкурирующих видах транспорта;
- распределение общего потока между видами транспорта на основе сравнения обобщенных затрат;
- расчет составляющих индуцированного спроса.

Прогноз спроса на передвижения опирается на сравнение затрат пассажиров на передвижения по ВСМ с затратами на передвижения на конкурирующих видах транспорта. Эти затраты включают затраты времени на передвижения и затраты на оплату проезда. Для обеспечения сравнимости затрат они приводятся к единому показателю обобщенных затрат, который впоследствии используется при расчете вероятностей использования пассажиром конкурирующих видов транспорта.

Затраты на передвижения складываются из затрат времени и затрат на оплату проезда.

В затратах времени были учтены:

- чистое время на проезд на общественном транспорте;
- чистое время проезда на автомобиле по автомагистралям;
- время доступа к/от терминалов различных видов транспорта;
- время проезда на автомобиле к автомагистралям от населенных пунктов в зоне тяготения;
- время на дополнительные процедуры;
- время на дополнительное ожидание, связанное с особенностями расписания;
- резерв времени, снижающий вероятность опоздания к моменту отправления основного транспорта.

При определении затрат времени следует учитывать цель поездки. Например, для деловых поездок на воздушном транспорте в затраты времени не включалось время на получение багажа, так как при деловых поездках багаж, как правило, ограничивается ручной кладью.

В затратах на оплату проезда учитываются:

- стоимость билета для данного вида транспорта;
- стоимость билета на транспорт доступа.

При определении стоимости для индивидуального автомобильного транспорта следует учитывать не только стоимость бензина, но и тариф на проезд по платным автомагистралям.

Кроме того, затраты на одного пассажира для автомобильного транспорта и такси следует корректировать с учетом размера группы пользующихся транспортом. Так, для деловых поездок размер группы принимается равным, как правило, 1,2 человека, для культурно-бытовых и рекреационных поездок – 2,5 человека.

Стоимость поездки на общественном транспорте может быть определена из отчетных данных о выручке транспортных компаний и количестве перевезенных пассажиров.

При определении стоимости проезда необходимо также учитывать цель поездки: для культурно-бытовых и рекреационных поездок она принимается ниже, чем для деловых, примерно на 20 %.

Ключевым элементом прогнозного расчета является распределение общего пассажиропотока по видам транспорта. Для его выполнения рационально использовать модель множественного дискретного выбора, где моделируемой величиной является вероятность выбора вида транспорта пассажиром, путешествующим между двумя фиксированными остановочными пунктами ВСМ.

Окончательное определение пассажиропотоков может осуществляться:

- путем перебора тарифов для конкретной связи и фиксации тарифа, максимизирующего выручку;
- путем директивного назначения тарифа, гармонизированного с другими тарифами на ВСМ.

На величину пассажиропотока будут влиять в первую очередь:

- характеристики социально-экономического развития корреспондирующих населенных пунктов;
- тарифы на ВСМ и конкурирующих видах транспорта, включая затраты на проезд на личных автомобилях;
- удобство расписания и частота движения на ВСМ и конкурирующих видах транспорта;
- затраты времени на проезд между корреспондирующими населенными пунктами на ВСМ и конкурирующих видах транспорта.

Согласно прогнозным расчетам, к 2051 г. ВСЖМ-1 привлечет в целом 22,3 млн пассажиров в год.

УДК 338.47

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ КОРОНАВИРУСНОЙ ПАНДЕМИИ**

*Л. А. ПОЗДНЯКОВА, А. Г. ДЕЙНЕКА, В. В. КОТИК, В. А. КОТИК*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Кардинальные изменения в развитии финансовой сферы и ее взаимодействии с производством произошли во второй половине 2019 года. Это время расцвета и доминирования в общественно-хозяйственной жизни денежного капитала и денежного бизнеса. Они наблюдаются как на национальном, так и наднациональном уровнях. Свидетельством тому является хотя бы то, что из основных форм богатства, определенного М. Фридменом, – деньги, акции, облигации, физические блага и человеческий капитал – три относятся к финансовому. В пользу этого свидетельствует еще и то, что в мировой экономике финансовые операции – как по масштабам, так и по значению – выдвигаются на видное место. Известный финансист Дж. Сорос прямо указывает, что финансовый капитал играет «доминирующую роль в сегодняшнем мире».

Прослеживается своеобразный отрыв денежной сферы от настоящей экономики в условиях коронавирусной пандемии. Первая в дальнейшем все более самоизолируется, зашелкиваясь на осуществлении чисто финансовых операций. Существует мнение, что девяносто (и более) процентов финансовых соглашений, осуществляемых транснациональными компаниями, не служат выполнению «экономических функций».

Возникает ситуация, когда транспортная инфраструктура зависит от определенных условий. Объективные оценки финансовых благ все больше уступают субъективным. Работа транспорта в условиях коронавирусной пандемии все меньше и меньше ориентируется на такие базовые факторы, как повышение уровня доходов от оказанных услуг, цена к их реальной стоимости. Оценки привлекательности хозяйственных операций ориентируются не на текущую ситуацию,

а на потенциальное их развитие. Ценность становится все более символической и все больше зависит от субъективных ожиданий участников рынка в условиях коронавирусной пандемии. Последние, как понятно, не постоянно оптимальны, а формируются часто под влиянием рыночного ажиотажа и лишних ожиданий. Это способствует завышению денежных оценок финансовых благ, зачастую без учета материальных реалий. Таким образом, можно констатировать беспрецедентный отрыв финансовой экономики от реальной. И вместе с тем можно говорить о преимуществе первой в хозяйственной жизни. Происходящие в ней процессы серьезно влияют на развитие социально-экономической ситуации как в мире, так и в отдельных странах, а также основных отраслях экономики.

Возрастающие угрозы работы инфраструктуры в условиях пандемии, вытекающие из финансовой сферы, требуют серьезного внимания. Необходимо сотрудничество между экономистами и политиками в вопросах поиска решений по противодействию финансовой нестабильности. Эта проблема стоит в двух плоскостях: на мировом и национальном уровнях, поэтому необходимо разработать стратегию преобразований на следующие пять лет (2022–2027 гг.), которая определяется в зависимости от влияния коронавирусной пандемии на экономику в целом. Предложена стратегия социального и экономического развития на 2022–2027 гг. Она определяет пути вывода украинской экономики на траекторию стабильного развития, тесного сочетания политики структурных изменений и экономического роста с активной и сильной социальной политикой государства.

За последние три года отчетливо не проявились признаки экономической стабилизации. В основном преодолен спад ВВП. Комплекс реалий современной экономической жизни на Украине свидетельствует об острой потребности в специалистах и экспертах по оценке и управлению риском, обоснованных методиках, позволяющих менеджерам профессионально управлять рисками в системе служб и подразделений предприятия.

Кризисные явления в Украине способствуют усилению риска предпринимательской деятельности. Увеличивается количество убыточных предприятий. В деятельности украинских предприятий вопросам управления риском уделяется недостаточно внимания, не формируется понижающая политика рисков. Кроме того, необходимость оценки риска вызывает не всегда положительную реакцию у руководителей предприятий. В то же время знание методов, приемов, способов решения тех или иных хозяйственных задач системы рискowego менеджмента позволяет добиться ощутимого результата в производственной деятельности предприятия.

В современных условиях в Украине, где финансовое положение большинства предприятий длительное время кризисное, управление рисками нацелено на укрепление положения предприятий на рынке, обеспечение стабильности и благоприятной перспективы. Рассматривается процесс и организационные особенности управления рисками, поскольку, как убеждает практика, этот инструмент способен хорошо просчитывать будущее, уверенность в своих силах и возможностях, способность заранее предусмотреть наиболее опасные для бизнеса ситуации и заранее подготовить контрмеру.

Риск подразумевает прежде всего возможность выбора действия и ответственность за результат. Именно в существовании большого количества предстоящих ситуаций заключается его основное содержание. Как известно, рынок – это экономическая воля: воля одного человека и свободы других в выборе и принятии решений о покупке, установлении цены на товар и условий сделок.

Степень воли предпринимательской деятельности в условиях коронавирусной пандемии по содержанию и форме может быть ограничена, например, законодательно, потому что целью законодательных норм является рационализация общественных, в том числе и экономических, отношений, а также защита личности и общества от нежелательных последствий и рисков. Но все же любой предприниматель имеет определенную степень риска.

Нельзя заблаговременно с абсолютной уверенностью найти результаты деятельности в условиях коронавирусной пандемии. Исключить вполне риски, даже при самой идеальной форме ведения хозяйствования, сложно. Таким образом, неопределенность – это неотъемлемая черта влияния коронавирусной пандемии.

Классическим примером решения по управлению риском является страхование транспорта. Однако у руководителя нет уверенности в том, что аварий не будет, а если будут, то неизвестно, какой ущерб будет нанесен. В этом случае можно строить только предположения, основываясь на практике и статистической информации.

Предпринимательства без риска не бывает. Осваивая предпринимательство, придется иметь дело с неопределенностью и повышенным риском. Задача настоящего предпринимателя, хозяйственника нового типа не избегать неизбежного риска в условиях коронавирусной пандемии, а уметь его чувствовать, правильно оценивать его степень, не переходить за допустимые пределы, предусматривать его, стремясь снизить до более низкого уровня.

Изучение материалов подтверждает тот факт, что в нашей экономической науке и практике хозяйствования, по существу, отсутствуют общепризнанные теоретические положения о риске в условиях коронавирусной пандемии.

Теория риска лишь частично сложилась и в странах с сформировавшейся рыночной экономикой. Но там имеется огромный опыт рискованного предпринимательства, сопровождаемый явно видимыми примерами процветания и краха, подъема и банкротства в зависимости от умелого и неунывающего поведения, а отчасти и везения в реальной обстановке. В условиях коронавирусной пандемии жизнь, процессы производства, распределения, обмена, потребления продукции обучают правилам поведения при наличии неопределенности и риска, поощряют за их знания и строго наказывают за их отсутствие.

Законы, регулирующие инвестиционную деятельность, в том числе с участием иностранного капитала, подразумевают для участников такой деятельности ряд рисков. Законодательное закрепление имеют риски, которым присуща высокая степень или опасность вероятности, а также риски, наиболее типичные для данного вида отношений. Для лица, имеющего охраняемый правом интерес, желательно более важно знать, как минимизировать риск, угрожающий его интересу, чем знать, имеет ли этот риск законодательную основу в условиях коронавирусной пандемии, законодательство развивается медленнее, то есть появление нового вида общественных отношений не сопровождается одновременным появлением соответствующей правовой базы.

УДК 656.073.436:334.7

## **АУТСОРСИНГ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*Т. Г. СЕРГЕЕВА, О. П. КИЗЛЯК*

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Российская Федерация*

Компании-операторы железнодорожного подвижного состава наряду с ОАО «РЖД» являются основными участниками перевозочного процесса [1, 2]. Они оказывают значительное влияние на транспортную отрасль и экономику страны в целом, т. к. эффективное управление вагонным парком всегда являлось приоритетной задачей в сфере железнодорожных перевозок. По состоянию на 1 июля 2020 года парк грузовых вагонов на сети «РЖД» составил 1184,2 тыс. ед.

В настоящее время в десятку крупнейших компаний-операторов, работающих на рынке грузовых железнодорожных услуг входят АО «ФГК», АО «ПГК», Globaltrans, АО «Нефтетранссервис», «Трансойл».

В настоящее время огромное влияние на работу компаний-операторов подвижного состава оказала глобальная пандемия и мировой экономический кризис. Исследования показали, что в сегменте оперирования железнодорожным подвижным составом продолжает наблюдаться снижение объемов перевозок. Так, за текущий год значительно сократились доходы компаний, работающих в сфере производства и оперирования железнодорожным подвижным составом. По оценкам Института проблем естественных монополий, выручка компаний-операторов железнодорожного подвижного состава по сравнению с аналогичным периодом 2019 года сократилась более чем на 90 млрд руб.

Тенденции развития российской и мировой экономики ставят перед компаниями-операторами новые задачи, решение которых позволит обеспечить их устойчивое развитие на

транспортном рынке, повысить доступность и качество транспортно-логистических услуг в области грузовых перевозок [4]. В этой связи существенно возрастает важность и значимость выявления, оценки и исследования рисков, учета рисков в перевозочной деятельности.

Риск является неотъемлемой частью природной и социальной среды, в которой мы живем. Риски и связанная с ними неопределенность постоянно окружают нас в реальной действительности. Еще больше это относится к сфере бизнеса. Для любого бизнеса важно не избежать риск, а предвидеть его и предпринять соответствующие меры. Успешны в бизнесе те, кто умеет находить баланс между риском и доходностью, а для этого необходимы эффективно работающие методы управления риском. Риском необходимо управлять, то есть использовать меры, позволяющие максимально прогнозировать наступление рискового события и применять соответствующие мероприятия к снижению степени риска.

Управление рисками на железнодорожном транспорте способствует принятию верных решений, которые учитывают неопределенность условий, возможность наступления определенных событий в будущем, а также их влияние на достижение поставленных целей компаний-операторов железнодорожного подвижного состава. Процесс управления рисками может быть осуществлен на любом этапе жизненного цикла перемещения продукции. Под жизненным циклом перемещения продукции понимается совокупность взаимосвязанных, последовательно осуществляемых процессов, происходящих в течение периода времени, который начинается с этапа добычи нефти и заканчивается этапом выполнения ее транспортировки конечным потребителям.

Для выделения конкретных рисков компаний-операторов железнодорожного подвижного состава при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом необходимо произвести их анализ. Под анализом риска понимается систематическое использование информации для определения источников риска и количественной их оценки. Основные цели анализа риска представлены на рисунке 1.

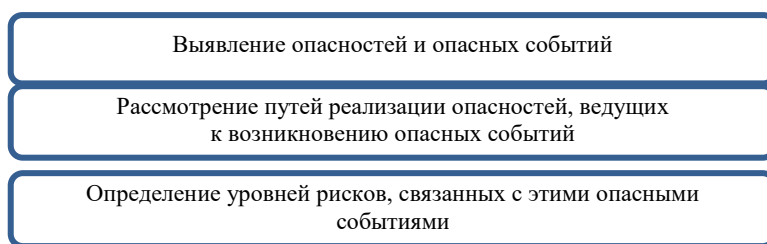


Рисунок 1 – Основные цели анализа риска

Масштаб риска или совокупности рисков, который характеризуется определенным сочетанием последствий и вероятности их возникновения, называется уровнем риска.

Уровень риска определяют по величине риска,  $R$ , рассчитываемой по формуле

$$R = F_R \{C, P\} = \sum_{i=1}^n [F_{Ri} (C_i, P_i)], \quad (1)$$

где  $F_R$  – функционал, связывающий вероятность  $P$  возникновения события и математическое ожидание последствия (ущерба)  $C$  от этого события;  $P$  – вероятность (частота) возникновения события;  $C$  – величина последствия возникновения события;  $i$  – вид события.

Рассчитанную величину риска  $R$  относят к одному из заданных уровней риска, для которых должны быть определены характеристики (например, интервалы значений для величины риска): недопустимый; нежелательный; допустимый; не принимаемый в расчет.

Количество используемых уровней риска и их характеристики определяет руководство компании-оператора подвижного состава самостоятельно.



В настоящее время нефтяная отрасль в России развивается быстрыми темпами. Россия входит в тройку крупнейших стран по среднесуточному объёму добычи нефти. По итогам 2020 г. лидирующую позицию по объёмам добычи нефти занимает США, что составляет 19,5 млн баррелей в день [1]. Вторую и третью позиции занимают Саудовская Аравия и Россия, среднесуточная добыча которых соответственно 11,8 и 11,5 млн баррелей. Однако падение мирового потребления нефти, вызванное эпидемиологической ситуацией в мире, принятие соглашения ОПЕК+ по ограничению добычи привело к необходимости снижения расходов нефтяных компаний [2, 3].

В данных условиях актуальной становится задача по снижению транспортной составляющей и соответственно расходов компаний-операторов железнодорожного подвижного состава на транспортировку нефти и нефтепродуктов [4]. Это может быть достигнуто путем передачи на аутсорсинг части работ, выполняемых компаниями-операторами подвижного состава. Минимизация затрат операторской компании возможна в том числе при использовании аутсорсинга при производстве вспомогательных операций, а именно путем передачи работ по промывке-пропарке цистерн на промывочно-пропарочных станциях аутсорсинговым компаниям.

Прекращение выполнения работ силами компании-оператора железнодорожного подвижного состава должно обеспечивать:

- повышение экономической эффективности деятельности предприятия за счет снижения суммарных издержек;
- повышение качества выполнения производственных процессов, передаваемых на аутсорсинг;
- оптимизацию и совершенствование технологических процессов выполнения отдельных видов работ;
- высокий уровень безопасности и охраны труда, производственной санитарии;

Принятие решения об использовании стратегии аутсорсинга должно основываться на строгих количественных критериях.

При передаче работ на аутсорсинг должно выполняться следующее условие:

$$C_{out} + C_{liq} < C_{com} \cdot \beta, \quad (2)$$

где  $C_{out}$  – затраты компании-оператора подвижного состава на оплату услуг аутсорсера;  $C_{liq}$  – затраты компании-оператора подвижного состава по сокращению персонала, ликвидации производства и др.;  $C_{com}$  – затраты компании-оператора подвижного состава на выполнение работ собственными силами;  $\beta$  – понижающий коэффициент, характеризующий оптимизацию затрат компании-оператора подвижного состава в результате применения аутсорсинга.

Также стоит рассмотреть целесообразность передачи на аутсорсинг сторонним организациям не только производственного процесса, но и систему управления риском этого процесса. Назовем это аутсорсингом управления риском. Достоинства аутсорсинга управления риском представлены на рисунке 2.

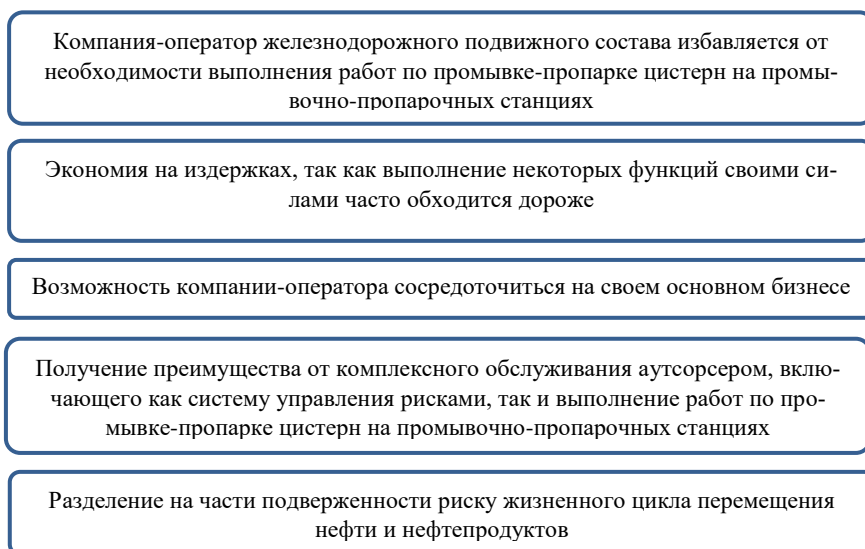


Рисунок 2 – Достоинства аутсорсинга управления риском

Снижение риска связано с поиском и внедрением новых услуг и технологий, а также оно возможно за счет управления риском, которое предполагает его выявление и оценку, а также использование таких процедур и методов управления, которые снижали бы возможные риски.

Анализ существующей ситуации в мире показал, что добыча и перевозка нефти и нефтепродуктов подвержена серьезным колебаниям спроса. В связи с этим актуальным становится поиск решений по снижению транспортной составляющей в цене нефти и нефтепродуктов [5]. Минимизация затрат операторской компании возможна в том числе при использовании аутсорсинга при производстве вспомогательных операций.

#### Список литературы

1 **Abboud, Ali.** The local economic impacts of the oil and gas industry: Boom, bust and resilience to shocks / Ali Abboud, Michael R. Betz // *Energy Economics*. – Vol. 99. – 2021. – 105285. – ISSN 0140-9883. – DOI : <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105285>.

2 Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: A study based on the oil industry / Javed Aslam [et al.] // *Journal of Innovation & Knowledge*. – Vol. 6. – Is. 2. – 2021. – P. 124–134. – ISSN 2444-569X. – DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jik.2021.01.002>.

3 **Сергеева, Т. Г.** Совершенствование управления парком частных вагонов / Т. Г. Сергеева // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2019. – Т. 16. – № 3. – С. 449–454.

4 **Кизляк, О. П.** Исследование информационной и материальной подсистем логистической цепи доставки внешнеторговых грузов / О. П. Кизляк, Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2019. – № 6 (78). – С. 55–61.

УДК 656.073.436:334.7

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АУТСОРСИНГА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

*Т. Г. СЕРГЕЕВА, О. П. КИЗЛЯК*

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Российская Федерация*

Нефтяная промышленность является важнейшей частью топливно-энергетического комплекса и приносит самый большой доход в бюджет страны. В рассматриваемый сегмент входят компании, занимающиеся разведкой, добычей, переработкой, транспортировкой и реализацией нефти и нефтепродуктов.

При выборе способа доставки потребителям нефти и нефтепродуктов учитывается целый ряд факторов: местоположение промыслов и предприятий перерабатывающего сектора, расположение конечных потребителей, степень развития транспортной инфраструктуры, объемы транспортируемого продукта [1]. Помимо этого, на выбор способа доставки во многом влияют её главные достоинства и недостатки в сравнении с другими видами транспорта [2]. Доставка и распределение нефти и нефтепродуктов может выполняться следующими видами транспорта: автомобильным, трубопроводным, водным, воздушным, а также железнодорожным транспортом. Выбор вида транспорта осуществляется исходя из развития транспортных путей, необходимого объема перевозок, расположения заводов, занимающихся переработкой, основных потребителей. Следует отметить, что при выборе вида транспортного средства для перевозки нефтепродуктов преследуется основная цель: минимизировать время доставки и затраты на перевозку [3–5].

Успешное перемещение нефти и нефтепродуктов во многом зависит от технологии работы наливных станций, путей необщего пользования предприятий по наливу и сливу нефтегрузов, а также промывно-пропарочных станций по очистке и пропарке цистерн. Целью текущего исследования является выявление целесообразности выполнения промывки и пропарки цистерн на промывно-пропарочных станциях средствами компаний-операторов железнодорожного подвижного состава и средствами аутсорсера. Оценка эффективности применения аутсорсинга при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом предлагается производить методом сравнительного

анализа, с учетом минимизации функции затрат на транспортировку нефти и нефтепродуктов путем снижения затрат на передачу работ по промывке-пропарке цистерн на промывочно-пропарочных станциях аутсорсинговыми компаниями.

На наш взгляд, прекращение выполнения работ силами компании-оператора железнодорожного подвижного состава должно обеспечивать: повышение экономической эффективности деятельности предприятия за счет снижения суммарных издержек; повышение качества выполнения производственных процессов, передаваемых на аутсорсинг; оптимизацию и совершенствование технологических процессов выполнения отдельных видов работ; высокий уровень безопасности и охраны труда, производственной санитарии. Принятие же решения об использовании стратегии аутсорсинга должно основываться на конкретных количественных критериях, позволяющих дать сравнительную оценку различных альтернативных вариантов [6, 7].

В качестве инструмента такого анализа предлагается использовать матрицу оценки целесообразности аутсорсинга. С помощью матрицы можно оценить два показателя: уровень конкурентоспособности компании и интегральный показатель целесообразности аутсорсинга. К конкурентоспособности компании можно отнести: уровень конкуренции в выбранном сегменте; оснащенность предприятия со стороны персонала и техники; новые технологии, которые внедряются в производство; финансовая стабильность предприятия и др.

Для оценки работ по промывке и пропарке цистерн формируется система нормативных показателей, которая позволит определить уровень качества предоставляемых услуг и стоимость по выбранному бизнес-процессу как аутсорсером, так и самим предприятием. Принятие решения о передаче работ по промывке и пропарке цистерн на аутсорсинг принимается на основе расчета интегрального показателя уровня целесообразности аутсорсинга/инсорсинга. Методика расчета интегрального уровня целесообразности основана на сравнительной оценке наиболее значимых характеристик выполнения бизнес-процессов для двух вариантов: выполнение работ по промывке и пропарке цистерн подразделением предприятия; передача работ по промывке и пропарке цистерн на аутсорсинг.

На первом этапе сравнения производится формирование набора показателей, для оценки качества и стоимости исполнения работ по промывке и пропарке цистерн. Далее для каждого показателя качества передаваемой функции определяются по два нормативных и фактических значения. Затем необходимо выполнить расчет фактического уровня качества выполнения работ по промывке и пропарке цистерн, внутренним подразделением предприятия и аутсорсером путем определения для каждого показателя соответствующего индекса. Использование индексных показателей, значения которых заключены в интервале [0; 1] дает возможность сравнивать различные качественные характеристики работ и сформировать интегральный показатель уровня целесообразности аутсорсинга/инсорсинга.

Интегральный показатель уровня целесообразности определяется как для аутсорсера, так и для собственного подразделения фирмы. Он может принимать значения от 0 до 1. Значение показателя более близкое к единице, соответствует наиболее приемлемому варианту выполнения данной работы. Если выделенный ряд показателей сравнивать без учёта важности каждого из них для конкретной компании, то оценка будет неполной. Для более корректной оценки каждого параметра рассматриваемого показателя необходимо учесть степень его важности путём расчёта весового коэффициента. Интегральный показатель уровня целесообразности аутсорсинга/инсорсинга рассчитывается для каждого из двух альтернативных вариантов выполнения функции: инсорсинга либо аутсорсинга. Тот вариант, для которого значения интегрального индекса больше, является для организации наиболее предпочтительным.

Окончательные же выводы о целесообразности передачи работ по промывке и пропарке цистерн на аутсорсинг нужно сделать с учетом оценивания экономического эффекта от использования аутсорсинга. Он обеспечивается, если затраты компании-оператора подвижного состава, связанные с передачей работ по промывке и пропарке цистерн на аутсорсинг, будут ниже затрат на выполнение этих видов работ своими силами.

#### Список литературы

1 Никифорова, Г. И. Построение дескриптивной модели логистической цепи доставки грузов при взаимодействии железнодорожного и морского транспорта / Г. И. Никифорова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 545–551.

2 **Покровская, О. Д.** Принципы реализации комплексных транспортно-логистических услуг на железнодорожном транспорте и требования к ним / О. Д. Покровская // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 288–303.

3 **Сергеева, Т. Г.** Повышение конкурентоспособности транспортно-логистических компаний в условиях цифровизации / Т. Г. Сергеева, Г. И. Никифорова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 428–436.

4 **Pokrovskaya, O.** Assessment of Transport and Storage Systems / O. Pokrovskaya, R. Fedorenko // Advances in Intelligent Systems and Computing : 8th International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia-2019; 22 May 2019, Novosibirsk, Russian Federation. – 2020. – Vol. 1115 AISC. – P. 570–577. – DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2\_55.

5 Formation of logistics facilities in transport corridors / O. Pokrovskaya [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Serie 8. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia-2020 (20–27 May 2020, Novosibirsk). – 2020. – Vol. 918, 012032. – doi:10.1088/1757-899X/918/1/012032.

6 **Pokrovskaya, O.** Cargo transportation and commodity flows management / O. Pokrovskaya, R. Fedorenko, N. Kizyan // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : VIII International Scientific Conference Transport of Siberia-2020 (20–27 May 2020, Novosibirsk). – 2020. – Vol. 918, 012050. – doi:10.1088/1757-899X/918/1/012050.

7 **Сергеева, Т. Г.** Совершенствование управления парком частных вагонов / Т. Г. Сергеева // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 449–454.

УДК 656.2.001.895

## **РОЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*О. А. ХОДОСКИНА, Е. А. ГУСЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Эффективное функционирование экономической системы государства невозможно без соответствующего ей уровня транспортного обслуживания как сферы грузоперевозок, так и перевозок пассажиров. Для страны важным является качественное взаимодействие различных видов транспорта, существующих в государстве, на основе использования современных инновационных технологий и подходов в области реализации актуальных технических решений. Инновации, являясь неотъемлемой частью современной жизни и элементом современного развития в различных областях человеческой деятельности, призваны в результате улучшить качество жизни населения, обеспечить повышение уровня качества оказываемых услуг.

Однако любые преобразования, в том числе и носящие инновационный характер, невозможны без финансовых вложений. Часто возникает ситуация, когда в экономической системе или в отдельной отрасли, на предприятии существует явное несоответствие между осуществляемыми ресурсными вложениями, собственно инновациями и ожидаемым (или получаемым) результатом. Одновременно от них ожидается и определенная «отдача» – некий эффект экономического, социального или экологического характера.

Эффективная деятельность железнодорожного транспорта представляет собой важную составляющую в разработке условий для совершенствования, развития и стабильного роста экономики. Функционируя в тесной взаимосвязи с разнообразными видами транспорта, железнодорожный транспорт удовлетворяет нужды жителей страны и экономики.

Значимость железнодорожного транспорта, а также необходимость удерживать свою нишу на рынке транспортных услуг, заставляет отвечать актуальным современным условиям быстрого развития в инновационной сфере. Результативное внедрение инноваций и предоставление действенного механизма инновационного развития заставляет осуществлять качественные преобразования в сфере развития новейших транспортных продуктов, а также в сфере улучшения процессов управления, нацеленных на выявление новых способов роста эффективности железной дороги.

Все многочисленные инновационные результаты в сфере железнодорожного транспорта должны отвечать важным условиям – снижению себестоимости услуг и росту скорости перевозок.

Инновационное усовершенствование железнодорожного транспорта связано с многочисленными направлениями, а также с целями внутренней социально-экономической политики государства. Однако на передний план в данном случае все же будет выходить усовершенствование высокоскоростного движения железнодорожного транспорта, которое может улучшить подвижность жителей страны, понизить значимость психологического показателя при выборе местности для работы и

жизни, улучшить поступление высококвалифицированных рабочих в различные отрасли экономики. Также это может снизить затраты личного времени граждан, что оказывает позитивное влияние на разрешение проблем, связанных с исследованием малозаселённых местностей.

В качестве другого направления инновационного развития железнодорожного транспорта можно рассматривать совершенствование железнодорожного сообщения в роли городского пассажирского транспорта – как альтернатива автобусам и автомобилям, что нужно с точки зрения устранения проблем перегруженности в больших городах, а также уменьшения загрязнённости окружающей среды.

Инновационное развитие железнодорожного транспорта помогает разнообразить весь спектр торгово-экономических, культурных и научно-технических связей, а также минимизировать существующие ограничения на рынке товаров и услуг. В такой ситуации будет возрастать значимость транспортных компонентов в ВВП как основного динамичного элемента стратегии социально-экономического развития страны.

Несоответствие скорости доставки пассажиров и грузов требованиям экономической системы страны, а качества транспортного обслуживания экономики и жителей предъявляемым со стороны потребителя требованиям можно объяснить недостаточными техническими возможностями транспорта (в частности – не окончен проект по электрификации ряда линий). Главный принцип увеличения качества и объёма перевозок в экономической системе – это соответствующее развитие механизма управления транспортным комплексом и повышение взаимосвязи различных видов транспорта, включенных в транспортную систему.

Эффективное внедрение инновационной составляющей развития железнодорожного транспорта основывается на полном экономическом анализе и системной оценке социально-экономических итогов интенсивного использования технологического ресурса перевозок. Набор критериев отбора технических и технологических методов интенсификации и обеспечения безопасности железнодорожных перевозок должен способствовать обеспечению высокого качества транспортного обслуживания.

Главная цель инновационной политики в области железнодорожного транспорта заключается в том, чтобы определить направления, создать и обеспечить внедрение перспективных технологий перевозок, а также систем обеспечения сохранности грузов и безопасности пассажиров, развитие которых способствовало бы выведению железнодорожного транспорта на качественно новый улучшенный уровень развития, предоставляло бы эффективную и качественную транспортную услугу, способствовало удовлетворению потребностей и пожеланий клиентов.

Вместе с тем следует отметить, что говорить об инновационных преобразованиях только на уровне технологической их составляющей невозможно, так как экономический аспект зачастую является определяющим фактором при принятии их к реализации. Экономическую составляющую инновационной деятельности можно рассматривать одновременно и как способ реализации финансово-экономического потенциала транспортной отрасли (или же отдельных предприятий), и как ожидаемый экономический эффект от реализации инноваций. При этом если в первом случае финансово-экономический потенциал (по сути – финансовые ресурсы) можно охарактеризовать с математической точки зрения как функцию, стремящуюся к минимизации, то во втором – это уже экономико-математическая модель, представленная функциональной зависимостью (или несколькими), максимизация которых будет свидетельствовать о наилучших результатах принимаемых инновационных решений.

Таким образом, экономическая база (или экономическая составляющая) инновационного развития железнодорожного транспорта должна быть не только достаточно устойчивой и базироваться на имеющихся в экономической системе ресурсах разного характера, но также и нести в себе большой потенциальный экономический эффект как для Белорусской железной дороги, так и для экономики Республики Беларусь в целом.

#### Список литературы

1 Субъекты инновационной инфраструктуры Республики Беларусь / под ред. А. Г. Шумилина. – Минск : ГУ «БелИСА», 2018. – 98 с.

2 Ходоскина, О. А. Место железнодорожных перевозок в транспортном комплексе страны: маркетинговые инновации / О. А. Ходоскина // Мониторинг и анализ в системе эффективного менеджмента на железнодорожном транспорте: реалии и перспективы : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Киев : АТ «Укрзалізниця», 2019. – С. 23–24.

3 Михальченко, А. А. Современные подходы в инвестиционной деятельности для развития железной дороги / А. А. Михальченко, В. С. Коцур // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 144–145.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*О. А. ХОДОСКИНА, А. С. ПИСАРЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспорт является неотъемлемой частью, а зачастую, и движущим фактором в развитии экономической системы государства. Поэтому одним из важнейших вопросов его эффективного функционирования является своевременное и качественное обеспечение актуального технологического оснащения структурных подразделений, входящих в его состав, использование всего ресурсного потенциала предприятий железнодорожного транспорта, в том числе и технологического потенциала. Бесперебойность и безопасность железнодорожных перевозок очень важны для экономики Беларуси – страны, которая находится в центре Европы. А это, в свою очередь, невозможно без эффективной организации технологического процесса предприятий Белорусской железной дороги, использования ими современных технологий.

Сфера транспортных перевозок оказывает значительное влияние на экономику страны, что можно подтвердить следующими данными. В частности, выручка от грузоперевозок железнодорожным транспортом в 2019 году составила 2675,7 млн рублей, затраты – 1807,1 млн рублей. Однако следует помнить, что время наступившей пандемии COVID-19, которая значительно повлияла на железнодорожную отрасль, в целом изменила объем перевозок грузов БЖД за 2020 г. на 14,1 % в худшую сторону, и аналогично грузооборот – на 12 %.

Железнодорожный транспорт отличается от других видов наземного транспорта в первую очередь своей массовостью потоков различных грузов и пассажиров, и в достаточно низкой себестоимостью их перевозок (в особенности на большие расстояния). Такое преимущество позволяет не только устойчиво занимать свою нишу на транспортном рынке, но и увеличивать ее долю за счет конкурентирования с другими видами транспорта по значимым для потребителя факторам.

С точки зрения роста объемов перевозок и доходности для Белорусской железной дороги по-прежнему перспективным направлением являются перевозки прямыми ускоренными контейнерными поездами (в частности, «ВИКИНГ» (Литва – Беларусь – Украина – Молдова – Румыния); «ZUBR» (Эстония – Латвия – Беларусь – Украина – Молдова); «Монгольский вектор» (Брест (Беларусь) – УланБатор (Монголия)). В таких перевозках в 2020 году общий объем перевозок превысил 1 млн TEU (двадцатифутовый эквивалент). Несмотря на сложные экономические условия, связанные с необходимостью адаптироваться к усложнившимся условиям работы ввиду пандемии, снижением в связи с этим численности клиентуры и изменением как направлений грузопотоков, так и их структуры перевозки возросли более чем на треть к 2019 году и в 4 раза по отношению к 2015 году. Также были созданы все требуемые условия для наращивания экспортных поставок в контейнерах товаров белорусских производителей и в 2020 году за счет развития транспортно-логистических и экспедиционных услуг БЖД смогло достичь роста экспорта почти на 40 % к уровню 2015 года.

Контейнерные перевозки продолжают оставаться наиболее перспективным направлением грузоперевозок, развиваемым Белорусской железной дорогой. В связи с этим на современном этапе развития международного сотрудничества и участия страны в значимых международных проектах наибольший рост возможен в рамках развития проекта «Нового шелкового пути», основная часть реализации которого как раз и относится к области железнодорожных грузовых перевозок и логистического обслуживания и непосредственно связана с участием в них Республики Беларусь. Основным элементом достижения этой цели является строительство новых и модернизация работы уже существующих транспортно-логистических центров, доведение технологического ресурса Белорусской железной дороги до уровня, требуемого для эффективной реализации международного проекта. В частности, основными направлениями совершенствования технологического оснащения железнодорожного комплекса Республики Беларусь на современном этапе являются следующие: электрификация основных железнодорожных линий, по которым проходят наибольшие грузо- и

пассажиropотоки; повышение уровня логистического сервиса и использования логистических технологий; осуществление технологически современных пассажирских перевозок.

Повышение качества пассажирских перевозок также является одной из первостепенных задач для Белорусской железной дороги, поэтому актуальными направлениями в области повышения клиентоориентированности перевозок пассажиров являются ускорение движения поездов в межрегиональном сообщении, совершенствование способов реализации проездных документов, повышение качества обслуживания пассажиров. Самым требуемым и существенным направлением улучшения качества обслуживания пассажиров является обновление и совершенствование подвижного состава (в частности, приобретение современных электропоездов для курсирования по новым электрофицированным участкам, а также для городских железнодорожных перевозок). В связи с этим на 2021 год запланировано приобретение шесть единиц электропоездов межрегиональных линий бизнес-класса, в будущем задействованные на основных пассажирообразующих направлениях.

Также существенное внимание уделяется необходимости продолжения работы по дальнейшей автоматизации технологических процессов и цифровой трансформации Белорусской железной дороги. На сегодняшний день это становится важным условием для снижения затрат на фоне максимального использования имеющихся ресурсов и, соответственно, повышения конкурентоспособности транспортных услуг. Максимизация использования ресурсов структурных подразделений железной дороги предполагает построение и использование производственно-экономической «ресурсной» модели, включающей набор целевых показателей долгосрочной работы, связанных с осуществлением технологической и производственно-финансовой деятельности предприятий железнодорожного транспорта, позволяющей определять «узкие места» не только собственно в производстве, использовании современной и актуальной технологии, но и в наличии и эффективности использования соответствующих источников финансирования, программ обучения персонала (при совершенствовании технологической составляющей производственного процесса на транспортных предприятиях).

При этом актуальными формами реализации потенциала имеющегося технологического ресурса подразделений железной дороги является внедрение новой техники и технологическое перевооружение путем приобретения инновационных транспортных средств и внедрения передовых технологий и оборудования (современных электропоездов, внедрение беспилотных локомотивов, систем спутникового отслеживания грузов и т. п.), а также пооперационный анализ и реинжиниринг производственно-технологических процессов на основе внедрения процессного подхода. Целесообразность применения системного подхода при реинжиниринге бизнес-процессов связана с возможностью использования научных достижений, объединенных из нескольких областей, а также с выработкой комплексных путей для достижения запланированного результата; со снятием рисков и проблем поиска источников финансирования [2].

Для Республики Беларусь дальнейшее развитие этих направлений позволит выйти на качественно новый уровень осуществления как грузовых, так и пассажирских перевозок, значительно повысив тем самым качество обслуживания клиентов – как грузовладельцев, так и пассажиров.

#### Список литературы

1 **Хоменко, Я. В.** Совершенствование технологических процессов для повышения эффективности труда на предприятиях железнодорожного транспорта / Я. В. Хоменко, С. В. Рачек // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – № 2. – 54 с.

2 Белорусская железная дорога подвела итоги 2020 года и обозначила перспективы на 2021 год [Электронный ресурс] // INFOTRANS. Транспортно-логистический портал. – 2021. – Режим доступа : <https://infotrans.by/2021/02/01/beloruskaya-zheleznaya-doroga-podvela-itogi-2020-goda-i-oznachila-perspektivy-na-2021-god/>. – Дата доступа : 25.09.2021.

## 8 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 539.3

### К РАСЧЕТУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ – РИГЕЛЯ НА ANSYS

Ф. Э. АБДУКАДИРОВ

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

В настоящее время в области строительства используется множество современных программ AutoCAD, ArchiCAD, Revit, SCAD Soft, LIRA SAPR, ANSYS для проектирования и расчета различных зданий, сооружений, мостов и тоннелей [1, 2].

Актуальной задачей является создание эффективных методов расчета напряженно-деформированного состояния и анализа устойчивости элементов инженерных конструкций – типа ригеля, подкрепленного на стойке. В работе рассматривается схема расчета НДС ригеля с использованием программы ANSYS [3].

Конструкция эстакады-ригеля на стойке считается сборно-монолитной, состоящей из промежуточных опор и пролетных строений, перекрывающих пространство между опорами и передающих вес нагрузок через опоры на грунт. Промежуточные опоры монолитные, круглые из обычного железобетона с ригелем U-образной формы. Рассмотрены различные виды нагрузок – вдоль пролета (загружения): собственный вес конструкций – постоянная; постоянные + временные – загрузка одного пути двух пролетов; постоянные + временные – загрузка двух пролетов двух путей.

После завершения процесса вычисления, результирующий анализ модели появляется в рабочем окне (рисунок 1).

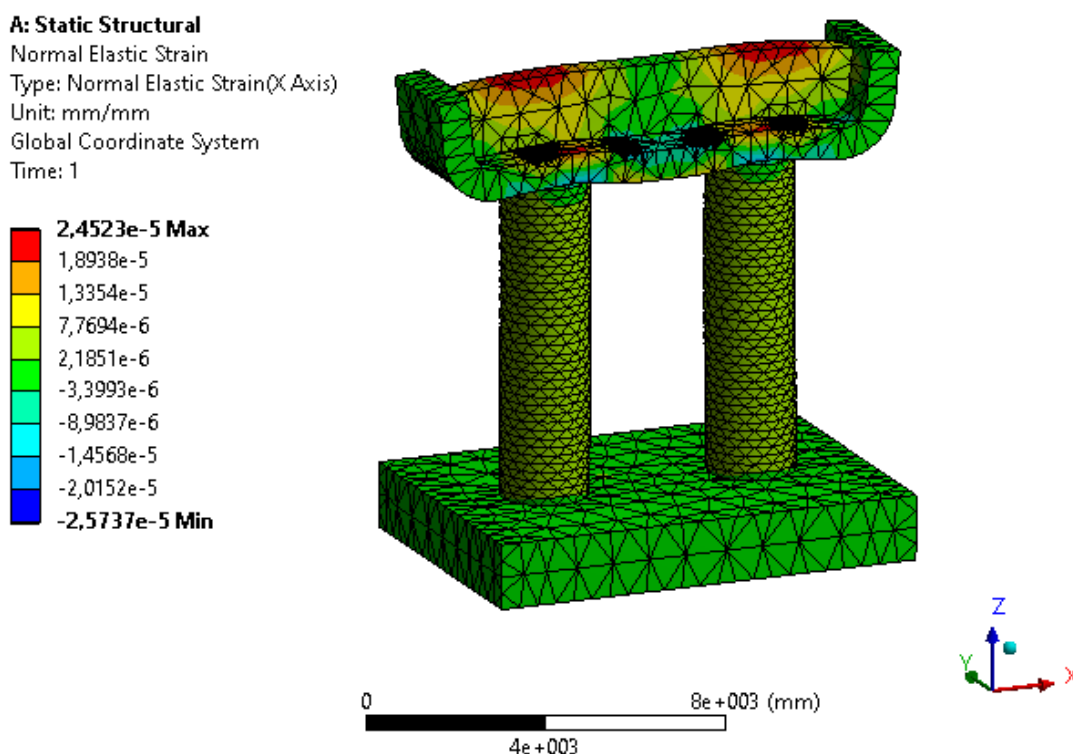


Рисунок 1 – Результаты, полученные МКЭ



Возможность просмотра отчетов через функции **View reports**. Эта функция используется для создания отчета на основе анализа результатов расчета. Чтобы завершить процесс подготовки отчета, надо нажать кнопку «**View report**» и в окне «**Mechanical Application Wizard**» отобразятся отчеты по проекту.

Исследовано напряженно-деформированное состояние данного объекта-ригеля [4]. В качестве примера на рисунках 2, 3 приведены графики расчетных величин  $\sigma_x$  и  $\varepsilon_z$  по трем загрузкам ригеля ( $i$  – количества точек по длине ригеля).

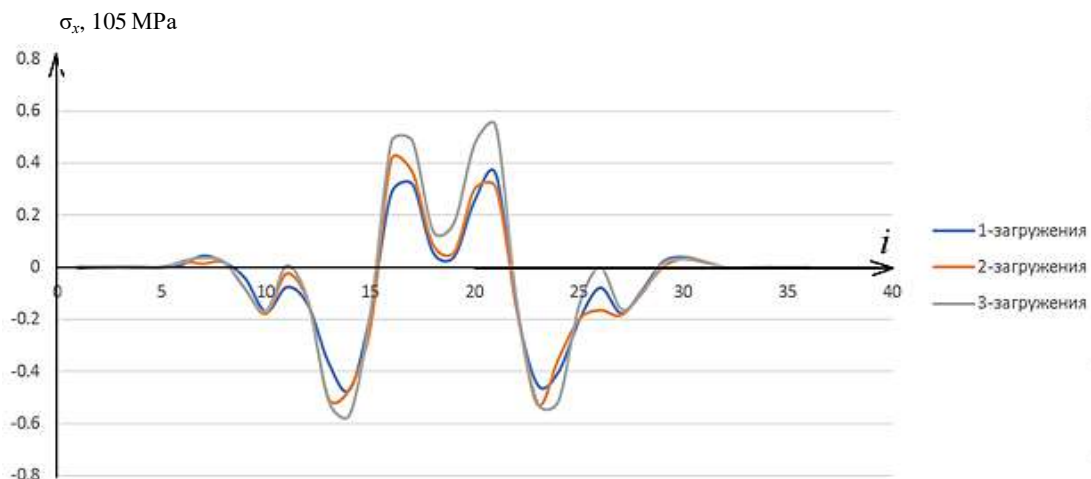


Рисунок 2 – Характер изменения напряжений  $\sigma_x$  по длине ригеля

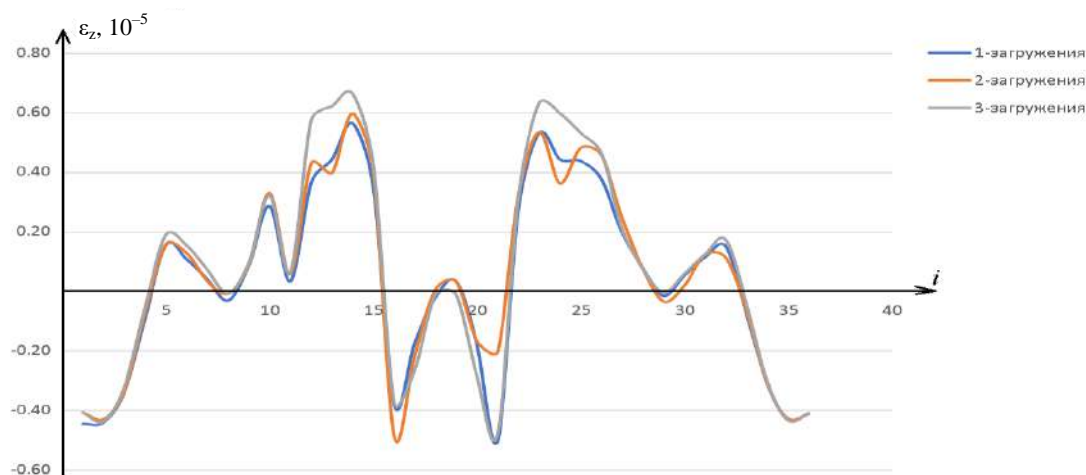


Рисунок 3 – Характер изменения деформаций  $\varepsilon_z$  по длине ригеля

Выполнен расчет двухстоечной опоры под эстакаду на действие основных и особых сочетаний нагрузок в соответствии с требованиями ШНК 2.05.03-97 «Мосты и трубы» и КМК 2.01.20-16 «Строительство транспортных сооружений в сейсмических районах» (СНиП). Сейсмичность площадки строительства принята равной 9 баллов. В результате расчета получены значения перемещений и усилий в каждом конечном элементе конструкции для каждого из рассмотренных сочетаний нагрузок.

#### Список литературы

- 1 **Бондаренко, В. М.** Расчетные модели силового сопротивления железобетона / В. М. Бондаренко. – М., 2004. – 472 с.
- 2 Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях / Г. А. Гениев [и др.]. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 216 с.
- 3 **Басов, К. А.** ANSYS: Справочник / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
- 4 **Абдусаттаров, А.** Модели деформирования и методы расчета несущих элементов тонкостенных конструкций / А. Абдусаттаров, Н. Х. Сабилов, Ф. Э. Абдукадиров. – Ташкент : Узбекистан, 2019. – 100 с.

**МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ  
ТИПА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

*А. АБДУСАТТАРОВ, Н. Б. РУЗИЕВА*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Теория оболочек представляет собой весьма обширную ветвь механики деформируемого твердого тела, имеющую сложную структуру. Тонкостенные оболочечные конструкции однослойных и трехслойных (покрытия и перекрытия в строительстве, тепловые энергоустановки, газо- и нефтепроводы, сосуды высокого давления, кузова вагонов, котлы цистерн, отделка тоннелей) отличаются существенной спецификой конструктивных форм, технологией изготовления, условиями эксплуатации, упругопластических свойств применяемых материалов [1, 2].

Сформулирована постановка задачи и методика расчета процессов деформирования оболочечных конструкций – магистральных трубопроводов за пределами упругости при повторно-переменном нагружении. При выполнении расчета несущих элементов конструкции и сооружении используется главным образом теория малых упругопластических деформаций А. А. Ильюшина – В. В. Москвитина.

Следуя теории В. В. Москвитина, введем разности

$$\bar{U}_i^{(n)} = (-1)^n (U_i^{(n-1)} - U_i^{(n)}), \quad \bar{e}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (e_{ij}^{(n-1)} - e_{ij}^{(n)}), \quad \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (\sigma_{ij}^{(n-1)} - \sigma_{ij}^{(n)}). \quad (1)$$

Согласно [3] для определения компонентов перемещений  $\bar{U}_i^{(n)}$  и деформаций  $\bar{e}_{ij}^{(n)}$  при  $n$ -м нагружении имеем следующие соотношения:

$$\bar{U}_\alpha^{(n)} = \bar{U}^{(n)} - \frac{\gamma}{A} \cdot \frac{\partial \bar{W}^{(n)}}{\partial \alpha}, \quad \bar{U}_\beta^{(n)} = (1 + k_2 \gamma) \bar{V}^{(n)} - \frac{\gamma}{B} \cdot \frac{\partial \bar{W}^{(n)}}{\partial \beta}, \quad \bar{U}_\gamma^{(n)} = \bar{W}^{(n)}(\alpha, \beta). \quad (2)$$

Для определения деформации, имеем следующие уточненные формулы:

$$\begin{aligned} \bar{e}_{\alpha\alpha}^{(n)} &= \frac{1}{R} \frac{\partial \bar{U}^{(n)}}{\partial \alpha} - \frac{\gamma}{R^2} \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{\partial \alpha^2}, \quad \bar{e}_{\beta\beta}^{(n)} = \frac{\partial \bar{V}^{(n)}}{R \partial \beta} - (\gamma - k_2 \gamma^2) \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{R^2 \partial \beta^2} + (1 - k_2 \gamma + k_2^2 \gamma^2) k_2 \bar{W}^{(n)}; \\ \bar{e}_{\alpha\beta}^{(n)} &= (1 - k_2 \gamma + k_2^2 \gamma^2) \frac{\partial \bar{U}^{(n)}}{R \partial \beta} - (\gamma - k_2 \gamma^2) \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{R^2 \partial \alpha \partial \beta} + (1 + k_2 \gamma) \frac{\partial \bar{V}^{(n)}}{R \partial \alpha} - \frac{\gamma}{R^2} \frac{\partial^2 \bar{W}^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta}. \end{aligned} \quad (3)$$

При переменном нагружении компоненты напряжений и деформаций связаны следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} &= G_1 \left\{ \left( e_{\alpha\alpha}^{(n)} + \mu e_{\beta\beta}^{(n)} \right) - \left[ \omega^{(n)} \left( \bar{e}_{\alpha\alpha}^{(n)} + \mu \bar{e}_{\beta\beta}^{(n)} \right) + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \left( \bar{e}_{\alpha\alpha}^{0(n-m)} + \mu \bar{e}_{\beta\beta}^{0(n-m-1)} \right) \right] \right\}; \\ \sigma_{\beta\beta}^{(n)} &= G_1 \left\{ \left( e_{\beta\beta}^{(n)} + \mu e_{\alpha\alpha}^{(n)} \right) - \left[ \omega^{(n)} \left( \bar{e}_{\beta\beta}^{(n)} + \mu \bar{e}_{\alpha\alpha}^{(n)} \right) + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \left( \bar{e}_{\beta\beta}^{0(n-m)} + \mu \bar{e}_{\alpha\alpha}^{0(n-m-1)} \right) \right] \right\}; \\ \sigma_{\alpha\beta}^{(n)} &= G_1 \left\{ e_{\alpha\beta}^{(n)} - \omega^{(n)} \bar{e}_{\alpha\beta}^{(n)} + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{e}_{\alpha\beta}^{0(n-m)} \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для вывода уравнения движения цилиндрической части трубопровода при повторно-переменном нагружении воспользуемся вариационным принципом Гамильтона – Остроградского:

$$\int_t (\delta T^{(n)} - \delta \Pi^{(n)} + \delta A^{(n)}) dt = 0; \quad (5)$$

$$\int_t \delta T^{(n)} dt = \int_t \int_v \left( \rho \frac{\partial U_\alpha^{(n)}}{\partial t} \delta \frac{\partial U_\alpha^{(n)}}{\partial t} + \rho \frac{\partial U_\beta^{(n)}}{\partial t} \delta \frac{\partial U_\beta^{(n)}}{\partial t} + \rho \frac{\partial U_\gamma^{(n)}}{\partial t} \delta \frac{\partial U_\gamma^{(n)}}{\partial t} \right) dV dt; \quad (6)$$

$$\int_t \delta \Pi^{(n)} dt = \int_t \int_v \left( \sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} \delta l_{\alpha\alpha}^{(n)} + \sigma_{\beta\beta}^{(n)} \delta l_{\beta\beta}^{(n)} + \sigma_{\alpha\beta}^{(n)} \delta l_{\alpha\beta}^{(n)} \right) dV dt; \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
\int_t \delta A^{(n)} dt = & \int \int_V \left[ P_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + P_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + P_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] dV^{(n)} dt + \int \int_{t,s} \left[ q_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + \right. \\
& + q_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + q_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \left. \right] ds dt + \int \int_{t,s_1} \left[ \varphi_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + \varphi_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + \varphi_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] ds_1 dt \Big|_\alpha + \\
& + \int \int_{t,s_2} \left[ f_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + f_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + f_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] ds_2 dt \Big|_\beta. \quad (8)
\end{aligned}$$

Используя выражения перемещений (2), деформаций (3), связь между напряжениями и деформациями (4), а также выполняя интегрирование по частям, вводя некоторые обозначения, получили системы дифференциальных уравнений движения магистральных трубопроводов с граничными и начальными условиями [4]:

$$\begin{aligned}
& \rho h \frac{\partial^2 U^{(n)}}{\partial t^2} - \frac{G_1}{R} \left[ \tilde{a}_{11} \frac{\partial^2 U^{(n)}}{\partial \alpha^2} - \tilde{a}_{12} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial \alpha^3} + \tilde{a}_{13} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial \beta \partial \alpha} - \tilde{a}_{14} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial \beta^2 \partial \alpha} + \tilde{a}_{15} \frac{\partial W^{(n)}}{\partial \alpha} \right] + \\
& + \frac{G}{R} \left( 1 + k_2^2 \frac{h^2}{12} \right) \left[ \tilde{a}_{31} \frac{\partial^2 U^{(n)}}{\partial \beta^2} + \tilde{a}_{32} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \tilde{a}_{33} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta} + \tilde{a}_{34} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial \alpha \partial \beta^2} \right] + N^{(n)}(P_1^{(n)}) + N^{(n)}(q_1^{(n)}) = 0; \\
& \rho \left( h + k_2^2 \frac{h^3}{12} \right) \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial t^2} - \rho k_2 \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} + \frac{G}{R} \left[ \tilde{a}_{31} \frac{\partial^2 U^{(n)}}{\partial \beta \partial \alpha} + \tilde{a}_{32} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial \alpha^2 \partial \beta} + \tilde{a}_{33} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial \alpha^2} + \tilde{a}_{34} \frac{\partial^3 W^{(n)}}{\partial \alpha^2 \partial \beta} \right] + \\
& + \frac{G_1}{R} \left[ \tilde{a}_{21} \frac{\partial^2 V^{(n)}}{\partial \beta \partial \alpha} - \tilde{a}_{22} \frac{\partial^3 W}{\partial \beta^2 \partial \alpha} + \tilde{a}_{23} \frac{\partial W}{\partial \alpha} + \tilde{a}_{24} \frac{\partial^2 U}{\partial \alpha^2} - \tilde{a}_{25} \frac{\partial^3 W}{\partial \beta^2 \partial \alpha} \right] + N^{(n)}(P_2^{(n)}) + N^{(n)}(q_2^{(n)}) = 0; \\
& \rho h \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial t^2} - \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \alpha^2} + \rho k_2 \frac{h^3}{12R} \frac{\partial^3 V^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta} - \rho \frac{h^3}{12R^2} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial t^2 \partial \beta^2} + \frac{G_1}{R^2} \left[ \tilde{a}_{41} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial \alpha^4} - \tilde{a}_{42} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial \beta^2 \partial \alpha^2} - \right. \\
& \left. - \tilde{a}_{43} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \alpha^2} \right] + \frac{2G}{R^2} \left[ \tilde{a}_{61} \frac{\partial^3 U^{(n)}}{\partial \beta^2 \partial \alpha} + \tilde{a}_{62} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \tilde{a}_{63} \frac{\partial^3 V^{(n)}}{\partial \alpha^2 \partial \beta} \right] + \frac{G_1}{R^2} \left[ \tilde{a}_{41} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} - \right. \\
& \left. - \tilde{a}_{42} \frac{\partial^4 W^{(n)}}{\partial \beta^4} - \tilde{a}_{43} \frac{\partial^2 W^{(n)}}{\partial \beta^2} \right] - G_1 k_2 \left( 1 + k_2^2 \frac{h^2}{12} \right) \left[ \tilde{a}_{21} \frac{\partial V^{(n)}}{\partial \beta} - \tilde{a}_{22} \frac{\partial^2 W}{\partial \beta^2} + \tilde{a}_{23} W + \tilde{a}_{24} \frac{\partial U}{\partial \alpha} - \tilde{a}_{25} \frac{\partial^2 W}{\partial \beta^2} \right] + \\
& + \frac{\partial}{R \partial \alpha} \left( M^{(n)}(P_1^{(n)}) + M^{(n)}(q_1^{(n)}) \right) + \frac{\partial}{R \partial \beta} \left( M^{(n)}(P_2^{(n)}) + M^{(n)}(q_2^{(n)}) \right) + Q^{(n)}(P_3^{(n)}) + Q^{(n)}(q_3^{(n)}) = 0. \quad (9)
\end{aligned}$$

Для решения краевых задач применен метод Бубнова – Галеркина и метод конечных разностей второго порядка точности [5]. Систему дифференциальных уравнений (9) можно записать в векторной форме,  $U_k = (W_k, U_k, V_k)^T$ ,  $F_k = (Z_k, X_k, Y_k)^T$ ;  $A_i$  – матрица третьего порядка.

$$A_1 \ddot{U}_n + A_2 \ddot{U}_n'' + A_3 U_n^{IV} + A_4 U_n'' + A_5 U_n' + A_6 U_n + F_n = 0. \quad (10)$$

В результате получена система алгебраических уравнений, которая решается методом прогонки:

$$\begin{aligned}
& B_n U_{n,i-1}^{k+1} + C_n U_{n,i}^{k+1} + B_n U_{n,i+1}^{k+1} + \bar{A}_n U_{n,i+1}^{k+1} + \bar{B}_n U_{n,i-1}^k + \bar{C}_n U_{n,i}^k + \bar{D}_n U_{n,i+1}^k + \bar{A}_n U_{n,i+2}^k + B_n U_{n,i-1}^{k-1} + \\
& + C_n U_{n,i}^{k-1} + B_n U_{n,i+1}^{k-1} + \tau^2 F_{n,i}^k = 0. \quad (11)
\end{aligned}$$

#### Список литературы

- 1 Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 344 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных физически нелинейных стержней / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко. – М. : Изд-во МАИ, 2016. – 184 с.
- 3 Власов, В. З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике / В. З. Власов. – М. : Гостехиздат, 1949. – 761 с.
- 4 Абдусаттаров, А. Моделирование нелинейного деформирования магистральных трубопроводов при повторно-статическом и динамическом нагружении с учетом повреждаемости / А. Абдусаттаров, Н. Б. Рузиева // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – Ташкент, 2021. – № 4. – С. 15–35.
- 5 Самарский, А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М. : Наука, 2001. – 316 с.

## О МЕТОДИКЕ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ СТАТИКИ ДЛИННЫХ ОРТОТРОПНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ

Ю. Ю. АБРОСОВ, В. А. МАКСИМЮК, И. С. ЧЕРНИШЕНКО  
Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Цилиндрические оболочки некругового поперечного сечения интересны как в современном инженерном деле, так и теоретических исследованиях. Расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) таких оболочек численными сеточными методами усложняются [1] из-за мембранного запиравания (locking) [2]. Применение нелинейно-упругих композитных материалов для изготовления оболочек ведет к необходимости учета в теории нелинейных свойств анизотропных материалов [2].

Пусть срединная поверхность длинной цилиндрической оболочки образована вращением вокруг оси  $Oy$  эллипса с полуосями  $a$  и  $b$

$$F(x, y) = \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 - 1 = 0. \quad (1)$$

Эта поверхность отнесена к криволинейной системе координат  $(s, z, \gamma)$ , в которой координата  $\gamma$  направлена по нормали к поверхности, а  $s$  – длина дуги эллипса, которая отсчитывается от точки  $(x=0, y=b)$  по часовой стрелке (рисунок 1). Очевидно, что оба коэффициента первой квадратичной формы в этой системе будут равны единице ( $A_s = A_z = 1$ ), а кривизна образующей – нулевая. Оси ортотропии нелинейно-упругого композитного материала [2, 3] оболочки совпадают с линиями главных кривизн оболочки.

В длинных оболочках НДС в произвольном поперечном сечении можно принять одинаковым, поэтому задача статики будет одномерной. Пусть тогда под действием постоянного и равномерного внутреннего давления  $p$  в ортотропной композитной однородной нелинейно-упругой тонкой оболочке постоянной толщины возникают малые перемещения в поперечном сечении, а вдоль оси  $z$  перемещения отсутствуют. Тогда компоненты НДС будут зависеть только от координаты  $s$ . Очевидно, замкнутая оболочка будет стремиться к близкой к круговой форме, что приведет к большим изгибам вблизи точек пересечения эллипса плоскостями симметрии. Для расчетов НДС при таких условиях целесообразно использовать геометрически линейную теорию тонких оболочек с привлечением смешанного функционала для упрощения реализации гипотез Кирхгофа – Лява и уменьшения влияния мембранного запиравания [2].

Нелинейные физические соотношения в оболочке при плоском напряженном состоянии в случае простого нагружения приняты согласно теории пластичности анизотропных сред В. А. Ломакина [4]. Методика определения входящих в теорию констант и функций на основе экспериментальных данных изложена в монографии [3].

Метод численного решения нелинейной задачи строится на основе вариационных принципов с использованием смешанного функционала [2]. Исходя из принципа виртуальной работы, считая, что согласно методу последовательных приближений (МПН) в форме дополнительных напряжений величины нелинейных составляющих моментов и усилий известны из предыдущих приближений и не варьируются, вариационное уравнение можно представить в виде

$$\begin{aligned} \delta \Pi &= \delta(\Pi^L + \Pi^N) = 0, \\ \Pi^L &= \frac{1}{2} \iint_{\Omega} (T_{ss}^L \varepsilon_{ss} + T_{zz}^L \varepsilon_{zz} + M_{ss}^L \kappa_{ss}) d\Omega - \iint_{\Omega} p w d\Omega + \iint_{\Omega} T_{s\gamma}^f \varepsilon_{s\gamma} d\Omega - \frac{1}{2} \iint_{\Omega} C_{ss} (\varepsilon_{ss} - \varepsilon_{ss}^f)^2 d\Omega, \\ \Pi^N &= \iint_{\Omega} (T_{ss}^{Nf} \varepsilon_{ss} + T_{zz}^{Nf} \varepsilon_{zz} + M_{ss}^{Nf} \kappa_{ss}) d\Omega. \end{aligned} \quad (2)$$

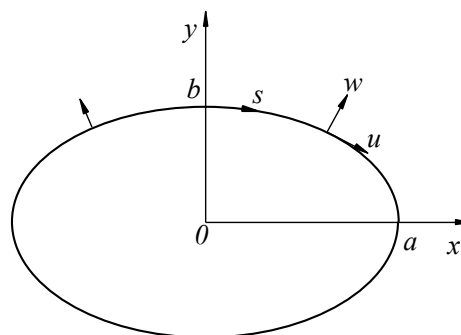


Рисунок 1 – Поперечное сечение длинной цилиндрической оболочки

Функционал  $\Pi(u, w, \varphi, T_{sy}^f, \varepsilon_{ss}^f)$  зависит от четырех варьируемых функций: двух перемещений  $u$  и  $w$ , угла поворота  $\varphi$ , усилия  $T_{sy}^f$ , которое имеет физический смысл перерезывающей силы, и окружной деформации-функции  $\varepsilon_{ss}^f$ .

Преимущества такого построения функционала изложены в [2]. В линейной части функционала ( $\Pi^L$ ) первое слагаемое является энергией упругих деформаций, второе – работой поверхностной силы, третий реализует геометрическую часть гипотез Кирхгофа – Лява методом множителей ( $T_{sy}^f$ ) Лагранжа, четвертый способствует уменьшению мембранного; коэффициент  $C_{ss} = E_{ss} / (1 - \nu_{sz} \nu_{zs})$ ;  $\Omega$  – область срединной поверхности оболочки. В нелинейной части функционала ( $\Pi^N$ ) нелинейные составляющие усилий  $T_{ss}^{Nf}$  и  $T_{zz}^{Nf}$  в отличие от  $T_{ss}^L$  и  $T_{zz}^L$  зависят от деформации-функции  $\varepsilon_{ss}^f$ , а не деформации-формулы  $\varepsilon_{ss}$ . Следует отметить использование в (2) обозначений верхним индексом ( $f$ ) для усилий и деформации, что подчеркивает различие между величиной-формулой и величиной-функцией и имеет определенное методологическое значение.

В такой способ линеаризованная задача сводится к нахождению вариационно-разностным методом [2] в каждом приближении стационарных значений функционала  $\Pi^{LN} = \Pi^L + \Pi^N$ .

С использованием изложенной методики было исследовано НДС ряда изотропных металлических и ортотропных композитных оболочек различной геометрии с учетом и без учета физической нелинейности. Анализ результатов расчетов позволил сформулировать ряд обобщающих выводов.

Так, дополнительное варьирование в смешанном функционале заранее малой мембранной деформации значительно улучшает сходимости численного метода при наличии мембранного запираения. Учет физической нелинейности ведет к уменьшению напряжений и увеличению прогибов и деформаций у полюсов эллипса цилиндрической оболочки. Выявлено, что окружные напряжения в нелинейно-упругой оболочке зависят от свойств материала, в отличие от линейно-упругой оболочки. Можно ожидать, что при деформировании очень тонких некруговых цилиндрических оболочек геометрическая нелинейность проявится при более низких уровнях нагрузок, чем физическая.

#### Список литературы

- 1 **Абросов, Ю. Ю.** Деформування довгої тонкої циліндричної оболонки еліптичного перерізу / Ю. Ю. Абросов, В. А. Максимюк, В. С. Тарасюк // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. – 2015. – № 2. – С. 5–10.
- 2 **Maksimyuk, V. A.** Variational Finite-difference Methods in Linear and Nonlinear Problems of the Deformation of Metallic and Composite Shells (review) / V. A. Maksimyuk, E. A. Storozhuk, I. S. Chernyshenko // Int. Appl. Mech. – 2012. – Vol. 48, no. 6. – P. 613–687.
- 3 **Концентрация напряжений** / А. Н. Гузь [и др.]. – Киев : А.С.К., 1998. – 387 с. – (Механика композитов: в 12 т. Т. 7).
- 4 **Ломакин, В. А.** О теории пластичности анизотропных сред / В. А. Ломакин // Вестник Московского университета. Серия Математика. Механика. – 1964. – № 4. – С. 49–53.

УДК 535.243.25

### ПРАКТИКУМ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО КОНТРОЛЮ И НАДЗОРУ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*В. А. АКСЁНОВ, С. М. КОКИН, Е. К. СИЛИНА*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Согласно Квалификационному справочнику должностей руководителей, специалистов и служащих [1], руководители службы охраны труда предприятия и специалисты по охране труда обязаны контролировать выполнение мероприятий, направленных на создание здоровых и безопасных условий труда персонала. Контроль и анализ ситуации на рабочем месте проводятся в ходе специальной оценки условий труда, процедуры, призванной выявить негативные факторы, воз-

действию которых подвергается сотрудник в течение рабочего дня. Однако такая оценка проводится раз в пять лет, в то время как заметные изменения условий труда могут происходить чаще (по причине модернизации или, наоборот, старения техники, частичной реконструкции производственных помещений, перехода к выпуску новой продукции). Именно поэтому ответственное исполнение своих обязанностей специалистами, занимающимися вопросами безопасности труда на транспорте и в промышленности, невозможно без осуществления постоянного мониторинга условий труда на «проблемных» рабочих местах предприятия, без самостоятельной оценки (измерения) уровня тех воздействий, которые способны негативно сказаться на здоровье сотрудников.

Навыки работы с измерительными приборами, корректной обработки и интерпретации данных измерений можно приобрести во время учёбы в вузах и на различных курсах (в том числе – курсах повышения квалификации). Но достаточно часто программа обучения предусматривает рассмотрение лишь теоретических вопросов, а приобретению учащимися опыта реальной работы с измерительной техникой уделяется существенно меньшее внимание. Частично это связано и с тем, что те приборы, которыми проводятся необходимые измерения (и которые внесены в Госреестр средств измерений), как правило, не дешёвы, и поэтому приобретаются, главным образом, сертифицированными организациями (специализированными лабораториями, центрами). Более того, оперативно отслеживать тенденции развития соответствующей техники при отсутствии в учебном центре её современных образцов довольно затруднительно, потому даже те преподаватели, которые знакомят учащихся с существующими средствами измерений, сами не всегда имеют полное представление о возможностях вновь появляющейся аппаратуры.

Оперативная оценка условий труда может быть связана не только с использованием определённых приборов, но и с выбором конкретной методики контроля параметров окружающей среды. Известно, что комплекс таких методик можно условно разделить на следующие группы: а) визуальные и органолептические; б) химические; в) физико-химические; г) физические; д) биологические. Обучению работе по этим методикам обычно посвящается учебный практикум: создаются лабораторные работы, которые обеспечиваются методическими указаниями, включающими, в частности, сведения о технических характеристиках соответствующих измерительных приборов, внесённых в Госреестр.

Но технически провести лабораторную работу, требующую использования химической посуды, реактивов, наличия вытяжного шкафа, водопровода и канализации, а главное, организованной, осмысленной и аккуратной работы студентов, весьма не просто. Выработка у учащихся (в том числе – слушателей курсов повышения квалификации) навыков такой деятельности требует времени, которого обычно мало, поэтому от освоения учащимися некоторых методик приходится отказываться. Проблемы возникают и с проведением измерений приборами, внесёнными в Госреестр: они, как правило, имеют высокую стоимость, и отдавать их в руки неподготовленной аудитории просто жалко. Поэтому подобная аппаратура на обычных занятиях только демонстрируется, а реально её эксплуатируют лишь аспиранты и некоторые студенты-дипломники.

Анализ паспортов рабочих мест значительного числа городских предприятий (в том числе транспортных), беседы со слушателями курсов повышения квалификации отчётливо показывают, что отклонения от норм, установленных СанПиНами, в большинстве случаев связаны с физическими факторами: именно они отмечаются, как негативные и наиболее существенные при специальной оценке условий труда. Речь идёт о шуме и вибрациях, электромагнитных полях (промышленной частоты и высокочастотных, например, от станций сотовой связи), о радиационном фоне, о параметрах микроклимата (температуре, влажности и аэроионном составе воздуха), а также об освещённости (рабочего места, рабочей зоны). Таким образом, в условиях ограниченного времени, отводимого учебными планами на знакомство с измерительной базой, можно исключить из плана лабораторных работ часть методик измерений, оставив лишь физические (и, возможно, некоторые физико-химические) [2]. Существенно также то, что во всех подобных случаях для выполнения измерений могут быть использованы пусть и не внесённые в Госреестр, но зато более простые в эксплуатации и при этом относительно недорогие приборы «бытового уровня».

Исходя из приведённых соображений, нами в итоге сформирован лабораторный практикум по оценке условий труда для обучения студентов и специалистов по контролю и надзору в сфере безопасности в промышленности и на транспорте [3]. Практикум имеет следующие особенности:

– подобраны комбинации приборов, которые, с одной стороны, позволяют давать оценку условий труда, и, с другой стороны, обладают невысокой стоимостью, то есть оказываются оптимальными для организации учебного процесса по выработке навыков соответствующей оценки;

– сформирован набор учебно-методических материалов, позволяющих уверенно работать с данными приборами;

– разработаны рекомендации по выполнению лабораторного практикума, учитывающая особенности рабочих учебных планов подготовки бакалавров профилей «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» и «Инженерная защита окружающей среды», магистров профиля «Управление охраной труда в компании», а также слушателей курсов повышения квалификации Отраслевого центра охраны труда, промышленной, пожарной безопасности и экологии при Российской открытой академии транспорта РУТ (МИИТ).

Невысокая стоимость подобранных комплектов приборов позволяет иметь их практически везде. Вместе с методическими рекомендациями по использованию подобные комплекты могут стать существенным подспорьем в работе специалистов службы по охране труда на любом промышленном, транспортном предприятии, значительно повышая эффективность работы этой службы в оперативном выявлении «проблемных» мест производственного процесса [4].

Аналогичные комплекты приборов могут применяться и в быту. Как известно, несмотря на постоянно обсуждаемую в средствах массовой информации тему «борьбы» за экологию, существенных сдвигов к лучшему в «зелёной» сфере пока всё же не происходит. В связи с этим задача обеспечения возможности оценки уровня электромагнитных полей, шума, радиационного фона у себя дома, в местах отдыха (например на даче) является достаточно актуальной.

Поскольку речь идёт об измерении физических факторов, подобный практикум может быть возвращён даже в обычной средней школе в рамках дисциплин «Физика» и «Основы безопасности жизнедеятельности». Способствовать этому могла бы организация производства недорогих отечественных комплектов приборов, которые не только оказались бы востребованы в школе (как в высшей, так и в средней), но и помогли бы вывести мероприятия по обеспечению требований охраны труда и экологического мониторинга окружающей среды на новый уровень, дав возможность участвовать в них любому желающему. Создание этих комплектов могло бы стать одной из задач фирм, занимающихся разработкой учебного оборудования и бытовой измерительной техники.

#### Список литературы

1 Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (2021 г.). – М. : 2021. – 319 с.

2 Аксёнов, В. А. Формирование модульного лабораторного практикума по измерению физических параметров окружающей среды / В. А. Аксёнов, Н. В. Калачев, С. М. Кокин // Физическое образование в вузах. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 58–71.

3 Аксёнов, В. А. Модульный лабораторный практикум по обучению основам экологического мониторинга / В. А. Аксёнов, С. М. Кокин, В. А. Никитенко // Проблемы безопасности российского общества. – 2018. – № 2. – С. 69–75.

4 Экология транспорта и устойчивое развитие : учеб. / под общ. ред. И. В. Карапетьянц, Е. И. Павловой. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. – 370 с.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПАНТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

*А. В. БАБАЙЦЕВ, С. С. ЛОПАТИН*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Благодаря развитию технологии аддитивного производства становится возможным получать изделия сложной формы. В частности, становится возможным получение пантографических конструкций малыми усилиями. Рассматриваются конструкции с подвижными элементами, имеющие градиентную природу материала. Подобные материалы называются метаматериалами. Были получены экспериментальные результаты исследования пантографических структур, из полиамида, полученных с применением аддитивного производства, по технологии SLS. Исследования проводились на растяжение. Для этого были получены прямоугольные образцы с уси-

лением их под захваты. Испытание проводилось на универсальной разрывной машине Instron 5969. Проводилось численное моделирование методом конечных элементов в квазистатической постановке в среде Ansys Workbench. Было установлено, что полученная гомогенизированная непрерывная модель не всегда может быть описана в классической механике сплошных сред, что основные деформационные свойства пантографических структур зависят только от их геометрии, что в свою очередь позволяет говорить о новом классе метаматериалов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код проекта FSFF-2020-0016).*

УДК 539.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА**

*А. В. БАБАЙЦЕВ, Ю. О. СОЛЯЕВ, ЧАН КУЕТ ТХАНГ  
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Малый удельный вес и высокая механическая прочность (особенно при повышенных температурах) титана и его сплавов делают их весьма ценными авиационными материалами. В области самолетостроения и производства авиационных двигателей титан все больше вытесняет однородный алюминий и нержавеющей сталь.

В настоящее время такая потребность всё более ощутима. В частности, поэтому авторы предлагают использование композиционных материалов на основе титановых сплавов.

Композиционные материалы на основе титана широко применяются в лонжероне лопасти несущего винта Ми-28, Ми-35, в лонжероне лопасти рулевого винта Ми-26, в лонжероне стабилизатора Ми-26, в лопасти рулевого винта Ми-2 и т. д., к которым предъявляются особые требования, связанные с обеспечением жесткости, прочности, теплоизоляции. Одной из основных задач являлось определение динамических характеристик такого материала: собственных частот, изгибной жесткости и коэффициентов демпфирования, построение математической модели на основе пластины для прогноза при проектировании элементов конструкций летательных аппаратов, работающих в условиях высокочастотного вибрационного нагружения. Использование различных вариантов укладки слоев позволит с выигрышем по массе существенно повысить динамические характеристики летательных аппаратов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код проекта FSFF-2020-0017).*

УДК 539.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА МОДИФИЦИРОВАНИЯ ИНДИЕМ НА СИЛУМИНЫ**

*А. В. БАБАЙЦЕВ<sup>1</sup>, Т. Т. ФОЗИЛОВ<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Московский авиационный институт (НИУ),  
<sup>2</sup>Филиал АО «ОДК» «НИИД», г. Москва, Российская Федерация*

В современном мире наибольшее значение имеет безопасность, одной из приоритетных целей является повышение безопасности в авиа и аэрокосмической отраслях за счет улучшения эксплуатационных свойств материалов, в частности, таких как прочность, сопротивление разрыву и герметизация [1].

В работе [2] было проведено исследование влияния различных по весу добавок индия на структуру и свойства сплава АК5М2 (предел прочности – 228 МПа, пластичность – 1,33 %). Процесс модифицирования силуминов индием протекает за счет того, что индий поверхностно-



активный модификатор, согласно адсорбционной теории. Вводился элемент в чистом виде 0,05; 0,1; 0,2 мас.%, показатели которых составили: 0,05 In – прочность 240 МПа, а пластичность – 1,71 %, но в последующих случаях предел прочности оставался на уровне немодифицированного, а пластичность не превысила 1,5 %.

Проведено исследование модифицирующего эффекта элемента индия на алюминиевый сплав АК7ч. Индий в сплав вводился в чистом виде массой 0,1, 0,2 и 0,3 %. Были изготовлены экспериментальные образцы для испытаний на механические свойства и проведена их термическая обработка.

В настоящей работе на основе литературы было проведено исследование влияния индия на доэвтектический силумин АК7ч и проведена его термическая обработка так, как, согласно источнику [3], наибольшее модифицирующее воздействие индий показывает при старении.

При введении 0,1 % индия в АК7ч предел прочности возрастал до 173,5 МПа, пластичность же возросла до 3,9 %. Но после добавок 0,2 и 0,3 % модифицирующего воздействия на механические свойства практически нет, т. к. они остаются на уровне немодифицированного сплава (157 МПа прочность и 2,1 % пластичность). После термообработки и добавки индия 0,3 % было получено максимальное значения предела прочности,  $\sigma_b = 303,3$  МПа,  $\delta = 1,8$  %, а при введении 0,1 % получена максимальная пластичность  $\delta = 2,2$  %, (предел прочности  $\sigma_b = 301,5$  МПа), что превосходит значения немодифицированного сплава (АК7ч после закалки с последующим искусственным старением:  $\sigma_b = 235$  МПа;  $\delta = 1$  %).

Введение 0,1 % In способствует измельчению кристаллов кремния и более равномерному распределению дендритов  $\alpha$ -твердого раствора, наблюдается распределение модифицированной структуры по объему сплава, с повышением массы добавок происходит небольшое измельчение структуры, это происходит из-за поверхностно-активного действия индия, согласно адсорбционной теории.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы в рамках научного проекта № 21-38-70008.*

#### Список литературы

- 1 Рот, А. Вакуумные уплотнения / А. Рот ; пер. с англ. – М. : Энергия, 1971. – 464 с.
- 2 Рабинович, А. Повышение механических свойств вторичных алюминиевых сплавов путем рационализации их составов и режимов термической обработки : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.05 / А. М. Рабинович. – Ленинград, 1984. – 215 с. : ил.
- 3 Алюминий и его сплавы : учеб. пособие / сост. А. Р. Луц, А. А. Суслина. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*А. В. БАБАЙЦЕВ, А. А. ЗАЙЦЕВ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Согласно последней тенденции, композитные материалы на основе алюминия широко применяются в производстве таких областей, как автомобилестроение, авиация, военная промышленность и другие. Авторами статьи предложена технология и проведён сравнительный анализ образцов металлокомпозитных конструкций. Образцы композитного материала состоят из алюминиевой матрицы Al6061 с применением углеродного волокна и алюминий кремневого сплава SiAl с углеродным волокном. Весовой процент углеродного волокна варьировался в диапазоне 0–10 %. Рассматривались три типа образца с различным содержанием углеродного волокна, при этом во всех образцах алюминиевая матрица была получена литьем. В ходе исследований были получены следующие результаты:

– твёрдость композитов из сплава 6061 увеличилась с увеличением добавления углеродного волокна. При этом наблюдается уменьшение относительного удлинения (увеличение хрупкости) с увеличением процентного содержания частиц по массе за счёт карбида кремния. Помимо этого, добавление слоёв сетчатого типа из углеродного волокна увеличивает ударную вязкость;

– предел прочности при растяжении возрастает с увеличением содержания углеродного волокна, в то время как пластичность понижается;

– добавление частиц углеродного волокна в матрицу также увеличивает твердость.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код проекта FSFF-2020-0016).*

УДК 539.3

## **ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ С ВИСКЕРИЗОВАННЫМИ ВОЛОКНАМИ**

*А. В. БАБАЙЦЕВ, В. Н. ДОБРЯНСКИЙ, Г. И. КРИВЕНЬ, А. А. ОРЕХОВ  
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Исследуется эффективный модуль потерь межфазного слоя композитов с вискеризованными волокнами при помощи метода Рейсса и метода трех фаз, позволяющего учитывать геометрические особенности строения композита. Рассматривается композит, состоящий из углеродного волокна, выращенными на его поверхности углеродными нанотрубками (межфазный слой), и эпоксидной матрицы. Построены зависимости эффективного модуля потерь при сдвиге вдоль вискерсов и поперек вискерсов от объемного содержания включения – вискерсов.

Установлено, что даже при относительно небольших объемных содержаниях вискерсов (менее 0,5) модуль потерь вискеризованного слоя превышает модуль потерь эпоксидной матрицы более чем в 5 раз, что дает основания полагать, что модифицированные композиты с вискеризованными волокнами обладают лучшими диссипативными свойствами, нежели классические волокнистые композиты.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы в рамках научного проекта № 21-38-70008.*

УДК 531.383

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НАНОДАТЧИКА НА ОСНОВЕ НОВОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕОРИИ ПАРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

*М. А. БАРУЛИНА, С. А. ГАЛКИНА, Д. В. КОНДРАТОВ  
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук  
(ИПТМУ РАН), г. Саратов*

*И. А. ИЗНАИРОВ, М. А. СИДОРОВА  
НПП «Антарес», г. Саратов, Российская Федерация*

В настоящее время на высокоскоростном транспорте применяются различные приборы навигации, к которым предъявляются высокие требования по энергоэффективности, точности и надежности [1]. Современное состояние техники также предъявляет высокие требования к размерам приборов навигации, что определяет необходимость создания миниатюрных приборов высокой степени точности и надежности. Следует заметить, что такая постановка проблемы диктует необходимость использования новых чувствительных элементов, таких как анизотропные и ортотропные нанопластины, размеры которых не превышают 100–200 нм [2]. Исследование нанопластин достаточно активно обсуждается в современной литературе. Так, в работах [3, 4] на основе некоторых теорий были рассмотрены свойства, а также механические и тепловые свойства композитных графеновых нанопластин [3], а в [4] был произведен анализ свободных колебаний осесимметричных круглых наноразмерных пластин. Таким образом, необходимо

определить динамику поведения анизотропных и ортотропных нанопластин как чувствительных элементов приборов навигации.

При построение адекватной модели поведения наноразмерной пластины возникает проблема невозможности применения классической теории упругости. Это связано с существующими ограничениями теории упругости, например, нарушается гипотеза сплошности. Разрабатываемые в настоящее время теории пытаются устранить ограничения классического подхода. Одной из таких теорий является новая модифицированная теория парных напряжений, которая была разработана W. Chen и X. Li [5], которая содержит три параметра масштаба длины материала (размерно зависящие параметры), которые позволяют учитывать влияние несплошности нанопластины на ее деформацию.

Будем рассматривать ортотропную нанопластину, к которой приложена распределенная нагрузка (рисунок 1).

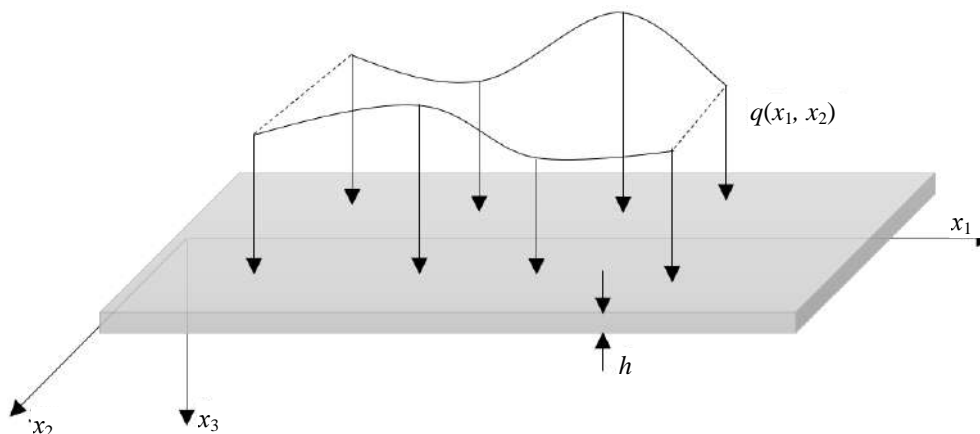


Рисунок 1 – Нанопластина с системой координат и приложенной нагрузкой

Для описания поля перемещений для нанопластин представляется актуальным использование теории изгиба пластин третьего порядка, которая позволяет учесть нелинейность изгиба нанопластины, а именно, перемещение в любой точке пластины может быть записано в виде

$$u_1(x_1, x_2, x_3, t) = u_0(x_1, x_2, t) + x_3 \varphi_1(x_1, x_2, t) - \frac{4}{3h^2} x_3^3 \left( \varphi_1(x_1, x_2, t) + \frac{\partial w_0(x_1, x_2, t)}{\partial x_1} \right),$$

$$u_2(x_1, x_2, x_3, t) = v_0(x_1, x_2, t) + x_3 \varphi_2(x_1, x_2, t) - \frac{4}{3h^2} x_3^3 \left( \varphi_2(x_1, x_2, t) + \frac{\partial w_0(x_1, x_2, t)}{\partial x_2} \right),$$

$$u_3(x_1, x_2, x_3, t) = w_0(x_1, x_2, t).$$

На основе вышеперечисленных теорий с использованием интегрального принципа Гамильтона, были выведены уравнения динамики ортотропной нанопластины [6, 7] и сформулированы естественные граничные условия. В результате получили математическую модель свободно опертой прямоугольной ортотропной пластины, находящейся под воздействием распределенной нагрузки.

Далее произвели исследование построенной математической модели. Было получено аналитическое решение в виде двойных рядов Фурье для перемещений упругой ортотропной пластины. При этом результаты прогиба, полученные аналитически, совпали с результатами прогиба, полученными численными методами.

Аналитически исследования показали отсутствие влияния на смещение точек срединной поверхности в плоскости пластины от масштабных параметров материала в тех же направлениях. Эти смещения зависят от параметра масштаба длины материала, заданного в направлении, нормальном к рассматриваемым смещениям. Произведена верификация построенной математической модели с численным решением пакета ANSYS. Сравнение показало, что различие результатов составляет менее 0,8 %. Что может говорить об адекватности построенной математической модели динамики поведения ортотропной пластины с использованием модифицированной теории парных напряжений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-08-00807-а).*

## Список литературы

- 1 Методы и результаты испытаний инерциальных датчиков, предназначенных для эксплуатации на летательных аппаратах вертолётного типа / Р. В. Ермаков [и др.] // XXIV Санкт-Петербургская междунар. конф. по интегрированным навигационным системам : сб. материалов ; гл. ред. В. Г. Пешехонов. – СПб., 2017. – С. 244–248.
- 2 **Кондратов, Д. В.** Математическая модель круглого чувствительного элемента нанодатчика / Д. В. Кондратов, М. А. Барулина, С. А. Галкина // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2020. – № 3. – URL: mathmod.esrae.ru/31-118.
- 3 Mechanical and thermal properties of Graphene nanoplates (GNPs). Lithium aluminosilicate (LAS) composites: An analysis based on mathematical model and experiments / Ma G. [et al.] // Ceramics International. – 2020. – 46, 10903–10909. – doi:10.1016/j.ceramint.2020.01.104.
- 4 **Sapsathiarn, Y.** Finite-Element Modeling of Circular Nanoplates / Y. Sapsathiarn, R.K.N.D. Rajapakse // Journal of Nanomechanics and Micromechanics. – 2013. – Vol. 3. – P. 59–66. – doi:10.1061/(ASCE)NM.2153-5477.0000056.
- 5 **Chen, W.** A model of composite laminated Reddy plate based on new modified couple stress theory / W. Chen, X. Ma, L. Li // Composite Structures 94. – 2012. – P. 2143–2156.
- 6 **Барулина, М. А.** Уравнения движения чувствительного элемента НЭМС-датчика как прямоугольной размерно-зависимой нанопластины / М. А. Барулина // Нано- и микросистемная техника. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 164–171.
- 7 **Барулина, М. А.** Аналитическое решение уравнений движения чувствительного элемента наносенсора как прямоугольной свободно опертой нанопластины / М. А. Барулина, Д. В. Кондратов, С. А. Галкина // Нано- и микросистемная техника. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 115–121.

УДК 519.71, 51-74, 681.5, 303.732.4, 62.752; 621.534; 629.4.015

## НАСТРОЙКА ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Р. С. БОЛЬШАКОВ<sup>1</sup>, С. К. КАРГАПОЛЬЦЕВ<sup>2</sup>, С. В. ЕЛИСЕЕВ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения*

*<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Российская Федерация*

Эксплуатация технических объектов различного назначения, в том числе транспортных и технологических машин, подвержена влиянию негативных факторов. К их числу могут быть отнесены вибрационные процессы, проявляющиеся при работе двигателей, валов, компрессоров и других агрегатов, что инициирует необходимость поиска и разработки способов и средств их снижения, их действия как на основные узлы и агрегаты, так и на оборудование в целом [1, 2]. Для оценки динамического состояния технических объектов используются кинематические параметры, а также подходы с использованием структурного математического моделирования, когда расчетной схеме технического объекта в виде механической колебательной системы сопоставляется эквивалентная в динамическом отношении система автоматического управления [3, 4]. Формирование нужных динамических режимов также связано с выработкой конструктивно-технических решений, направленных на контроль различных динамических эффектов, возникающих при функционировании технических объектов [5, 6], а также расширение набора параметров динамического состояния за счет динамических реакций связей [7, 8].

В предлагаемом докладе рассматривается использование упруго-демпфирующих элементов для изменения параметров динамического состояния технического объекта.

### **I. Общие положения. Постановка задачи**

Принципиальная схема технического объекта представлена на рисунке 1, *a*, где приведены упругие пневмобаллоны с объемами  $V_1$  и  $V_2$ ; демпферные камеры с объемами  $V_{10}$  и  $V_{20}$ ;  $b_1 \div b_5$  – дроссельные устройства для диссипации энергии колебаний при прохождении потоков воздуха. В данном случае упругая опора представляет собой упругодемпфирующий блок из последовательно соединённых упругой и демпферной камер, соединённых дросселем, обладающих динамическими свойствами сложного составного элемента, собранного из нескольких типовых звеньев. Расчетная схема представлена в виде механической колебательной системы, которая состоит из твёрдых тел с массой  $M$  и моментом инерции  $J$ . Твёрдое тело имеет упругие опоры и совершает плоское колебательное движение в системе координат ( $y_1$  и  $y_2$ ), связанной с неподвижным базисом.

Динамические свойства системы, как следует из принципиальной схемы на рисунке 1, определяются возможностями коммутации элементов через дроссели. При определённых условиях,

например, при  $b_3 \rightarrow \infty$ , то есть при перекрытии трубопровода, соединяющего демпферные камеры, рассматриваемый объект можно представить в упрощённом виде, как показано на рисунке 1, б.

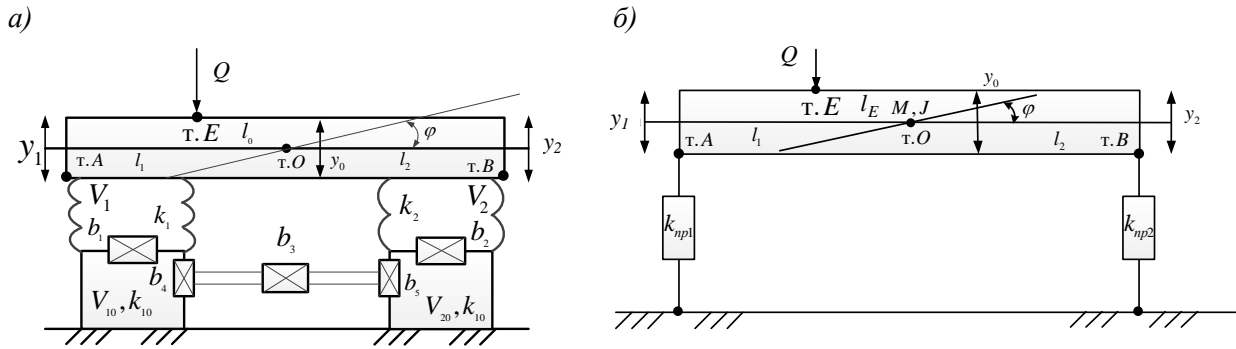


Рисунок 1 – Принципиальная (а) и расчётная (б) схемы технического объекта

В случае, когда  $b_3 = 0$ ,  $b_1 \neq 0$ ,  $b_2 \neq 0$ , что позволяет отобразить в операторной форме после соответствующих преобразований приведённые жёсткости системы по координатам  $\bar{y}_1$  и  $\bar{y}_2$ , полагая, что объёму воздуха  $V_1$  соответствует параметр упругости элемента  $k_1$ ; соответственно для демпферной камеры имеем  $k_{10}$ . Аналогично по координатам  $\bar{y}_1$ ,  $\bar{y}_2$  твёрдое тело таким образом будет опираться на элементы с приведёнными жёсткостями

$$k_{np1}(p) = \frac{(k_3 + b_1 p)k_{10}}{k_1 + k_{10} + b_1 p}, \quad (1)$$

$$k_{np2}(p) = \frac{(k_2 + b_2 p)k_{20}}{k_2 + k_{20} + b_2 p}. \quad (2)$$

## II. Оценка возможностей управления динамическим состоянием системы

При отсутствии связи между пневмоблоками  $k_{np1}(p)$  и  $k_{np2}(p)$  и действии гармонической силы  $\bar{Q}$ , приложенной в т. E на расстоянии  $l_E$  от центра масс (т. O, рисунок 1, б), на основании уравнений движения в операторной форме [3] построить структурную схему эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления (рисунок 2).

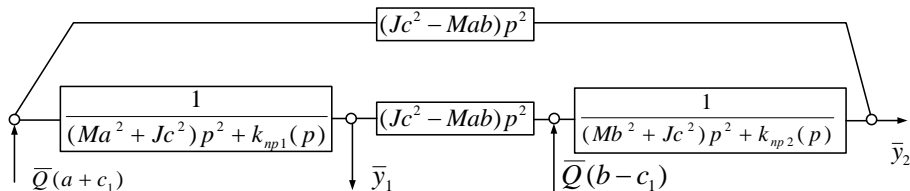


Рисунок 2 – Структурная схема исходной системы

С помощью структурной схемы и ряда соответствующих преобразований можно получить выражение передаточной функции межпарциальной связи

$$W_{12}(p) = \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} = \frac{p^2 [(Jc^2 + Mac_1(a-b))(k_1 + k_{10} + b_1 p) + (b-c_1)(k_3 + b_1 p)k_{10}](k_2 + k_{20} + b_2 p)}{p^2 [(Jc^2 + Mbc_1(a-b))(k_2 + k_{20} + b_2 p) + (a+c_1)(k_2 + b_2 p)k_{20}](k_1 + k_{10} + b_1 p)}. \quad (3)$$

Для управления динамическим состоянием технического объекта с использованием (3) могут быть введены в рассмотрение связи, формируемые, к примеру, при условии  $b_1 \neq 0$ ,  $b_2 \neq 0$ ,  $b_3 \neq 0$  или  $b_1 \neq 0$ ,  $b_2 \neq 0$ ,  $b_3 \rightarrow \infty$  и др. Алгоритм управления соотношением координат  $\bar{y}_2/\bar{y}_1$  предопределяет возможности управления распределением амплитуд колебаний точек рабочего органа по его длине.

### Заключение

Таким образом, наличие сложных настраиваемых структур в составе опорной системы технического объекта позволяет получать необходимые режимы работы. Предложенный подход позволяет

осуществлять построение математических моделей с учетом наличия упругодемпфирующих элементов с приведенными жесткостями, что позволяет производить контроль динамического состояния технического объекта за счет изменения параметров составляющих элементов.

#### Список литературы

- 1 Методология системного анализа в задачах оценки, формирования и управления динамическим состоянием технологических и транспортных машин / С. В. Елисеев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2021. – 679 с.
- 2 **Бабичев, А. П.** Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д : Изд. центр ДГТУ, 2008. – 693 с.
- 3 **Елисеев, С. В.** Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных и технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи) : [монография] / С. В. Елисеев. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 692 с.
- 4 **Eliseev, S. V.** Theory of oscillations. Structural mathematical modeling in problems of dynamics of technical objects / S. V. Eliseev, A. V. Eliseev. – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 521 p.
- 5 Механические цепи в задачах коррекции динамических состояний вибрационных технологических машин / С. В. Елисеев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 4 (153). – С. 718–727.
- 6 Рычажные связи: возможности формирования динамических состояний в механических колебательных системах / С. В. Елисеев [и др.] // Транспорт Урала. – 2020. – № 3 (66). – С. 17–23.
- 7 **Кашуба, В. Б.** Динамические реакции в соединениях элементов механических колебательных систем / В. Б. Кашуба, С. В. Елисеев, Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2016. – 331 с.
- 8 **Большаков, Р. С.** Особенности вибрационных состояний транспортных и технологических машин. Динамические реакции и формы взаимодействия элементов / Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2020. – 411 с.

УДК 539.3

### ОБРАТНАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ НАГРУЗКИ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА БАЛКУ БЕРНУЛЛИ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

*Я. А. ВАХТЕРОВА, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В прямоугольной декартовой системе координат рассматривается однородная изотропная балка конечной длины, исследование поперечных колебаний которой производится на основе уточненной теории, соответствующей модели теории балок Эйлера – Бернулли. В качестве граничных условий используются условия шарнирного опирания. Начальные условия нулевые. В начальный момент времени к балке прикладывается распределенная нагрузка, зависящая от координаты и времени. Требуется идентифицировать нестационарную нагрузку, действующую на балку Бернулли.

В основу методики решения прямой задачи положен принцип суперпозиции, при котором перемещения и контактные напряжения связаны посредством интегральных операторов по пространственной переменной и времени. При этом ядрами последних являются функции влияния для балки Бернулли. Эти функции представляют собой фундаментальные решения систем дифференциальных уравнений движения исследуемой балки. Их построение представляет собой отдельную задачу. Функции влияния находятся с помощью преобразования Лапласа по времени и разложений в ряды Фурье по системе собственных функций.

Решение обратной задачи сводится к решению системы независимых интегральных уравнения Вольтера I рода, которая является некорректной по Ж. Адамару вследствие вырожденности ядер интегральных операторов. Для регуляризации обратной задачи применяется дифференцирование левых и правых частей уравнений, приводящие к системе интегральных уравнений с невырожденными ядрами.

Для решения системы разрешающих обратную задачу интегральных уравнений разработан и реализован на ЭВМ численно-аналитический алгоритм, основанный на методе средних прямоугольников.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90043.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ

*М. В. ГОРОХОВА*

*Нижегородский филиал Самарского государственного университета путей сообщения,  
Российская Федерация*

В настоящее время при проектировании и строительстве конструкций широко применяются тонкостенные панели, что требует разработки эффективных и надежных методов их расчета. В работе описан и проанализирован метод определения несущей способности панели (пластины с подкрепляющими ее ребрами жесткости), несущей поперечную нагрузку и сжатой или растянутой вдоль ребер жесткости. На основе метода разработан алгоритм подготовки исходных данных и расчета такой панели с использованием программного комплекса ANSYS.

Как известно, исчерпание несущей способности тонкостенных конструкций при статическом нагружении происходит либо вследствие общей потери устойчивости, либо вследствие исчерпания прочности, когда в каких-либо частях конструкции напряжение достигает предела прочности. Но и в том и другом случаях в конструкции развиваются значительные пластические деформации. Поэтому метод определения несущей способности тонкостенной панели должен основываться на зависимостях теории пластичности. При этом нагружение панели поперечной нагрузкой и продольными силами следует считать сложным. Продольные усилия возникают вследствие общего изгиба конструкции, а потому закон изменения их во времени не всегда совпадает с законом изменения местной поперечной нагрузкой. Но даже в том случае, когда обе нагрузки меняются пропорционально общему параметру, нагружение будет сложным из-за нелинейного влияния продольных усилий на напряжения. Наиболее достоверные результаты можно получить, если проследивать весь процесс деформирования панели по мере изменения нагрузки по заданному закону. Та нагрузка, при которой происходит общая потеря устойчивости панели или напряжение становится равным пределу прочности, и будет предельной. Именно такая постановка задачи и принималась при выполнении ее численного решения.

Для решения поставленной задачи рассматривался упругопластический изгиб пластины совместно с ребрами жесткости с учетом геометрической нелинейности. За основу был взят теоретический подход, предложенный в работе [1], где рассмотрено наступление предельного состояния отдельного сжато-изогнутого ребра и методика численного расчета, которая рассмотрена в работе [2]. При выполнении численного расчета несущей способности панели считалось, что она полностью выполнена из материалов, диаграмма растяжения которых с достаточной точностью может быть изображена двумя наклонными прямыми, сюда можно отнести все алюминиевые сплавы. Наиболее часто употребляемые в теории пластичности модели идеально-пластического тела и линейно-упрочняющегося материала являются частными случаями такой аппроксимации. При этом пластина и ребро могут выполняться из материалов с разными механическими характеристиками.

Была разработана методика подготовки исходных данных для численного расчета тонкостенных панелей, по которой выполнен расчет устойчивости сжатого свободно опертого стержня прямоугольного сечения из идеального пластического материала, несущего равномерно распределенную нагрузку. Сравнение полученных результатов с имеющимся точным решением, показало, что предложенный метод численного решения обеспечивает достаточную точность определения несущей способности стержня.

На основе метода, полученного в работе, будет проведено дальнейшее исследование несущей способности панели с учетом скручивания стержней. Это позволит еще более точно оценивать несущую способность панели, у которой свободный пояс расположен несимметрично относительно ребра, и устойчивость плоской формы изгиба стержней с симметричным профилем. Требуется дальнейшего исследования вопрос о целесообразности учета напряжений и деформаций сдвига. Предполагается также и экспериментальная проверка результатов расчетов. Эксперимент позволит получить не только величину разрушающей пластину нагрузки, но и наиболее полную информацию о распределении напряжений в основных сечениях при различных стадиях нагружения, а также прогибы и углы закручивания. Эксперимент в первую очередь позволит критически оценить результаты численного решения, а также точно выяснить причину исчерпания несущей способности тонко-

стенных панелей: нарушение прочности, общая потеря устойчивости, потеря устойчивости плоской формы изгиба, потеря устойчивости отдельных элементов ребра, нарушение целостности шва и т. п.

#### Список литературы

1 **Гирин, С. Н.** Предельное состояние сжато-изогнутого ребра судового корпуса / С. Н. Гирин, Т. А. Исаева // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – Спец. вып. 1. – С. 24–27.

2 **Горохова, М. В.** Исследование влияния поперечной нагрузки на величину критической сжимающей силы балки судового корпуса с учетом геометрической и физической нелинейности в программном комплексе ANSYS / М. В. Горохова, И. Н. Шоркина // Конгресс «Великие реки» : сб. тр. – 2020. – Вып. 9. – С. 4.

УДК 539.3

### ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ О БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЯХ ГИБКИХ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК

*А. Н. ДАНИЛИН<sup>1,2</sup>, С. И. ЖАВОРОНОК<sup>1</sup>, А. С. КУРБАТОВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт прикладной механики РАН, г. Москва*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Задачи динамики гибких систем – мембранных оболочек и тросов – являются кинематически существенно нелинейными [1] и характеризуются большими амплитудами при перемещении и углах вращения вектора нормали к поверхности оболочки или оси троса [2, 3]. В работе развивается предложенная ранее формулировка теории гибких оболочек [4], основанная на кватернионном представлении вращения нормали [5] при конечно-элементной [4], конечно-разностной или вариационно-разностной схемах [2, 3] дискретизации континуальных соотношениях модели гибкой системы. Применительно к нелинейным задачам статики разработана модификация метода квазидинамического установления [6, 7], адаптированная к формулировке задачи на основе кватернионного представления поворотов.

В качестве первого примера рассмотрена задача о высокоамплитудных низкочастотных нелинейных колебаниях [8] провода линии электропередачи фазных проводов воздушных линий электропередачи, связанных распорками, на основе модели аэроупругих субколебаний тросовых элементов. В качестве второго примера приведено численное решение задачи о деформировании плоской мембраны при конечных перемещениях и углах поворота точек поверхности и при действии следящих сил, основанное на применении метода квазидинамического установления решения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 20-08-00891-а и 19-08-00938-а).*

#### Список литературы

1 **Rabinskiy, L. N.** Analytical mechanics of membrane shells: a review / L. N. Rabinskiy, N. P. Shoumova, S. I. Zhavoronok // Applied Mathematical Sciences. – 2016. – Vol. 10, nos. 41–44. – P. 2189–2204.

2 Нелинейное деформирование многослойных композитных оболочек вращения при больших перемещениях и углах поворота / В. Г. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Авиационная техника. – 2017. – Т. 60, № 2. – С. 169–176.

3 Об одной математической модели деформирования упругих многослойных арочных конструкций при больших перемещениях и углах поворота / В. Г. Дмитриев [и др.] // Известия Тульского гос. университета. Технические науки. – 2017. – № 12-2. – С. 29–36.

4 **Данилин, А. Н.** О кватернионном описании кинематики гибких систем и его приложению к некоторым задачам динамики тросов и мембранных оболочек / А. Н. Данилин, А. С. Курбатов, С. И. Жаворонок // Авиация и космонавтика : тез. докл. 19-й Междунар. конф. – М., 2020. – С. 759–760.

5 **Cottanceau, E.** A finite element/quaternion/asymptotic numerical method for the 3D simulation of flexible cables / E. Cottanceau, O. Thomas, Ph. Veron, M. Alochet // Finite Element Analysis and Design. – 2018. – Vol. 139. – P. 14–34.

6 Исследования устойчивости тонкостенных несущих элементов авиационных конструкций с большими прямоугольными вырезами методом вычислительного эксперимента / В. Г. Дмитриев [и др.] // Известия вузов. Авиационная техника. – 2018. – Т. 61, № 2. – С. 165–174.

7 Adaptation of the establishment method to solve problems of non-linear deformation of shells by the finite element method / O. V. Egorova [et al.] // Asia Life Sciences. – 2019. – Suppl. 21(1). – P. 577–589.

8 **Danilin, A. N.** Nonlinear vibrations and galloping of transmission lines' conductors / A. N. Danilin, S. I. Zhavoronok // Asia Life Sciences. – 2019. – Suppl. 21(1). – P. 629–643.



## ПОВЕДЕНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПАНЕЛИ С ВНУТРЕННИМИ ДЕФЕКТАМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

*Д. В. ДЕДОВА, М. И. МАРТИРОСОВ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Трехслойные панели с сотовым наполнителем нашли широкое применение в различных отраслях современной промышленности, например, в авиастроении при создании элементов конструкций пассажирских самолетов. Из них изготавливают интерьеры самолетов, элементы конструкции планера (стабилизаторы, закрылки, рули высоты, элероны и т. д.). Такое распространение панели приобрели благодаря малому весу, высокой удельной прочности и жесткости, устойчивости при сжатии, хорошим тепло- и звукопоглощающим свойствам, высокой технологичности.

В результате внешних воздействий при эксплуатации и в процессе производства панелей могут возникать дефекты (повреждения), которые оказывают влияние на прочность и несущую способность готового изделия.

В работе рассматривается плоская трехслойная панель с сотовым наполнителем. Форма панели – прямоугольная, геометрия задана. В центре панели между верхней обшивкой и наполнителем присутствует дефект эллиптической формы с заданными осями. Панель представляет собой конструкцию, состоящую из двух тонких прочных внешних слоев – обшивок, выполненных из полимерного композиционного материала (ПКМ), связанных между собой слоем наполнителя, разделяющего внешние (несущие) слои и обеспечивающие их совместную устойчивость.

Обшивка панели (верхняя и нижняя) состоит из двух монослоев, каждый из которых изготовлен из клевого препрега КМКС-2м.120.Т10 (стеклоткань Т-10-80 и клеевая композиция). Схема укладки монослоев имеет следующий вид:  $[0^\circ/0^\circ]$ . Все необходимые физико-механические характеристики клевого препрега, а также толщина монослоя – паспортные от производителя материала. Использование клеевых препрегов позволяет изготавливать элементы конструкций (в том числе трехслойные) одинарной и сложной кривизны за одну технологическую операцию. Стекло- и углепластики на основе клеевых препрегов по сравнению с аналогичными традиционными материалами имеют повышенную трещиностойкость, прочность при межслоевом сдвиге, усталостную и длительную прочность, высокую эрозионную стойкость.

Сотовый наполнитель выполнен из полимеросотопласта ПСП-1-2,5-48 (с гексагональной формой сотовой ячейки) на основе каландрированной бумаги и фенолформальдегидного связующего. Такая комбинация позволяет повысить механические свойства наполнителя, уменьшить влагопоглощение, обеспечить защиту от проникания грибков, сохранять эксплуатационные свойства. Стенки сот расположены в трехслойном пакете перпендикулярно несущим слоям. Необходимые для расчета характеристики наполнителя известны, высота сотового наполнителя задана.

Рассматривается поведение изучаемой панели под действием нагрузки ударного характера при наличии и отсутствии дефектов.

Задача решалась численно. Использовался метод конечных элементов (МКЭ). Создание конечно-элементной сетки осуществлялось в программном комплексе Siemcenter Femap. Каждый слой моделировался отдельным набором конечных элементов (КЭ). Затем модель импортировалась в программный комплекс LS-DYNA (Livermore Software Technology Corp.), где задавались нагрузка и граничные условия. Зона повреждения моделировалась при помощи контакта «AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE». Остальные слои связаны между собой контактом «AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_TIEBREAK».

В качестве нагрузки рассматривается ударное воздействие на панель с высокой скоростью (точка удара совпадает с центром повреждения) фрагмента шины из армированной резины (разрыв покрышки колеса основной опоры шасси самолета при взлете (разбеге) с взлетно-посадочной полосы аэродрома или посадке на нее (пробег)). Фрагмент моделируется прямоугольным параллелепипедом. Вектор скорости фрагмента шины перпендикулярен поверхности панели. Масса фрагмента и его скорость заданы. Граничные условия – жесткое защемление коротких торцов панели.

Получен график изменения полной контактной силы, действующей на панель.

В результате проведенного численного моделирования определяется распределение полей напряжений и деформаций в монослоях панели в различные моменты времени. Вычисляется рас-

пределение индекса разрушения (характеристика, связанная с запасом прочности) по различным критериям разрушения применительно к ПКМ. Расчет проведен по критериям Puck, Hashin, LaRC (Langley Research Center). Считается, что разрушение наступает, когда индекс разрушения становится равным единице. Определены продольные растягивающие напряжения и напряжения сдвига в плоскости листа для соответствующих монослоев панели с дефектом эллиптической формы и неповрежденной панели (в различные моменты времени). Показано изменение прогиба в монослое с дефектом (поврежденная панель), сотовом заполнителе и в неповрежденной панели в зависимости от времени. Проведен параметрический анализ. Выработаны практические результаты.

УДК 531.383

## ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ГИДРОУПРУГОСТИ СООСНЫХ ОБОЛОЧЕК

*О. В. ЕЛИСТРАТОВА*

*Поволжский институт управления им. П. А. Столыпина – филиал РАНХиГС,  
г. Саратов, Российская Федерация*

*Д. В. КОНДРАТОВ*

*Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук  
(ИПТМУ РАН), г. Саратов,  
Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н. Г. Чернышевского,*

*Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина, Российская Федерация*

*И. В. ПЛАКСИНА, Ю. Н. КОНДРАТОВА*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация*

В современном транспорте активно применяются различные конструкции, взаимодействующие с вязкой несжимаемой жидкостью. В таких конструкциях изучается проблема конструкционной прочности механических систем, взаимодействующих с вязкой жидкостью при вибрационных нагрузках [1, 2]. Уже разработано значительное число математических моделей, описывающих динамическое поведение механической системы, в которой взаимодействуют упругие тонкостенные конструкции с вязкой жидкостью (рисунок 1).

Рассмотрим механическую систему, состоящую из трех соосных упругих цилиндрических оболочек, свободно опираемых на концах при вибрации или перепаде давления на концах [3]. Пространства между оболочками заполнены вязкими несжимаемыми жидкостями, которые могут быть различными. Внутренняя оболочка является полой [3].

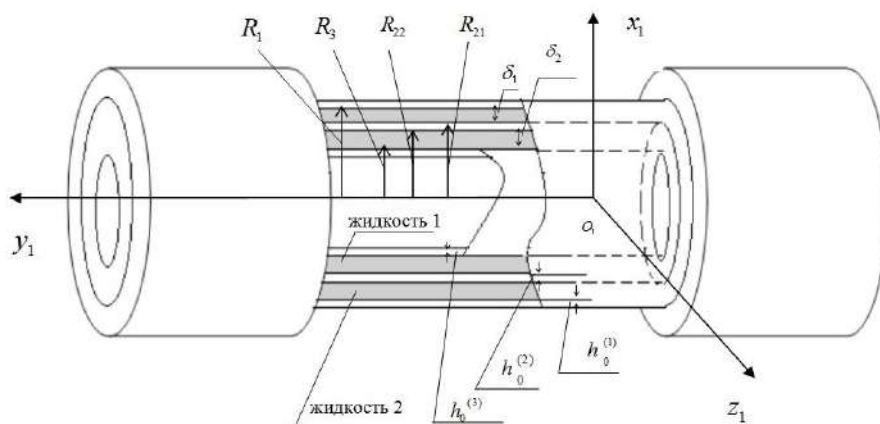


Рисунок 1 – Механическая модель

Математическая модель состоит из связанной системы уравнений динамики оболочек, уравнений динамики вязких несжимаемых жидкостей и соответствующих граничных условий. Задача решается комбинацией аналитических и численных методов, а именно, решение уравнений гидродинамики решается аналитическими методами, а получившиеся в дальнейшем уравнения динамики упругих соосных оболочек – численными. Уравнения динамики вязкой несжимаемой жидкости линеаризуются методом возмущений, а далее решаются аналитически при условии неизвестности прогибов оболочек. Для решения уравнений динамики оболочек применяется метод Бубнова – Галеркина. Даже применение такой комбинации методов оставляют высокую вычислительную сложность решаемой задачи. Так, например, для задачи с перепадом давления на концах механической системы получающаяся после применения метода Бубнова – Галеркина [3, 4] система линейных алгебраических уравнений состоит из 36 уравнений, а если задача с вибрацией, то система из 42 уравнений. Конечно, такие системы уравнений достаточно тяжело решаются аналитически. Поэтому можно решать их с помощью параллельных вычислений [5, 6]. Применение современных языков программирования в значительной степени упрощает распараллеливание. Так, например, язык Python позволяет достаточно хорошо распараллелить вычисления. Кроме того, так как основные аналитические вычисления проводились в Maple, то актуальным вопросом становится применение внутренних инструментов Maple для распараллеливания вычислений.

Предварительные вычислительные эксперименты показали, что применение Python позволяет рассчитать в 1,5–2 раза быстрее, чем Maple. Тестирование производили на одном и том же компьютере без учета времени загрузки программного обеспечения. Однако формирование единого вычислительного комплекса в Maple в значительной степени дает более широкие возможности в дальнейшей применимости модели для научных исследований. Для инженерной практики лучше делать только закрытый комплекс для расчетов с использованием Python или других языков программирования. Исследование математической модели позволяет вычислить прогибы каждой из трех упругих оболочек.

#### Список литературы

- 1 **Кондратов, Д. В.** Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости / Д. В. Кондратов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 1. – С. 38–43.
- 2 **Вельмисов, П. А.** Математическое моделирование в задачах динамики виброударных и аэроупругих систем / П. А. Вельмисов, В. К. Манжосов. – Ульяновск, 2014. – 204 с.
- 3 **Елистратова, О. В.** Моделирование динамики трех упругих соосных оболочек свободно опертых на концах, взаимодействующих с двумя пульсирующими слоями жидкости, находящихся между ними при пульсации давления / О. В. Елистратова, Д. В. Кондратов // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2016. – № 1. – С. 11–15. – URL: mathmod.esrae.ru/1-2.
- 4 Hydroelastic oscillations of a circular plate, resting on Winkler foundation / D. V. Kondratov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – С. 012057.
- 5 **Кондратов, Д. В.** Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости / Д. В. Кондратов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 1. – С. 38–43.
- 6 **Ежова, Н. А.** Обзор моделей параллельных вычислений / Н. А. Ежова, Л. Б. Соколинский // Вестник ЮУрГУ. Серия Вычислительная математика и информатика. – 2019. – Т. 8, № 3. – С. 58–91.
- 7 Основы параллельного программирования с использованием технологий MPI и OpenMP : учеб. пособие / Р. В. Жалнин [и др.]. – Саранск : Изд-во СВМО, 2013. – 78 с.

УДК 539.3

## ОБ УРАВНЕНИЯХ СОВМЕСТИМОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ И ПОСТАНОВКАХ ЗАДАЧ В ОБОБЩЕННЫХ УСИЛИЯХ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК С ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

*С. И. ЖАВОРОНОК*

*Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Российская Федерация*

Рассматривается задача о деформировании оболочки, выполненной из сплава с эффектом памяти. Постановка и решение задач как статики, так и потери устойчивости тривиальной формы равновесного состояния тонкостенных элементов конструкций с памятью [1, 2] в обобщенных переме-

щения приводит к необходимости обращения инкрементальных определяющих уравнений, описывающих термоупругие фазово-структурные переходы, в каждой точке диаграммы деформирования [2]. Альтернативным вариантом постановки задачи, не требующем обращения определяющих уравнений и вычисления матрицы касательной жесткости в точке диаграммы [2], является постановка задачи в напряжениях [3] или в обобщенных усилиях, требующая введения в рассмотрение инкрементальных уравнений совместности деформаций [4]. Уравнения совместности для компонентов малого приращения девиатора напряжения и приращения объемного напряжения, соответствующие постановке трехмерной задачи статики для сплава с памятью, получены в [3], а в работе [4] – уравнения совместности в форме записи, аналогичной уравнениям Бельтрами теории упругости, и уравнения совместности относительно тензор-функции напряжения.

В случае нетонкой оболочки произвольной формы с эффектом памяти, претерпевающей фазовое превращение, формулируются приближенные уравнения совместности, вытекающие из общего условия равенства нулю компонентов тензора кривизны [5] при проекции компонентов тензора приращения деформации, заданного в базисе, нормально связанном с реперной поверхностью оболочки, на конечномерное подпространство, натянутое на  $N + 1$  базисную функцию  $p_{(k)}(\zeta)$  безразмерной нормальной координаты  $\zeta \in [-1, 1]$  в соответствии с подходом [6–9], т. е.  $\delta e_{ij}(\xi^1, \xi^2, \zeta) = \delta e_{ij}^{(k)}(\xi^1, \xi^2) p_{(k)}(\zeta)$ , при аддитивном разложении приращения деформации на упругую, температурную и фазовую составляющие в виде  $\delta e_{ij} = \delta e_{ij}^E + \delta e_{ij}^T + \delta e_{ij}^\pm$ , аналогично [1, 2]. Уравнения совместности деформаций, соответствующие теории оболочек  $N$ -го порядка [8, 9], получены проекционным методом Галеркина. В рамках однократно связанной модели термоупругих фазовых превращений в сплавах с памятью поле температуры предполагается известным и задается  $N + 1$  полями моментов  $T^{(k)}(\xi^1, \xi^2)$  относительно той же базисной системе функций  $p_{(k)}(\zeta)$ . Построены инкрементальные определяющие уравнения теории оболочек  $N$ -го порядка для приращений моментов компонентов тензора деформаций  $\delta e_{ij}^{(k)}$ , линейные относительно приращений моментов компонентов тензора напряжения  $\delta \sigma_{(k)}^{ij}$  и температуры  $\delta T^{(k)}$  и нелинейные относительно накопленной величины объемной доли мартенситной фазы  $q$ , напряжения  $\sigma_0^{ij}$  и накопленной фазовой деформации [3, 4]. Рассмотрен частный случай теории оболочек первого порядка [5], учитывающей трансверсальные сдвиговые и нормальные деформации, и соответствующие ему различные варианты переменных поля – моментов компонентов приращения тензора суммарной деформации и соответствующих им моментов приращения компонентов тензора напряжения [11].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-01-00695-а).*

#### Список литературы

- 1 Устойчивость стержней из никелида титана, нагружаемых в режиме мартенситной неупругости / А. А. Мовчан [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2012. – № 3. – С. 72–80.
- 2 Nushtaev, D. V. Dynamics of martensite phase transitions of shape memory beams under buckling and postbuckling conditions / D. V. Nushtaev, S. I. Zhavoronok // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51, no. 2. – P. 873–878.
- 3 Zhavoronok, S. I. On the coupled model of the thermoelastic behavior of a shape memory alloy in intrinsic variables and some statements of buckling problems of shape memory elements / S. I. Zhavoronok // AIP Conference Proceedings. – 2021. – P. 120004.
- 4 Жаворонок, С. И. Уравнения совместности деформаций для сплавов с памятью, претерпевающих термоупругие фазовые превращения / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 403–408.
- 5 Tarlakovskii, D. V. On the compatibility equations in shell theories considering transverse shear and normal strains / D. V. Tarlakovskii, S. I. Zhavoronok // Shell Structures: Theory and Applications. Vol. 4. Proceedings of the 11<sup>th</sup> Conference, 11–13 October, 2017, Gdansk, Poland. CRC Press / Balkema, Taylor & Francis Gr. – Leiden, 2018. – P. 173–176.
- 6 Амосов, А. А. К проблеме редукции плоской задачи теории упругости к последовательности одномерных краевых задач / А. А. Амосов, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1997. – Т. 3, № 1. – С. 69–80.
- 7 Амосов, А. А. О решении некоторых краевых задач о плоском напряженном состоянии криволинейной трапеции / А. А. Амосов, А. А. Князев, С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1999. – Т. 5, № 1. – С. 60–72.
- 8 Амосов, А. А. О решении некоторых задач о напряженно-деформированном состоянии анизотропных толстостенных оболочек вращения в трехмерной постановке / А. А. Амосов, С. И. Жаворонок, К. А. Леонтьев // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 301–310.

9 Жаворонок С. И. Анализ сходимости решения при расчете толстостенных оболочек вращения произвольной формы / С. И. Жаворонок, А. Н. Леонтьев, К. А. Леонтьев // Int. J. for Comput. Civil and Struct. Engineering. – 2010. – Vol. 6, nos. 1–2. – P. 105–111.

10 Мовчан, А. А. Учет явления мартенситной неупругости при обратном фазовом превращении в сплавах с памятью формы / А. А. Мовчан, Л. Г. Сильченко, Т. Л. Сильченко // Изв. РАН. МТТ. – 2011. – № 2. – С. 44–56.

11 Zhavoronok, S. I. On different definitions of strain tensors in general shell theories of Vekua-Amosov type / S. I. Zhavoronok // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – Vol. 17, no. 1. – P. 72–81.

УДК 539.3

## О РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ И ДИСПЕРСИОННЫХ СООТНОШЕНИЯХ В ТЕОРИИ НЕОДНОРОДНЫХ ОБОЛОЧЕК N-ГО ПОРЯДКА

С. И. ЖАВОРОНОК

*Институт прикладной механики РАН, г. Москва*

А. С. КУРБАТОВ

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Рассмотрена линейная задача динамики нетонкой оболочки, описываемой общей теорией неоднородных анизотропных оболочек N-го порядка [1–3]. Модель оболочки [2, 3] как двумерной континуальной системы определена на касательном расслоении двумерного многообразия, соответствующего реперной поверхности оболочки, множеством переменных поля первого рода  $u_i^{(k)}$ , порождаемых разложением вектора перемещения по базисной системе функций  $p_{(k)}(\zeta)$  безразмерной нормальной координаты  $\zeta \in [-1, 1]$ , поверхностной  $\mathcal{L}_S$  и контурной  $\mathcal{L}_T$  плотностями функционала Лагранжа, зависящими от переменных поля  $u_\alpha^{(k)}, u_\zeta^{(k)}$  и их производных. Уравнения движения оболочки являются уравнениями Лагранжа второго рода двумерной континуальной системы [2, 3] и имеют второй порядок как по времени, так и по пространственным переменным  $\xi^\alpha$ . С другой стороны, в работе [4] получены уравнения в производных первого порядка, являющиеся квазиканоническими уравнениями Гамильтона континуальной системы в соответствии с терминологией [5] и вытекающие из уравнений [3] в результате преобразования Лежандра плотностей функционала Лагранжа  $\mathcal{L}_S, \mathcal{L}_T$  по всем производным [4, 5] всех переменных поля первого рода  $u_\alpha^{(k)}$ . Ниже рассмотрен частный случай, заключающийся в преобразовании Лежандра плотности функционала Лагранжа только по производным переменных поля  $u_\alpha^{(k)}$  по одной из криволинейных координат  $\xi^\alpha$ ,  $\alpha = 1, 2$ , которым ставятся в соответствие обобщенные усилия  $s_{(k)}^{\alpha i}$  аналогично [4]. Полученная система уравнений движения разрешена относительно производных первого порядка обобщенных перемещений и обобщенных усилий по одной из криволинейных координат  $\xi^1$  (аналогично методу [6], где, однако, преобразование задачи к уравнениям первого порядка осуществлено в трехмерной постановке, и система разрешена относительно производных компонентов перемещения  $u_j$  по нормальной координате  $\zeta$ ). В отличие от [6] предложенные уравнения теории оболочек порождаются некоторой скалярной функцией – поверхностной плотностью функционала  $R_s$ , зависящей от обобщенных перемещений  $u_\alpha^{(k)}$  и обобщенных усилий  $s_{(k)}^{\alpha i}$  и в определенном смысле аналогичной функции Рауса в аналитической динамике дискретных систем, а уравнения движения представляют собой обобщенные уравнения Рауса. Рассмотрено приложение полученных уравнений к решению задач о дисперсии нормальных волн в плоском слое [7–10]. Предполагается, что волновой вектор коллинеарен координате  $\xi^1$ . Полученные уравнения движения на плоскости «частота – волновое число» приводят к линейной относительно волнового числа задаче о собственных значениях, что существенно при исследовании как распространяющихся, так и затухающих мод нормальных волн [6, 11]. При этом в отличие от подхода [6, 11] уравнения движения следуют из принципов аналитической динамики, обобщенной на континуальные системы [5]. Рассмотрены примеры задач для градиентно-неоднородных упругих слоев симметричной и несимметричной структуры, построены дисперсион-

ные кривые, соответствующие распространяющимся и затухающим модам нормальных волн, и проведен анализ сходимости приближенных решений при различных базисных системах  $p_k(\zeta)$ .

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 19-01-00695-а и 19-08-00938-а).*

#### Список литературы

- 1 **Жаворонок, С. И.** Модели высшего порядка анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 561–571.
- 2 **Жаворонок, С. И.** Вариационные уравнения трехмерной теории анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Вестник Нижегородского гос. ун-та им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4–5. – С. 2154–2156.
- 3 **Жаворонок, С. И.** Обобщенные уравнения Лагранжа второго рода трехмерной теории анизотропных оболочек / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 116–132.
- 4 **Zhavoronok, S. I.** On Hamiltonian formulations and conservation laws for plate theories of Vekua-Amosov type / S. I. Zhavoronok // Int. J. for Comput. Civil and Struct. Engineering. – 2017. – Vol. 13, no. 4. – P. 82–95.
- 5 **Кильчевский, Н. А.** Аналитическая динамика континуальных систем / Н. А. Кильчевский, Г. А. Кильчинская, Н. Е. Ткаченко. – Киев : Наукова думка, 1979. – 188 с.
- 6 Modeling guided wave propagation in functionally graded plates by state-vector formalism and the Legendre polynomial method / J. Gao [et al.] // Ultrasonics. – 2019. – Vol. 99. – P. 105953.
- 7 **Жаворонок, С. И.** Исследования гармонических волн в упругом слое на основе трехмерной теории оболочек N-го порядка / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2010. – Т. 16, № 4–2. – С. 693–701.
- 8 **Жаворонок, С. И.** Исследование распространяющихся мод гармонических волн в упругом слое на основе трехмерной теории оболочек N-го порядка / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 278–287.
- 9 **Жаворонок, С. И.** Исследование кинематики нормальных волн в упругом слое на основе трехмерной теории оболочек N-го порядка для различных значений волновых чисел / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 45–56.
- 10 **Жаворонок, С. И.** Формулировка начально-краевой задачи приближенной трехмерной теории анизотропных оболочек N-го порядка в обобщенных перемещениях и ее приложения к задачам стационарной динамики / С. И. Жаворонок // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 333–344.
- 11 The fractional Kelvin-Voigt model for circumferential guided waves in a viscoelastic FGM hollow cylinder / X. Zhang [et al.] // Applied Mathematical Modelling. – 2021. – Vol. 89. – P. 299–313.

УДК 539.3

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЗКЕ

*Ю. В. ЗАХАРЧУК, К. А. КУРЧЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Благодаря интенсивному развитию облегченных трехслойных конструкций за полувековой период производители расширили область применения своей продукции от космической отрасли до народного хозяйства. Трехслойные пакеты имеют важные конструктивные особенности и в условиях необходимости одновременного удовлетворения ряду противоречивых требований их использование становится наиболее близким оптимальному с точки зрения обеспечения минимума весовых показателей при заданных ограничениях на прочность и жесткость [1]. Перспективные позиции среди легких ограждающих конструкций в строительной практике в последние десятилетия сохраняют металлические панели с утеплителем типа «сэндвич». Распространенные конструктивные решения стеновых и кровельных сэндвич-панелей представляют собой пакеты из двух листов металлической обшивки (оцинкованной, окрашенной или с полимерным покрытием) и слоя заполнителя в виде минеральной ваты, пенополистирола или пенополиуретана.

Ввиду расширения объектов строительства из сэндвич-панелей в промышленности и сельском хозяйстве происходит непрерывный процесс совершенствования ограждающих конструкций. Это сопровождается поиском новых конструктивных решений и новых композиций в составе трехслойных пакетов, интенсивной разработкой теорий и методов их расчёта. С запуска первого собственного производства сэндвич-панелей в нашей стране прошло два десятилетия, за это время была создана комплексная нормативная база, регламентирующая правила расчета и конструирования сэндвич-панелей, и проектировщики перешли от использования эксперимен-

тальных данных к общегосударственным стандартам. Вместе с тем в настоящее время продолжается разработка общей теории квазистатических деформаций трехслойных элементов конструкций, в т. ч. пластин. Общие подходы к изучению напряженно-деформированного состояния (НДС) слоистых элементов представлены в монографиях [2, 3]. Разрабатываются новые механико-математические модели колебаний и деформирования при различных видах нагружений [4, 5], жесткости заполнителя [6, 7].

Сравнение методики статического расчета трехслойных панелей по действующим государственным стандартам и аналитической методики расчета слоистых элементов конструкций в рамках современной теории упругости и пластичности позволило установить следующее. Используемые проектными институтами методики оценки несущей способности промышленных сэндвич-панелей рассматривают узкий класс задач с ограничениями в видах внешней нагрузки, длинах и количестве пролетов, креплении панелей. В расчетных моделях учитывается работа заполнителя на сдвиг, а несущие слои воспринимают нормальные усилия от изгибающих моментов. Кроме того, здесь работа заполнителя учитывается лишь усредненным коэффициентом жесткости панели при изгибе на единицу ширины панели и коэффициентом  $k$ , для получения которого используется усредненное значение модуля сдвига заполнителя [8–10].

Опубликованные результаты последних исследований в области современной прикладной теории упругости и пластичности подчеркивают существенное влияние на НДС пластин сжимаемости заполнителя [11], что позволяет с большей степенью точности оценить физические параметры прочности рассматриваемых слоистых элементов конструкций. В связи с этим для выбора рационального решения в вопросе оптимального проектирования сэндвич-панелей было выполнено сравнение численных результатов статического расчета кровельной сэндвич-панели по действующим госстандартам и аналитическим формулам теории квазистатического деформирования трехслойных элементов конструкций, позволяющей учитывать сжимаемость срединного слоя.

Численные результаты были получены для кровельной панели EcoPanel ПП100-П размером 1,0×3,0 м с утеплителем из пенополистирола. Предполагалось, что к внешней поверхности верхнего слоя пакета приложена равномерно распределенная нагрузка. Принят общий случай, когда кровельная панель принимает нагрузку от собственно веса, массу снежного покрова и нагрузку ветра. Расчетное значение нормативной нагрузки – 4,47 кПа. Контур панели жестко закреплен.

Для определения максимального прогиба сэндвич-панели по методике, изложенной в общегосударственных стандартах [9, 10], применялась формула

$$W = \frac{5q_k l^4}{384B_s} (1 + 3,5k'),$$

где  $q_k$  – нормативная равномерно распределенная нагрузка, кПа;  $l$  – величина пролета, м;  $B_s$  – жесткость панели при изгибе на единицу ширины панели, МПа;  $k'$  – коэффициент, учитывающий работу заполнителя.

Для определения продольных и поперечных перемещений прямоугольной трехслойной пластины со сжимаемым заполнителем согласно современной прикладной теории упругости и пластичности использовалось аналитическое решение из новейших исследований ученых школы слоистых элементов конструкций Э. И. Старовойтова [11].

В принятых условиях нагружения расчетный прогиб рассматриваемой сэндвич-панели по действующим стандартам составил 0,011 мм. Во втором случае прогиб срединной плоскости – 0,0087 м, максимальный прогиб имеет верхний слой – 0,018 мм.

На основе сопоставительного анализа полученных данных по двум аналитическим методикам статического расчета показано, что предложенные уравнения с одинаковой эффективностью могут быть использованы для описания НДС сэндвич-панелей. Вместе с тем уточнение расчетного значения прогиба для срединного слоя за счет его сжимаемости достигает 20 %. В подобных ситуациях возникает необходимость разработки новых или уточнения уже существующих методов расчета.

#### Список литературы

1 Захарчук, Ю. В. Сравнительная оценка аналитических методов статического расчёта сэндвич-панелей / Ю. В. Захарчук // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : матер. XXVII Междунар. симп. им. А. Г. Горшкова. – М., 2021. – Т. 1. – С. 109–111.

2 Журавков, М. А. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности / М. А. Журавков, Э.И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 540 с.

3 Плескачевский, Ю.М. Деформирование металлополимерных систем / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Беларуская наука, 2004. – 342 с.

4 Старовойтов, Э. И. Повторное знакопеременное нагружение упругопластической трехслойной пластины в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 60–75.

5 Старовойтов, Э. И. Неосесимметричное деформирование круговой трехслойной пластины в своей плоскости / Э. И. Старовойтов, А. В. Нестерович // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 1(54). – С. 38–45.

6 Старовойтов, Э. И. Изгиб упругопластической круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Захарчук // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 58–73.

7 Starovoirov, É. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / É. I. Starovoirov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Strength of materials. – 2002. – Vol. 34, no. 5. – P. 474–481.

8 Згировский, А. И. Расчет и проектирование сэндвич-панелей с использованием стандартов Европейского союза / А. И. Згировский // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства : материалы Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 27–28 мая 2014 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. – Минск, 2015. – С. 67–73.

9 Панели металлические с утеплителем. Правила проектирования = Панэлі металічныя з уцяпляльнікам. Правілы практавання : ТКП 45-5.04-222-2010 (02250). – Введ. 07.12.10. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2011. – 18 с.

10 Панели самонесущие теплоизоляционные слоистые заводского изготовления. Технические условия = Панэлі саманясуцьця цеплаізаляцыйныя слаістыя заводскага вырабу. Тэхнічныя ўмовы : СТБ EN 14509-2009. – Введ. 01.01.2009. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 312 с.

11 Зеленая, А. С. Деформирование упругой трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым наполнителем / А. С. Зеленая // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2017. – № 6 (105). – С. 89–95.

УДК 539.3, 539.8

## МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ МЕХАНОДИФFUЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛАХ

Н. А. ЗВЕРЕВ<sup>1</sup>, А. В. ЗЕМСКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (НИИ),

<sup>2</sup>НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

В работе рассматривается одномерная полярно-симметричная задача механодиффузии для многокомпонентного ортотропного цилиндра, находящегося под действием нестационарных радиальных равномерно распределенных поверхностных возмущений (рисунок 1).

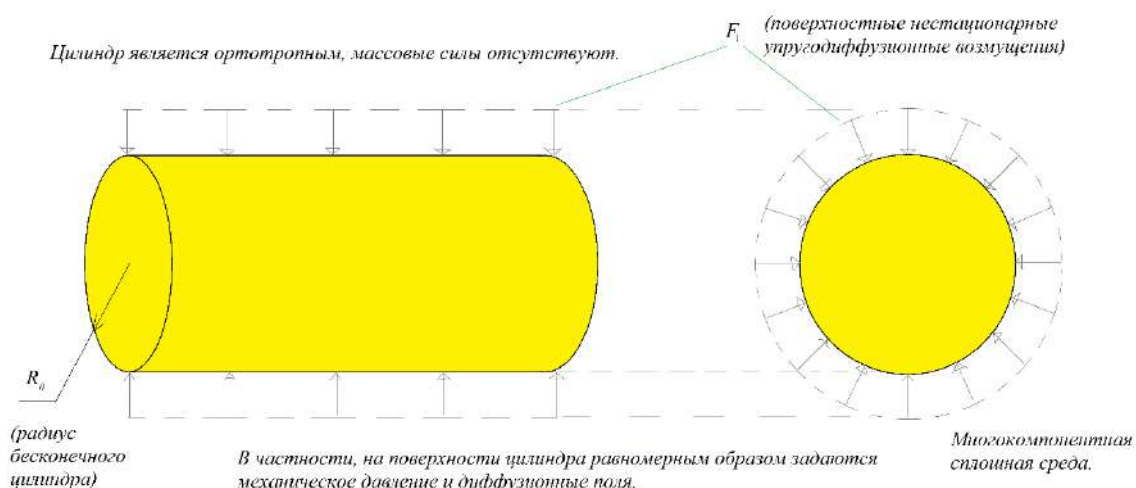


Рисунок 1 – Иллюстрация к постановке задачи

В задаче учтено время релаксации диффузионных потоков, подразумевающее конечную скорость распространения диффузионных возмущений. Математическая постановка задачи содержит:



линеаризованное дифференциальное уравнение движения цилиндра, закон сохранения массы в локальной форме, а также  $N$  линеаризованных дифференциальных уравнений массопереноса, обусловленного наличием диффузии [1–4]. Замыкают математическую постановку задачи граничные условия, при этом начальные условия принимаются равными нулю.

$$\begin{aligned} \ddot{u} &= u'' + \frac{u'}{r} - \frac{u}{r^2} - \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} \eta'_j, \quad \eta^{(N+1)} = -\sum_{q=1}^N \eta^{(q)}, \\ \dot{\eta}_q + \tau_q \ddot{\eta}_q &= -\Lambda_{11}^{(q)} \left( u''' + \frac{2u''}{r} - \frac{u'}{r^2} + \frac{u}{r^3} \right) + D_1^{(q)} \left( \eta_q'' + \frac{\eta_q'}{r} \right), \\ \left( \frac{\partial u}{\partial r} + c_{12} \frac{u}{r} - \sum_{q=1}^N \alpha_1^{(q)} \eta_q \right) \Big|_{r=1} &= f_1(\tau), \quad \eta_q \Big|_{r=1} = f_{q+1}(\tau). \end{aligned} \quad (1)$$

Безразмерные величины в (1) связаны с размерными следующим образом:

$$u = \frac{u_r}{L}, \quad \tau = \frac{Ct}{L}, \quad C^2 = \frac{C_{1111}}{\rho}, \quad \tau_q = \frac{C\tau^{(q)}}{L}, \quad c_{12} = \frac{C_{1122}}{C_{1111}}, \quad r = \frac{r^*}{L}, \quad \alpha_1^{(q)} = \frac{\alpha_{11}^{(q)}}{C_{1111}}, \quad D_1^{(q)} = \frac{D_{11}^{(q)}}{CL}, \quad \Lambda_{11}^{(q)} = \frac{m^{(q)} \alpha_{11}^{(q)} D_{11}^{(q)} n_0^{(q)}}{\rho CLRT_0}.$$

Здесь  $t$  – время;  $u_r$  – радиальная компонента вектора механических перемещений;  $r^*$  – радиальная координата;  $\rho$  – плотность сплошной среды;  $T_0$  – температура сплошной среды;  $D_{11}^{(q)}$  – коэффициент самодиффузии;  $m^q$  – молярная масса  $q$ -го вещества в составе многокомпонентной сплошной среды;  $C_{ijkl}$  – компоненты тензора упругих постоянных;  $\eta_q = n^{(q)} - n_0^{(q)}$  – приращение концентрации  $q$ -го вещества в составе многокомпонентной сплошной среды;  $\alpha_{11}^q$  – коэффициент, характеризующий деформации, возникающие вследствие диффузии;  $\tau^{(q)}$  – время релаксации диффузионных процессов;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $F_1$  – удельная плотность объёмных сил;  $F_{q+1}$  – объёмная плотность источников массопереноса;  $R_0$  – радиус цилиндра (характерный линейный размер  $L$  равен радиусу цилиндра).

Решение задачи ищется с помощью метода эквивалентных граничных условий [5]. Для этого рассматривается вспомогательная задача, решение которой ищется с помощью интегрального преобразования Лапласа по времени и разложения искомых функций в ряды Фурье по специальным цилиндрическим функциям Бесселя нулевого и первого порядков.

$$\begin{aligned} \ddot{u} &= u'' + \frac{u'}{r} - \frac{u}{r^2} - \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} \eta'_j, \quad \eta^{(N+1)} = -\sum_{q=1}^N \eta^{(q)}, \\ \dot{\eta}_q + \tau_q \ddot{\eta}_q &= -\Lambda_{11}^{(q)} \left( u''' + \frac{2u''}{r} - \frac{u'}{r^2} + \frac{u}{r^3} \right) + D_1^{(q)} \left( \eta_q'' + \frac{\eta_q'}{r} \right), \\ \left( \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} - \sum_{q=1}^N \alpha_1^{(q)} \eta_q \right) \Big|_{r=1} &= f_1^*(\tau), \quad \eta_q \Big|_{r=1} = f_{q+1}(\tau). \end{aligned} \quad (2)$$

Решение этой задачи получено в работе [4]. Далее, сравнивая граничные условия в задачах (1) и (2), получаем уравнение, связывающее их правые части:

$$\begin{aligned} &\int_0^\tau \left[ G'_{11}(1, \tau-t) + c_{12} G_{11}(1, \tau-t) + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} G_{j+1,1}(1, \tau-t) \right] f_1^*(t) dt = \\ &= f_1(\tau) - \sum_{m=2}^{N+1} \int_0^\tau \left[ G'_{1m}(1, \tau-t) + c_{12} G_{1m}(1, \tau-t) + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} G_{j+1,m}(1, \tau-t) \right] f_m(t) dt. \end{aligned}$$

где  $G_{kl}$  – функции Грина задачи (3).

Это соотношение представляет собой интегральное уравнение Вольтерра I рода. Его решение ищется численно с помощью квадратурных формул средних прямоугольников. После этого решение исходной задачи (1) записывается в виде

$$u(r, \tau) = \int_0^{\tau} G_{11}(r, \tau-t) f_1^*(t) dt + \sum_{m=2}^{N+1} \int_0^{\tau} G_{1m}(r, \tau-t) f_m(t) dt,$$

$$\eta_q(r, \tau) = \int_0^{\tau} G_{q+1,1}(r, \tau-t) f_1^*(t) dt + \sum_{m=2}^{N+1} \int_0^{\tau} G_{q+1,m}(r, \tau-t) f_m(t) dt.$$

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет выразить решение задачи с произвольными граничными условиями через какое-либо известное решение задачи данного класса.

#### Список литературы

- 1 **Deswal, S.** Axi-symmetric generalized thermoelastic diffusion problem with two-temperature and initial stress under fractional order heat conduction / S. Deswal, K. K. Kalkal, S. S. Sheoran // *Physica B: Condensed Matter*. – 2016. – Vol. 496. – P. 57–68.
- 2 **Aouadi, M. A.** Problem for an infinite elastic body with a spherical cavity in the theory of generalized thermoelastic diffusion / M. A. Aouadi // *International Journal of Solids and Structures*. – 2007. – Vol. 44. – P. 5711–5722.
- 3 **Зверев, Н. А.** Модель механоdiffузии для сплошного ортотропного цилиндра с учетом релаксации диффузионных процессов / Н. А. Зверев, А. В. Земсков // *Авиация и космонавтика : тезисы докладов 19-й Междунар. конф.*, Москва, 23–27 ноября 2020 г. – М., 2020. – С. 458–459.
- 4 **Зверев, Н. А.** Моделирование нестационарных связанных механоdiffузионных процессов в изотропном сплошном цилиндре / Н. А. Зверев, А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский // *Проблемы прочности и пластичности*. – 2020. – Т. 82, № 2. – С. 156–167.
- 5 **Zemskov, A. V.** Method of the equivalent boundary conditions in the unsteady problem for elastic diffusion layer / A. V. Zemskov, D. V. Tarlakovskii // *Materials Physics and Mechanics*. – 2015. – Vol. 23, no. 1. – P. 36–41.

УДК 539.3, 539.8

### НЕСТАЦИОНАРНЫЕ УПРУГОДИФFUЗИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИНЫ ТИМОШЕНКО

*А. В. ЗЕМСКОВ<sup>1,2</sup>, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup>*Московский авиационный институт (НИИ),*

<sup>2</sup>*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

Рассматривается задача о нестационарных упругодиффузионных колебаниях прямоугольной ортотропной пластины Тимошенко, находящейся в поле совместного действия механического и диффузионного полей.

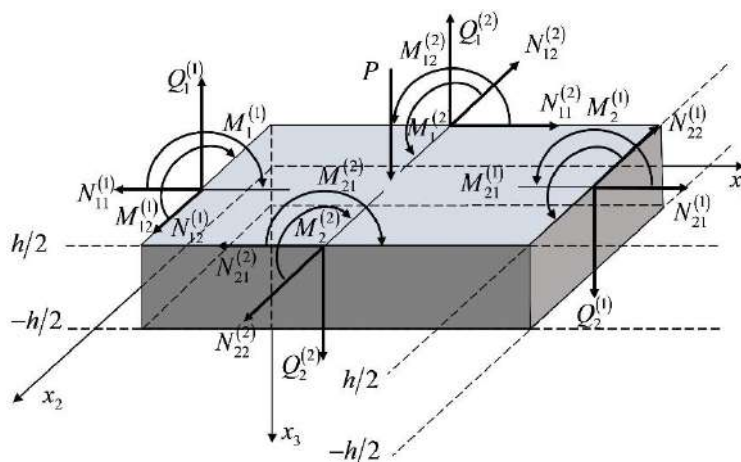


Рисунок 1 – Рисунок к постановке задачи

Для математической постановки задачи используется система уравнений механодиффузии для анизотропных сплошных сред [1–5]. Из неё, с помощью вариационного принципа Даламбера, получена модель упругодиффузионных поперечных колебаний ортотропной прямоугольной пластины [6]:

$$\begin{aligned}
\ddot{\chi}_1 &= \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_1^2} + C_{66} \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_2^2} + C_{55} k_T^2 \left( \frac{\partial w}{\partial x_1} - \chi_1 \right) + (C_{12} + C_{66}) \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_1 \partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_1^{(q)} \frac{\partial H_q}{\partial x_1} - \frac{12}{h^3} m_1, \\
\ddot{\chi}_2 &= C_{66} \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_1^2} + C_{22} \frac{\partial^2 \chi_2}{\partial x_2^2} + C_{44} k_T^2 \left( \frac{\partial w}{\partial x_2} - \chi_2 \right) + (C_{12} + C_{66}) \frac{\partial^2 \chi_1}{\partial x_1 \partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_2^{(q)} \frac{\partial H_q}{\partial x_2} - \frac{12}{h^3} m_2, \\
\dot{w} &= C_{55} k_T^2 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} - \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} \right) + C_{44} k_T^2 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} - \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} \right) + \frac{q}{h}, \\
\dot{H}_q + \tau_q \ddot{H}_q &= \left( D_1^{(q)} \frac{\partial^2 H_q}{\partial x_1^2} + D_2^{(q)} \frac{\partial^2 H_q}{\partial x_2^2} \right) + \Lambda_{11}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_1}{\partial x_1^3} + \Lambda_{12}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_2}{\partial x_1^2 \partial x_2} + \Lambda_{21}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_1}{\partial x_1 \partial x_2^2} + \Lambda_{22}^{(q)} \frac{\partial^3 \chi_2}{\partial x_2^3} + \frac{12}{h^3} z_q,
\end{aligned} \tag{1}$$

Здесь точки обозначают производную по времени. Все величины в (1) являются безразмерными. Для них приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
x_i &= \frac{x_i^*}{l}, \quad w = \frac{w^*}{l}, \quad \tau = \frac{Ct}{l}, \quad C_{ij} = \frac{C_{ij}^*}{C_{11}^*}, \quad C^2 = \frac{C_{11}^*}{\rho}, \quad l_m = \frac{l_m^*}{l}, \quad \tau_q = \frac{C\tau^{(q)}}{l}, \quad m_i = \frac{m_i^*}{C_{11}^*}, \\
\alpha_i^{(q)} &= \frac{\alpha_i^{*(q)}}{C_{11}^*}, \quad D_i^{(q)} = \frac{D_i^{*(q)}}{Cl}, \quad \Lambda_{ij}^{(q)} = \frac{m^{(q)} D_i^{*(q)} \alpha_j^{*(q)} n_0^{(q)}}{\rho R T_0 C l}, \quad q = \frac{q^*}{C_{11}^*}, \quad z_q = \frac{l z^{(q)}}{C}, \quad h = \frac{h^*}{l},
\end{aligned}$$

где  $t$  – время;  $x_i^*$  – прямоугольные декартовы координаты;  $w^*$  – прогибы пластины;  $\chi_i$  – углы поворота нормальных к срединной поверхности волокон;  $l$  – характерный линейный размер;  $l_1^*$  и  $l_2^*$  – длина и ширина пластины;  $h^*$  – толщина пластины;  $\eta^{(q)} = x_3 H_q$  – приращение концентрации  $q$ -й компоненты вещества в составе  $N$  – компонентной среды;  $n_0^{(q)}$  – начальная концентрация  $q$ -го вещества;  $C_{ij}^*$  – упругие постоянные;  $\rho$  – плотность;  $\alpha_i^{*(q)}$  – коэффициенты, характеризующие объёмное изменение среды за счёт диффузии;  $D_i^{*(q)}$  – коэффициенты самодиффузии;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T_0$  – температура среды;  $m^{(q)}$  – молярная масса  $q$ -го вещества;  $\tau^{(q)}$  – время релаксации диффузионных потоков;  $m_i^*$  – распределенные по поверхности моменты;  $q^*$  – распределенная по поверхности поперечная нагрузка;  $z^{(q)}$  – распределённая по поверхности плотность объёмных источников массопереноса;  $k_T$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по сечению балки.

Замыкают постановку начально-краевые условия, которые в случае чистого изгиба под действием изгибающих моментов  $M_k^{(l)}$ , изображенных на рисунке 1, имеют вид

$$\begin{aligned}
\left( \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{12} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_1^{(q)} H_q \right) \Big|_{x_1=0} &= f_{111}, \quad \left( \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{12} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_1^{(q)} H_q \right) \Big|_{x_1=l_1} = f_{112}, \\
\left( C_{12} \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_2^{(q)} H_q \right) \Big|_{x_2=0} &= f_{121}, \quad \left( C_{12} \frac{\partial \chi_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial \chi_2}{\partial x_2} + \sum_{q=1}^N \alpha_2^{(q)} H_q \right) \Big|_{x_2=l_2} = f_{122}, \\
\chi_2 \Big|_{x_1=0} &= f_{211}(x_2, \tau), \quad \chi_2 \Big|_{x_1=l_1} = f_{212}(x_2, \tau), \quad \chi_1 \Big|_{x_2=0} = f_{221}(x_1, \tau), \quad \chi_1 \Big|_{x_2=l_2} = f_{222}(x_1, \tau), \\
w \Big|_{x_1=0} &= f_{311}(x_2, \tau), \quad w \Big|_{x_1=l_1} = f_{312}(x_2, \tau), \quad w \Big|_{x_2=0} = f_{321}(x_1, \tau), \quad w \Big|_{x_2=l_2} = f_{322}(x_1, \tau), \\
H_q \Big|_{x_1=0} &= f_{q+3,11}(x_2, \tau), \quad H_q \Big|_{x_1=l_1} = f_{q+3,12}(x_2, \tau), \quad H_q \Big|_{x_2=0} = f_{q+3,21}(x_1, \tau), \quad H_q \Big|_{x_2=l_2} = f_{q+3,22}(x_1, \tau),
\end{aligned} \tag{2}$$

$$f_{111}(x_2, \tau) = -\frac{12}{h^3} M_1^{(1)}(x_2, \tau), \quad f_{112}(x_2, \tau) = -\frac{12}{h^3} M_2^{(1)}(x_2, \tau),$$

$$f_{121}(x_1, \tau) = -\frac{12}{h^3} M_1^{(2)}(x_1, \tau), \quad f_{122}(x_1, \tau) = -\frac{12}{h^3} M_2^{(2)}(x_1, \tau).$$

Начальные условия полагаем нулевыми.

Решения задачи (1), (2) ищется в интегральной форме. Ядрами интегральных представлений являются функции Грина, для нахождения которых используются разложения двойные тригонометрические ряды Фурье и преобразование Лапласа по времени.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-08-00589 А).*

#### Список литературы

- 1 **Еремеев, В. С.** Диффузия и напряжения / В. С. Еремеев. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 182 с.
- 2 **Igunnov, L. A.** A two-dimensional nonstationary problem of elastic diffusion for an orthotropic one-component layer / L. A. Igunnov, D. V. Tarlakovskii, A. V. Zemskov // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2017. – Vol. 38, no. 5. – P. 808–817.
- 3 **Aouadi, M.** Analytical and numerical results for a dynamic contact problem with two stops in thermoelastic diffusion theory / M. Aouadi, M. I. M. Copetti // ZAMM Z. Angew. Math. Mech. – 2015. – P. 1–24.
- 4 **Deswal, S.** A two-dimensional generalized electro-magneto-thermoviscoelastic problem for a half-space with diffusion / S. Deswal, K. Kalkal // International Journal of Thermal Sciences. – 2011. – Vol. 50, no. 5. – P. 749–759.
- 5 **Elhagary, M. A.** A two-dimensional generalized thermoelastic diffusion problem for a half-space subjected to harmonically varying heating / M. A. Elhagary // Acta Mechanica. – 2013. – Vol. 224. – P. 3057–3069.
- 6 **Zemskov, A.** Modeling an unsteady elastic diffusion processes in a Timoshenko plate / A. Zemskov, D. Tarlakovskii, N. Grigorevskiy // Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering : 9th edition of the International Conference (COUPLED PROBLEMS 2021). – URL : [https://www.scipedia.com/public/Zemskov\\_et\\_al\\_2021a](https://www.scipedia.com/public/Zemskov_et_al_2021a).

УДК 539.3, 539.8

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕРМОУПРУГОДИФFUЗИОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ БАЛКИ БЕРНУЛЛИ – ЭЙЛЕРА

*А. В. ЗЕМСКОВ<sup>1,2</sup>, ХАО ЛЕ ВАН<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (НИУ),

<sup>2</sup>НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

Рассматривается задача о нестационарных термоупругодиффузионных колебаниях балки Бернулли – Эйлера, находящейся в поле совместного действия механического, температурного и диффузионного полей (рисунок 1).

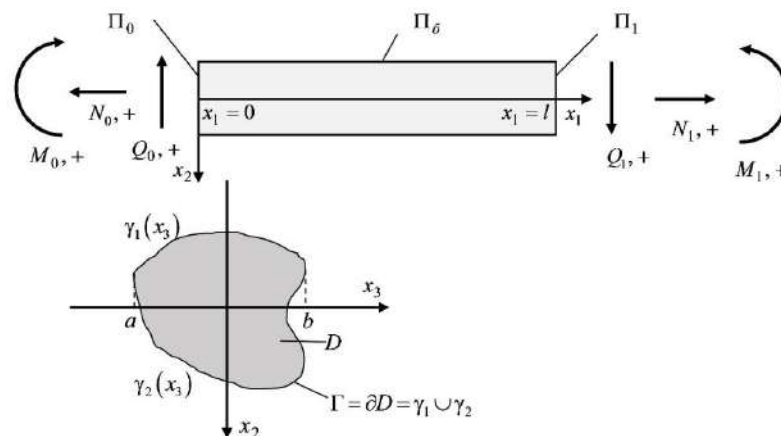


Рисунок 1 – Рисунок к постановке задачи

Для математической постановки задачи используется система уравнений термомеханодиффузии для анизотропных сплошных сред [1–5]. Модель учитывает релаксационные эффекты, подразуме-

вающие конечную скорость распространения тепловых и диффузионных потоков. Из неё, с помощью вариационного принципа Даламбера [6, 7], получена модель термоупругодиффузионных поперечных колебаний балки Бернулли – Эйлера:

$$\begin{aligned} \ddot{v}'' - \frac{F}{J_3} \ddot{v} = v^{IV} + b_1 \vartheta'' + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H_j'' - \frac{q + m'}{J_3}, \\ \dot{\vartheta} + \tau_t \ddot{\vartheta} = k_1 \vartheta'' + B_1 (\dot{v}'' + \tau_t \ddot{v}'') - \sum_{q=1}^N v^{(q)} (H_q + \tau_t \dot{H}_q) + \frac{q^{(2)}}{J_3}, \\ \dot{H}_q + \tau_q \ddot{H}_q = D_1^{(q)} H_q'' + \Lambda_{11}^{(q)} v^{IV} + M_1^{(q)} \vartheta'' + \frac{z^{(q)}}{J_3}, \quad H_{N+1} = - \sum_{q=1}^N H_q. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь точки обозначают производную по времени, штрихи – производную по координате  $x_1$ . Все величины в (1) являются безразмерными. Для них приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} x_i = \frac{x_i^*}{l}, \quad u = \frac{u^*}{l}, \quad \tau = \frac{Ct}{l}, \quad C_{ij} = \frac{C_{ij}^*}{C_{11}^*}, \quad C^2 = \frac{C_{11}^*}{\rho}, \quad \tau_q = \frac{C\tau^{(q)}}{l}, \quad \theta = \frac{T - T_0}{T_0}, \quad \tau_t = \frac{C\tau_T}{l}, \\ k_i = \frac{k_i^*}{\rho c_0 Cl}, \quad B_i = \frac{b_i^*}{\rho c_0}, \quad v^{(q)} = \rho RT_0 \frac{\ln[n_0^{(q)} \gamma^{(q)}]}{m^{(q)}}, \quad M_i^{(q)} = \frac{n_0^{(q)} D_i^{*(q)}}{T_0} \ln(n_0^{(q)} \gamma^{(q)}), \quad q^{(2)} = \frac{lq^{(J)}}{T_0 c_0 C}, \\ \alpha_i^{(q)} = \frac{\alpha_i^{*(q)}}{C_{11}^*}, \quad D_i^{(q)} = \frac{D_i^{*(q)}}{Cl}, \quad \Lambda_{ij}^{(q)} = \frac{m^{(q)} D_i^{*(q)} \alpha_j^{*(q)} n_0^{(q)}}{\rho RT_0 Cl}, \quad q = \frac{q^*}{C_{11}^*}, \quad z_q = \frac{lz^{(q)}}{C}, \quad m_i = \frac{m_i^*}{C_{11}^*}, \end{aligned}$$

где  $t$  – время;  $x_i^*$  – прямоугольные декартовы координаты;  $v^*$  – прогибы балки;  $l$  – длина балки;  $\eta^{(q)} = x_2 H_q$  – приращение концентрации  $q$ -й компоненты вещества в составе  $N+1$  – компонентной среды;  $n_0^{(q)}$  – начальная концентрация  $q$ -го вещества;  $\theta = x_2 \vartheta$  – приращение температуры;  $C_{ij}^*$  – упругие постоянные;  $\rho$  – плотность;  $\alpha_i^{*(q)}$  – коэффициенты, характеризующие объёмное изменение среды за счёт диффузии;  $b_i^*$  – тепловые постоянные, характеризующие объёмное изменение за счёт теплопереноса;  $D_i^{*(q)}$  – коэффициенты самодиффузии;  $k_i^*$  – коэффициенты теплопроводности;  $c_0$  – удельная теплоемкость;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T_0$  – начальная температура среды;  $T$  – актуальная температура среды;  $m^{(q)}$  – молярная масса  $q$ -го вещества;  $\tau^{(q)}$  – время релаксации диффузионных потоков;  $\tau_T$  – время релаксации тепловых потоков;  $m_i^*$  – распределенные по длине балки моменты;  $q^*$  – распределенная по длине балки поперечная нагрузка;  $q^{(J)}$  – линейная плотность источников теплопереноса;  $z^{(q)}$  – линейная плотность источников массопереноса;  $J_3$  – момент инерции балки относительно оси  $Ox_3$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения.

Замыкают постановку начально-краевые условия, которые в случае чистого изгиба под действием изгибающих моментов  $M_k$ , изображенных на рисунке 1, имеют вид

$$\begin{aligned} \left( v'' + b_1 \vartheta + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_1=0} = -\frac{M_0}{J_3}, \quad \left( v'' + b_1 \vartheta + \sum_{j=1}^N \alpha_1^{(j)} H_j \right) \Big|_{x_1=1} = -\frac{M_1}{J_3}, \\ v \Big|_{x_1=0} = V_0, \quad v \Big|_{x_1=1} = V_1, \quad \vartheta \Big|_{x_1=0} = \vartheta_0, \quad \vartheta \Big|_{x_1=1} = \vartheta_1, \quad H_q \Big|_{x_1=0} = H_{q0}, \quad H_q \Big|_{x_1=1} = H_{q1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $V_l$  – граничные значения для прогибов балки;  $\vartheta_l$  – граничные значения для температурного поля,  $H_{q0}$  – граничные значения диффузионных полей.

Начальные условия полагаем нулевыми.

Решения задачи (1), (2) ищется в интегральной форме. Ядрами интегральных представлений являются функции Грина, для нахождения которых используются разложения в тригонометрические ряды Фурье и преобразование Лапласа по времени.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-08-00589 А).*

### Список литературы

- 1 Еремеев, В. С. Диффузия и напряжения / В. С. Еремеев. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 182 с.
- 2 Igumnov, L. A. A two-dimensional nonstationary problem of elastic diffusion for an orthotropic one-component layer / L. A. Igumnov, D. V. Tarlakovskii, A. V. Zemskov // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2017. – Vol. 38, no. 5. – P. 808–817.
- 3 Aouadi, M. Analytical and numerical results for a dynamic contact problem with two stops in thermoelastic diffusion theory / M. Aouadi, M. I. M. Copetti // ZAMM Z. Angew. Math. Mech. – 2015. – P. 1–24.
- 4 Deswal, S. A two-dimensional generalized electro-magneto-thermoviscoelastic problem for a half-space with diffusion / S. Deswal, K. Kalkal // International Journal of Thermal Sciences. – 2011. – Vol. 50, no. 5. – P. 749–759.
- 5 Elhagary, M. A. A two-dimensional generalized thermoelastic diffusion problem for a half-space subjected to harmonically varying heating / M. A. Elhagary // Acta Mechanica. – 2013. – Vol. 224. – P. 3057–3069.
- 6 Земсков, А. В. Нестационарный изгиб консольно-закрепленной балки Бернулли-Эйлера с учетом диффузии / А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский, Г. М. Файкин // Вычислительная механика сплошных сред. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 40–50. – DOI: 10.7242/1999-6691/2021.14.1.4.
- 7 Zemskov, A. V. Unsteady elastic-diffusion oscillations of a simply supported Euler-Bernoulli beam under the distributed transverse load action / A. V. Zemskov, A. S. Okonechnikov, D. V. Tarlakovskii // Multiscale Solid Mechanics. Advanced Structured Materials / ed. by Holm Altenbach, Victor A. Eremeyev, Leonid A. Igumnov. – Springer Nature Switzerland AG. – 2021. – Vol. 141. – P. 487–499.

УДК 539.3

## КОЛЕБАНИЯ УПРУГОГО СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

А. М. КАРИМОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Композиционные материалы с упругими и вязкоупругими свойствами имеют широкое применение в области транспортного строительства, машиностроения, авиации. В настоящее время разрабатываются новые виды композиционных материалов, например, металлопластики, металлы, армированные керамическими нитями, и другие. Изделия из композиционных материалов часто работают в таких условиях, где не исключена возможность ударной нагрузки. Нагрузки подобного вида вызывает появление напряжений, которые могут привести конструкцию к разрушению. Поэтому важно знать динамические характеристики композиционных материалов.

Рассматривается задача о колебаниях упругого композиционного слоя  $\{-\infty < x_1; x_2 < \infty, 0 \leq x_3 \leq L\}$ , образованного периодическим повторением элементарных ячеек (слоев), ортогональных к оси  $x_3$ . Ячейка периодичности, в свою очередь, состоит из двух упругих изотропных слоев различной толщины  $l_m$  с разными механическими свойствами  $\lambda_m, \mu_m, \rho_m$  ( $m = 1, 2$ ).

На внешних плоскостях  $x_3 = 0$  и  $x_3 = L$  заданы вектор смещений  $\bar{u}(x_1, x_2, t)$ , которые являются гармоническими функциями времени, т. е.  $\bar{u}(x, t) = \bar{U}(x)e^{-i\omega t}$ . На границах раздела слоев выполняются условия жесткого контакта. Тогда, вектор вихря  $2\bar{\Omega} = \text{rot}\bar{U}$  удовлетворяет волновому уравнению в каждом слое с номером  $m$ . В случае, когда рассматривается одномерная задача о вращательных колебаниях вокруг оси  $x_3 \equiv x$ , получим [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu(x) \frac{\partial \Omega}{\partial x} \right] + \omega^2 \rho(x) \Omega = 0, \quad (1)$$

где  $\Omega = \Omega_1(x_3) = \Omega_1(x)$ .

Решение уравнению движения ищем в виде асимптотического разложения по малому параметру  $\alpha$ , равному отношению периода структуры  $l = l_1 + l_2$  к характерному размеру рассматриваемого тела  $L$  [2]:

$$\Omega(x) = \sum_{s=0}^{\infty} \alpha^s \sum_q (-1)^q N_{s-2q, 2q}(\xi, \omega) \frac{d^{s-2q}}{dx^{s-2q}} v(x), \quad (2)$$

где  $N_{s-2q, 2q}(\xi, \omega)$  – так называемые локальные функции периодические по переменной  $\xi = \frac{x}{\alpha}$ , зависящей от частоты  $\omega$ .

Суммирование по  $q$  происходит от  $q = 0$  так, чтобы выполнялись условия  $s - 2q \geq 0$ . Все локальные функции, имеющие отрицательные индексы, равны нулю, а также  $N_{0,0} \equiv 1$ .

После применения обычной техники метода осреднения получим

$$\sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \alpha^{2(s-1)} \sum_{q=0} (-1)^q H_{2(s-q),2q} \frac{d^{2(s-q)}}{dx^{2(s-q)}} v(x) \right\} = 0,$$

где

$$\begin{aligned} H_{2(s-q),2q} &= \left\langle P_{2(s-q)-1} - \rho\omega^2 N_{2(s-q),2(q-1)} \right\rangle; \\ P_{e,2q} &= \mu \left( N'_{e,2q}(\xi, \omega) + N_{e-1,2q}(\xi, \omega) \right); \\ \langle P(\xi, \mu) \rangle &\equiv \int_0^1 P(\xi, \omega) d\xi. \end{aligned}$$

Для определения локальных функций  $N_{s-2q,2q}$  находим рекуррентную последовательность обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка [3]

$$P'_{s-2q,2q} + P_{s-1-2q,2q} - \rho\omega^2 N_{s-2q,2(q-1)} + H_{s-2q,2q} = 0, \quad (3)$$

где  $s = 1, 2, 3, \dots$ ;  $q = 0, 1, 2, \dots$ .

Для того чтобы обеспечить единственное решение уравнений задачи на ячейки периодичности, требуется выполнение условий

$$\langle N_{s-2q,2q}(\xi, \omega) \rangle = F_{s-2q,2q}(\omega),$$

где  $F_{s-2q,2q}$  – некоторые величины, зависящие от частоты, которые определяются из сравнений точного частотного уравнения с частотным уравнением, полученным данным методом для бесконечной упругой слоистой среды периодической структуры [4].

Выбирая решение в виде

$$v(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx},$$

получим дисперсионное уравнение рассматриваемой задачи

$$\sum_{s=1}^{\infty} \alpha^{2(s-1)} \sum_q (-1)^q H_{2(s-q),2q} (-k^2)^{s-q} = 0,$$

где  $k$  – волновое число.

Выполнение граничных условий дает систему двух однородных уравнений для определения  $A$  и  $B$ . Потребовав условию существования нетривиального решения, получим  $k = \pi n / L$ ,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Подставляя эти значения в дисперсионное уравнение, получим собственные частоты рассматриваемого упругого композиционного слоя периодической структуры при вращательном колебании.

Анализируя дисперсионное уравнение в нулевом приближении, имеем

$$H_0 k^2 - \rho_0 \omega^2 = 0.$$

В этом случае фазовая скорость  $\left( c = \frac{\omega}{k} \right)$  не зависит от частоты и совпадает со скоростью волны в эквивалентной однородной среде. Явление дисперсии отсутствует.

Анализируя дисперсионное уравнение в первом приближении, имеем

$$\left( a_1 k^2 + a_2 \right) \omega^4 + \left( a_3 k^2 + a_4 k^4 + a_5 \right) \omega^4 + a_6 k^2 + k^4 = 0,$$

где

$$a_1 = \frac{R_1 + 2k_B^2}{\omega_1^2 \omega_2^2}; \quad a_2 = -\frac{k_B^2}{\omega_1^2 \omega_2^2}; \quad a_3 = \left( \frac{2}{c_q^2 k_B^2} + R_2 \right) R_1;$$

$$a_4 = R_2 - \frac{1}{c_q^2 k_B^2} \cdot R_1; \quad a_5 = -\frac{R_1}{c_q^2}; \quad a_6 = R_1; \quad R_1 = -\frac{c_q^2 k_B^2 \omega_3^2}{\omega_1^2 \omega_2^2}; \quad R_1 = -\frac{\omega_1^2 + \omega_2^2}{\omega_1^2 \omega_2^2};$$

$c_q, \omega_1, \omega_2, \omega_3$  – значения групповой скорости и частот, соответственно, определенных из точного спектра частот данной задачи;  $k_B$  – значение волнового числа на конце первой зоны Бриллюэна.

#### Список литературы

- 1 Абдусаттаров, А. Методы решения задач механики композитных материалов и неупругих элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, А. М. Каримов. – Ташкент : Узбекистан, 2020. – 198 с.
- 2 Победря, Б. Е. Механика композиционных материалов / Б. Е. Победря. – М. : Изд-во МГУ, 1984. – 336 с.
- 3 Каримов, А. М. Дисперсионное уравнение вязкоупругих композитов периодической структуры / А. М. Каримов // Проблемы механики. – 2019. – № 1. – С. 18–20.
- 4 A Dispersive Nonlocal Model for In-Plane Wave Propagation in Laminated Composites with Periodic Structures / Н. Brito-Santana [et al.] // Journal of Applied Mechanics. – 2015. – Vol. 82, no. 3. – P. 31–46.

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗГИБ УПРУГОЙ КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ НА ОСНОВАНИЕ ПАСТЕРНАКА

*А. Г. КОЗЕЛ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном транспортном машиностроении актуально применение композиционных материалов. Широкое распространение получили многослойные, в том числе трехслойные элементы конструкций. При относительно небольшой массе подобные слоистые системы не только сочетают в себе высокую изгибную жесткость и прочность, но и обладают хорошей способностью противостоять тепловым, химическим, радиационным воздействиям. Возникает необходимость создания соответствующих математических моделей, усовершенствованию методов расчета их напряженно-деформированного состояния в различных условиях эксплуатации.

Неосесимметричное нагружение упругих трехслойных круговых пластин рассматривалось в статьях [1, 2]. Влияние сжимаемости заполнителя на деформирование трехслойных пластин исследовалось в работах [3, 4]. Анализ температурного воздействия на трехслойные элементы конструкции, в том числе контактирующие с упругим основанием Винклера, выполнен в статьях [5, 6]. Деформирование упругих круговых трехслойных пластин на основании Пастернака рассматривалось в работах [7, 8], упругопластических – в [9, 10].

Здесь рассматривается квазистатическое деформирование круговой трехслойной пластины на основании Пастернака при термосиловом нагружении. Для несимметричной по толщине трехслойной пластины принята гипотеза ломаной линии: для внешних жестких слоев ( $h_1 \neq h_2$ ) принимаются гипотезы Кирхгофа, в легком и достаточно толстом заполнителе ( $h_3 = 2c$ ), справедлива гипотеза о прямолинейности и несжимаемости деформированной нормали. Работа заполнителя в тангенциальном направлении не учитывается. Постановка задачи проводится в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ . Внешняя поперечная нагрузка, действующая на верхний слой пластины, симметрична, т. е. не зависит от координаты  $\varphi$ :  $q = q(r)$ . Связь реакции основания  $q_R$ , действующей на нижний слой пластины, и прогиба принимается согласно модели Пастернака:

$$q_R(r) = -\kappa_0 w + t_f \Delta w,$$

где  $\kappa_0$  – коэффициент сжатия основания, формально совпадающий с коэффициентом постели Винклера, Па/м;  $t_f$  – коэффициент сдвига основания, Па·м;  $w(r)$  – осадка (прогиб) поверхности основания, м;  $\Delta$  – оператор Лапласа.

Реакция основания направлена в сторону, противоположную прогибу.



За искомые функции принимаются прогиб пластины  $w(r)$ , относительный сдвиг в заполнителе  $\psi(r)$  и радиальное перемещение координатной плоскости  $u(r)$ .

Система дифференциальных уравнений равновесия в усилиях, описывающая деформирование круговой упругой трехслойной пластины на упругом основании Пастернака была получена с помощью принципа Лагранжа в [7]. Поэтому ее можно применить и здесь как исходную.

Выразив обобщенные внутренние усилия через перемещения и подставив их в уравнения равновесия, имеем:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r}) &= 0, \\ L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r}) &= 0, \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r}) - \kappa_0 w + t_f \Delta w &= -q, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $L_2, L_3$  – линейные дифференциальные операторы,  $a_i$  – коэффициенты, учитывающие геометрические параметры, зависимость модулей упругости материалов слоев от температуры,

$$\begin{aligned} a_1 &= \sum_{k=1}^3 K_{k0}, \quad a_2 = c(K_{10} - K_{20}), \quad a_3 = \sum_{k=1}^3 K_{k1}, \quad a_4 = K_{32} + c^2(K_{10} + K_{20}), \\ a_5 &= K_{32} + c(K_{11} - K_{21}), \quad a_6 = \sum_{k=1}^3 K_{k2}, \quad K_{kn} = \int_{h_k} \left( K_k(T_k) + \frac{4}{3} G_k(T_k) \right) z^m dz, \quad m = 0, 1, 2. \end{aligned}$$

Краевая задача замыкается присоединением к (1) граничных условий. В случае жесткой заделки контура пластины при  $r = R$

$$u = 0, \quad \psi = 0, \quad w = 0, \quad w_{,r} = 0;$$

при шарнирном опирании контура пластины

$$u = 0, \quad \psi = 0, \quad w = 0, \quad M_r = 0;$$

в случае свободного контура пластины

$$\psi = 0, \quad T_r = 0, \quad M_r = 0, \quad Q = 0.$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке БР ФФИ (проект № T20P-047).*

#### Список литературы

- 1 **Нестерович, А. В.** Напряжения в круговой пластине типа Тимошенко при неосесимметричном растяжении-сжатии / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – № 11 (11). – С. 195–203.
- 2 **Старовойтов, Э. И.** Неосесимметричное деформирование круговой трехслойной пластины в своей плоскости / Э. И. Старовойтов, А. В. Нестерович // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 1 (54). – С. 38–45.
- 3 **Захарчук, Ю. В.** Влияние сжимаемости заполнителя на перемещения в трёхслойной круговой симметричной пластине / Ю. В. Захарчук // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2018. – № 2. – С. 14–27.
- 4 **Леоненко, Д. В.** Напряженно-деформированное состояние физически нелинейной трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым заполнителем / Д. В. Леоненко, А. С. Зеленая // Механика машин, механизмов и материалов. – 2018. – № 2(43). – С. 77–82.
- 5 **Леоненко, Д. В.** Колебания элементов авиационных конструкций, возбужденные тепловым воздействием / Д. В. Леоненко, Л. Н. Рабинский, Э. И. Старовойтов // Известия вузов. Авиационная техника. – 2016. – № 4. – С. 25–32.
- 6 **Starovoitov, É. I.** Thermoelastic bending of a sandwich ring plate on an elastic foundation / É. I. Starovoitov, D. V. Leonenko // International Applied Mechanics. – 2008. – Vol. 44, no. 9. – P. 1032–1040.
- 7 **Козел, А. Г.** Деформирование круговой трёхслойной пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2017. – Вып. 32. – С. 235–240.
- 8 **Старовойтов, Э. И.** Влияние жесткости основания Пастернака на деформирование круговой трёхслойной пластины / Э. И. Старовойтов, А. Г. Козел // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2019. – № 2. – С. 106–113.
- 9 **Козел, А. Г.** Решение задачи об изгибе упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 165–171.
- 10 **Козел, А. Г.** Деформирование физически нелинейной трехслойной пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 105–112.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С РУЛОНИРОВАННЫМ ПАКЕТОМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЕТОК

А. В. КОЧЕТКОВ, И. А. МОДИН

*Научно-исследовательский институт механики Нижегородского государственного университета  
им. Н. И. Лобачевского, Российская Федерация*

При перевозке взрывоопасных грузов активно используют защитные конструкции, которые снижают взрывную нагрузку и защищают окружающие объекты от осколков. Рассматривается взрывное нагружение цилиндрического пакета плетеных сеток в составе трехслойной оболочки. Общая постановка задачи показана на рисунке 1. Для расчета параметров на контактных границах «двухфазная среда-газ» используется алгоритм, основанный на решении задачи о распаде произвольного разрыва в канале со скачком площади поперечного сечения [1]. Возможные виды газодинамического течения при истечении и втекании в пористую среду подробно описаны и проанализированы в [2]. Алгоритм строится по принципу расщепления процесса на два этапа. На первом этапе определяется движение границы пористой среды с использованием газодинамического давления, полученного на предыдущем шаге расчета, а затем на втором этапе решается задача распада разрыва в движущейся системе координат, связанной с комбинированным разрывом. В результате определяются все необходимые граничные параметры для численного интегрирования уравнений.

Цилиндрический пакет сеток 3 (рисунок 1) размещается перед силовыми слоями открытой с торцов цилиндрической оболочки. Ее внешний слой 1 выполнен из базальтопластика, внутренний 2 – из стали. Взрывное нагружение осуществляется шаровым зарядом ТГ 50/50, центр которого размещен на пересечении оси и плоскости симметрии системы. Длина оболочки  $L = 60$  см, внешний радиус  $R = 16,1$  см, толщина базальтопластикового слоя  $h_1 = 1,38$  см, толщина стального слоя  $h_2 = 0,2$  см, толщина пакета сетки  $h_3 = 2,5$  см. Масса заряда  $m_{\text{вв}} = 247$  г (радиус заряда  $r_{\text{вв}} = 3,27$  см). Механические характеристики стали –  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа,  $\mu = 0,3$  (коэффициент Пуассона),  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>,  $\sigma_{\text{т}} = 400$  МПа; базальтопластика –  $E = 3,6 \cdot 10^4$  МПа,  $\mu = 0,2$ ,  $\rho = 2$  г/см<sup>3</sup>. Базальтопластиковый слой, ортотропный по своему конструктивному строению и механическим свойствам, в расчетах предполагается изотропным и упругим, значение  $E$  соответствует окружающему значению модуля деформации [3].

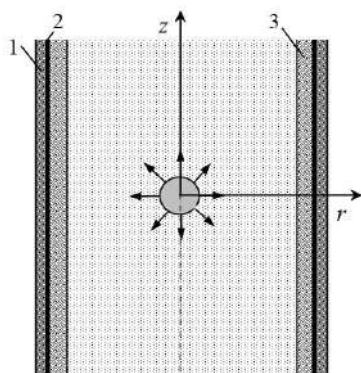


Рисунок 1

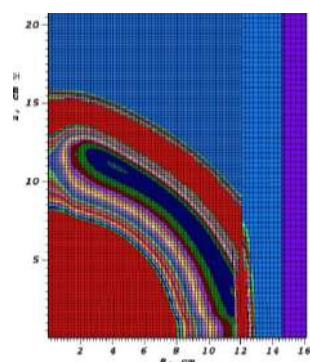


Рисунок 2

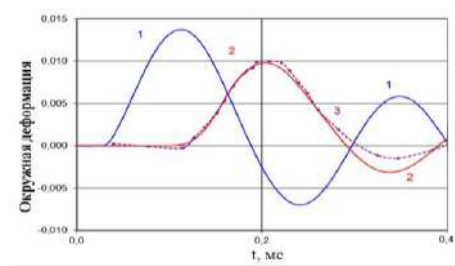


Рисунок 3

В силу симметрии рассматривается 1/4 всей области (рисунок 2). Пакет сетки начальной плотностью  $\rho_{20} = 1,09$  г/см<sup>3</sup> вплотную примыкает к силовому корпусу оболочки. Цилиндрический пакет сеток сворачивается из слоёв плетеной сетки с размером стороны квадратной ячейки  $l = 0,2$  см и толщиной проволоки  $d = 0,05$  см. В этом случае структурные параметры газопроницаемого пакета имеют следующие значения: объемное содержание металла  $\alpha_{20} = 0,144$ , коэффициенты газопрони-

цаемости в направлении, перпендикулярном слоям сетки  $\beta_{r_0} = 0,64$ ,  $\beta_{z_0} = 0,42$  – в направлении проволочек. Закон сжатия сетки принимается в соответствии с динамической диаграммой сжатия пакета из металлических сеток, задаваемой в табличной форме с линейным законом разгрузки. Вдоль линий проволочек на растяжение предполагается упругая связь между напряжением и деформацией с модулем  $1,2 \cdot 10^4$  МПа.

Газодинамическое нагружение оболочки с сеткой осуществляется путем моделирования подрыва указанного заряда, геометрический центр которого и точка инициирования расположены в начале координат расчетной области (см. рисунок 2). Процесс детонации заряда рассчитывается при помощи «лучевой модели» [4]. Специального выделения контактной границы между продуктами детонации (ПД) и воздухом в ходе расчетов не проводится. Считается, что смесь данных компонент подчиняется уравнению состояния идеального газа с переменным показателем адиабаты  $\gamma$ , зависящим от ее текущей плотности  $\rho$ :  $\gamma = 1,25 + 1,45(\rho/\rho_{\text{вв}})$ , где  $\rho_{\text{вв}}$  – начальная плотность заряда. За момент отсчета физического времени принимается момент инициации заряда. На верхней и нижней границах области течения смеси ПД-воздух реализуются условия «свободного вытока».

Расчет проводится при помощи программного комплекса «UPSGOD» в связанной постановке [2, 5]. Характерный размер четырехугольных ячеек используемых разностных сеток составляет: от 0,2 до 0,5 см – по воздуху, сетке и силовому корпусу. Развитие волнового процесса внутри оболочки после детонации заряда показано на рисунке 2. Здесь приведены поля давлений в газе и компоненты  $-\sigma_{rr}$  в области сетки в моменты времени  $t = 30$  мкс. Видно отражение головной ударной волны от поверхности сетки и формирование волны сжатия в пакете плетеных сеток.

В эксперименте, результаты которого приведены в [6–8], регистрировалась окружная деформация внешнего слоя силового базальтопластикового корпуса оболочки в сечении  $z = 0$ . На рисунке 3 в сравнении изображены временные расчетные (сплошная красная линия – 2) и опытные (пунктир – 3) развертки окружных деформаций наружного корпуса в данном сечении. Сплошной линией 1 синего цвета показаны результаты расчета взрывного нагружения рассматриваемой составной оболочки в случае отсутствия защитной сетки. Как показали результаты проведенных вычислений, процессы деформирования пакета сетки под действием продуктов взрыва носят колебательный характер, сопровождающийся периодическими отрывами от внутренней стальной оболочки в окрестности плоскости симметрии и следующими за этим новыми соударениями с ней. Частота таких колебаний определяется не только жесткостью пакета силовых наружных оболочек, но и зависит от жесткостных характеристик пакета сетки, в первую очередь, от упругого модуля.

**Выводы.** Наличие сетки снижает максимумы окружных деформаций внешнего силового слоя оболочки на 30 %, что соответствует наблюдаемому в экспериментах эффекту. Используемая математическая и численная модель газопроницаемых пакетов плетеных сеток может успешно применяться для анализа их деформирования и для оценки их защитных свойств при взрывных воздействиях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ № 20-79-00108).*

#### Список литературы

- 1 Дулов, В. Г. Газодинамика процессов истечения / В. Г. Дулов. – Новосибирск : Наука, 1984. – 234 с.
- 2 Крайко, А. Н. О течениях газа в пористой среде с поверхностями разрыва пористости / А. Н. Крайко, Л. Г. Миллер, И. А. Ширковский // Прикладная механика и теоретическая физика. – 1982. – № 1. – С. 111–118.
- 3 Глазова, Е. Г. Численное моделирование взаимодействия деформируемых газопроницаемых пакетов сеток с ударными волнами / Е. Г. Глазова, А. В. Кочетков / Прикладная механика и теоретическая физика. – 2012. – № 3. – С. 11–19.
- 4 Андреев, С. Г. Физика взрыва / С. Г. Андреев ; под ред. Л. П. Орленко. – М. : Физматлит, 2002. – 823 с.
- 5 Numerical and experimental study of the penetration of a package of woven metal grid by a steel ball / V. V. Balandin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 1214(1). – 012004. – doi: 10.1088/1742-6596/1214/1/012004.
- 6 Study of the stress-strain and strength properties of the metal woven grids / A. V. Kochetkov [et al.] // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Matematika i Mekhanika. – 2018. – Vol. 52. – P. 53–62. – doi: 10.17223/19988621/52/6.
- 7 Modin, I. A. Numerical simulation of quasistatic and dynamic compression of a granular layer / I. A. Modin, A. V. Kochetkov, N. V. Leontiev // AIP Conference Proceedings. – 2019. – 2116(270003). – doi: 10.1063/1.5114277.
- 8 Kochetkov, A. V. Numerical study of elastoplastic dynamic compression of metal braided grid / A. V. Kochetkov, I. A. Modin, E. Y. Poverennov // AIP Conference Proceedings. – 2021. – 2371(050005). – doi: 10.1063/5.0060905.

## ЧИСЛЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТНЫХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В АНИЗОТРОПНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ ТЕНЗОРА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

*Е. Л. КУЗНЕЦОВА*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

При решении прямых задач теплопереноса в условиях аэрогазодинамического нагрева ЛА по входным данным – тепловым потокам от газодинамических течений, значениям ТФХ, геометрии объекта и т. п. – определяются тепловые потоки и температурные поля в теле. Эти задачи называют прямыми задачами теплообмена. В обратных задачах (задачах идентификации) по распределению температур в теле, полученным экспериментальным путем, определяются все параметры, которые в прямых задачах являются входными данными, т. е. тепловые потоки от газа, коэффициенты переноса – ТФХ, величины уноса массы и т. п. Сложность решения задач идентификации заключается в том, что все они являются нелинейными, даже если прямая задача линейна, обратные операторы могут быть плохо обусловленными, т. е. малым колебаниям входных данных (в экспериментальных значениях) значения идентифицированных параметров могут быть значительными. В этом случае говорят, что обратная задача – некорректна. К настоящему времени нет единого подхода к решению задач идентификации, особенно в самой сложной ее части – коэффициентных обратных задачах. Существующие методы базируются в основном на теории оптимального управления квадратичной невязкой между экспериментальными значениями температур и полученными расчетным путем. Совершенно открыт вопрос об определении характеристик композиционных материалов в условиях высоких температур, а также характеристик анизотропных материалов [1–8]. В данном научном исследовании была разработана методология решения обратных задач теплопереноса в композиционных анизотропных материалах, включающая в себя решение следующих проблем: разработка устойчивого разностно-итерационного метода на основе методов градиентного спуска с надежным определением параметров спуска; исследовалась сходимость, устойчивость, были доказаны теоремы о существовании решения обратной задачи и о ее единственности. С помощью разработанного метода необходимо определять серию параметров в количестве до десяти.

В научном исследовании были получены аналитические решения многомерных нестационарных задач теории теплопроводности в анизотропных телах с граничными условиями первого, второго и третьего родов, а также новые численные методы решения тех же задач. С помощью этих методов были получены многомерные распределения температур в анизотропных областях, перенос тепла в которых описывается не скалярными значениями, а тензорами второго ранга. Эти распределения температур используются в обратных задачах теплопереноса в композиционных анизотропных материалах при построении квадратичного функционала невязки между экспериментальными и теоретическими значениями температур. При этом количество точек в теле, в которых должна быть измерена температура, должно быть не менее девяти для анизотропного материала (аналог конечно-разностного шаблона на плоскости при численном решении). К полученному функционалу напрямую не применяются необходимые условия минимума, как в традиционных методах. В предлагаемой методологии выражение линейризуется путем разложения его в ряд Тейлора с удержанием только линейных слагаемых относительно вектора параметров, а затем к упрощенному функционалу применяются необходимые условия минимума для определения вектора параметров спуска с использованием метода градиентного спуска. Преимуществом данного подхода является явное выделение вектора приращений параметров спуска.

Результаты научного исследования позволяют решать принципиально новые задачи, а именно определять практически все множество теплофизических характеристик анизотропных композиционных материалов, используемых для тепловой защиты гиперзвуковых летательных аппаратов, по результатам измерения температур.

Результаты научного исследования позволяют расширить теоретические знания о методах решения обратных задач теории теплопроводности в анизотропных композиционных материалах, используемых в качестве теплозащитных при аэрогазодинамическом нагреве.

Работа выполнена в Московском авиационном институте при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-01-00523А.

#### Список литературы

- 1 **Formalev, V. F.** On Thermal Solitons during Wave Heat Transfer in Restricted Areas / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik // High Temperature. – 2019. – 57(4). – P. 498–502.
- 2 Origination and propagation of temperature solitons with wave heat transfer in the bounded area during additive technological processes / V. F. Formalev [et al.] // Periodico Tche Quimica. – 2019. – 16(33). – P. 505–515.
- 3 **Formalev, V. F.** Mathematical modeling of a new method of thermal protection based on the injection of special coolants / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik, E. L. Kuznetsova // Periodico Tche Quimica. – 2019. – 16(32). – P. 598–607.
- 4 **Formalev, V. F.** Simulation of Nonequilibrium Heat Transfer in an Anisotropic Semispace Under the Action of a Point Heat Source / V. F. Formalev, É. M. Kartashov, S. A. Kolesnik // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – 92(6). – P. 1537–1547.
- 5 **Kurchatov, I. S.** Obtaining Spectral Characteristics of Semiconductors of AIBVI Type Alloyed with Iron Ions Using Direct Matrix Analysis / I. S. Kurchatov, N. A. Bulychev, S. A. Kolesnik // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8, is. 3. – P. 8328–8330.
- 6 **Formalev, V. F.** Identification of new law for decomposition of bonding heat-shielding composite materials / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik, E. L. Kuznetsova // Asia Life Sciences. – 2019. – 10(1). – P. 139–148.
- 7 **Kuznetsova, E. L.** Mathematical model of energy efficiency of mechatronic modules and power sources for prospective mobile objects / E. L. Kuznetsova, A. V. Makarenko // Periodico Tche Quimica. – 2019. – 16(32). – P. 529–541.
- 8 **Bulychev, N. A.** Ultrasonic Application of Nanostructured Coatings on Metals / N. A. Bulychev, E. L. Kuznetsova // Russian Engineering Research. – 2019. – 39(9). – P. 809–812.

УДК 512.567.5

### ПОЛУАБЕЛЕВОСТЬ, САМОСОВМЕЩЕНИЯ И РОДСТВЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Ю. И. КУЛАЗЖЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальной задачей теории полиадических групп была и остается задача установления новых критериев полуабелевости. Подтверждением тому могут служить работы [1–4] математиков, труды которых принято относить к разряду классических в этой области.

Не менее важным для развития теории полиадических групп и их приложений является установление новых критериев самосовмещения элементов  $n$ -арных групп [5].

Представляемые результаты примыкают к указанным направлениям исследований и являются внешними критериями по отношению к полиадическим группам, поскольку получены в области приложений этих групп в аффинной геометрии.

Заметим, что параллелограмм  $G$ , присутствующий в формулировках, построен при помощи родственных преобразований, используемых, в частности, в аффинной геометрии.

В дальнейшем элементы  $n$ -арной группы  $G$  будем называть точками.

Напомним, что точку  $S_a(b) = [ab^{[-2]} \ b \ a]$  называют точкой, симметричной точке в относительно точки  $a$ .

Четырехугольник  $\langle a, b, c, d \rangle$  называют параллелограммом  $G$ , если  $\left[ ab^{[-2]} \ b \ c \right] = d$ .  $N$ -арную группу  $G$  называют полуабелевой, если для любой последовательности  $x^n \in X^k$  справедливо равенство  $\left[ x_1 x_2^{n-1} x_n \right] = \left[ x_n x_2^{n-1} x_1 \right]$ . Говорим, что точка  $p$  самосовмещается относительно элементов последовательности  $\langle a_1, \dots, a_k \rangle$ , если  $S_{a_k} \left( \dots \left( S_{a_2} \left( S_{a_1}(p) \right) \right) \dots \right) = p$ , где  $p \in G$ ,  $a_i^k \in G^k$ .

Другие обозначения и понятия можно найти в [5].

Сформируем полученные результаты.

Теорема 1. Пусть  $a, b, c, d$  – произвольные точки из  $G$ .  $G$  будет полуабелевой  $n$ -арной группой тогда и только тогда, когда четырехугольник

$$\langle [dc^{[-2]} c a], [dc^{[-2]} c b], [dc^{[-2]} c S_c(a)], [dc^{[-2]} c S_c(b)] \rangle - \text{параллелограмм } G.$$

Теорема 2. Пусть  $a, b, c, d$  – произвольные точки из  $G$ . Произвольная точка  $p \in G$ , самосовмещается относительно последовательности вершин четырехугольника

$$\langle [dc^{[-2]} c a], [dc^{[-2]} b], [dc^{[-2]} c S_c(a)], [dc^{[-2]} c S_c(b)] \rangle$$

тогда и только тогда, когда этот четырехугольник – параллелограмм  $G$ .

#### Список литературы

- 1 **Dörnte, W.** Untersuchung über einen verallgemeinerten Gruppenbegriff / W. Dörnte // Math. Z. – 1928. – Bd. 29. – S. 1–19.
- 2 **Post, E. L.** Polyadic groups / E. L. Post // Trans. Amer. Math. Soc. – 1940. – Vol. 48, no. 2. – P. 208–350.
- 3 **Prüfer, H.** Theorie der Abelschen Gruppen I. Grundeigenschaften / H. Prüfer // Math. Z. – 1924. – Bd. 20. – S. 165–187.
- 4 **Русаков, С. А.** Алгебраические  $n$ -арные системы: Силовая теория  $n$ -арных групп / С. А. Русаков. – М. : Беларуская навука, 1992. – 264 с.
- 5 **Кулаженко, Ю. И.** Полиадические операции и их приложения / Ю. И. Кулаженко. – М. : Издательский центр БГУ, 2014. – 311 с.

УДК 691

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМЕНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ПЛАСТМАССОВЫЕ

*Л. С. КУЩЕНКОВА*

*Нижегородский филиал Самарского государственного университета путей сообщения,  
Российская Федерация*

Замена металла уже на протяжении многих лет остается вопросом, который в центре внимания отрасли по производству пластмассовых материалов. Самые передовые технологии производства пластмасс и их производных широко применяются на железнодорожном транспорте, самолетостроении, автомобильной промышленности и при изготовлении бытовой техники и электроники. Из пластмасс выполнены фюзеляжи самолетов, которые по прочности не уступают металлическим конструкциям; некоторые детали крыльев и хвостового оперения, а также баки и контейнеры для горючего. На пассажирских самолетах, в железнодорожных вагонах пластмассами отделаны помещения, из пластмасс изготовлена мебель.

Исходными материалами для получения пластмасс служат дешевые природные вещества: продукты переработки каменного угля, нефти, природного газа и т. д. На производство пластмасс требуется гораздо меньше капитальных вложений, чем на получение цветных металлов.

В последние годы наблюдается такой быстрый рост производства деталей из пластмасс, какого не знали никакие другие материалы. Этот рост можно объяснить хорошими технологическими и многообразными их полезными свойствами.

**Технологические** особенности пластмасс:

- отходов при изготовлении пластмассовых деталей примерно в 5 раз меньше, чем при изготовлении металлических, кроме того, они обладают повышенной ремонтпригодностью;
- трудоемкость изготовления пластмассовых деталей высокопроизводительными методами: литьем, прессованием выдавливанием в 7–10 раз ниже, чем обработка металлических деталей;
- ресурсы сырья для изготовления большинства пластмасс считаются практически неограниченными;
- применение 1 т пластмасс позволяет сэкономить 3–7 т стали или цветных металлов;
- затраты на создание мощностей по производству пластмасс значительно меньше, чем на производство металла, сроки освоения значительно короче.

В вагоностроении применение стеклопластика позволяет снизить вес пассажирского вагона примерно в 2 раза. Цистерны для перевозки жидкого топлива и химикатов, выполненные из стеклопластика, примерно в 3 раза легче стальных. В строительстве наибольшее распространение пластики получили в качестве отделочных материалов. Так, например, декоративными пластиками отделаны станции метрополитенов, кинотеатры и т. д. Кроме того, из пластмассы изготавливают мебель, санитарно-техническое оборудование, арматуру, трубы и редукторы, шестерни и другие детали и изделия, что значительно снижает финансовые затраты.

Полиэтиленовые трубы имеют отличные технико-экономические показатели, непосредственно связанные с низкой себестоимостью эксплуатации, низкими затратами на установку и долгим сроком службы. Они используются при строительстве трубопроводов промышленного и хозяйственно-бытового водоснабжения. Высокое качество и экологическая безопасность материала позволяет использовать полиэтиленовые трубы для транспортировки питьевой воды. Трубы обладают следующими преимуществами:

- долговечность (полиэтиленовые трубы прослужат не менее 50 лет, что в несколько раз превышает данный показатель для металлических трубопроводов);

- пониженный уровень затрат, который связан прежде всего с дешевизной полиэтилена как строительного материала, а также с простотой и низкой стоимостью монтажа и перевозки (легкий вес труб позволяет обходиться меньшим количеством транспорта при перевозке, а крепление осуществляется простой сваркой встык, без применения тяжелой техники. При этом образуются надежные соединения, которые не теряют прочности с течением времени и гарантируют полную герметичность трубопровода. Они не допускают утечек или проникновения посторонних веществ внутрь).

- при замерзании и расширении жидкости внутри полиэтиленовой трубы не образуется разрывов. Труба растягивается до нужного размера и вернется затем к первоначальным параметрам.

- не нуждаются в электродной защите и не подвержены коррозии, ржавчине и окислению.

Последние 20 лет в мире стали периодом интенсивного роста применения пластмасс взамен традиционных материалов (металлов, керамики и т. д.) и реактопластов.

Производство машин не обходится без использования пластмасс и резин. Они являются как заменителями дефицитных цветных металлов, так и материалами с особыми свойствами, для которых не всегда может быть найдена замена. Этим и объясняется широкое использование пластмасс для изготовления огромной номенклатуры деталей машин. Применение пластмасс повышает качество машин и оборудования за счет снижения их массы, улучшает внешний вид, позволяет экономить цветные и черные металлы. Особенно эффективна замена пластмассами цветных металлов (свинца, меди, цинка, латуни, бронзы) и легированных сталей. Пластмассы были внедрены в автомобильную промышленность по ряду причин, среди которых сокращение расходов, снижение веса, объединение компонентов, дизайн, сопротивление коррозии и безопасность. Сегодня автопроизводители по всему миру применяют пластмассы для снижения уровня шума и вибраций, которые были типичны для интерьеров автомобилей. Их действия отражают потребности сегодняшних потребителей, которые хотят видеть вокруг себя приятный и удобный салон. Выполнение из пластмасс или с пластмассовыми покрытиями корпусов центробежных насосов для перекачки агрессивных жидкостей обеспечивает коррозионную стойкость. Основные пластмассы для корпусных деталей: стеклопласты, винилпласты, полистирол.

Целесообразность изготовления кожухов и крышек, корпусов переносных машин и приборов из пластмасс определяется удобством эксплуатации и технологическими соображениями (при достаточной серийности выпуска). Для корпусов приборов часто играют также существенную роль электроизоляционные и диамагнитные свойства пластмасс. Выбор материала диктуется технологическими соображениями.

В области звукоизоляции свое применение находят многие полимеры, в том числе полиуретаны, полиамиды, полиэтилен, полипропилен, термопластичные эластомеры и различные конструкционные пластмассы. Изолирование с использованием полимеров, хорошо поглощающих звук, является самой распространенной стратегией автопроизводителей по снижению уровня шума. Тем не менее, существует и другой подход, который заключается в замене металлических деталей менее шумными пластмассовыми аналогами. Иногда эти пластмассовые компоненты дополняются добавками, снижающими уровень трения, которые могут ослабить как шум, так и износ.

Одним из способов снижения уровня шума, вибрации и резкости движений внутри транспортных средств является введение изоляционной пены (обычно это двухсоставное соединение полиуретана) внутрь конструктивных деталей автомобилей. Пенные системы, затвердевающие практически мгновенно, вводятся на сборочной линии внутрь стоек, балок и в другие структурные проемы автомобилей, формируя при этом герметичное акустическое уплотнение. Помимо этого, пена вводится в пространство между пассажирским салоном и двигателем.

Полиуретановая пленка, которая приклеивается к днищу кузова, эффективно заглушает звуки от ходовой части автомобиля. Подложки на основе полиуретана для ковров, дверных прокладок, обшивки потолка салона и приборной панели также являются важными элементами систем подавления звука, используемых в последних моделях автомобилей.

Тем временем расширяется применение микропористых полиуретановых каучуков для снижения уровня вибрации в подвесных системах транспортных средств, в которых они действуют в качестве пружинных опор и изоляторов, противоударных креплений и буферов. Помимо этого, данные материалы применяются в противоударных бамперах, где они ослабляют распространение силы удара и последствия попадания в выбоины на дорогах.

Самосмазывающиеся пластмассовые шестерни ослабляют шум и износ в автомобилях и других механизмах.

Технико-экономическая эффективность применения пластмасс в машиностроении определяется в основном значительным снижением массы машин и повышением их эксплуатационных качеств, а также экономией цветных металлов и сталей. Замена металла пластмассами значительно снижает трудоемкость и себестоимость машиностроительной продукции. При замене черных металлов пластмассами трудоемкость изготовления деталей уменьшается в среднем в 5–6 раз, а себестоимость – в 2–6 раз. При замене пластмассами цветных металлов себестоимость снижается в 4–10 раз.

Оглянувшись кругом, мы заметим массу вещей, изготовленных из пластмасс, которые прочно вошли в наш быт. Большое число деталей холодильников, телевизоров, пылесосов, стиральных машин, спортивные принадлежности, игрушки, посуда, отделочные и упаковочные материалы, различные предметы галантереи, санитарии и гигиены – вот далеко не полный перечень изделий из пластмасс, широко применяемых в быту.

УДК 539.3

## ЛОКАЛЬНОЕ НАГРУЖЕНИЕ КРУГОВОЙ СЭНДВИЧ-ПЛАСТИНЫ СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

*Д. В. ЛЕОНЕНКО, Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Трехслойные конструкции широко применяются в различных отраслях народного хозяйства, включая транспортное машиностроение и строительство. Достаточно хорошо исследовано статическое и динамическое деформирование гладких круговых трехслойных пластин. Так, в статье [1] рассмотрены свободные колебания, статьи [2, 3] посвящены исследованию локального нагружения трехслойных пластин, в том числе и на упругом основании. Статическое нагружение трехслойного гладкого стержня рассмотрено в [4], ступенчатого при действии температурного нагружения – в [5]. В работе [6] исследована сэндвич-пластина с нерегулярной границей. Здесь рассмотрена подобная пластина под действием локальной нагрузки.

Пластина состоит из трех слоев. Толщины несущих слоев равны между собой ( $h_{1l} = h_{2l} = h_l$ ) и могут изменяться вдоль радиуса пластины ступенчато. На внешнюю поверхность первого несущего слоя действуют осесимметричные равномерно распределенные локальные нагрузки  $q_1(r)$ ,  $q_2(r)$ . За искомые величины принимаются прогиб пластины  $w_l(r)$  и относительный сдвиг в заполнителе  $\psi_l(r)$  на каждом участке  $l$ , которые не зависят от окружной координаты  $\varphi$ .

Для аналитической записи локальной распределенной нагрузки используется функция Хевисайда  $H_0(r)$  [7]:

$$H_0(r) = \begin{cases} 1, & r \geq 0, \\ 0, & r < 0. \end{cases}$$



Уравнения равновесия в перемещениях выводятся из вариационного принципа Лагранжа. Для каждого участка ступенчатой пластины справедливы выражения:

$$\psi_l = \frac{b_{2l}}{b_{1l}} w_{l,r} + C_{1l} r + C_{2l} / r, \quad w_{l,rrr} + \frac{2}{r} w_{l,rr} - \frac{1}{r^2} w_{l,r} + \frac{1}{r^3} w_l = \frac{q_l}{D},$$

где  $C_{1l}$ ,  $C_{2l}$  – константы интегрирования.

Получено решение системы для случая распределенной локальной нагрузки в виде круга и кольца. Проведен численный анализ решения.

#### Список литературы

- 1 Леоненко, Д. В. Свободные колебания круговых трехслойных пластин на упругом основании / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2008. – № 3. – С. 42–47.
- 2 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых трехслойных пластин под действием распределенных локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // Проблемы прочности. – 2002. – № 5. – С. 70–79.
- 3 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых композитных пластин на упругом основании под действием локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композитных материалов. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 943–954.
- 4 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных физически нелинейных стержней / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Л. Н. Рабинский. – М. : Изд-во МАИ, 2016. – 184 с.
- 5 Deformation of a Step Composite Beam in a Temperature Field / É. I. Starovoitov [et al.] // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015. – Vol. 88, no. 4. – P. 1023–1029.
- 6 Леоненко, Д. В. Поперечный изгиб круговой сэндвич-пластины ступенчатой толщины / Д. В. Леоненко // Известия Гомельского государственного университета. Естественные науки. – 2020. – № 6 (123). – С. 151–155.
- 7 Корн, Г. Справочник по математике для инженерных работников / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 832 с.

УДК 539.31

## НЕСТАЦИОНАРНАЯ ДИНАМИКА ШАРНИРНО ОПЕРТОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ КИРХГОФА – ЛЯВА

*Н. А. ЛОКТЕВА*

*Московский авиационный институт (НИУ),  
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

*Д. О. СЕРДЮК, П. Д. СКОПИНЦЕВ*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

В современных реалиях создание новых и усовершенствование уже существующих конструкций протекает в рамках обеспечения безопасности и экономичности. Это влечет за собой использование новых материалов, обладающих необходимыми свойствами, а также необходимость уделять повышенное внимание к исследованиям процессов распространения нестационарных возмущений в конструктивных элементах. Распространенным конструктивным элементом в технике является оболочка. Оболочечные конструкции применяются при создании летательных аппаратов, железнодорожных и автомобильных цистерн, трубопроводов, турбин, камер сгорания двигателей, морских судов и энергетических установок. В целом к расчетной схеме тонких оболочек может быть сведено большое количество конструкций при прочностных и динамических расчетах.

Особый теоретический и прикладной интерес представляет исследование напряженно-деформированного состояния цилиндрических оболочек, находящихся под воздействием нестационарных ударных нагрузок, имитируемых импульсными функциями. Исследование поведения оболочек при нестационарном динамическом воздействии затрудняется в связи со значительной неоднородностью напряженно-деформированного состояния как по времени, так и по координатам.

Работы [1, 2] посвящены исследованию вопросов нестационарной динамики изотропных пластин и оболочек. Задачи о воздействии нестационарной нагрузки на боковую поверхность неограниченных анизотропных цилиндрических оболочек рассмотрены в трудах [3–5]. В настоящей работе рассматривается начально-краевая задача о вынужденных нестационарных колебаниях шарнирно опертой тонкой упругой анизотропной цилиндрической оболочки конечной длины (рисунок 1).

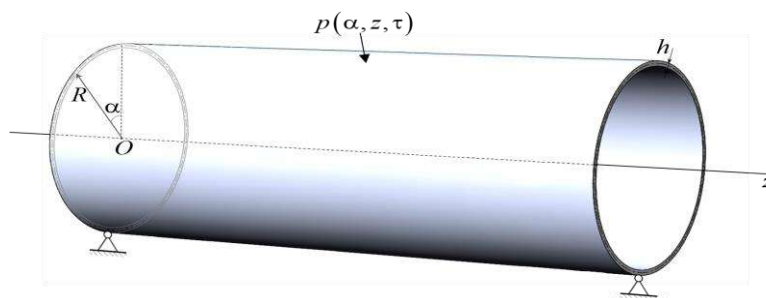


Рисунок 1 – Шарнирно опертая цилиндрическая оболочка под воздействием нестационарной нагрузки

Оболочка имеет толщину  $h$  и радиус  $R$ . Материал цилиндрической оболочки принимается упругим и анизотропным. В работе рассматривается такой случай анизотропии, при котором упругая среда имеет одну поверхность симметрии. В данном случае такой поверхностью считается срединная поверхность оболочки. Исследуемый в работе материал для тонкой оболочки Кирхгофа – Лява имеет шесть независимых упругих постоянных:  $c_{11} = C^{1111}$ ,  $c_{12} = C^{1112}$ ,  $c_{16} = C^{1112}$ ,  $c_{22} = C^{2222}$ ,  $c_{26} = C^{1222}$ ,  $c_{66} = C^{1212}$ ,

В начальный момент времени оболочка находится в невозмущенном состоянии, а затем на нее действует сосредоточенная нестационарная нагрузка  $p(\alpha, z, \tau)$ . Движение оболочки рассматривается в цилиндрической системе координат  $O\alpha z$ .

Постановка задачи включает в себя уравнения движения упругой оболочки Кирхгофа – Лява, соответствующие геометрические и физические соотношения с учетом симметрии свойств материала исследуемой оболочки, а также начальные и граничные условия.

Целью исследования является нахождение нестационарной функции нормальных перемещений при воздействии сосредоточенной нагрузки с переменной во времени амплитудой и анализ распространения возмущений на краях шарнирно опертой цилиндрической оболочки.

Искомая функция нормальных перемещений находится при помощи функции Грина для неограниченной оболочки [4] и метода компенсирующих нагрузок [6] как сумма сверток функции Грина с действующей и компенсирующими нагрузками. Функция Грина определяется с использованием экспоненциальных рядов Фурье по угловой координате и интегральных преобразований Лапласа по времени и Фурье по осевой координате. Компенсирующие нагрузки находятся из решения системы уравнений, построенной с учетом граничных условий для нормального перемещения шарнирно опертой оболочки на торцах.

Представленный подход к построению нестационарной функции нормальных перемещений при переходе к размерным величинам открывает возможности для анализа нестационарного напряженно-деформированного состояния шарнирно опертых цилиндрических оболочек конечной длины с учетом различных вариантов анизотропии материала и закона распределения нестационарной нагрузки как по координатам, так и по времени.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-08-00968 А).*

#### Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 **Tarlovakvskii, D. V.** Nonstationary 3D motion of an elastic spherical shell / D. V. Tarlovakvskii, G. V. Fedotenkov // *Mechanics of Solids*. – 2015. – Vol. 50, no. 2. – P. 208–217. – DOI: 10.3103/S0025654415020107.
- 3 **Локтева, Н. А.** Нестационарная динамика тонких анизотропных упругих цилиндрических оболочек / Н. А. Локтева, Д. О. Сердюк, П. Д. Скопинцев // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVI Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. Т. 2.* – М. : ООО «ТРИ», 2020.
- 4 **Lokteva, N. A.** Non-stationary influence function for an unbounded anisotropic Kirchhoff-Love shell / N. A. Lokteva, D. O. Serdyuk, P. D. Skopintsev // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2020. – Vol. 18, no. 4. – P. 737–744. – DOI: 10.5937/jaes0-28205.
- 5 Нестационарное напряженно-деформированное состояние композитной цилиндрической оболочки / Н. А. Локтева [и др.] // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2020. – Т. 26, № 4. – P. 544–559. – DOI: 10.33113/mkmc.ras.2020.26.04.544\_559.08.
- 6 Метод компенсирующих нагрузок в задачах теории тонких пластинок и оболочек / Э. С. Венцель [и др.]. – Харьков, 1992. – 92 с.

## СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ИНЕРЦИОННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ КРУГОВЫХ ТРЁХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН

М. В. МАРКОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире многослойные элементы конструкций всё чаще становятся более приоритетными среди альтернативных вариантов ввиду того, что в них наблюдается оптимальное сочетание прочности, жёсткости и теплотехнических качеств при минимальном удельном весе. Исследованию динамического деформирования трёхслойных конструкций уже уделялось многократное внимание и посвящён целый ряд работ [1–7]. Здесь предложена уточнённая модель математического описания процесса колебания трёхслойной круговой пластины.

В работе [7] представлена система дифференциальных уравнений, моделирующая колебание трёхслойной пластины переменной толщины через перемещения, возникающие в ней. Вывод данной системы базировался на использовании вариационного принципа Гамильтона и гипотезы «ломаной нормали». Рассматриваемая пластина радиусом  $r$  представляла собой пакет из несущих внешних слоёв, толщина которых выражалась при помощи произвольных функций  $h_1 = h_1(r)$  и  $h_2 = h_2(r)$ , и лёгкого среднего заполнителя –  $h_3 = \text{const}$ , функциональное назначение которого заключается в перераспределении усилий между несущими слоями и обеспечении их совместной работы. Приняв  $h_1 = \text{const}$  и  $h_2 = \text{const}$ , представленная в работе [7] система будет применима для описания процесса колебания трёхслойной пластины постоянной толщины и приобретёт следующий вид:

$$\begin{aligned} a_1^+ L_2(u) + a_2^+ L_2(\psi) - a_3^+ L_2(w, r) &= M_1 \ddot{u} + M_2 \ddot{\psi} - M_3 \ddot{w}, r; \\ a_2^+ L_2(u) + a_4^+ L_2(\psi) - a_5^+ L_2(w, r) &= M_2 \ddot{u} + M_4 \ddot{\psi} - M_5 \ddot{w}, r; \\ a_3^+ L_3(u) + a_5^+ L_3(\psi) - a_6^+ L_3(w, r) &= M_3 \left[ \frac{\ddot{u}}{r} + \ddot{u}, r \right] + M_5 \left[ \frac{\ddot{\psi}}{r} + \ddot{\psi}, r \right] - M_6 \left[ \frac{\ddot{w}, r}{r} + \ddot{w}, rr \right] + M_1 \ddot{w} - q, \end{aligned} \quad (1)$$

здесь  $w$ ,  $\psi$  и  $u$  – соответственно прогиб, относительный сдвиг в заполнителе и радиальное перемещение координатной поверхности пластины;  $q$  – внешняя нагрузка, воспринимаемая пластиной;  $M_n$  и  $a_n^+$  – коэффициенты, зависящие от плотности, упругих свойств материалов и толщины слоёв рассматриваемой пластины; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате

$$L_2(g) \equiv \left( \frac{1}{r} (rg), r \right), r \equiv g, rr + \frac{g, r}{r} - \frac{g}{r^2}; \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (rL_2(g)), r \equiv g, rrr + \frac{2g, rr}{r} - \frac{g, r}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

В дальнейших исследованиях система (1) также может быть использована для моделирования процесса колебания ступенчатой пластины, представляющей собой совокупность различных трёхслойных кольцевых элементов постоянной толщины, сопряжённых единым заполнителем.

При исследовании процесса свободных (при  $q = 0$ ) поперечных колебаний инерционными силами в продольном направлении и инерционными силами поворота нормали заполнителя при изгибе пластины можно пренебречь ввиду их незначительного влияния на поперечные перемещения [8]. Тогда, с учётом первых двух уравнений, последнее выражение системы (1) преобразуется к виду

$$\Delta \Delta w \pm Dm \Delta \ddot{w} + DM_1 \ddot{w} = 0, \quad (2)$$

где  $\Delta$  – оператор Лапласа, а  $D$  и  $m$  – коэффициенты, зависящие от плотности, упругих свойств материалов и толщины слоёв пластины. Знак « $\pm$ » перед коэффициентом  $m$  обусловлен тем, что в зависимости от весовых и жёсткостных характеристик слоёв пластины и их взаимной толщины данный коэффициент может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Уравнение (2) отличается от уравнений, ранее используемых при моделировании свободных колебаниях круговых трёхслойных пластин постоянной толщины [3, 6], наличием дополнительного инерционного члена:  $\pm Dm \Delta \ddot{w}$ .

Анализ численных различий в результатах расчёта по двум механико-математическим моделям динамического деформирования пластины (с дополнительным инерционным членом  $\pm Dm\Delta\dot{w}$  и без него) был выполнен для частот свободных колебаний.

Используя метод Фурье, решение уравнения (2) для любого момента времени  $t$  можно представить в виде следующего выражения:

$$w = [A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)] [C_1 J_0(r\gamma^-) + C_2 Y_0(r\gamma^-) + C_3 J_0(r\gamma^+) + C_4 K_0(r\gamma^+)],$$

здесь  $J_0(r)$  и  $Y_0(r)$  – функции Бесселя нулевого порядка первого и второго рода, соответственно;  $I_0(r)$  и  $K_0(r)$  – модифицированные функции Бесселя нулевого порядка первого и второго рода;  $\omega$  – частота свободных колебаний;  $C_n$ ,  $A$  и  $B$  – константы интегрирования, определяемые из начальных условий;

$$\gamma^\pm = \sqrt{\sqrt{0,25 \cdot \omega^4 D^2 m^2 + \omega^2 D M_1} \pm 0,5 \cdot \omega^2 D m}.$$

В результате выполненного исследования было установлено, что учёт дополнительного инерционного члена оказывает весомое влияние на результаты расчёта лишь для пластин, в которых используется заполнитель с высокой плотностью. При изменении толщины внешних слоёв или срединного заполнителя пластины увеличение различий между результатами расчёта происходит при увеличении суммарной массы и не связано при этом с изменением жёсткости пластины. Кроме того, процент отклонения результатов расчёта тем выше, чем выше порядковый номер определяемой частоты свободных колебаний.

*Работа выполнена в рамках ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении».*

#### Список литературы

- 1 Громыко, Ю. В. Колебания трёхслойной круговой пластины с отверстием при резонансе / Ю. В. Громыко // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – № 11. – С. 41–48.
- 2 Леоненко, Д. В. Колебания круговых трёхслойных пластин на упругом основании Пастернака / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2014. – Т. 11, № 1. – С. 59–63.
- 3 Леоненко, Д. В. Свободные колебания круговых трёхслойных пластин на упругом основании / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2008. – Т. 5, № 3. – С. 42–47.
- 4 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых композитных пластин на упругом основании под действием локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композитных материалов. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 943–954.
- 5 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых трёхслойных пластин под действием распределённых локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // Проблемы прочности. – 2002. – № 5. – С. 70–79.
- 6 Старовойтов, Э. И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости : учеб. для студентов строительных спец. вузов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 344 с.
- 7 Маркова, М. В. Механико-математическая модель колебаний круговой трёхслойной пластины переменной толщины / М. В. Маркова // Актуальные вопросы физики и техники : материалы X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 22 апреля 2021 г. / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 308–310.
- 8 Гольденвейзер, А. Л. Свободные колебания тонких упругих оболочек / А. Л. Гольденвейзер, В. Б. Лидский, П. Е. Товстик. – М. : Наука, 1979. – 384 с.

УДК 539.3

### ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ НАЛИЧИИ РАССЛОЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

*М. И. МАРТИРОСОВ, Д. В. ДЕДОВА*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Среди конструкционных материалов, используемых в настоящее время в авиационной технике (АТ), большое распространение приобретают полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые обладают определенным комплексом преимуществ по сравнению с традиционными металлическими материалами. Среди таких преимуществ следует выделить высокую удельную прочность и жёсткость, высокую износостойкость и термостойкость, сопротивление усталости, химическую и радиационную стойкость, низкие коэффициенты трения и термического расширения.

Действующими Авиационными правилами (АП) установлены требования к прочности и деформациям АТ для всех режимов эксплуатации, которые не зависят от используемого конструкционно-го материала (металл или ПКМ), из которого изготовлена конструкция АТ:

- конструкция должна выдерживать эксплуатационные нагрузки без появления опасных остаточных деформаций;
- конструкция должна выдерживать расчетные нагрузки без разрушения в течение трех секунд (не менее).

Традиционные конструкционные металлические материалы за счет стабильных характеристик, продолжительности периода сохранения механических и технологических свойств обеспечивают заданные прочностные характеристики конструкции АТ.

Уровень безопасности АТ, созданной на основе новых материалов (и новых технологий), должен быть не ниже уровня безопасности существующей АТ, изготовленной из традиционных конструкционных материалов (и по традиционным технологиям). Следует отметить, что целью разработки новых ПКМ является объединение различных компонентов для создания материалов с новыми заданными характеристиками, отличными от характеристик исходных компонентов.

Новые ПКМ применяются поэтапно. Сначала их используют для изготовления слабонагруженных (малонагруженных) элементов конструкции, а уже затем по результатам опыта эксплуатации принимается решение об использовании этих материалов и в более ответственных элементах.

При разработке АТ из ПКМ следует учитывать:

- повышенный разброс механических характеристик;
- влияние экстремальных значений факторов внешней среды и деградацию от длительного воздействия типовых параметров эксплуатации;
- снижение прочности от максимальных размеров допустимых дефектов и наличие остаточных напряжений;
- снижение прочности от наличия прогнозируемых повреждений;
- технологические особенности;
- и другие факторы.

Говоря о недостатках ПКМ можно отметить, что при производстве и эксплуатации элементов конструкций из таких материалов могут возникать дефекты различного характера, которые оказывают серьезное влияние на остаточную прочность. На практике в элементах конструкций из ПКМ встречаются следующие основные дефекты:

- непроклей – нарушение адгезионной связи между монослоями, образующими композитный пакет (КП), (например, после автоклавного формования);
- недостаточная пропитка связующим – нарушение адгезионной связи между слоями наполнителя в КП или отсутствие связующего в слое (слоях) наполнителя (производственный или технологический дефект);
- расслоение – нарушение адгезионной связи между слоями наполнителя в КП, вызванное механическими воздействиями ударного характера при эксплуатации или внутренними повреждениями в КП после формования или после проведения сборочно-монтажных работ;
- пористость – любая полость, содержащая воздух в структуре КП, вызывающая изменение его акустических характеристик (затухание ультразвука в ПКМ).

Такие дефекты относятся к внутренним, так как охватывают внутренние слои КП.

В работе рассматривается пластина прямоугольной формы заданной геометрии из ПКМ при наличии системы расслоений различной формы. Исследуются расслоения эллиптической формы с различным соотношением осей, круговой формы различного радиуса и прямоугольной формы с различным соотношением линейных размеров. Число таких дефектов может быть произвольным, располагаются они между монослоями КП также произвольным образом.

В качестве внешних нагрузок рассматриваются распространенные на практике варианты действия статических нагрузок и нагрузок динамических, изменяющихся во времени по заданными законам.

Пластина выполнена в виде многослойной конструкции с симметричной укладкой монослоёв:  $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/-45^\circ/+45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$ . Всего в КП 14 монослоёв, каждый из которых изготовлен из однородного упругого ортотропного материала.

Материал пластины – однонаправленный углепластик на основе препрега HexPly M21/34%/UD194/IMA-12K (углеродная лента IMA на основе высокопрочного волокна HexTow/IMA – 12K и эпоксидное модифицированное связующее M21) производства фирмы Hexcel Composites (США). Технология изготовления – автоклавная. Из такого материала в авиации могут изготавли-

ваться изделия, входящие в перечень основных силовых элементов (ОСЭ). ОСЭ – элементы основной силовой конструкции, которые воспринимают значительную долю полётных, наземных нагрузок и нагрузок от избыточного давления, разрушение которых может привести к аварийной или катастрофической ситуации. Так, например, в гражданской авиации из этого препрега могут производиться следующие детали: панели, лонжероны и нервюры центроплана; панели, лонжероны и нервюры консоли крыла; обшивки, лонжероны и нервюры стабилизатора и киля; балки пола и т. д.

Физико-механические характеристики монослоя известны. Эти характеристики являются паспортными и получены производителем препрега экспериментально по европейским стандартам EN и американским стандартам ASTM для режима RTD (Room Temperature Dry): нормальная температура  $+23\pm 3$  °С и влажность – в состоянии поставки (состояние поставки образцов – состояние, в котором находятся образцы сразу после изготовления, содержание влаги в которых не превышает 10 % от максимального влагонасыщения при относительной влажности 85 %).

Пластина моделируется объёмными элементами типа Solid Laminate в программном комплексе Simcenter Femap, затем модель импортируется в программный комплекс конечно-элементного анализа LS-DYNA (Lawrence Livermore National Laboratory), где задаются свойства материала, нагрузки и граничные условия. Все слои жёстко сцеплены клеевым контактом за исключением областей с дефектами, в которых учитывается контактное взаимодействие. Граничные условия соответствуют жёсткому заземлению по всем сторонам пластины или шарнирному опиранию ее длинных сторон при свободных коротких. Используется явная схема интегрирования полной системы уравнений метода конечных элементов (МКЭ).

Определяется поле напряжений и деформаций в каждом слое пластины. На основе полей напряжений вычисляются индексы разрушения монослоя (разрушение наступает, когда этот индекс становится равным 1) в различные моменты времени при наличии и отсутствии дефектов при действии статической и динамической нагрузок. Рассматриваются следующие критерии разрушения для ПКМ: Puck, Hashin, Chang-Chang, LaRC (Langley Research Center). Данные критерии дают возможность оценивать прочность матрицы и волокна отдельно, что позволяет получить более полную картину об остаточной прочности многослойного КП. Проводится сравнение результатов, полученных по этим критериям.

Аналогичные расчёты проведены и для однонаправленного углепластика на основе препрега HexPly 8552/34%/UD134/AS4-12K (углеродная лента AS4 на основе углеродного волокна HexTow AS4-12K и эпоксидное модифицированное связующее 8552). В гражданской авиации из данного препрега могут изготавливаться средне- и слабонагруженные детали конструкционного назначения по автоклавной технологии: элементы механизации крыла и хвостового оперения; обтекатели закрылков; створки шасси; крышки люков центроплана и консоли крыла; обтекатели пилонов навески двигателя. Производитель препрега тот же – фирма Hexcel Composites (США).

Предложенная методика численного моделирования (с применением МКЭ) напряженно-деформированного состояния композитных пластин с учётом произвольно расположенных множественных межслоевых дефектов различной формы и размеров под действием статических и динамических нагрузок может быть использована при проектировании элементов конструкции из ПКМ для современной АТ.

УДК 539.3

## **ПОВЕДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ОТКЛОНЕНИЯМИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

*А. Л. МЕДВЕДСКИЙ*

*Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского,  
г. Жуковский, Российская Федерация*

*М. И. МАРТИРОСОВ, А. В. ХОМЧЕНКО*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Повышенные требования к новым образцам техники в различных областях машиностроения приводят к необходимости использования современных конструкционных материалов, которые по своим характеристикам должны превосходить традиционные металлические материалы. Использо-

вание полимерных композиционных материалов (ПКМ) при создании элементов конструкций получило широкое распространение. При всех преимуществах изделия из ПКМ чувствительны к внутренним повреждениям, которые могут появляться на различных этапах производства и эксплуатации. Под повреждением будем понимать отклонение элемента конструкции от нормы при сохранении его работоспособности. Механика разрушения ПКМ достаточно сложна в силу анизотропии свойств монослоев, взаимного влияния напряжённо-деформированного состояния монослоев друг на друга, а также ввиду наличия повреждений.

В авиации (в России, США, Европе и др.) выделено пять категорий повреждений изделий из ПКМ в зависимости от требуемого уровня сохранения остаточной прочности, контролепригодности, интервала между осмотрами, условий появления повреждения, а также является или нет очевидным само событие, вызывающее повреждение.

В работе рассматриваются элементы конструкций, выполненные из ПКМ при наличии множественных внутренних повреждений (расслоения эллиптической, круговой, прямоугольной или произвольной формы, расположенные между монослоями один под другим) под действием нестационарных нагрузок различного характера. Элементы конструкций изготовлены из углепластика на основе препрегов HexPly M21/34%/UD194/IMA (углелента) и HexPly M21/40%/285T2/AS4C (углеткань), предназначенных для производства изделий по автоклавной технологии. Физико-механические характеристики монослоя известны и получены производителем препрега экспериментально по существующим стандартам (американским ASTM и европейским EN).

Для изучения поведения элементов конструкций при наличии межслоевых повреждений используется следующий алгоритм:

а) моделирование каждого монослоя композитного пакета (КП) отдельным набором конечных элементов;

б) соединение слоёв элементов с помощью клеяющего контакта (AUTOMA-TIC\_ONE\_WAY\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_TIEBREAK), за исключением зон, где располагаются повреждения, в этих зонах учитывается односторонний контакт (AUTOMA-TIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE);

в) задание соответствующих свойств материала (054/055\_ENHANCED\_COMPOSITE\_DAMAGE), направления укладки, приложения нагрузки и граничных условий к модели;

г) проведение расчёта и получение необходимых результатов.

Решены следующие задачи с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе LS-DYNA (Lawrence Livermore National Laboratory):

1 Пластина прямоугольной формы. Формат укладки пластины:  $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$ . В качестве нагрузки рассматривается поле давления, равномерно распределённое по поверхности пластины и изменяющееся по закону:  $P(t) = p_0 H(t)$ , где  $p_0 = 1,5$  МПа,  $H(t)$  – функция Хэвисайда.

2 Гладкая полая панель (прямоугольная в плане). Формат укладки панели:  $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_{\text{sym}}$ . На панель действует поле давления, распределённое на выпуклой поверхности:  $p(\varphi, t) = p_0 \cos^2 \varphi H(t) H(\pi/2 - |\varphi|)$ , где  $p_0 = 1$  МПа (изменение угловой координаты  $\varphi$  происходит вдоль короткой кромки панели).

3 Пологая панель под действием ударного воздействия. Формат укладки:  $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$ . В направлении нормали к внешней поверхности нанесён удар жёстким бойком сферической формы в центральном сечении. Скорость удара составляет 12 м/с, масса бойка 15 кг.

4 Подкреплённая полая цилиндрическая панель. Формат укладки:  $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_{\text{sym}}$ . В качестве подкрепляющих элементов используются стрингеры Т-образного сечения. Дефекты располагаются в межстрингерной зоне центрального сечения. В качестве внешней нагрузки рассматривается взрывное воздействие с энергией взрыва  $E = 209,2$  кДж и волной сферической формы. Для моделирования взрыва используется функция «LOAD\_BLAST\_ENHANCED», которая основана на модели Kingery-Bulmash. Эпицентр взрыва располагается на расстоянии 500 мм от внешней поверхности панели.

5 Цилиндрическая гладкая оболочка. Формат укладки:  $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_{\text{sym}}$ . На оболочку действует взрывная волна сферической формы с энергией взрыва  $E = 418,4$  кДж. Эпицентр взрыва находится на расстоянии  $L_2 = 900$  мм от внешней поверхности оболочки.

6 Цилиндрическая подкреплённая оболочка. Формат укладки оболочки:  $[+45^\circ/-45^\circ/90^\circ/0^\circ/+45^\circ/-45^\circ/-45^\circ/+45^\circ/0^\circ/90^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$ . Стрингер имеет Т-образное сечение (11x14 мм), поперечное сечение шпангоутов – швеллер (20x6 мм). Предполагается, что между слоями № 1-2, № 2-3 и т. д. до № 11-12 (один под другим) расположены дефекты эллиптической формы с осями 80 и 45 мм.

В качестве нагрузки рассматривается удар абсолютно жёстким бойком полусферической формы с массой 5 кг со скоростями 5 и 8 м/с. Граничные условия – шарнирное опирание по торцам оболочки.

7 Прямоугольная пластина со следующей укладкой  $[+45^\circ/-45^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ/-45^\circ/+45^\circ]$ . Между слоями № 3 и № 4 КП расположен дефект произвольной формы. Граничные условия – шарнирное опирание кромок пластины. В качестве нагрузки рассматривается воздействие на пластину фрагмента шины из армированной резины основной опоры шасси. Такой фрагмент моделируется прямоугольным параллелепипедом, используется модель материала «077\_O-OGDEN\_RUBBER» (данная модель позволяет описывать поведение гиперупругих материалов, таких как каучуки, полимеры и биологические ткани) и объёмные конечные элементы гексагональной формы.

Задачи решаются численно с применением явной схемы интегрирования по времени МКЭ.

В результате решения определяются поля перемещений, напряжений и деформаций в слоях элементов конструкций в различные моменты времени. Вычисляются эпюры поля давления, действующего на внешнюю поверхность элементов при взрывном воздействии, графики зависимости давления от времени в характерных точках. Оценивается влияние повреждений на прочность по критериям разрушения для ПКМ: Hashin, Chang-Chang, Puck, LaRC (Langley Research Center). В случае действия ударной нагрузки оценивается влияние повреждений на развитие расслоений между слоями.

Ниже приводится список источников, который использовался при подготовке данной работы.

#### Список литературы

1 **Медведский, А. Л.** Поведение полой композитной панели с внутренними повреждениями под действием нестационарной нагрузки / А. Л. Медведский, М. И. Мартиросов, А. В. Хомченко // Строительная механика и расчет сооружений / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М., 2019. – № 2. – С. 43–47.

2 **Медведский, А. Л.** Поведение полой композитной четырехстрингерной панели с внутренними повреждениями при нестационарном воздействии / А. Л. Медведский, М. И. Мартиросов, А. В. Хомченко // Учёные записки ЦАГИ. – 2020. – Т. 51, № 2. – С. 47–56.

УДК 539.3

### К ВОПРОСАМ ПОСТАНОВКИ И ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК НЕКРУГОВОГО СЕЧЕНИЯ

*В. Ф. МЕЙШ*

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

*Ю. А. МЕЙШ*

*Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина*

*В. Ф. КОРНИЕНКО*

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

Широкое применение оболочечных конструкций в строительстве современных сверхзвуковых/ гиперзвуковых летательных аппаратах и многоразовых космических транспортных системах наблюдается в последние годы и активизируется в настоящее время. Целью данной работы является постановка краевых задач для конических оболочек некругового сечения, их численное решение и численное исследование деформирования при действии нестационарных нагрузок.

Отнесем коническую оболочку некругового сечения к криволинейной ортогональной системе координат  $\alpha_1, \alpha_2, z$ . Координатные линии  $\alpha_1, \alpha_2$  принадлежат срединной поверхности оболочки и совпадают с линиями главных кривизн; координатная линия  $z$  является прямой, ортогональной к срединной поверхности. Будем считать величину  $z$  положительной, если точка находится со стороны выпуклости срединной поверхности.

Выражения для коэффициентов первой квадратичной формы и кривизны срединной поверхности конической оболочки некругового сечения имеют вид

$$A_1 = 1, A_2 = R_s;$$



$$k_1 = 0, k_2 = \theta/R_s,$$

где  $R_s = R_0 + s_1 \sin \theta$ ,  $R_0$  – радиус оболочки при  $s_1 = s_{10}$ ,  $\theta$  – угол конусности.

При построении математической модели динамического поведения конической оболочки некругового сечения будем исходить из следующих предположений. Считаем, что напряженно-деформированное состояние оболочки может быть определено в рамках геометрически линейного варианта теории оболочек типа Тимошенко [1].

Введем обозначения  $s_1 = \alpha_1 A_1$ ,  $s_2 = \alpha_2 A_2$ , где  $A_1, A_2$  – коэффициенты первой квадратичной формы срединной поверхности конической оболочки некругового (эллиптического) сечения.

Предположим, что деформированное состояние исходной оболочки может быть определено через компоненты обобщенного вектора перемещений срединной поверхности  $\bar{U} = (u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2)^T$ :

$$u_1^z(s_1, s_2, z) = u_1(s_1, s_2) + z\varphi_1(s_1, s_2),$$

$$u_2^z(s_1, s_2, z) = u_2(s_1, s_2) + z\varphi_2(s_1, s_2),$$

$$u_3^z(s_1, s_2, z) = u_3(s_1, s_2), z \in [-h/2, h/2].$$

Уравнение колебаний для рассматриваемой конической оболочки найдем, используя вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [1].

Вариационное уравнение оболочки в направлениях  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  представим в виде

$$\int_{t_1}^{t_2} [\delta(\Pi - K) + \delta A] dt = 0,$$

где  $\Pi, K$  – потенциальная и кинетическая энергии оболочки;  $A$  – работа внешних сил.

После стандартных преобразований в вариационном функционале получим следующие уравнения колебаний оболочки [2]:

$$\frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 T_{11}) + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 S) = \rho h \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 S) + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 T_{22}) + k_2 T_{23} = \rho h \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 T_{13}) + P_3 + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 T_{23}) - k_2 T_{22} = \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 M_{11}) - T_{13} + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 H) = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2},$$

$$\frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 H) + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 M_{22}) - T_{23} = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2}.$$

Уравнения неосесимметричных колебаний конических оболочек некругового сечения представляют собой систему дифференциальных уравнений в частных производных по переменным  $s_1, s_2, t$  [2].

Разностный алгоритм основан на применении интегро-интерполяционного метода построения конечно-разностных схем по пространственным координатам и явной конечно-разностной аппроксимации по временной координате [3]. Как числовой пример рассматривалась задача динамического поведения конической оболочки эллиптического сечения при действии распределенной внутренней импульсной нагрузки  $P_3(s_1, s_2, t)$ . Предполагалось, что края оболочки жестко зашпелены, т. е. выполняются условия  $u^1 = u^2 = u_3 = \varphi^1 = \varphi^2 = 0$ . Начальные условия при  $t = 0$  полагались нулевыми

$$u^1 = u^2 = u_3 = \varphi^1 = \varphi^2 = 0,$$

$$\frac{\partial u^1}{\partial t} = \frac{\partial u^2}{\partial t} = \frac{\partial u_3}{\partial t} = \frac{\partial \varphi^1}{\partial t} = \frac{\partial \varphi^2}{\partial t} = 0.$$

Распределенная импульсная нагрузка  $P_3(s_1, s_2, t)$  задавалась в виде

$$P_3(s_1, s_2, t) = \begin{cases} A \sin \frac{\pi t}{T}, & \text{при } t \leq T, \\ 0, & \text{при } t > T, \end{cases}$$

где  $A$  – амплитуда нагрузки,  $T$  – длительность нагрузки [2].

Были проведены расчеты для четырех вариантов некругового (эллиптического) поперечного сечения конической оболочки. Исходя из анализа расчетов установлено, что максимальные значения всех компонентов напряженно-деформированного состояния конических оболочек эллиптического сечения превышают (по абсолютному значению) соответствующие значения величин для круговой оболочки в сечении  $s_2 = 0$ .

#### Список литературы

1 Головки, К. Г. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / К. Г. Головки, П. З. Луговой, В. Ф. Мейш ; под ред. акад. НАН Украины А. Н. Гузя. – Киев : ИПЦ «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.

2 Meish, V. F. Nonstationary Dynamics of Elliptic Isotropic Conical Shells Under Distributed Loads / V. F. Meish, Yu. A. Meish, M. A. Belova // International Applied Mechanics. – 2020. – 56(4). – P. 424–431.

3 Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М. : Наука, 1977. – 656 с.

УДК 539.3

### ОБРАТНАЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ПЛАСТИНЫ, УСИЛЕННОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМОЙ СТРИНГЕРОВ

*М. В. МИР-САЛИМ-ЗАДЕ*

*Институт математики и механики НАН Азербайджана, г. Баку*

Используемые в инженерных, транспортных или строительных конструкциях пластины нередко имеют технологические отверстия, являющиеся концентраторами напряжений. Как известно, необратимые деформации и разрушение происходят сначала в местах наибольшей концентрации напряжений. Для повышения надежности и безопасности сооружения или конструкции желательнее отыскать такой контур отверстия, который не имеет каких-либо предпочтительных для хрупкого разрушения или пластической деформации участков (равнопрочный контур [1]).

Пластина (тонкостенный листовый элемент конструкции) может быть подкреплена системой ребер жесткости.

Рассмотрим пластину с отверстием усиленную ребрами жесткости (стрингерами). На бесконечности пластина подвержена однородному растяжению вдоль стрингеров напряжением  $\sigma_y^\infty = \sigma_0$ . Принято, что точки крепления стрингеров расположены с постоянным шагом по всей длине стрингера, симметрично относительно поверхности пластины. Условия нагружения считаются квазистатическими. В пластине реализуется плоское напряженное состояние.

Действие точек крепления моделируем: в стрингере – действием сосредоточенной силы, приложенной в точке, соответствующей центру точки крепления; в пластине – действием сосредоточенной силы  $P_{mn}$ . Действие стрингеров в расчетной схеме заменяется неизвестными эквивалентными сосредоточенными силами, приложенными в точках соединения стрингеров с пластиной. Полагаем, что пластина и подкрепляющие элементы взаимодействуют друг с другом в одной плоскости и только в точках крепления  $z = \pm(2m+1)L \pm iky_0$  ( $m = 0, 1, 2, \dots; k = 1, 2, \dots$ ).

На неизвестном контуре  $L_0$  отверстия граничные условия задачи имеют вид

$$\sigma_n = 0, \quad \tau_{nt} = p.$$

Требуется найти контур, при котором тангенциальное нормальное напряжение  $\sigma_t$ , действующее на этом контуре, будет постоянной величиной. Следовательно, требуем, чтобы на контуре отверстия выполнялось условие

$$\sigma_t = \sigma_* = \text{const.} \quad (1)$$

Здесь  $t$  и  $n$  – касательная и нормаль к контуру отверстия. Для упругой среды  $\sigma_*$  подлежит определению в процессе решения задачи.

Пусть материал пластины является упругопластическим, а пластическая деформация впервые появляется на контуре отверстия. Кроме того, считаем, что условие пластичности [2] имеет вид

$$f(\sigma_n, \sigma_t, \tau_{nt}) = 0, \quad (2)$$

где  $f$  – заданная функция.

Требуем, чтобы пластическая область в момент зарождения охватывала сразу весь контур отверстия, не проникая вглубь. Известно [1], что такое тело является наиболее прочным в смысле равномерного распределения напряжений по всем точкам контура отверстия. Из условия пластичности (2) следует, что напряжение  $\sigma_t$  постоянно всюду на искомой границе контура отверстия.

Рассматриваемая задача состоит в определении равнопрочного контура отверстия, величин сосредоточенных сил  $P_{mn}$ , напряженно-деформированного состояния стрингерной пластины.

Граничные условия задачи запишем в виде

$$\sigma_x + \sigma_y = p + \sigma_*, \quad \sigma_y - \sigma_x + 2i\tau_{xy} = e^{-2i\alpha}(\sigma_* - p), \quad (3)$$

При этом использовались соотношения

$$\begin{aligned} \sigma_t - \sigma_n + 2i\tau_{nt} &= \frac{\zeta^2 \omega'(\zeta)}{\rho^2 \omega'(\zeta)} (\sigma_y - \sigma_x + 2i\tau_{xy}), \\ \sigma_t + \sigma_n &= \sigma_y + \sigma_x, \quad \zeta = \rho e^{i\theta}. \end{aligned}$$

Для решения задачи граничные условия представляются в виде краевой задачи для отыскания комплексных потенциалов Колосова – Мухелишвили  $\Phi(z)$  и  $\Psi(z)$  и неизвестного равнопрочного контура отверстия.

Перейдем на вспомогательную параметрическую плоскость комплексного переменного  $\zeta$  при помощи преобразования  $z = \omega(\zeta)$ . Аналитическая функция  $\omega(\zeta)$  осуществляет конформное отображение области  $D_z$  занятой средой на область  $D_\zeta$  в параметрической плоскости в соответствии с координатными осями. Область  $D_\zeta$  является внешностью окружности  $\Gamma$  радиуса  $\lambda$  с центром в начале координат. Таким образом, функция  $\omega(\zeta)$  конформно отображает внешность окружности в параметрической плоскости  $\zeta$  на внешность неизвестного контура  $L_0$  в плоскости  $z$ , с соответствием бесконечно удаленных точек  $\omega(\infty) = \infty$ .

Не уменьшая общности рассматриваемой задачи, принимаем, что искомая функция  $\omega(\zeta)$  симметрична относительно координатных осей и может быть представлена в виде ряда Фурье.

Для нахождения сосредоточенных сил  $P_{mn}$  используем закон Гука. Принимаются следующие допущения: при деформации толщина стрингера неизменна, а напряженное состояние – одноосное; стрингеры не подвергаются изгибу и работают лишь на растяжение. Согласно закону Гука величина сосредоточенной силы  $P_{mn}$ , действующей на каждую точку крепления со стороны ребра жесткости,

$$P_{mn} = \frac{E_s A_s}{2y_0 n} \Delta v_{mn} \quad (m, n = 1, 2, \dots), \quad (4)$$

где  $E_s$  – модуль Юнга материала стрингера,  $2y_0 n$  – расстояние между точками крепления,  $\Delta v_{mn}$  – взаимное смещение рассматриваемых точек крепления, равное удлинению соответствующего участка стрингера.

Обозначим через  $a_0$  радиус точки крепления. Примем [3] естественное допущение о том, что взаимное упругое смещение точек  $mL \pm i(ny_0 - a_0)$  в рассматриваемой задаче равно взаимному смещению точек крепления  $\Delta v_{mn}$ . Это дополнительное условие совместности перемещений позволяет найти решение задачи.

Для решения задачи на параметрической плоскости для определения трех аналитических функций  $\Phi[\omega(\zeta)]$ ,  $\Psi[\omega(\zeta)]$  и  $\omega(\zeta)$  строятся общие представления решений, описывающие класс задач с распределением напряжений. Удовлетворяя граничным условиям задачи (3) получаем нелинейные алгебраические системы для определения искомых коэффициентов общих представлений решений.

Для совместного решения полученных систем уравнений преобразовываем систему (4) для параметрической плоскости. Затем, решая построенную систему, находим величины сосредоточенных сил  $P_{mn}$ .

Решая построенные алгебраические системы уравнений методом Ньютона – Рафсона, находим искомые коэффициенты.

Полученные алгебраические системы совместно с системой уравнений (4) позволяют определить искомую форму равнопрочного контура, напряженно-деформированное состояние подкрепленной пластины, а также оптимальное значение нормального тангенциального напряжения  $\sigma_*$  для случая упругого материала.

Таким образом, построена замкнутая система алгебраических уравнений, позволяющая получить решение задачи оптимального проектирования формы отверстия в зависимости от геометрических и механических характеристик пластины, оценить эффекты упрочнения пластины, подкрепленной регулярной системой стрингеров.

#### Список литературы

- 1 Черепанов, Г. П. Обратные задачи плоской теории упругости / Г. П. Черепанов // Прикладная математика и механика. – 1974. – Т. 38, вып. 6. – С. 963–979.
- 2 Ишлинский, А. Ю. Математическая теория пластичности / А. Ю. Ишлинский, Д. Д. Ивлев. – М.: Физматлит, 2001. – 702 с.
- 3 Мирсалимов, В. М. Некоторые задачи конструкционного торможения трещины / В. М. Мирсалимов // Физико-химическая механика материалов. – 1986. – Т. 22, № 1. – С. 84–88.

УДК 539.3

### НЕСТАЦИОНАРНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВА С ПОКРЫТИЕМ ТИПА ПЛАСТИНЫ

*Е. Ю. МИХАЙЛОВА*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

*Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ*

*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Исследуется плоское напряженно-деформированное состояние полупространства (основания) с покрытием типа пластины Кирхгофа при воздействии нестационарного давления  $p = p(x, \tau)H(x_p - |x|)$ , где  $H(x)$ ,  $x_p$  – функция Хэвисайда и граница области нагружения соответственно. При этом контакт между пластиной и основанием происходит в условиях свободного проскальзывания.

Движение полупространства с покрытием рассматривается в прямоугольной декартовой системе координат  $Ox_1x_2x_3$ , ось  $x_3$  направлена вглубь полупространства, оси  $x_1$ ,  $x_2$  расположены на срединной поверхности пластины и составляют правую тройку векторов с  $x_3$ . Пусть основание и покрытие заполнены однородной изотропной линейно упругой средой с параметрами Ламе  $\lambda$ ,  $\mu$ .

Постановка задачи включает в себя:

– уравнения движения среды

$$\Delta\varphi = \gamma_1^2 \ddot{\varphi}, \quad \Delta\psi = \gamma_2^2 \ddot{\psi};$$

– соотношение, связывающее упругие потенциалы  $\varphi, \psi$  с тангенциальными  $u$  (вдоль оси  $Ox_1$ ), нормальными  $w$  (вдоль оси  $Ox_3$ ) перемещениями,

$$u = \varphi'_{x_1} + \psi'_{x_3}, \quad w = \varphi_{x_3} + \psi_{x_1};$$

– соотношение, связывающее перемещения и компоненты тензора напряжений  $\sigma$ ,

$$\sigma_{11} = u'_{x_1} + \kappa w'_{x_3}, \quad \sigma_{22} = \kappa(u'_{x_1} + w'_{x_3}), \quad \sigma_{33} = \kappa u'_{x_1} + w'_{x_3}, \quad \eta^2 \sigma_{13} = u'_{x_3} + w'_{x_1};$$

– уравнение движения пластины Кирхгофа

$$\ddot{v} = -\tilde{\alpha}^2 \frac{\partial^4 v}{\partial x_1^4} + p + \alpha \sigma_{330}, \quad \sigma_{330} = \sigma_{33}|_{x_3=0};$$

– начальные условия

$$v|_{\tau=0} = \dot{v}|_{\tau=0} = \psi|_{\tau=0} = \dot{\psi}|_{\tau=0} = \varphi|_{\tau=0} = \dot{\varphi}|_{\tau=0} = 0;$$

– граничные условия

$$\sigma_{13}|_{x_3=0} = 0, \quad v = w|_{x_3=0}; \quad (1)$$

– условия, характеризующие отсутствие возмущений в бесконечно удаленной точке,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \varphi = \lim_{r \rightarrow \infty} \psi = 0, \quad r^2 = x_1^2 + x_2^2.$$

В уравнениях движения точками обозначена производная по времени  $\tau$ , запятой – частная производная по соответствующей пространственной переменной.

Все переменные и параметры приводятся к безразмерному виду (штрих соответствует размерным величинам):

$$\tau = c_{1p} t (L')^{-1}, \quad v = v'(L')^{-1}, \quad h = h'(L')^{-1}, \quad u = u'(L')^{-1}, \quad w = w'(L')^{-1}, \quad x_k = x'_k (L')^{-1} \quad (k = 1, 2, 3),$$

$$p = p'(c_{1p}^2 \rho_{pl} h)^{-1}, \quad \gamma_k^2 = c_{1p}^2 c_{kp}^{-2} \quad (k = 1, 2), \quad \eta^2 = c_{1p}^2 c_{2p}^{-2}, \quad \varphi = \varphi'(L')^{-2}, \quad \psi = \psi'(L')^{-2},$$

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} (\lambda + 2\mu)^{-1} \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad \kappa = \lambda (\lambda + 2\mu)^{-1}, \quad \tilde{\alpha}^2 = h^2 c_{1pl}^2 (12c_{1p}^2)^{-1}, \quad \alpha = \rho_p (h \rho_{pl})^{-1}, \quad c_R = c'_R c_{1p}^{-1}.$$

Здесь  $c_{kp}, c_{pl}$  – скорости распространения продольных и поперечных волн в полупространстве и пластине волн растяжения-сжатия, сдвига в полупространстве и пластине;  $v', h', \rho_{pl}$  – нормальные перемещения, толщина, плотность покрытия;  $\rho_p$  – плотность полупространства;  $L'$  – характерный линейный размер;  $c'_R$  – скорость волны Рэлея.

Разрешающее интегральное уравнение вытекает из граничных условий (1) и запишется так:

$$G_{pl} * p = \sigma_{330} * (G_p - \alpha G_{pl}), \quad (2)$$

где значок (\*) обозначает свертку функций,  $G_{pl}, G_p$  – функции влияния для пластины и полупространства.

$G_p$  имеет вид [1–3]:

$$G_p(x, \tau) = [G_{pr}(x, \tau) + G_{ps}(x, \tau)] H(\tau - |x|), \quad G_{pr}(x, \tau) = G_{r1}(x, \tau) H(\gamma_2 |x| - \tau) - G_{r3}(x, \tau) H(\tau - \gamma_2 |x|),$$

$$G_{rk}(x, \tau) = G_{pk}(x, \tau) - G_{ps}(x, \tau) \quad (k = 1, 3), \quad G_{p1}(x, \tau) = \eta^2 (\gamma_2^2 x^2 - 2\tau^2)^2 (\pi P_1(x^2, \tau^2))^{-1} \sqrt{\tau^2 - \gamma_1^2 x^2},$$

$$G_{p3}(x, \tau) = \eta^2 R(x^2, \tau^2) (\pi P_1(x^2, \tau^2))^{-1} \sqrt{\tau^2 - \gamma_1^2 x^2}, \quad R(x, \tau) = (\gamma_2^2 x - 2\tau)^2 + 4\tau \sqrt{\tau - \gamma_2 x} \sqrt{\tau - \gamma_1 x},$$

$$P_1(x, \tau) = \gamma_2^6 (x - c_R^2 \tau) P_2(x, \tau), \quad G_{ps}(x, \tau) = a_s (x^2 - c_R^2 \tau)^{-1}, \quad a_s = R(c_R^2, 1) \sqrt{1 - c_R^2} (\pi \gamma_2^4 P_2(c_R^2, 1))^{-1},$$

$$P_2(x, \tau) = x^2 - 2\alpha_1^2 x \tau + \alpha_2^2 \tau^2, \quad \alpha_1^2 = 4\eta^2 - 2^{-1} c_R^2, \quad \alpha_2^2 = 16(\eta^2 - 1) \eta^{-8} c_R^{-2}.$$

$G_{pl}$  запишется так:

$$G_{pl}(x, \tau) = \frac{|x_1|}{\tilde{\alpha}\sqrt{2}} \left\{ g \left( |x_1| \sqrt{\frac{2b}{\pi}} \right) \cos \left( bx_1^2 + \frac{\pi}{4} \right) + \left[ \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\pi}{b}} - f \left( |x_1| \sqrt{\frac{2b}{\pi}} \right) \right] \sin \left( bx_1^2 + \frac{\pi}{4} \right) \right\}, \quad b = \frac{1}{4\tilde{\alpha}\tau}.$$

При расчетах удобнее использовать аппроксимации рациональными функциями, гарантирующие абсолютную ошибку  $|\varepsilon(y)| \leq 2 \cdot 10^{-3}$  на интервале  $0 \leq y < \infty$ :

$$g(y) \approx (2 + 4,142y + 3,492y^2 + 6,670y^3)^{-1}, \quad f(y) \approx (1 + 0,926y)(2 + 1,792y + 3,104y^2)^{-1}.$$

Для определения напряжений  $\sigma_{330}$  и нормальных перемещений  $v$  построен и реализован численно-аналитический алгоритм, основанный на методе квадратур. Интегралы от сингулярных составляющих вычисляются с помощью метода весовых коэффициентов с использованием канонической регуляризации, от регулярных – методом Гаусса [3–5].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-08-01099 А).*

#### Список литературы

- 1 **Mikhailova, E. Yu.** Nonstationary Axisymmetric Problem of the Impact of a Spherical Shell on an Elastic Half-Space (Initial Stage of Interaction) / E. Yu. Mikhailova, G. V. Fedotenkov // *Mechanics of Solids*. – 2011. – Vol. 46, no. 2. – P. 239–247.
- 2 **Михайлова, Е. Ю.** Нестационарный контакт сферической оболочки и упругого полупространства / Е. Ю. Михайлова, Г. В. Федотенков, Д. В. Тарлаковский // *Труды МАИ : электронный журнал*. – 2014. – Вып. 78 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53499>. – Дата доступа : 23.09.2021.
- 3 **Горшков, А. Г.** Динамические контактные задачи с подвижными границами / А. Г. Горшков. – М. : Наука. Физматлит, 1995. – 352 с.
- 4 **Михайлова, Е.** Контактные напряжения в нестационарной задаче для полупространства с покрытием / Е. Ю. Михайлова, Э. И. Старовойтов, Г. В. Федотенков // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVI междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова*. Т. 2. – М., 2020. – С. 97–99.
- 5 **Mikhailova, E.Yu.** Impact of transient pressure on a half-space with membrane type coating // *Proceedings of the Third International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics, ICTAEM 2020. Structural Integrity*. – Springer, Cham. – 2020. – Vol. 16. – P. 312–315.

УДК 517.958

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ С ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ, ЗАПОЛНЕННОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ И ОКРУЖЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДОЙ

*Л. И. МОГИЛЕВИЧ, Е. В. ЕВДОКИМОВА, Е. В. ПОПОВА*

*Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина, Российская Федерация*

Рассмотрена задача гидроупругости цилиндрической оболочки с квадратичной физической нелинейностью неограниченной длины, окруженной упругой средой. Оболочка заполнена вязкой несжимаемой жидкостью. Считается, что в оболочке была возбуждена уединенная волна деформации, например, воздействием пьезоэлектрического элемента или ударным воздействием на ее торец. Рассматриваем упругую среду с учетом нелинейной реакции среды в продольном направлении. В этом случае реакция такой среды в нормальном направлении характеризуется безразмерным коэффициентом жесткости  $k_1$ , как основание Винклера. Однако в продольном направлении среда обладает жесткостью с мягкой кубической нелинейностью, характеризуемой безразмерными коэффициентами жесткости  $k_2, k_3$ . Оболочка характеризуется следующими параметрами:  $R_1$  – внутренний радиус оболочки;  $R$  – радиус ее срединной поверхности;  $h_0$  – толщина оболочки. При этом выполняется условие  $h_0/R \ll 1$ .

Сформулирована осесимметричная задача гидроупругости рассматриваемой оболочки, включающая в себя: уравнения динамики рассматриваемой оболочки, а также уравнения Навье – Стокса и уравнение неразрывности для вязкой несжимаемой жидкости, которые дополнены

соответствующими граничными условиями. В качестве граничных условий выступают условия совпадения скоростей разнородных сред на границах их контакта, а также условие ограниченности гидродинамических параметров на оси симметрии. В силу бесконечной протяженности оболочки характерный поперечный размер сечения жидкости оказывается мал, и динамика жидкости в оболочке рассматривалась в рамках гидродинамической теории смазки, но с учетом инерции ее движения. Для исследования поставленной задачи гидроупругости применялся метод двухмасштабных разложений, позволивший свести исходную задачу к одному модельному уравнению, в котором остались члены, характеризующие нелинейность и дисперсию волнового процесса в стенках канала, а также влияние окружающей упругой среды и вязкой несжимаемой жидкости. Данное уравнение в введенных в рассмотрение безразмерных переменных имеет вид

$$\frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \frac{\mu_0^2 \sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} + \frac{\sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \left[ \frac{4m}{\sqrt{3}E} (\mu_1 + \mu_2 \mu_0 + \mu_1 \mu_0^2)^{1/2} \right] \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} + k_1 \frac{\mu_0^2}{2\sqrt{1-\mu_0^2}} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} - \frac{2}{\sqrt{1-\mu_0^2}} \left[ k_3 u_{10} - k_2 u_{10}^3 \right] = - \frac{1}{2} \frac{l}{\varepsilon \rho_0 h_0} \left\{ \frac{\nu}{R_1 c_0} \rho_4 [1-2\mu_0]^2 \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} - \frac{R_1}{l} \rho \frac{1}{6} \sqrt{1-\mu_0^2} \left[ (1-2\mu_0)^2 + 12\mu_0^2 \right] \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} \right\}. \quad (1)$$

Здесь  $u_{10}$  – безразмерное продольное перемещение оболочки,  $u_m$  – характерное значение перемещения;  $u_{30} = \mu_0 \partial u_{10} / \partial \xi$  – безразмерный прогиб, согласно линейному приближению,  $\xi$  – безразмерная бегущая координата;  $\tau$  – безразмерное медленное время;  $l$  – длина волны;  $\rho_0$  – плотность материала оболочки,  $E$  – модуль Юнга;  $m$  – постоянная материала физически нелинейной оболочки;  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона,  $\mu_1$  и  $\mu_2$  зависят от  $\mu_0$ ;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости,  $\rho$  – плотность жидкости,  $c_0$  – скорость продольных волн в оболочке.

Полагая,  $\partial u_{10} / \partial \xi = c_3 \varphi$ ,  $\eta = c_1 \xi$ ,  $t = c_2 \tau$ , из (1) получено уравнение

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + 6\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \frac{\partial^3 \varphi}{\partial \eta^3} + (\sigma_2 - \sigma_4) \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \sigma_1 \varphi - \sigma_3 \int \varphi d\eta + \sigma_5 \left( \int \varphi d\eta \right)^3 = 0, \quad (2)$$

значения  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  и введенные обозначения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$ ,  $\sigma_5$ , определяются через параметры задачи, входящих в коэффициенты разрешающего уравнения. Коэффициент  $\sigma_1$ , описывающий вязкостное трение жидкости, принимает значение 0 при  $\mu_0 = 1/2$  и при отсутствии жидкости;  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_5$  описывают влияние жесткости упругой окружающей среды в нормальном и касательном направлениях;  $\sigma_4$  описывает влияние инерции движения жидкости.

При  $\mu_0$ , отличном от  $1/2$  ( $\sigma_1 \neq 0$ ), проведено численное исследование уравнения (2) при начальном условии  $t = 0$  в виде солитона – найденного точного решения (для случая  $\mu_0 = 1/2$ ,  $\sigma_1 = 0$ )

$$\varphi(\eta, 0) = 2k^2 \cosh^{-2}\{k\eta\}, \quad (3)$$

с использованием разработанной разностной схемы.

На рисунке 1 приведен пример расчета в размерных единицах. Материал оболочки – органическое стекло:  $\rho_0 = 1,18 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $E = 3 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ;  $m = 1,44 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ;  $\mu_0 = 0,35$ . Жидкость внутри оболочки:  $\rho = 1,8 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $\nu = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ . Радиус срединной поверхности оболочки:  $R = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Толщина оболочки  $h_0 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ , малый параметр задачи  $\varepsilon = h_0 / R = 10^{-2}$ . Максимальная величина размерного прогиба  $W = h_0 \mu_0 \partial u_{10} / \partial \xi = 0,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ . Длина волны  $l = R / \sqrt{\varepsilon} = 10 \cdot R = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ . Коэффициент жесткости окружающей среды в нормальном направлении  $K_1 = 4,7 \cdot 10^7 \text{ Па} \cdot \text{м}^{-1}$ , коэффициенты жесткости окружающей среды в касательном направлении при первой степени –  $K_3 = 7,4 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{м}^{-1}$ , при третьей степени –  $K_2 = 7,4 \cdot 10^{15} \text{ Па} \cdot \text{м}^{-3}$ .

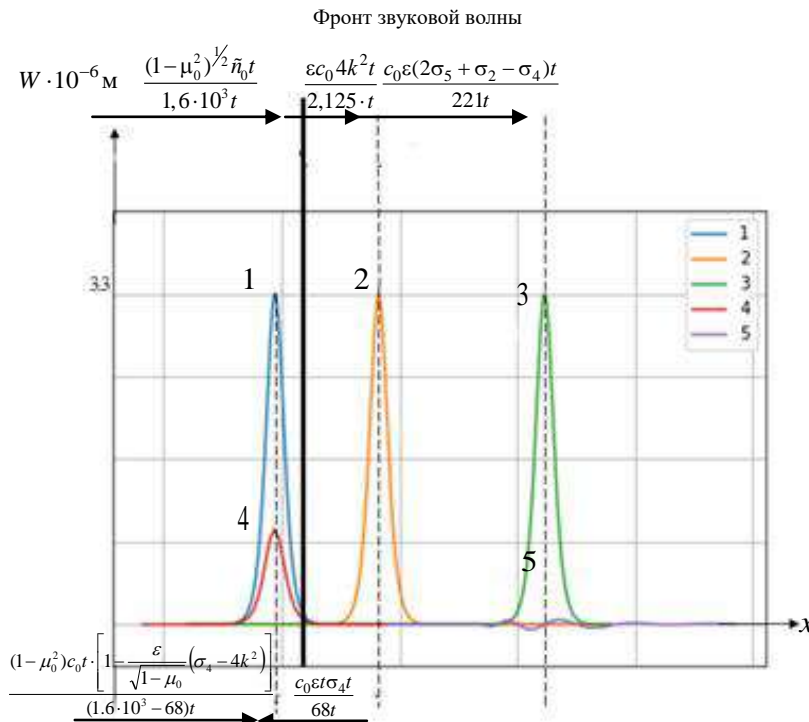


Рисунок 1 – График численного решения в размерных переменных:

1 – учет инерции движения жидкости ( $\sigma_4 = 1, \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_5 = 0$ ); 2 – без учета окружающей среды, вязкости жидкости и инерции движения ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5 = 0$ ); 3 – учет влияния окружающей среды и инерции движения жидкости ( $\sigma_1 = 0, \sigma_2 = 2, \sigma_3 = 1, \sigma_4 = 1, \sigma_5 = 8$ ); 4 – учет влияния инерции движения жидкости и вязкости жидкости ( $k = 0,18, \sigma_4 = 4, \sigma_1 = 1, \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_5 = 0$ ); 5 – совместный учет влияния окружающей среды, инерции движения жидкости и вязкости жидкости ( $\sigma_1 = 1, \sigma_2 - \sigma_4 = -4, \sigma_3 = 1, \sigma_5 = 8$ )

Представленные результаты расчетов позволяют дать следующую трактовку. Без учета окружающей среды, вязкости жидкости и инерции движения скорость солитона сверхзвуковая (кривая 2). Учет инерции движения жидкости уменьшает скорость солитона, которая становится дозвуковой (кривая 1), а дополнительный учет упругой окружающей среды приводит к возрастанию скорости солитона и она снова становится сверхзвуковой (кривая 3), вязкость жидкости, без учета окружающей среды, ведет к падению амплитуды солитона (кривая 4), совместный учет всех факторов приводит к разрушению солитона (кривая 5).

*Выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-01-00014а.*

УДК 539.3

## МЕТОДИКА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В. В. МОЖАРОВСКИЙ, Д. С. КУЗЬМЕНКОВ, С. В. КИРГИНЦЕВА*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Применение в мировой практике высокоскоростного и надежного промышленного транспорта (автомобилей, электропогрузчиков, подвесных канатных дорог, эскалаторов метро и др.), а также усовершенствование новых способов передачи движений требует создания новых армирующих материалов и инженерных методик расчета. Например, при исследовании контактного взаимодействия упругих тел из композитов возникает необходимость создавать новые методики расчета прочности и износа зубьев зубчатых колес [1, 2]. В связи с этим разрабатываются новые математические модели и компьютерные программы расчета напряжений и деформаций при различных



физических параметрах взаимодействия. Следует отметить, что до настоящего времени недостаточно изучено влияние конструктивной анизотропии и функционально-градиентных свойств материалов на напряженно-деформированное состояние, а также влияние источников тепла на температурное поле в покрытиях при силовом квазистатическом воздействии, что не позволяет обосновать практику их проектирования. Кроме того, существует мало сравнимых по эффективности методов расчета и их компьютерной реализации, методик создания алгоритмов поведения конструкций из композитов, особенно из функционально-градиентных материалов.

В настоящей работе рассматриваются цилиндрические зубчатые колеса. Проблема повышения срока службы зубьев зубчатых колес привлекла внимание огромного количества исследователей, что отражено в работах [2–10]. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть использование композиционных материалов для изготовления зубьев зубчатых колес, поскольку композиты обеспечивают улучшенные механические свойства (отношение прочности к весу, твердость), более дешевые эксплуатационные расходы, а также характеризуются уменьшенными уровнями шума и коррозии, износа материала зубьев.

Перемещения зубьев зубчатых колес, находящихся в зацеплении, являются одним из существенных факторов, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании зубчатых передач из композиционных материалов. Так, для успешного решения ряда задач об учете распределения нагрузки между одновременно зацепляющимися зубьями, определения фактического коэффициента перекрытия, динамической нагрузки в зацеплении и др. нужно знать перемещения зубьев. Современный метод нахождения перемещения зубьев зубчатых колес состоит в разделении и поэтапном определении перемещений  $\delta_n$  – изгиба,  $\delta_{ai}$  – перемещений основания;  $\delta_{\bar{n}}$  – контактных перемещений [1].

Определение изгибных перемещений и перемещений основания хорошо отражено в работах [1, 2], где решается задача теории упругости об изгибе клина с учетом формы зубьев из композиционных материалов, поэтому перейдем непосредственно к контактным перемещениям.

При рассмотрении контактного взаимодействия зубьев зубчатых колес зубья заменим соприкасающимися цилиндрами с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , прижатыми друг к другу силой  $P$ . Материалы зубьев зубчатых колес различны: анизотропный (композиционный) и изотропный.

В случае, когда материал зубьев колес обладает свойствами ортотропии, контактное перемещение  $v$  (мм) определяется по зависимости [1]

$$v = -\frac{P}{\pi} \left\{ S_{22}(\beta_1 + \beta_2) \left[ \ln \frac{a}{2q} - \frac{1}{2} \right] + \frac{S_{22}}{\beta_1 - \beta_2} (\beta_1^2 \ln \beta_1 - \beta_2^2 \ln \beta_2) + \frac{S_{12}}{\beta_1 - \beta_2} \ln \frac{\beta_2}{\beta_1} \right\},$$

где  $P$  – сила давления двух цилиндров, Н;  $a$  – величина зоны контакта (полуширина) (мм);  $q$  – мера контактного сближения расстояния, мм, равная, например,  $20a$ ; параметр  $m = \left[ ((\beta_1 + \beta_2)S_{22})^{(1)} + ((\beta_1 + \beta_2)S_{22})^{(2)} \right]^{-1}$ , индексы (1) и (2) характеризуют материалы двух цилиндров, величины  $\beta_{1,2}$  для каждого цилиндра вычисляются по формулам [1]:

$$\beta_{1,2} = \left( \sqrt{\frac{S_{66} + 2S_{12} \pm \sqrt{(S_{66} + 2S_{12})^2 - 4S_{11}S_{22}}}{2S_{11}}} \right)^{-1},$$

где постоянные  $S_{ij}$  при плоской деформации определяются из [1] следующим образом:

$$S_{11} = (1 - \nu_{13}\nu_{31}) / E_1, S_{12} = -(\nu_{12} + \nu_{13}\nu_{31}) / E_1, S_{22} = (1 - \nu_{32}\nu_{23}) / E_2, S_{66} = 1 / G_{12},$$

индексы  $i, j$  технических постоянных материалов цилиндров (модуля упругости  $E$ , МПа, коэффициента Пуассона  $\nu$  и модуля сдвига  $G$ , МПа) характеризуют различные направления и вычисляются по зависимостям по правилу смесей [1]:

$$E_1 = VE_f + (1 - V)E_m, E_2 = \frac{E_m(1 + \eta V)}{1 - \eta V}, G_{12} = G_m \frac{G_f(1 + V) + G_m(1 - V)}{G_f(1 - V) + G_m(1 + V)},$$

где  $\eta = (E_f - E_m) / (E_f + E_m)$ ;

$$v_{12} = v_{13} = Vv_f + (1-V)v_m, \quad v_{21} = v_{31} = E_2 / E_1 v_{12}, \quad v_{23} = v_{32} = 1 - v_{21} - E_2 / (3K),$$

где  $K = K_f K_m / (VK_m + (1-V)K_f)$ ,  $K_f = E_f / (3 - 6\nu_f)$ ,  $K_m = E_m / (3 - 6\nu_m)$ ; индексы  $f$  и  $m$  обозначают волокно и матрицу соответственно;  $V$  – объемное содержание волокна в матрице материала;  $K_f$ ,  $K_m$  – объемные модули упругости волокна и матрицы.

Данная зависимость легко преобразуется в формулу для определения контактного сближения изотропного цилиндра при  $\beta_1 = \beta_2$  и имеет вид [1, 7]

$$v_1 = -\frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} P \left[ \ln \frac{a}{2q} + \frac{\nu}{2(1-\nu)} \right].$$

Сближение двух контактирующих зубьев  $\delta$ , мм, представляет собой сумму контактных перемещений каждого зуба.

#### Список литературы

- 1 **Можаровский, В. В.** Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск : Наука и техника, 1988. – 280 с.
- 2 **Можаровский, В. В.** Расчет изгибных перемещений зубьев зубчатых колес из композитов / В. В. Можаровский, М. В. Москалева, Д. С. Кузьменков // Проблемы физики, математики и техники. – 2019. – No. 4(41). – С. 59–65.
- 3 **Rahate, Harshal P.** Contact Stress Analysis of Composite Spur Gear using Photo-Stress Method and Finite Element Analysis / Harshal P. Rahate, R. A. Mame // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2016. – No. 7. – P. 540–545.
- 4 **Pawar, P. B.** Analysis of Composite Material Spur Gear under Static Loading Condition / P. B. Pawar, Abhay A. Utpat // Materials Today: Proceedings. – 2015. – P. 2968–2974.
- 5 **Hossan, M. R.** Strength evaluation of polymer composite spur gear by finite element analysis / M. R Hossan, Z. Hu // International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Boston. – 2008. – P. 1–8.
- 6 Contact Stress Analysis of Stainless Steel Spur Gears using Finite Element Analysis and Comparison with Theoretical Results using Hertz Theory / M. J. Khan [et al.] // Int. J. of Engineering Research and Applications. – 2015. – Vol. 5, no. 5. – P. 10–18.
- 7 **Джонсон, К.** Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.
- 8 **Autear, K. K.** Mechanics of Composite Materials / K. K. Autear ; Taylor & Francis Group. – 2nd ed. – Boca Raton, Florida, 2006. – 473 p.
- 9 **Иосилевич, Г. Б.** Детали машин : учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г. Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
- 10 **Белый, В. А.** Металлополимерные зубчатые передачи / В. А. Белый, В. Е. Старжинский, С. В. Щербаков. – Минск : Наука и техника, 1981. – 352 с.

УДК 539.375

### ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЯ ДЛЯ ОСТАНОВКИ ТРЕЩИНЫ ПРОДОЛЬНОГО СДВИГА

*А. Б. МУСТАФАЕВ*

*Институт математики и механики НАН Азербайджана, г. Баку*

Одним из способов остановки (торможения) медленно растущей трещины является засверловка отверстия в ее кончике [1]. Форма отверстия оказывает значительное влияние на механические свойства детали или конструкции. Оптимальная форма отверстия позволяет повысить такие свойства конструкции, как прочность, надежность, долговечность. Поэтому целесообразно тормозить медленно растущую трещину засверловкой в вершине отверстия оптимальной формы.

Рассмотрим сплошное упругое тело, ослабленное прямолинейной трещиной продольного сдвига, в вершине которой высверлено отверстие. Деформации тела приняты малыми величинами. Принято, что выполняется условие локальной симметрии, т. е. в малой окрестности каждой точки контура трещины имеет место симметрия относительно касательной плоскости к поверхности трещины в этой точке. Рассмотрим окрестность вершины трещины, малую относительно характерного линейного размера тела  $L$ , но большую по сравнению с размером  $R$  отверстия в вершине трещины. Считается, что упругое тело находится в условиях антиплоской деформации.

Разместим в вершине трещины центр  $O$  системы прямолинейных декартовых координат  $x, y, z$ , ось  $y$  которой направлена по нормали к поверхности трещины, ось  $z$  – вдоль контура трещины, а ось  $x$  – вглубь тела. Рассматриваемая малая окрестность представится на плоскости  $Oxy$  бесконечной обла-

стью, занимающей внешность контура  $D$ . Параметры, характеризующие напряженно-деформированное состояние тела в этой малой окрестности, не зависят от координаты  $z$ . Таким образом, приходим к следующей задаче теории упругости с неизвестной границей:

$$\tau_{yz} = 0 \quad \text{при } y = 0, \quad -\infty < x < -a; \quad (1)$$

на неизвестном контуре отверстия  $r = \rho(\theta)$

$$\tau_{zn} = 0, \quad \lim(\tau_{yz} \sqrt{z}) = K_{III} \quad \text{при } y = 0, \quad x \rightarrow \infty. \quad (2)$$

Требуется определить функцию  $\rho(\theta)$  (отыскать форму отверстия).

В условиях антиплоской деформации напряжения и перемещения можно представить [2] через одну аналитическую функцию  $f(z)$

$$w = \operatorname{Re} f(z), \quad \tau_{xz} + i\tau_{yz} = \mu \overline{f'(z)}, \quad z = x + iy. \quad (3)$$

Постановку задачи следует дополнить критерием выбора формы отверстия, в качестве которого принимаем минимизацию максимального напряжения  $\tau_{\theta z}$  вдоль контура отверстия. Следовательно, в рассматриваемом случае отыскания для отверстия в вершине трещины в упругом теле, формы, обладающей минимальной концентрацией напряжения, приходим к обратной задаче теории упругости с дополнительным условием

$$\min_{\eta \in C} \max_{\theta \in [0, 2\pi]} \tau_{\theta z}(\theta, \eta). \quad (4)$$

Представим неизвестный контур отверстия в виде

$$\rho(\theta) = R + \varepsilon h(\theta), \quad (5)$$

Здесь  $h(\theta)$  – искомая функция;  $\varepsilon = R_0/R$  – малый параметр;  $R_0$  – наибольшая высота отклонения (неровности) профиля контура отверстия от окружности  $r = R$ .

Без уменьшения общности рассматриваемой задачи принимаем, что неизвестная функция  $h(\theta)$  может быть представлена в виде отрезка тригонометрического ряда Фурье. Напряжения и перемещения ищем в виде разложений по малому параметру  $\varepsilon$ . Каждое из этих приближений удовлетворяет дифференциальным уравнениям плоской задачи теории упругости в условиях антиплоской деформации. Разлагая в ряд выражения для напряжений в окрестности  $r = R$ , получаем значения компонент тензора напряжений при  $r = \rho(\theta)$ . Согласно известным формулам для компонент напряжений, граничные условия задачи примут следующий вид:

– для нулевого приближения

$$\tau_{zn}^{(0)} = 0 \quad \text{на контуре } r = R, \quad (6)$$

$$\tau_{yz}^{(0)} = 0 \quad \text{на берегах трещины при } y = 0, \quad -\infty < x < -R; \quad (7)$$

– для первого приближения

$$\tau_{zn}^{(1)} = T(\theta) \quad \text{на контуре } r = R, \quad (8)$$

$$\tau_{yz}^{(1)} = 0 \quad \text{на берегах трещины при } y = 0, \quad -\infty < x < -R. \quad (9)$$

Здесь функция  $T(\theta)$  зависит от напряженного состояния в нулевом приближении и функции  $h(\theta)$ .

Используя методы теории комплексных переменных, находим напряжения в нулевом и первом приближениях. Для заданной функции  $h(\theta)$  формы отверстия полученные соотношения являются замкнутыми и позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние тела в условиях антиплоской деформации.

Чтобы построить недостающие уравнения, позволяющие найти коэффициенты  $\alpha_k$  и  $\beta_k$  ряда Фурье искомой функции  $h(\theta)$ , определяем тангенциальное напряжение  $\tau_{z\theta}$  на контуре отверстия, а затем требуем распределения напряжений на контуре отверстия соответственно условию (4) оптимизации. Для функции  $\tau_{z\theta}(\theta, \alpha_k, \beta_k)$  находим ее максимальное значение на контуре  $L$

$$\max \tau_{z\theta}(\theta_*, \alpha_k, \beta_k).$$

Здесь величина  $\theta_*$  есть решение следующего уравнения:

$$\frac{d\tau_{\theta z}(\theta)}{d\theta} = 0.$$

Максимальное значение функции  $\tau_{z0}(\theta)$  находится обычными методами дифференциального исчисления. Для построения недостающих уравнений требуем минимизации максимального значения функции  $\tau_{z0}$  вдоль контура  $L$

$$\min_{\eta \in C} \max_{\theta \in [0, 2\pi]} \tau_{\theta z}(\eta, \theta). \quad (10)$$

Необходимо, чтобы обеспечивалась минимизация максимального касательного напряжения  $\tau_{z0}$  на контуре отверстия, т. е. выполнялся минимаксный критерий (10) при ограничениях

$$\tau_{z0} \leq [\tau]. \quad (11)$$

Здесь  $[\tau]$  – допустимое касательное напряжение, определяемое опытным путем.

Следует распорядиться функцией  $H(\theta)$  таким образом, чтобы обеспечивалась минимизация максимального значения напряжения  $\tau_{z0}$ . Требуется найти такие значения коэффициентов  $\alpha_k, \beta_k$ , которые удовлетворяют полученной системе уравнений и обращают в минимум линейную функцию  $\max \tau_{z0}$  (целевую функцию).

Система уравнений (11) совместно с полученными соотношениями задачи теории упругости в нулевом и первом приближениях позволяет определить оптимальную форму отверстия, напряженно-деформированное состояние тела.

Рост трещины продольного сдвига происходит по направлению максимального касательного напряжения  $\tau_{z0}$  [3]. Таким направлением является продолжение трещины ( $\theta = 0$ ). Следовательно, как только напряжение  $\tau_{z0}$  окажется равным некоторой предельной величине  $\tau_c$ , характерной для данного материала, трещина продольного сдвига будет расти. Таким образом, условием хрупкого разрушения будет

$$\tau_{z0}(K_{III}) = \tau_c. \quad (12)$$

Согласно условию (12) трещина будет расти, как только коэффициент интенсивности напряжений  $K_{III}$  (параметр нагружения) достигает некоторой критической величины, при которой оптимальное значение напряжения оказывается равной предельной величине  $\tau_c$ . Величина  $\tau_c$  является характерной для данного материала и зависит от характерного размера отверстия в кончике трещины и прочности материала.

#### Список литературы

- 1 **Финкель, В. М.** Физические основы торможения разрушения / В. М. Финкель. – М. : Металлургия, 1977. – 360 с.
- 2 **Мирсалимов, В. М.** Разрушение упругих и упругопластических тел с трещинами / В. М. Мирсалимов. – Баку : ЭЛМ, 1984. – 124 с.
- 3 **Баренблатт, Г. И.** О хрупких трещинах продольного сдвига / Г. И. Баренблатт, Г. П. Черепанов // Прикладная математика и механика. – 1961. – Т. 25, вып. 6. – С. 1110–1119.

УДК 539.3

## ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОСЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНУЮ ТРЕХСЛОЙНУЮ КРУГЛУЮ ПЛАСТИНУ

*А. В. НЕСТЕРОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Применение многослойных конструкций, в частности трехслойных, широко распространено в различных отраслях. Статическое и динамическое деформирование трехслойных стержней и пластин на основании Пастернака рассмотрено в статьях [1, 2]. В работе [3] исследуется изгиб упруго-пластической пластины со сжимаемым заполнителем. В статье [4] показан изгиб кольцевой трехслойной пластины на упругом основании. Неосесимметричному деформированию упругих

трехслойных круговых пластин посвящены работы [5–9]. Напряженное состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости рассмотрено в [10].

Рассматривается неосесимметричное изотермическое деформирование физически нелинейной трехслойной круговой пластины в своей плоскости, закрепленной по контуру. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ , связанной со срединной плоскостью заполнителя, к которой приложена непрерывно распределенная нагрузка, проекции которой на оси координат:  $p_r(r, \varphi), p_\varphi(r, \varphi)$ . Предполагается, что в процессе деформирования материалы несущих слоев могут проявлять упругопластические свойства, заполнитель – нелинейно упругий.

Для решения задачи используется метод последовательных линейных приближений. Связь напряжений и деформаций в слоях описывается соотношениями теории малых упругопластических деформаций Ильюшина с учетом температуры:

$$s_{\alpha\beta}^{(k)} = 2G_k(T_k) \left( 1 - \omega_k(\varepsilon_u^{(k)}, T_k) \right) \varepsilon_{\alpha\beta}^{(k)},$$

$$\sigma^{(k)} = 3K_k(T_k) (\varepsilon^{(k)} - \alpha_0^{(k)} \Delta T_k) \quad (\alpha, \beta = r, \varphi; k = 1, 2, 3),$$

где  $\omega_k(\varepsilon_u^{(k)}, T_k)$  – функции пластичности Ильюшина для несущих слоев;  $\omega_3(\varepsilon_u^{(3)}, T_k)$  – универсальная функция нелинейности заполнителя;  $\varepsilon_u^{(k)}$  – интенсивность деформаций.

Система дифференциальных уравнений равновесия в итерационном виде:

$$L_2(u_r^{(n)}) + \frac{a_3}{a_1 x^2} u_{r, \varphi\varphi}^{(n)} + \frac{a_2 + a_3}{a_1 x} u_{\varphi, \varphi x}^{(n)} - \frac{a_1 + a_3}{a_1 x^2} u_{\varphi, \varphi}^{(n)} = \frac{r_0^2}{a_1} (-p_r + p_{r\omega}^{(n-1)}),$$

$$L_2(u_\varphi^{(n)}) + \frac{a_2 + a_3}{a_3 x} u_{r, x\varphi}^{(n)} + \frac{a_1}{a_3 x^2} u_{\varphi, \varphi\varphi}^{(n)} + \frac{a_1 + a_3}{a_3 x^2} u_{r, \varphi}^{(n)} = \frac{r_0^2}{a_3} (-p_\varphi + p_{\varphi\omega}^{(n-1)}), \quad (1)$$

где  $L_2$  – оператор Бесселя;  $r_0$  – радиус пластины;  $x$  – безразмерная радиальная координата;  $p_{r\omega}^{(n-1)}, p_{\varphi\omega}^{(n-1)}$  – дополнительные нагрузки;  $a_i$  – коэффициенты, зависящие от температуры и определяемые через геометрические и упругие характеристики материалов слоев;  $n$  – номер приближения; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования.

Искомые перемещения системы (1), внешние и дополнительные нагрузки раскладываются в тригонометрические ряды Фурье. Общее решение системы (1) представляется в виде суммы общего решения, соответствующей однородной системы, и некоторого частного решения неоднородной  $u_{rm}^{(1)(n)*}, u_{\varphi m}^{(1)(n)*}, u_{rm}^{(2)(n)*}, u_{\varphi m}^{(2)(n)*}$ .

Асимметричные составляющие перемещений при  $m$ -х гармониках на  $n$ -м шаге будут следующими:

$$u_{rm}^{(1)(n)} = -C_{m1}^{(n)} x^{m-1} + C_{m2}^{(n)} h_{m1} x^{-m+1} + C_{m3}^{(n)} x^{-m-1} + C_{m4}^{(n)} h_{m2} x^{m+1} + u_{rm}^{(1)(n)*},$$

$$u_{\varphi m}^{(2)(n)} = C_{m1}^{(n)} x^{m-1} + C_{m2}^{(n)} x^{-m+1} + C_{m3}^{(n)} x^{-m-1} + C_{m4}^{(n)} x^{m+1} + u_{\varphi m}^{(2)(n)*},$$

$$u_{rm}^{(2)(n)} = C_{m5}^{(n)} x^{m-1} - C_{m6}^{(n)} h_{m1} x^{-m+1} - C_{m7}^{(n)} x^{-m-1} - C_{m8}^{(n)} h_{m2} x^{m+1} + u_{rm}^{(2)(n)*},$$

$$u_{\varphi m}^{(1)(n)} = C_{m5}^{(n)} x^{m-1} + C_{m6}^{(n)} x^{-m+1} + C_{m7}^{(n)} x^{-m-1} + C_{m8}^{(n)} x^{m+1} + u_{\varphi m}^{(1)(n)*}, \quad (2)$$

где  $C_{m1}^{(n)}, \dots, C_{m8}^{(n)}$  – константы интегрирования.

Частные решения в системе (2) зависят от вида коэффициентов разложения нагрузок в ряды Фурье.

*Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект № Т20РМ-047).*

#### Список литературы

1 Козел, А. Г. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ. – 2018. – Вып. 11. – С. 127–133.

- 2 **Леоненко, Д. В.** Колебания трехслойного стержня на основании Пастернака / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 32–38.
- 3 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб упругопластической круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Э. И. Старовойтов, Ю. В. Захарчук // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2020. – № 1 (26). – С. 58–73.
- 4 **Яровая, А. В.** Изгиб кольцевой трехслойной пластины на упругом основании погонными нагрузками / А. В. Яровая // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Вып. 12. – С. 212–217.
- 5 **Старовойтов, Э. И.** Неосесимметричное деформирование круговой трехслойной пластины в своей плоскости / Э. И. Старовойтов, А. В. Нестерович // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 1 (54). – С. 38–45.
- 6 **Старовойтов, Э. И.** Неосесимметричное деформирование свободно опертой трехслойной пластины в своей плоскости / Э. И. Старовойтов, А. В. Нестерович // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2021. – № 1 (27). – С. 17–30.
- 7 **Нестерович, А. В.** Напряженное состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации: междунар. сб. науч. тр.– Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 152–157.
- 8 **Нестерович, А. В.** Неосесимметричное нагружение трехслойной круговой пластины в своей плоскости / А. В. Нестерович // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 266–272.
- 9 **Нестерович, А. В.** Деформирование трехслойной круговой пластины при косинусоидальном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 1 (42). – С. 85–90.
- 10 **Нестерович, А. В.** Радиальное и тангенциальное неосесимметричное нагружение круговой трехслойной пластины / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации : междунар. сб. науч. тр.– Гомель : БелГУТ, 2020. – Вып. 13. – С. 116–121.

УДК 539.3

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О НАГРЕВЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВА ПОДВИЖНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А. А. ОРЕХОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Производство изделий различной геометрии и назначения методами аддитивных технологий сейчас широко применяется в различных отраслях промышленности, а разнообразие металлов и технологий печати позволяет перейти от прототипирования к созданию реальных изделий, конструкций и их элементов. Из-за особенностей процесса аддитивного производства от традиционного физико-механические характеристики одной и той же детали, произведенной тем или иным методом, могут отличаться. Так как в процессе трехмерной печати металлом на относительно холодную поверхность материала действует подвижный источник с высокой энергией, то это создает большие температурные градиенты, что приводит к тепловому расширению материала и возникновению температурных напряжений и пластических деформаций.

Решена задача о нагреве полупространства подвижным источником лазерного излучения с учетом теплоотдачи на поверхности. Полагается, что среда, заполняющая полупространство, характеризуется удельной теплоемкостью, плотностью и коэффициентом теплопроводности. Среда является однородной и изотропной, а также отсутствуют объемные источники тепла. Распределение теплового потока по поверхности полупространства подчиняется закону распределения Гаусса.

Представлены результаты численно-аналитического расчета распределения температуры как по поверхности вдоль траектории движения подвижного источника тепла, так и по глубине полупространства для различных вариантов стратегии сканирования, положения лазерного пятна и времени. Эти результаты показали хорошую согласованность с результатами численного расчета в программном комплексе конечно-элементного моделирования COMSOL Multiphysics.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00517.*

## КОЛЕБАНИЯ СТенок ПЛОСКОГО КАНАЛА, ОБРАЗОВАННОГО ОДНОСЛОЙНОЙ И ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНАМИ, УСТАНОВЛЕННОГО НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

В. С. ПОПОВ, А. А. ПОПОВА, А. В. ЧЕРНЕНКО

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина,  
Российская Федерация

Для исследования напорного движения жидкости широко используется расчетная схема плоского канала, стенки которого образованы двумя параллельными пластинами. Традиционный подход заключается в рассмотрении стенок канала как абсолютно твердых [1]. С другой стороны, пульсация давления жидкости в реальных каналах является причиной возникновения колебаний их стенок. Известны работы, в которых рассмотрены гидроупругие колебания стенок канала при их представлении упругой пластиной и абсолютно жесткой пластиной на упругом подвесе [2–4]. В работе [5] проведено исследование динамики взаимодействия стенок плоского канала, установленного на упругом основании Винклера, для случая, когда верхняя и нижняя стенки канала рассматриваются как прямоугольные пластины. В работах [6, 7] рассмотрены случаи, когда нижняя стенка рассматривается как трехслойная балка и круглая пластина. В предлагаемом исследовании разрабатывается математическая модель для изучения динамики взаимодействия пульсирующей вязкой жидкости, заключенной между однослойной пластиной и трехслойной пластиной, установленной на упругом основании Винклера. Данная проблема сводится к постановке и решению связанной задачи гидроупругости для рассматриваемых пластин.

Рассмотрим узкий канал, образованный двумя параллельными стенками, условно представленный на рисунке 1.

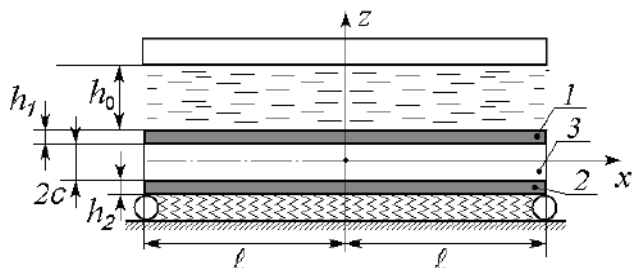


Рисунок 1 – Плоский канал, образованный однослойной пластиной и трехслойной пластиной, установленной на основании Винклера

Верхняя стенка канала представляет собой однослойную пластину. Данная пластина шарнирно оперта на торцах. Нижняя стенка канала образована трехслойной пластиной, установленной на упругом основании. Для упругого основания принимаем модель Винклера. Трехслойная пластина представляет собой пакет, состоящий из двух несущих слоев 1, 2, воспринимающих основную нагрузку, и несжимаемого заполнителя 3, обеспечивающего их совместную работу. Рассматриваем кинематику трехслойной пластины с несжимаемым заполнителем в рамках гипотезы ломаной нормали, предложенной в [8]. Трехслойная пластина на торцах считается свободно опертой. Геометрические размеры верхней и нижней стенок канала в плане совпадают и составляют  $2\ell \times b$ . При этом полагаем, что размер  $b \gg \ell$ . Данное положение позволяет нам перейти к рассмотрению плоской задачи. В щели, между однослойной и трехслойной пластиной, движется вязкая несжимаемая жидкость, которая полностью заполняет щель. Толщина слоя жидкости в канале в невозмущенном состоянии принимается равной  $h_0$ . Считаем, что в силу узости канала выполняется условие  $h_0/\ell \ll 1$ . Движение жидкости в канале происходит за счет заданного статического перепада давления на его торцах. Кроме статического перепада давления, на торцах канала слева и справа считается заданным гармонический закон пульсации давления. В результате пульсаций давления в вязкой жидкости возникают гидроупругие колебания стенок канала. Далее мы полагаем, что амплитуда изгибных колебаний стенок канала значительно меньше толщины слоя жидкости в канале,

т. е. считаем, что прогибы однослойной и трехслойной пластин при их колебаниях малы по сравнению с характерным поперечным размером  $h_0$  сечения канала.

В рассматриваемой колебательной системе будет наблюдаться диссипация энергии, вызванная вязкостью жидкости. Поэтому в течение короткого промежутка времени все переходные процессы в ней затухают и возникают вынужденные установившиеся изгибные гидроупругие колебания рассматриваемых пластин-стенок канала, обусловленные пульсацией давления жидкости на торцах канала. Принимая указанное во внимание, далее будем рассматривать только режим установившихся вынужденных колебаний.

Разработанная математическая модель представляет собой систему уравнений, включающую: уравнения Навье – Стокса и уравнение неразрывности, а также уравнения динамики однослойной пластины и трехслойной пластины, установленной на основании Винклера. Данные уравнения дополняются граничными условиями, в качестве которых выступают: условия прилипания вязкой жидкости к пластинам, условия для давления на торцах канала, условия шарнирного и свободного опирания однослойной и трехслойной пластины.

Исследование модели проводится методом возмущений по характерным малым параметрам задачи гидроупругости. В качестве данных параметров выступают: относительная толщина слоя жидкости и относительная амплитуда колебаний однослойной пластины. При этом уравнения динамики жидкости линеаризируются, аналогично гидродинамической теории смазки. Решая линеаризованные уравнения динамики тонкого слоя вязкой жидкости, получили выражение для давления как функции неизвестных прогибов пластин-стенок канала. Кроме того, было показано, что касательными напряжениями жидкости можно пренебречь по сравнению с нормальными напряжениями в ней. В результате исходная система была сведена к двум интегро-дифференциальным уравнениям изгибных колебаний пластин. Решение данной системы проведено методом разделения переменных при задании формы прогибов пластин в виде рядов по собственным функциям соответствующих задач Штурма – Лиувилля. Используя данное решение, были определены частотозависимые функции распределения амплитуд прогибов однослойной и трехслойной пластин вдоль канала.

Полученные частотозависимые функции распределения амплитуд прогибов стенок канала могут быть использованы для развития методов неразрушающей диагностики [9] состояния систем гидропривода, смазки, подачи топлива и охлаждения по параметрам вынужденных колебаний упругих элементов, образующих стенки каналов, заполненных жидкостью.

#### Список литературы

- 1 Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.
- 2 Могилевич, Л. И. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдвливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 4. – С. 23–32.
- 3 Бочкарев, С. А. Гидроупругая устойчивость прямоугольной пластины, взаимодействующей со слоем текущей идеальной жидкости / С. А. Бочкарев, С. В. Лекомцев, В. П. Матвеев // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2016. – № 6. – С. 108–120.
- 4 Могилевич, Л. И. Продольные и поперечные колебания упругозакрепленной стенки клиновидного канала, установленного на вибрирующем основании / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2018. – № 3. – С. 28–36.
- 5 Могилевич, Л. И. Динамика взаимодействия пульсирующей вязкой жидкости со стенками щелевого канала, установленного на упругом основании / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 1. – С. 15–23.
- 6 Mathematical modeling of three-layer beam hydroelastic oscillations / L. I. Mogilevich [et al.] // Vibroengineering PROCEEDIA. – 2017. – Vol. 12. – P. 12–18.
- 7 Могилевич, Л. И. Гидроупругость виброопоры с трехслойной круглой упругой пластиной с несжимаемым наполнителем / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, Э. И. Старовойтов // Наука и техника транспорта. – 2006. – № 2. – С. 56–63.
- 8 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с.
- 9 Алексеева, Т. В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева. – М. : Машиностроение, 1989. – 263 с.



## ЗАДАЧИ О СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛИНЕЙНО-ВЯЗКОУПРУГОГО МАТЕРИАЛА

С. Г. ПШЕНИЧНОВ

*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

В современном производстве широко используются материалы, обладающие вязкоупругими свойствами. В элементах конструкций из таких материалов могут происходить различные динамические процессы, изучение которых представляется весьма актуальным. Одним из важных направлений в данной области являются аналитические исследования, однако ввиду математической сложности количество работ, посвященных решению соответствующих динамических задач, даже в одномерной постановке относительно невелико. Изложение основных методов, используемых при исследовании как нестационарных динамических задач рассматриваемого класса, так и задач о собственных колебаниях можно найти, например, в публикациях [1–7]. Целью данной работы является изучение вопросов, связанных с процессом свободных колебаний линейно-вязкоупругих тел.

Рассмотрим задачу о свободных колебаниях однородного линейно-вязкоупругого тела, занимающего область  $\Omega$  с границей  $\Sigma$ . Будем считать, что в отсутствие объемных сил и граничных воздействий тело совершает колебания спустя такое время после их начала, когда характер колебаний уже не зависит от способа их возбуждения. Область изменения пространственных координат в рамках одномерной, двумерной, или трехмерной постановок соответствующих стационарных динамических задач предполагается ограниченной. Согласно известному подходу к задачам рассматриваемого класса, нижний предел интегрирования в соотношениях Больцмана – Вольтерра примем равным минус бесконечности. Математическую постановку такой задачи составляют уравнение динамики

$$(\check{\lambda} + \check{\mu}) \text{grad div } \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) + \check{\mu} \Delta \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \rho \ddot{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, t), \quad (1)$$

определяющие соотношения

$$\check{\boldsymbol{\sigma}}(\mathbf{x}, t) = 2\check{\mu} \text{def } \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) + \check{\lambda} \text{div } \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) \check{\mathbf{I}}, \quad \mathbf{x}(x_1, x_2, x_3) \in \Omega, \quad (2)$$

и граничные условия, записанные в обобщенном виде

$$\check{\boldsymbol{\alpha}}(\mathbf{x}) \check{\boldsymbol{\sigma}}(\mathbf{x}, t) \mathbf{n} + \check{\boldsymbol{\beta}}(\mathbf{x}) \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{x} \in \Sigma, \quad (3)$$

где  $\check{\lambda}$  и  $\check{\mu}$  – операторы вида

$$\check{\lambda} = \frac{1}{3} [3K_0(1 - \check{T}_V) - 2G_0(1 - \check{T}_s)], \quad \check{\mu} = G_0(1 - \check{T}_s), \quad (4)$$

$$\check{T}_j \xi(t) = \int_{-\infty}^t T_j(t - \tau) \xi(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} T_j(\vartheta) \xi(t - \vartheta) d\vartheta, \quad j = V, s.$$

Здесь  $\check{\boldsymbol{\sigma}}$  – тензор напряжений;  $\mathbf{u}$  – вектор перемещений;  $\mathbf{n}$  – единичная внешняя нормаль;  $\rho$  – плотность;  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $\check{\mathbf{I}}$  – единичный тензор;  $G_0, K_0$  – мгновенные значения модулей сдвига и объемного сжатия;  $T_V(t), T_s(t)$  – ядра объемной и сдвиговой релаксации;  $\check{\boldsymbol{\alpha}}, \check{\boldsymbol{\beta}}$  – заданные тензоры, определяющие тип граничных условий; точка над переменной обозначает производную по времени  $t$ .

Представив нетривиальное решение задачи (1–4) в форме

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) e^{st}, \quad s \in C,$$

получим спектральную задачу, включающую в себя векторное уравнение

$$(\Lambda(s) + M(s)) \text{grad div } \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) + M(s) \Delta \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) - \rho s^2 \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{x} \in \Omega \quad (5)$$

и однородные граничные условия обобщенного вида

$$\check{\boldsymbol{\alpha}}(\mathbf{x}) \check{\mathbf{S}}(\mathbf{x}, s) \mathbf{n} + \check{\boldsymbol{\beta}}(\mathbf{x}) \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) = \mathbf{0}, \quad \mathbf{x} \in \Sigma, \quad (6)$$

где

$$\tilde{\mathbf{S}}(\mathbf{x}, s) = 2M(s) \operatorname{def} \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) + \Lambda(s) \operatorname{div} \mathbf{V}(\mathbf{x}, s) \tilde{\mathbf{I}}, \quad \Lambda(s) = \frac{1}{3} [3K_0(1 - \Theta_V(s)) - 2G_0(1 - \Theta_s(s))], \quad M(s) = G_0(1 - \Theta_s(s)),$$

при этом  $\Theta_V(s)$ ,  $\Theta_s(s)$  – Лапласовы трансформанты ядер  $T_V(t)$ ,  $T_s(t)$ , получающиеся в результате применения к этим ядрам интегрального преобразования Лапласа. Собственные значения  $s \in \mathbb{C}$  задачи (5), (6) определяют частоты и коэффициенты затухания свободных колебаний вязкоупругого тела. Обозначим  $S_*$  множество всех собственных значений этой задачи.

Если представить перемещение через скалярный и векторный потенциалы  $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \operatorname{grad} \phi(\mathbf{x}, t) + \operatorname{rot} \boldsymbol{\psi}(\mathbf{x}, t)$ , а затем записать спектральную задачу в потенциалах, то будет видно, что ее особыми точками заведомо будут корни уравнений

$$1 - \Theta(s) = 0, \quad 1 - \Theta_s(s) = 0, \quad (7)$$

где  $\Theta(s)$  – Лапласова трансформанта функции  $T(t) = [(1 + \nu_0)T_V(t) + 2(1 - 2\nu_0)T_s(t)] / [3(1 - \nu_0)]$ , при этом  $\nu_0$  – мгновенное значение коэффициента Пуассона.

Рассмотрен случай, когда оба ядра  $T_V(t)$ ,  $T_s(t)$  принадлежат множеству функций класса:

$$f(t) = \sum_{n=1}^N a_n \exp(-b_n t), \quad 0 \leq \sum_{n=1}^N a_n / b_n < 1, \quad b_n > 0 \quad (n=1, 2, \dots, N), \quad (8)$$

Лапласовы трансформанты которых имеют вид  $F(s) = \sum_{n=1}^N a_n / (s + b_n)$ .

Для функций класса (8) доказано следующее утверждение. Если  $a_n > 0$  для каждого  $n=1, 2, \dots, N$ , то все корни уравнения  $1 - F(s) = 0$  однократны и действительны, причем отрицательны.

В рамках принятого допущения о принадлежности обоих ядер классу (8) рассмотрен частный случай, когда граничные условия имеют вид

$$\tilde{\boldsymbol{\sigma}}(\mathbf{x}, t) \mathbf{n} = \mathbf{0} \quad (\mathbf{x} \in \Sigma_1), \quad \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{0} \quad (\mathbf{x} \in \Sigma_2),$$

и, кроме того,  $T_V(t) = T_s(t) = T(t)$ , т. е. коэффициент Пуассона не зависит от времени  $\nu = \nu_0$  (const). В этом случае корни уравнения  $1 - \Theta(s) = 0$  являются конечными предельными точками спектра  $S_*$ , а сами элементы множества  $S_*$  находятся с помощью простого алгоритма, если известен соответствующий спектр для линейно-упругого тела (в отсутствие вязкости).

Для более общего случая, когда коэффициент Пуассона зависит от времени и при этом оба наследственных ядра  $T_V(t)$ ,  $T_s(t)$  принадлежат классу (8), а все корни уравнений (7) однократны и действительны, предложен алгоритм отыскания элементов множества  $S_*$  на основе гипотезы о структуре этого множества.

Применение алгоритмов построения спектра для указанных случаев продемонстрировано на конкретных примерах вязкоупругого слоя и цилиндра.

#### Список литературы

- 1 **Егорычев, О. А.** Нормальный удар по торцу цилиндрической оболочки / О. А. Егорычев, О. И. Поддаева // Строительная механика и расчет сооружений. – 2006. – № 1. – С. 34–36.
- 2 **Желтков, В. И.** Переходные функции в динамике вязкоупругих тел / В. И. Желтков, Л. А. Толоконников, Н. Г. Хромова // Доклады РАН. – 1993. – Т. 329. – № 6. – С. 718–719.
- 3 **Ильясов, М. Х.** Нестационарные вязкоупругие волны / М. Х. Ильясов. – Баку. – 2011. – 330 с.
- 4 **Лычева, Т. Н.** Спектральные разложения в динамических задачах вязкоупругости / Т. Н. Лычева, С. А. Лычев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 4. – С. 120–150.
- 5 **Филиппов, И. Г.** Математическая теория колебаний упругих и вязкоупругих пластин и стержней / И. Г. Филиппов, В. Г. Чебан. – Кишинев : Штиинца, 1988. – 190 с.
- 6 **Шамаев, А. С.** Асимптотика спектра одномерных собственных колебаний в среде из слоев вязкоупругого материала и вязкой жидкости / А. С. Шамаев, В. В. Шумилова // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2019. – № 6. – С. 12–24. – DOI: 10.1134/S0568528119060100.
- 7 **Colombaro, I.** On the propagation of transient waves in a viscoelastic Bessel medium / I. Colombaro, A. Giusti, F. Mainardi // Math. Phys. – 2017. – 68: 62. – DOI: 10.1007/s00033-017-0808-6.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ФРИКЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Несмотря на появление современных устройств торможения средств движения, на транспорте широко распространены системы на основе использования тормозных колодок [1]. Процесс торможения подвижного состава характеризуется высокой тепловой нагрузкой фрикционных элементов, затрудняющей измерения.

Выделим в тормозной колодке область  $D$ , в которой температурное поле при торможении состава допустимо считать одномерным, т. е. температура задается функцией  $T(x, t)$ , где  $x$  ось координат, перпендикулярная фрикционной поверхности колодки  $S$ . Обозначим координату этой поверхности через  $x_0$ , которая может быть плоской или цилиндрической. Выделим  $m$  изотермических поверхностей, расположенных на одинаковом расстоянии  $\Delta x$  друг от друга, с координатами  $x = x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $x_i > x_0$ . Пусть известны температуры  $T_i$  на  $m$  внутренних поверхностях  $x = x_i$ ,  $x_i > x_0$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . Эти температуры могут быть измерены, например, с помощью проводочных термопар.

Зададимся целью по измеренным температурам  $T_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , оценить температуру  $T_0$  на поверхности  $x = x_0$ . Для этого воспользуемся интерполяционной формулой Лагранжа

$$L_m(x) = \sum_{i=1}^m B_i T_i, \quad (1)$$

где

$$B_i = \frac{V_i(x)}{V_i(x_i)} = \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_{m-1})(x-x_m)}{(x_i-x_1)(x_i-x_2)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_{m-1})(x_i-x_m)}. \quad (2)$$

Температуру  $T_0$  на поверхности  $x = x_0$  оцениваем путем экстраполяции температурного поля из области  $x_m \geq x \geq x_1$  на область  $x_1 > x \geq x_0$ .

Определим знак

$$V_i(x) = (x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_{m-1})(x-x_m). \quad (3)$$

Если  $x < x_1$ , то все сомножители в (3) отрицательны и знак функции  $V_i(x)$  не зависит от индекса  $i$ , а определяется числом  $m$ :

$$\text{sign} V_i(x) = (-1)^{m-1}. \quad (4)$$

Определим знак функции  $V_i(x)$  при  $x = x_i$ , т. е.

$$V_i(x_i) = (x_i-x_1)(x_i-x_2)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_{m-1})(x_i-x_m). \quad (5)$$

Если  $x = x_i$ , то в (5) знак произведения первых  $i-1$  сомножителей в силу неравенства  $x_i > x_{i-1}$  строго положителен, а знак произведения оставшихся  $m-i-2$  слагаемых вследствие неравенства  $x_i < x_n$  ( $n = i+1, i+2, \dots, m$ ) совпадает со знаком числа  $(-1)^{m-i-2} = (-1)^{m-i}$ .

Поэтому для любого при  $x < x_1$ :

$$\text{sign} V_i(x) = -\text{sign} V_{i+1}(x), \quad (6)$$

причем

$$\text{sign} V_i(x_i) = (-1)^{m-i}. \quad (7)$$

Из равенств (4), (6) и (7) следует, что при  $x < x_1$  при переходе в (1) от  $i$ -го слагаемого к  $i + 1$ -му слагаемому знак коэффициента  $B_i$  при температуре в формуле (1) изменяется строго на противоположный, то есть

$$\text{sign}(B_i) = (-1)^{i+1}. \quad (8)$$

При построении измерительной схемы, предназначенной для определения температуры фрикционной поверхности, использованы свойства коэффициентов  $B_i$ , выраженные формулой (8) в соответствие с принципами, разработанными в [2, 3].

Согласно (7) для любого  $i$  коэффициенты  $B_i$  и  $B_{i+1}$ , то есть соседние коэффициенты, имеют строго противоположные знаки. Кроме того, если расстояние  $\Delta x_0 = x_1 - x_0$  выбрано равным шагу  $\Delta x$ , то все коэффициенты  $B_i$  являются целочисленными.

Предположим, что для измерения температуры используются термоэлектрические преобразователи (термопары), характеризующие одинаковой в пределах допустимой погрешности градуированной зависимостью  $T = F(E)$ , связывающей ЭДС термопары  $E$  и температуру  $T$ .

Расположим на каждой из изотермических поверхностей с координатами  $x = x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m$  количество температурных датчиков, равное абсолютной величине целочисленных коэффициентов  $B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_m$  соответственно. Соединим эти датчики в электрическую цепь последовательно, причем так, чтобы датчики, размещенные на  $i$ -й поверхности, были включены в общую электрическую цепь с полярностью, знак которой совпадает со знаком коэффициента  $B_i$ , т. е. температурные датчики, расположенные на каждых двух соседних поверхностях включим в общую электрическую цепь встречно.

При данном способе размещения и соединения температурных датчиков суммарная ЭДС электрической цепи будет равна величине, совпадающей с определяемой по интерполяционной формуле (1), в которой вместо температур  $T_i$  подставлены значения  $E_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , т. е. по формуле

$$E_{m0} = \sum_{i=1}^m B_i T_i, \quad (9)$$

где  $E_i$  – ЭДС, вырабатываемая температурным датчиком, расположенным на изотермической поверхности  $x = x_i$ .

В частности, при  $m = 2, 3, 4$  формула (9) принимает вид

$$E_{20} = 2E_1 - E_2, \quad (10)$$

$$E_{30} = 6E_1 - 8E_2 + 3E_3, \quad (11)$$

$$E = 4E_1 - 6E_2 + 4E_3 - E_4 \quad (12)$$

соответственно.

Искомая величина поверхностной температуры  $T_0$  при этом определяется из градуировочной зависимости

$$T_0 = F(E_{m0}). \quad (13)$$

Если выбрать значение  $\Delta x_0$ , отличающееся от  $\Delta x_0$ , то величины  $B_i$  выражаются вещественными числами. В этом случае на каждой изотермической поверхности размещаются по одной термопаре, а в измерительную цепь добавляются DC/DC-преобразователи [4].

#### Список литературы

- 1 Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 315 с.
- 2 А. с. № 1093914. Датчик теплового потока // Бюллетень изобретений. – 1984. – № 19.
- 3 А. с. № 1290102. Датчик теплового потока // Бюллетень изобретений. – 1987. – № 6.
- 4 Русу, А. DC/DC-преобразователи: принципы работы и уникальные решения Maxim Integrated / А. Русу [Электронный ресурс] // Компания КОМПЭЛ, 17 декабря 2019. – Режим доступа : <https://www.compel.ru/lib/134297>. – Дата доступа : 19.09.2021.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕКЛЯННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МАТРИЦЕ ИЗ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

*Л. Н. РАБИНСКИЙ, А. В. РИПЕЦКИЙ, ТАНГ ЗИН ХЕЙН*  
*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

С учетом высоких физико-механических характеристик композиционные материалы (КМ) имеют большое значение во многих областях техники, таких как аэрокосмическая, авиационная, автомобильная, машиностроительная, приборостроительная и медицинская промышленность. Различные добавки и наполнители часто используются для получения необходимых механических и физических характеристик, которые влияют на прочность и эластичность получаемых образцов при изготовлении материалов.

В данной работе рассматривается влияние сферических включений в эпоксидной смоле на механические свойства материала. ED-20, который рассматривается как композитная структура из эпоксидной смолы в ее виде с включениями сферических частиц стекла PBS-50 с характерным размером частиц около 50 микрон. Образцы с характерным объемным содержанием включений, равным 5, 10, 15 и 20 %, изготовлены из части данного исследования. Метод моделирования процесса используется для испытания на трехточечный изгиб с помощью программного обеспечения Digimat (MSC Software) для моделирования конструкции и получения эффективных свойств материала.

Рассчитывая зависимость процента содержания выключений от передела прочности модуля упругости, получается основание, численные расчеты. Получены результаты по модулю упругости, пределу прочности предельной деформации после механических испытаний и сравнивались с экспериментальным исследованием с увеличением объемного содержания включений, при котором расхождение между численными и экспериментальными данными увеличивается.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код проекта FSFF-2020-0017).*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЕКАНИИ**

*Л. Н. РАБИНСКИЙ, У. С. ЦАРЕВА*  
*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Рассматривается процесс лазерного синтеза. Показано, что в этом процессе возникают зоны неустойчивости. Проведенные исследования позволяют определить допустимое время воздействия лазерного пучка на одну зону с учетом мощности подводимого потока и геометрических размеров изделия при разработке аддитивного технологического процесса для тонкостенных элементов конструкций на базе селективного лазерного спекания. Проведены теоретические расчеты, которые согласуются с экспериментальными данными.

Решена задача о потере устойчивости при высокоинтенсивном краевом нагреве движущимся источником тепла. На основе метода конечных элементов задача решена в трехмерной постановке, при этом источник моделировался, как поле вектора теплового потока, нормальное к боковой поверхности оболочки, с амплитудой, изотропно затухающей по экспоненциальному закону. Приводятся результаты расчетов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-01-00517.*

## НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Н. Б. РУЗИЕВА, А. АБДУСАТТАРОВ

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

В статье приводятся математические модели расчета подземных трубопроводов при циклическом нагружении с учетом накопления повреждаемости материалов. На основе теории малых упруго-пластических деформаций и вариационного принципа Гамильтона – Остроградского получена система дифференциальных уравнений движения (равновесия) при циклическом нагружении с соответствующими граничными и начальными условиями.

Приведены постановка задачи и схема расчета подземных трубопроводов при циклическом нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций А. А. Ильюшина – В. В. Москвитина и уточненной теории стержней, предложенной В. З. Власовым, Г. Ю. Джанелидзе и В. К. Кабуловым.

На основании ряда допущений и гипотез [1], общие перемещения конструкции представим в цилиндрических координатах ( $x = x$ ,  $y = r \cos \gamma$ ,  $z = r \sin \gamma$ ):

$$\begin{aligned} u_1^{(n)} &= u^{(n)} - \alpha_1^{(n)} r \cos \gamma - \alpha_2^{(n)} r \sin \gamma + \varphi(r, \gamma) v^{(n)} + a_1(r, \gamma) \beta_1^{(n)} + a_2(r, \gamma) \beta_2^{(n)}, \\ u_2^{(n)} &= v^{(n)} - \theta^{(n)} r \sin \gamma, \quad u_3^{(n)} = w^{(n)} + \theta^{(n)} r \cos \gamma, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha_1^{(n)}$ ,  $\alpha_2^{(n)}$  – углы поворота сечения при чистом изгибе при  $n$ -м нагружении;  $\beta_1^{(n)}$ ,  $\beta_2^{(n)}$  – углы поперечного сдвига,  $\theta^{(n)}$  – угол кручения,  $v^{(n)}$  – погонная закрутка при  $n$ -м нагружении,  $\varphi$  – функция кручения Сен-Венана. При переменном нагружении компоненты напряжений связаны через деформации следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(n)} &= 3G \left\{ e_{11}^{(n)} - \left[ \omega^{(n)} \bar{\varepsilon}_{11}^{(n)} + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{\varepsilon}_{11}^{0(n-m)} \right] \right\}, \\ \sigma_{21}^{(n)} &= G \left\{ e_{21}^{(n)} - \omega^{(n)} \bar{\varepsilon}_{21}^{(n)} - \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{\varepsilon}_{21}^{0(n-m)} \right\}, \quad (2 \rightarrow 3). \end{aligned} \quad (2)$$

При линейном упрочнении

$$\omega^{(n)} = \begin{cases} 0, & \text{при } \bar{\varepsilon}_u^{(n)} \leq \bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta), \\ \lambda_n \left[ 1 - \frac{\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta)}{\bar{\varepsilon}_u^{(n)}} \right], & \text{при } \bar{\varepsilon}_u^{(n)} > \bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta). \end{cases}$$

В случае обобщенного принципа Мазинга  $\lambda_n = \lambda$ ,  $\bar{\varepsilon}_u^{(n)} = \alpha_n \varepsilon_s$  [2, 3], а при учете накопления повреждений

$$\bar{\varepsilon}_s^{(n)}(\eta) = \alpha_1^{n-2} (1 + \alpha_1) \varepsilon_s + (3G)^{-1} B^{1/\alpha} \left[ 1 - 0,5(1 + \alpha_1) \alpha_1^{n-2} \right] \left[ 1 - (1 - \eta)^{1+\alpha} \right]^{1/\alpha} (n-1)^{-1/\alpha}.$$

Функция повреждаемости  $\eta$  определяется из кинетического уравнения

$$\frac{d\eta}{dn} = f(\bar{\sigma}_u, \eta_n) \quad \text{или} \quad \eta = \int_0^n F(n-m) \psi(\bar{\sigma}_u^{(n)}) dm \quad (3)$$

при условии  $\eta(0) = 0$ ,  $\eta(N) = 1$ , где  $N$  – число полуциклов до наступления предельного состояния (разрушения).

Для вывода уравнений движения трубопровода при циклическом нагружении с учетом упруго-пластических деформаций используем вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [4]:

$$\int_t (\delta T^{(n)} - \delta \Pi^{(n)} + \delta A^{(n)}) dt = 0. \quad (4)$$

Определяем вариации кинетической, потенциальной энергии и работа внешних сил по следующим формулам:

$$\int_t \delta T^{(n)} dt = \int_t \int_V \left( \rho \frac{\partial U_\alpha^{(n)}}{\partial t} \delta \frac{\partial U_\alpha^{(n)}}{\partial t} + \rho \frac{\partial U_\beta^{(n)}}{\partial t} \delta \frac{\partial U_\beta^{(n)}}{\partial t} + \rho \frac{\partial U_\gamma^{(n)}}{\partial t} \delta \frac{\partial U_\gamma^{(n)}}{\partial t} \right) dV dt,$$

$$\int_t \delta \Pi^{(n)} dt = \int_t \int_V \left( \sigma_{\alpha\alpha}^{(n)} \delta l_{\alpha\alpha}^{(n)} + \sigma_{\beta\beta}^{(n)} \delta l_{\beta\beta}^{(n)} + \sigma_{\alpha\beta}^{(n)} \delta l_{\alpha\beta}^{(n)} \right) dV dt. \quad (5)$$

$$\int_t \delta A^{(n)} dt = \int_t \int_V \left[ P_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + P_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + P_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] dV^{(n)} dt +$$

$$\int_t \int_s \left[ q_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + q_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + q_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] ds dt +$$

$$+ \int_t \int_{s_1} \left[ \varphi_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + \varphi_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + \varphi_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] ds_1 dt \Big|_\alpha +$$

$$+ \int_t \int_{s_2} \left[ f_1^{(n)} \delta U_\alpha^{(n)} + f_2^{(n)} \delta U_\beta^{(n)} + f_3^{(n)} \delta U_\gamma^{(n)} \right] ds_2 dt \Big|_\beta. \quad (6)$$

В случае учета силы взаимодействия трубопровода со средой в (6)  $q_i^{(n)}$  – поверхностные силы,  $f_i^{(n)}$  – торцевые силы принимаются в следующем виде [5]:

$$q_i^{(n)} = -k_i^{(n)} (u_i^{(n)} - u_i^{0(n)}) + \bar{q}_i^{(n)}; \quad f_i^{(n)} = -k_i^{2p(n)} (u_i^{(n)} - u_i^{0(n)}) + \bar{f}_i^{(n)}, \quad (7)$$

где  $k_i^{(n)}$  – коэффициенты взаимодействия трубы с окружающей средой на поверхности при циклическом нагружении;  $k_i^{2p(n)}$  – коэффициенты взаимодействия трубы с окружающей средой на торцах;  $u_i^{0(n)}$  – составляющие пространственного сейсмического перемещения грунта по координатным осям при переменном нагружении.

Подставляем полученные векторные выражения вариации кинетической, потенциальной энергии и работы внешних сил в вариационный принцип (4). Из вариационного уравнения получаем следующую краевую задачу для  $k$ -го нагружения и разгружения в векторном виде:

– уравнения движения

$$\tilde{A} \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ (A^{yn} - A^{nn(k)}) \frac{\partial Y^{(k)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nn(k)}) Y^{(k)} \right] + (C^{yn} - C^{nn(k)}) \frac{\partial Y^{(k)}}{\partial x} +$$

$$+ (D^{yn} - D^{nn(k)}) Y^{(k)} = Q_n^{(k)} + \frac{\partial}{\partial x} \left( A^{nn(k)} \frac{\partial Y^{0(k-1)}}{\partial x} + B^{nn(k)} Y^{0(k-1)} \right) + C^{nn(k)} \frac{\partial Y^{0(k-1)}}{\partial x} +$$

$$+ D^{nn(k)} Y^{0(k-1)} + \sum_{m=1}^{k-1} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ A^{nn(k-m)} \frac{\partial}{\partial x} (Y^{0(k-m)} - Y^{0(k-m-1)}) + B^{nn(k-m)} (Y^{0(k-m)} - Y^{0(k-m-1)}) \right] + \right.$$

$$\left. + C^{nn(k-m)} \frac{\partial}{\partial x} (Y^{0(k-m)} - Y^{0(k-m-1)}) + D^{nn(k-m)} (Y^{0(k-m)} - Y^{0(k-m-1)}) \right\}; \quad (8)$$

– граничные условия

$$\left\{ \left( A^{уп} - A^{пл(k)} \right) \frac{\partial Y^{(k)}}{\partial x} + \left( B^{уп} - B^{пл(k)} \right) Y^{(k)} - \bar{Q}_{гр}^{(k)} - B^{пл0(k)} Y^{0(k-1)} - A^{пл0(k)} \frac{\partial Y^{0(k-1)}}{\partial x} - \sum_{m=1}^{k-1} \left[ A^{пл0(k-m)} \frac{\partial}{\partial x} (Y^{0(k-m)} - Y^{0(k-m-1)}) + B^{пл0(k-m)} (Y^{0(k-m)} - Y^{0(k-m-1)}) \right] \right\} \delta Y^{(k)} \Big|_x = 0,$$

– начальные условия

$$\tilde{A} \frac{dY^{(n)}}{dt} E \delta Y^{(n)} \Big|_t = 0. \quad (9)$$

Для решения краевой задачи используется метод конечных разностей и метод упругих решений А. А. Ильюшина. Полученных алгебраических уравнений с соответствующими граничными условиями, используется метод матричной прогонки Т. Буриева.

#### Список литературы

- 1 Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. – М. : Физматгиз, 1959. – 568 с.
- 2 Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 344 с.
- 3 Старовойтов, Э. И. Циклическое нагружение упругопластической трехслойной стержневой / Э. И. Старовойтов, Д. М. Савицкий // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2013. – № 4. – С. 64–70.
- 4 Кабулов, В. К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной теории пластичности / В. К. Кабулов. – Ташкент : Фан, 1966. – 394 с.
- 5 Абдусаттаров, А. Уравнение движения подземных магистральных трубопроводов при пространственно-переменном упругопластическом нагружении / А. Абдусаттаров, А. И. Исомиддинов, Н. Б. Рузиева // Проблемы современной архитектуры, прочности и надежности зданий и сооружений, сейсмической безопасности : материалы респ. науч.-практ. конф. НамИСИ. – 2021. – С. 135–137.

УДК 539.31

## НЕСТАЦИОНАРНОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ШАРНИРНО ОПЕРТОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПОЛОСЫ

*А. О. СЕРДЮК, Д. О. СЕРДЮК*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

*Г. В. ФЕДОТЕНКОВ*

*Московский авиационный институт (НИУ),*

*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация*

*Э. И. СТАРОВОЙТОВ, Д. В. ЛЕОНЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Пластины – один из самых распространённых элементов конструкции. Они используются в различных областях современной жизни. Особенно популярны в авиационной, ракетостроительной, машиностроительной, а также в строительной отрасли. Одним из важнейших этапов разработки конструктивных элементов является исследование их напряженно-деформированного состояния.

Наиболее остро стоят вопросы о нестационарных возмущениях, поскольку в таких задачах решение сильно неоднородно по координатам и по времени.

В трудах [1, 2] исследуются вопросы нестационарной динамики изотропных пластин и оболочек. Задачи нестационарной динамики анизотропных пластин и цилиндрических оболочек освещены в работах [3–5].

В данной работе рассматривается нестационарная динамика анизотропной шарнирно опертой полосы толщиной  $h$  при воздействии сосредоточенной нагрузки с изменяющейся во времени амплитудой  $p(x_1, x_2, t)$ . В качестве модели тонкой упругой полосы постоянной толщины приняты гипотезы Кирхгофа.



Материал полосы принят упругим, анизотропным с симметрией относительно срединной плоскости, которая совпадает со срединной плоскостью полосы. Начально-краевая задача включает в себя: уравнения движения в перемещениях, нулевые начальные условия, граничные условия.

Уравнение движения анизотропной пластины в перемещениях имеет вид

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -ID(w) + p(x_1, x_2, t),$$

$$D(w) = c_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x_1^4} + c_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial x_2^4} + 2(c_{12} + 2c_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x_1^2 \partial x_2^2} + 4c_{16} \frac{\partial^4 w}{\partial x_1^3 \partial x_2} + 4c_{26} \frac{\partial^4 w}{\partial x_1 \partial x_2^3},$$
(1)

где  $c_{11} = C^{1111}$ ,  $c_{12} = C^{1122}$ ,  $c_{16} = C^{1112}$ ,  $c_{22} = C^{2222}$ ,  $c_{26} = C^{2212}$ ,  $c_{66} = C^{1212}$ ,  $I = h^3 / 12$ .

Начальные условия

$$w|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial t}|_{t=0} = 0.$$
(2)

Граничные условия

$$w|_{x_1=a_1} = w|_{x_1=a_2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}|_{x_1=a_1} = \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2}|_{x_1=a_2} = 0,$$
(3)

где  $a_1, a_2$  – координаты, ограничивающие полосу вдоль оси  $x_1$ .

Уравнения (1)–(3) образуют начальную краевую задачу.

Целью исследования является построение нестационарных функций нормальных перемещений, нормальных и касательных напряжений в ответ на воздействие нестационарной нагрузки.

Решение задачи получено при помощи функции Грина для неограниченной анизотропной пластины и метода компенсирующих нагрузок [6]. Решение для функции Грина получено в [7].

Применение метода компенсирующих нагрузок позволяет представить выражение для прогиба в виде тройной свертки функции Грина с действующей нагрузкой и тройных сверток функции Грина с компенсирующими нагрузками. Подставляя данное выражение для прогиба в граничные условия, получаем систему интегральных уравнений Вольтерры I рода с разностным ядром. Решение данной системы дает искомые компенсирующие нагрузки и, следовательно, функцию прогиба. В качестве верификации выполнено математическое сравнение решения для шарнирно опертой полосы, полученное методом, описанным в данной работе с известным решением для ограниченной пластины. Материал обеих полос принят изотропным.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-58-00023 Бел\_a) и БРФФИ (проект № T20P-047).*

#### Список литературы

- 1 Горшков, А. Г. Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 Tarlakovskii, D. V. Nonstationary 3D motion of an elastic spherical shell / D. V. Tarlakovskii, G. V. Fedotenkov // Mechanics of Solids. – 2015. – Vol. 50, no. 2. – P. 208–2017. – DOI: 10.3103/S0025654415020107.
- 3 Локтева, Н. А. Нестационарная динамика тонких анизотропных упругих цилиндрических оболочек / Н. А. Локтева, Д. О. Сердюк, П. Д. Скопинцев // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVI Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. Т. 2. – М. : ООО «ТРП», 2020. – С. 90–91.
- 4 Сердюк, А. О. Функция Грина для неограниченной тонкой анизотропной пластины / А. О. Сердюк, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVI Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. Т. 2. – М. : ООО «ТРП», 2020. – С. 106–108.
- 5 Сердюк, А. О. Функция влияния для пластины с произвольной анизотропией материала / А. О. Сердюк, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVI Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. Т. 2. – М. : ООО «ТРП», 2020. – С. 108–110.
- 6 Метод компенсирующих нагрузок в задачах теории тонких пластинок и оболочек / Э. С. Венцель [и др.]. – Харьков, 1992.
- 7 Сердюк, А. О. Нестационарная функция прогиба для неограниченной анизотропной пластины / А. О. Сердюк, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Физ.-мат. науки. – 2021. – Т. 25, № 1. – С. 111–126. – DOI: 10.14498/vsgtu1793.

## ФУНКЦИЯ ВЛИЯНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ТИМОШЕНКО

А. О. СЕРДЮК, Д. О. СЕРДЮК

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

*Московский авиационный институт (НИИ),  
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация*

Э. И. СТАРОВОЙТОВ, Д. В. ЛЕОНЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Тонкостенные конструкции, такие как пластины, широко применяются в общем машиностроении. Динамические расчеты при проектировании перспективных новых агрегатов являются неотъемлемым этапом конструирования. Вопросы нестационарной динамики занимают особое место, поскольку в таких задачах искомое решение существенно неоднородно по координатам и времени. Теоретический и прикладной интерес представляет знание закономерностей распространения нестационарных волн, а также напряженно-деформированное состояние анизотропных пластин при ударных нагрузках, моделируемых импульсными функциями.

В настоящее время наиболее полно исследованы вопросы, посвященные нестационарной динамике изотропных пластин [1, 2], в меньшей степени ортотропных [3, 4] и анизотропных [5, 6].

В настоящей работе представлен подход численно-аналитического построения функции влияния (функций Грина) нормальных перемещений пластины. Объектом исследования является тонкая неограниченная пластина постоянной толщины  $h$ . Движение пластины рассматривается относительно декартовой системы координат  $Ox_1x_2x_3$ . Плоскость  $Ox_1x_2$  совпадает со срединной плоскостью пластины. В начальный момент времени  $t = 0$  на пластину воздействует нестационарное нормальное давление  $p(x_1, x_2, t)$  с переменной по координатам и времени амплитудой. Материал пластины упругий и анизотропный с симметрией относительно плоскости  $Ox_1x_2$ . Для описания движения пластины принята модель пластины Тимошенко. Упругие свойства пластины характеризуются девятью независимыми упругими постоянными  $C^{1111}$ ,  $C^{1122}$ ,  $C^{1112}$ ,  $C^{2222}$ ,  $C^{2212}$ ,  $C^{2323}$ ,  $C^{2313}$ ,  $C^{1313}$ ,  $C^{1212}$  – компонентами тензора упругих свойств материала в главных осях. Постановка задачи включает в себя уравнения движения и начальные условия.

Цель работы заключается в построении нестационарной функций влияния для нормальных перемещений в анизотропной пластине Тимошенко.

Для построения функции влияния  $G$  нормальных перемещений применены прямые и обратные интегральные преобразования Лапласа и Фурье. Оригиналы функций влияния по Лапласу найдены аналитически при помощи таблиц с предварительным разложением изображений на суммы простых дробей с применением метода неопределенных коэффициентов. Для построения оригиналов по Фурье использован метод, основанный на связи интеграла обращения преобразования Фурье с рядом Фурье на переменном интервале:

$$G(x_1, x_2, \tau) = \frac{1}{2(k\tau)^2} H(k\tau - |x_1|) \cdot H(k\tau - |x_2|) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} (A(\mu_{1n}, \mu_{2m}) \cdot \text{sh}(s_1(\mu_{1n}, \mu_{2m})\tau) + \\ + B(\mu_{1n}, \mu_{2m}) \cdot \text{sh}(s_2(\mu_{1n}, \mu_{2m})\tau) + C(\mu_{1n}, \mu_{2m}) \cdot \text{sh}(s_3(\mu_{1n}, \mu_{2m})\tau)) e^{-i(\mu_{1n}x_1 + \mu_{2m}x_2)},$$

где

$$\mu_{1m} = \mu_{1m}(\tau) = \frac{\pi n}{k\tau}, \quad \mu_{2m} = \mu_{2m}(\tau) = \frac{\pi m}{k\tau},$$

$$\begin{aligned}
A &= A(q_1, q_2) = \frac{s_1^4 + R_1 s_1^2 + R_2}{2s_1(s_1^2 - s_3^2)(s_1^2 - s_2^2)}, B = B(q_1, q_2) = -\frac{s_2^4 + R_1 s_2^2 + R_2}{2s_2(s_1^2 - s_2^2)(s_2^2 - s_3^2)}, \\
C &= C(q_1, q_2) = \frac{s_3^4 + R_1 s_3^2 + R_2}{2s_3(s_2^2 - s_3^2)(s_1^2 - s_3^2)}, \\
s_1 &= s_1(q_1, q_2) = \frac{\sqrt{6U^{1/3}(-2R_3U^{1/3} + J_1)}}{6U^{1/3}}, s_2 = s_2(q_1, q_2) = \frac{\sqrt{3U^{1/3}(J_2 - 4R_3U^{1/3} - J_1)}}{6U^{1/3}}, \\
s_3 &= s_3(q_1, q_2) = \frac{\sqrt{-3U^{1/3}(J_2 + 4R_3U^{1/3} + J_1)}}{6U^{1/3}}, \\
J_1 &= J_1(q_1, q_2) = U^{2/3} + 4R_3^2 - 12R_4, J_2 = J_2(q_1, q_2) = I\sqrt{3}U^{2/3} - 4I\sqrt{3}R_3^2 + 12I\sqrt{3}R_4, \\
U &= U(q_1, q_2) = 36R_4R_3 - 108R_5 - 8R_3^3 + 12\sqrt{12R_5R_3^3 - 3R_4^2R_3^2 - 54R_4R_3R_5 + 12R_4^3 + 81R_5^2}, \\
R_1 &= R_1(q_1, q_2) = Q_1 + Q_4, \\
R_2 &= R_2(q_1, q_2) = Q_1Q_4 - Q_2^2, R_3 = R_3(q_1, q_2) = Q_1 + Q_4 + Q_6, \\
R_4 &= R_4(q_1, q_2) = Q_1Q_4 + Q_1Q_6 - Q_2^2 + Q_3^2 + Q_4Q_6 + Q_5^2, \\
R_5 &= R_5(q_1, q_2) = Q_1Q_4Q_6 + Q_1Q_5^2 - Q_6Q_2^2 - 2Q_2Q_3Q_5 + Q_4Q_3^2, \\
Q_1 &= Q_1(q_1, q_2) = c_1q_1^2 + 2c_3q_1q_2 + q_2^2 + c_8, Q_2 = Q_2(q_1, q_2) = c_3q_1^2 + (c_2 + 1)q_1q_2 + c_5q_2^2 + c_7, \\
Q_3 &= Q_3(q_1, q_2) = c_8iq_1 + c_7iq_2, Q_4 = Q_4(q_1, q_2) = q_1^2 + 2q_1q_2c_5 + c_4q_2^2 + c_6, \\
Q_5 &= Q_5(q_1, q_2) = c_7iq_1 + c_6iq_2, Q_6 = Q_6(q_1, q_2) = q_1^2c_8 + 2q_1q_2c_7 + q_2^2c_6, \\
c_1 &= \frac{c_{11}}{c_{66}}, c_2 = \frac{c_{12}}{c_{66}}, c_3 = \frac{c_{16}}{c_{66}}, c_4 = \frac{c_{22}}{c_{66}}, c_5 = \frac{c_{26}}{c_{66}}, c_6 = k^2 \frac{c_{44}}{c_{66}}, c_7 = k^2 \frac{c_{45}}{c_{66}}, c_8 = k^2 \frac{c_{55}}{c_{66}}, \\
c_{11} &= C^{1111}, c_{12} = C^{1122}, c_{16} = C^{1112}, c_{22} = C^{2222}, c_{26} = C^{2212}, c_{44} = C^{2323}, \\
c_{45} &= C^{2313}, c_{55} = C^{1313}, c_{66} = C^{1212}.
\end{aligned}$$

Здесь  $\tau$  – безразмерное время;  $k^2 = 5/6$  – коэффициент сдвига;  $q_1, q_2$  – параметры преобразования Фурье.

В качестве верификации построенной нестационарной пространственной функций Грина выполнено сопоставление результатов численного решения с результатами, получаемыми с применением известной нестационарной функции Грина для изотропной тонкой упругой прямоугольной шарнирно опертой пластины Тимошенко.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-58-00023 Бел\_a) и БРФФИ (проект № T20P-047).*

#### Список литературы

- 1 **Моргачев, К. С.** Нестационарная динамика кольцевой пластины Тимошенко переменной толщины / К. С. Моргачев // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2007. – Т 15, № 2. – С. 162–164.
- 2 **Дьяченко, Ю. Г.** Нестационарная задача динамики пластин переменного сечения в уточненной постановке : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / Ю. Г. Дьяченко. – Саратов, ГОУ ВПО «СГУ», – 2008. – С. 19.
- 3 **Шевченко, В. П.** Динамика ортотропной пластины под действием локальных внезапно приложенных нагрузок / В. П. Шевченко, О. С. Ветров // Труды ИПММ НАН Украины. – 2011. – Т. 22. – С. 207–215.
- 4 **Wahab, M. A.** Prediction of impact damage in composite sandwich plates / M. A. Wahab, T. Jabbour, P. Davies // *Materials & Techniques*. – 2019. – Vol. 107, no. 2. – DOI: 10.1051/mattech/2019006.
- 5 **Nayfeh, A. H.** Wave Propagation in Plates of General Anisotropic Media / A. H. Nayfeh, D.E. Chimenti // *Journal of applied mechanics-transactions of the ASME*. – 1989. – Vol. 56, no. 4. – P. 881–886. – DOI: 10.1115/1.3176186.
- 6 **Daros, C. H.** The dynamic fundamental solution and BEM formulation for laminated anisotropic Kirchhoff plates / C. H. Daros // *Engineering analysis with boundary elements*. – 2015. – Vol. 54, no. 2. – P. 19–27. – DOI: 10.1016/j.enganabound.2015.01.001.

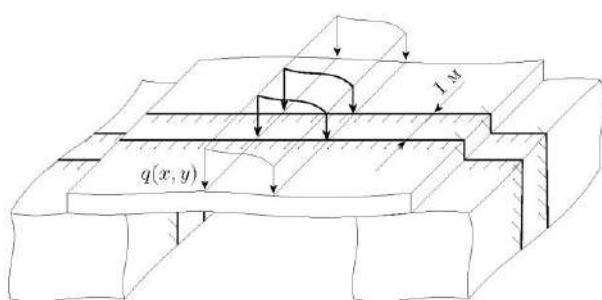
## РАСЧЕТ УЗЛОВ ОПИРАНИЯ ШАРНИРНО-ОПЕРТЫХ БАЛОК И ПЛИТ

П. Д. СКАЧЁК

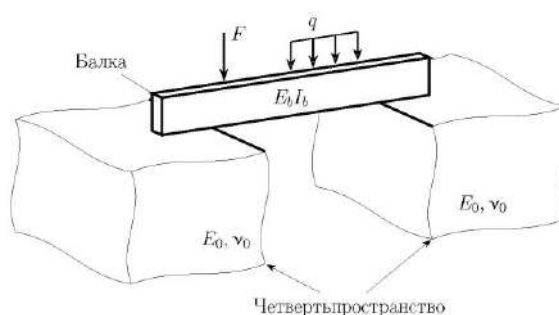
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В данной статье решаются плоская и пространственные контактные задачи шарнирного опирания балок и плит на стены. В случае решения плоской контактной задачи рассматривается балочная плита, опираемая на стены, моделируемые упругой четвертьплоскостью [1]. При этом балочная плита работает в условиях плоской деформации (рисунок 1, а). Пространственная контактная задача решается при шарнирном опирании балок на стены. По виду упругого основания, которым моделируются стены, рассматриваются пространственные контактные задачи опирания балок на упругие четвертьпространство (рисунок 2, б), 1/8 пространства (рисунок 3, в) и несимметричное опирание со стороны одного опорного узла на 1/8 пространства, а со стороны второго – на четвертьпространство (рисунок 2, г).

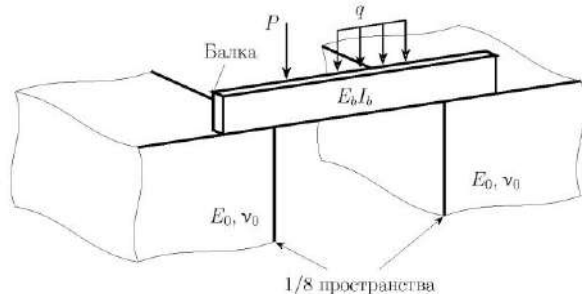
а)



б)



в)



г)

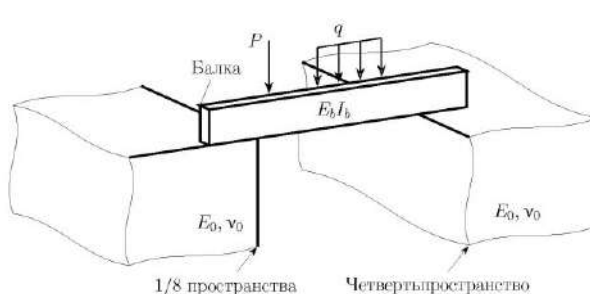


Рисунок 1 – Постановка плоской и пространственной контактных задач шарнирного опирания балок и плит на стены

Основными задачами при решении поставленных контактных задач являются определение контактных напряжений в зоне контакта, вычисление границ фактической области контакта с учетом отрыва конструкций от поверхности стен, уточнение расчетного пролета и значения максимального изгибающего момента в конструкции, получение решения при различных соотношениях жесткостей опираемых конструкций.

При решении плоской задачи из состава перекрытия выделяется полоса шириной 1 м, и далее эта полоса рассматривается как балка, опираемая на четвертьплоскость. Поэтому в дальнейшем, применяя термин «балка» к решению плоской контактной задачи, подразумевается указанная полоса.

Для построения физической и математической модели поставленных контактных задач принимаются следующие допущения [2, 3]:

- для балки справедливы гипотезы изгиба;
- связи Б. Н. Жемочкина [3] принимаются односторонними, работающими только на сжатие;
- в зоне контакта не учитываются касательные напряжения.

Построение математической модели задачи начинается с замены непрерывного контакта на дискретный в узловых точках. Для этого выполняется разбиение контактной области на участки

(участки Б. Н. Жемочкина) и установка в серединах этих участков односторонних жестких связей. Предполагается, что усилие в связи есть равнодействующая контактных напряжений, равномерно распределенных по участку Б. Н. Жемочкина. Поскольку для рассматриваемых контактных задач наиболее удачным является решение их смешанным методом строительной механики, то помимо разбиения контактных областей на участки и установки в их серединах связей, вводится условное защемление в середине пролета балки, которое препятствует вертикальному перемещению и поворотам середины балки относительно продольной и поперечной осей.

По расчетной схеме составляется система линейных алгебраических уравнений (1) смешанного метода строительной механики [3, 4]

$$A\bar{Z} + B = 0, \quad (1)$$

где  $A$  – матрица коэффициентов системы линейных алгебраических уравнений;  $\bar{Z} = \{z_1, \dots, z_{2n}, u_0, \varphi_x, \varphi_y\}$  – вектор-столбец неизвестных смешанного метода строительной механики;  $B$  – столбец свободных членов;  $z_i$  – неизвестное усилие в связи  $i$  Б. Н. Жемочкина;  $u_0, \varphi_x, \varphi_y$  – неизвестные вертикальное и угловые перемещения во введенном защемлении  $n$  – количество участков Б. Н. Жемочкина в одном узле.

Матрица коэффициентов  $A$  содержит элементы, выражающие взаимное перемещение точек балки и границы упругого основания, характеризуемого в каждой задаче своей функцией Грина [4].

Далее решается СЛАУ (1), в результате чего определяется вектор-столбец неизвестных  $\bar{Z}$ . Среди первых  $2n$  компонент могут находиться отрицательные значения, что свидетельствует о наличии растянутых в системе связей Б. Н. Жемочкина (происходит отрыв конструкции от основания), а это противоречит допущению об одностороннем контакте. Поэтому дальнейшим шагом решения задачи является организация итерационного процесса, в ходе которого удаляются растянутые связи и заново решается СЛАУ (1). На последней итерации получают решение, которое содержит в системе только сжатые связи Б. Н. Жемочкина.

Распределяя равномерно по участку Б. Н. Жемочкина найденное усилие в связи, получаем картину изменения контактных напряжений по всей области контакта.

В процессе решения данных контактных задач установлено, что при опирании железобетонной, металлической и деревянной балок на бетонные стены контакт указанных конструкций осуществляется по ребру стены, т. е. нет явной площадки опирания, чего не скажешь при опирании данных конструкций на стены из каменной кладки.

Установлено, что для получения окончательного решения с наименьшим числом итераций, необходимо выполнять разбиение контактных областей таким образом, чтобы ширина и длина одного участка Б. Н. Жемочкина были практически равны.

Также в процессе решения доказано свойство контактного взаимодействия: область контакта зависит от геометрии прикладываемых нагрузок и не зависит от уровня нагрузки. От последнего зависит величина контактных напряжений [5].

#### Список литературы

- 1 **Дмитриева, К. В.** Расчет нелинейно-гибкой стенки в упругом основании : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 / К. В. Дмитриева. – Минск, 2017. – 128 с.
- 2 **Горбунов-Посадов, М. И.** Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 680 с.
- 3 **Горбунов-Посадов, М. И.** Балки и плиты на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов. – М. : Машстройиздат, 1949. – 238 с.
- 4 **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Госстройиздат, 1962. – 240 с.
- 5 **Босаков, С. В.** Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
- 6 **Джонсон, К.** Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон ; под ред. Р. В. Гольдштейн ; пер. с англ. В. Э. Наумова, А. А. Спектора. – М. : Мир, 1989. – 510 с.

## РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

*Н. В. СМЕТАНКИНА, С. Ю. МИСЮРА, А. И. МЕРКУЛОВА*

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков*

*Т. А. СЫЧЕВА, А. И. СЫЧЕВ*

*Государственный биотехнологический университет, г. Харьков, Украина*

Одной из важнейших проблем при ликвидации последствий техногенных аварий является обеспечение эффективной и надежной эксплуатации наземного транспорта и безопасности личного состава при выполнении спасательных работ. Весомая составляющая этой проблемы – обеспечение прочности элементов конструкций специальной техники. Особое внимание уделяется остеклению, как одному из ответственных защитных элементов транспортных средств [1, 2]. Оно должно удовлетворять требованиям к ударной прочности, огнестойкости и надежности при сохранении эксплуатационных характеристик. Поэтому расчет и проектирование элементов остекления специальной техники, отвечающих указанным выше требованиям безопасности, является актуальной проблемой.

Практическая работа по созданию защитного остекления транспортных средств привела к созданию ГОСТ Р 51136–2008 [1]. Стандарт на безопасные многослойные и закаленные стекла для средств наземного транспорта (автомобилей, автобусов, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожно-строительных машин) регламентируется ГОСТ 5727–88 [3]. При этом методы исследования прочности остекления основаны на эмпирических данных и упрощенных моделях [4].

Автомобили специальной техники производятся на базе шасси грузовых автомобилей. Остекление кабин изготовлено из плоских закаленных однослойных (сталинита) или трехслойных стекол (триплекса). Закрепление ветровых стекол и стекол задней панели в проемах осуществляется с помощью резинового уплотнителя, который фиксируется по периметру стекла полимерным материалом, что позволяет рассматривать элементы остекления как шарнирно опертые пластины. Согласно [3] ветровые стекла должны выдерживать удар шаром массой 227 г при температуре 40 и –20 °С. Из десяти испытанных образцов не менее восьми образцов не должны разбиваться на отдельные части. Также не менее чем для восьми образцов шар не должен проходить через образец.

Создание защитного стекла для спецтехники требует комплексного подхода. В работе [5] показано, что триплекс (многослойный стеклоблок) дешевле стекла с многослойной полимерной пленкой. Нерешенной проблемой остается разработка эффективных методов расчета прочности многослойного остекления в условиях действия нестационарных нагрузок, возникающих в результате различных техногенных аварий. Целью данной работы является создание математической модели и разработка метода расчета прочности безопасного многослойного остекления спецтехники при ударном нагружении.

Будем рассматривать многослойное стекло как прямоугольную многослойную шарнирно опертую пластину, которая собрана из слоев постоянной толщины. Динамическое поведение пластины описывается на основе кинематических гипотез уточненной теории многослойных пластин. Учитываются деформации поперечного сдвига, обжатие по толщине и инерции вращения нормального элемента в пределах каждого слоя [6]. Контакт между слоями исключает их расслаивание и взаимное проскальзывание. Для пакета слоев справедлива гипотеза ломаной линии.

По наружной поверхности первого слоя пластины наносится удар шаровым индентором. Контактное сближение учитывается на основе решения задачи Герца о вдавлении шара в упругое полупространство [7]. Из вариационного принципа Остроградского – Гамильтона получаем уравнение движения пластины под воздействием ударной нагрузки и граничные условия. Искомые функции перемещений и нагрузки разлагаются в тригонометрические ряды по функциям, удовлетворяющим граничным условиям. Таким образом, задача о колебаниях многослойной пластины сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений относительно коэффициентов разложения функций перемещений в ряды. Эта система интегрируется с помощью одношагового метода [6], который основан на разложении решения в ряд Тейлора.

Решение уравнения движения индентора получаем на основе интегрального преобразования Лапласа. Значение контактной силы определяется из условия совместности перемещений индентора и пластины. После определения коэффициентов разложения искоемых функций вычисляются перемещения, деформации и напряжения в слоях пластины.

Исследовано влияние скорости индентора на максимальные растягивающие напряжения на примере трехслойного ветрового стекла КамАЗ-5320 с размерами в плане 1024 и 662 мм. Наружные слои изготовлены из силикатного стекла и соединены слоем из полимерного материала. Индентор представлял собой стальной шар массой 227 г и радиусом 20 мм.

Оценка прочности остекления проводилась на основе первой теории прочности. Исследованы напряжения при различных скоростях столкновения остекления с индентором. При скорости индентора 7 м/с растягивающие напряжения в наружных слоях приближаются к допустимым значениям (120 МПа), а при 10 и 13 м/с происходит разрушение стекла.

Также исследовано влияние массы индентора на растягивающие напряжения в слоях остекления при скорости столкновения 5 м/с. Когда масса индентора равна 400 г, значения напряжений приближаются к своим допустимым значениям. При ударе индентором массой 500 г остекление разрушается.

Предложенный подход может быть использован при проектировании безопасного многослойного остекления средств наземного транспорта с учетом аварийных воздействий.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ Р 51136–2008. Стекла защитные многослойные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ Р 51136–987 ; введ. 2009-06-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 15 с.
- 2 Бруль, С. Т. К вопросу о моделировании воздействия ударной волны на корпус боевой машины / С. Т. Бруль, А. Ю. Васильев // Вестник НТУ «ХПИ». Машиноведение и САПР. – 2005. – № 53. – С. 29–34.
- 3 ГОСТ 5727–88. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия : с изм. № 3, утв. постановлением Госстандарта России от 27.08.2001 № 353-ст. – Введ. 2002-01-01. – М., 2002. – 5 с.
- 4 Голяков, В. И. Метод расчета взрывозащитного остекления / В. И. Голяков, А. А. Дайлов, В. А. Кишкин // Системы безопасности. – 2004. – № 4. – С. 26–27.
- 5 Мильков, В. Г. Двухосноориентированная полиэтилентерефталатная пленка. Всегда ли необходима в пулестойком и взрывобезопасном остеклениях? / В. Г. Мильков // Технологии безопасности. – 2004. – № 6. – С. 24–26.
- 6 Dynamic response of laminate composite shells with complex shape under low-velocity impact / N. Smetankina [et al.] // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020. – Springer : Cham, 2021. – Vol. 188. – P. 267–276.
- 7 Jones, N. Structural impact / N. Jones. – Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1989. – 320 p.

УДК.539.3

### ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

*Н. Х. СОБИРОВ, А. И. ИСОМИДДИНОВ, А. АБДУСАТТАРОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Приведем результаты расчета тонкостенных стержней при пространственно-переменном нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций и уточненной теории стержней [1–3]. При пространственно-переменном нагружении, т. е. при совместных продольных, поперечных и крутильных силах, законы распределения перемещений, деформаций и напряжений в сечениях стержня сложны, поэтому уточненная теория строится на основании ряда статических гипотез. На основании известных допущений выражения для перемещения точек стержня при переменном нагружении представим в виде [4]:

$$\begin{aligned} \bar{u}_1^{(n)} &= \bar{u}^{(n)} - y\bar{\alpha}_1^{(n)} - z\bar{\alpha}_2^{(n)} + \varphi\bar{v}^{(n)} + a_1\bar{\beta}_1^{(n)} + a_2\bar{\beta}_2^{(n)}, \\ \bar{u}_2^{(n)} &= \bar{v}^{(n)} - z\bar{\theta}^{(n)}, \quad \bar{u}_3^{(n)} = \bar{w}^{(n)} + y\bar{\theta}^{(n)}. \end{aligned} \quad (1)$$

На основе вариационного принципа Лагранжа с использованием соотношения Коши и связи между напряжениями и деформациями получено вариационное уравнение равновесия стержней при пространственно-переменном упругопластическом нагружении:

$$\frac{d}{dx} \left[ (A^{yn} - A^{nn(n)}) \frac{d\bar{U}^{(n)}}{dx} + (B^{yn} - B^{nn(n)}) \bar{U}^{(n)} \right] + (C^{yn} + C^{nn(n)}) \frac{d\bar{U}^{(n)}}{dx} + (D^{yn} - D^{nn(n)}) \bar{U}^{(n)} = \bar{Q}^{(n)}; \quad (2)$$

$$\left\{ - (A^{yn} - A^{nn(n)}) \frac{d\bar{U}^{(n)}}{dx} + (B^{yn} - B^{nn(n)}) \bar{U}^{(n)} - \bar{Q}_r^{(n)} \right\} d\bar{U}^{(n)} \Big|_r = 0, \quad (3)$$

где  $\bar{Q}^{(n)}$ ,  $\bar{Q}_A^{(n)}$  – векторы внешних сил; матрицы  $A, B, C, D$  – квадратичные матрицы девятого порядка;  $\bar{U}^{(n)} = \{ \bar{u}^{(n)}, \bar{\alpha}_1^{(n)}, \bar{\alpha}_2^{(n)}, \lambda_2^{(n)}, v^{(n)}, \beta_1^{(n)}, \beta_2^{(n)}, \bar{w}^{(n)}, \bar{\theta}^{(n)}, v^{(n)} \}$  – искомые векторы функции девятого порядка. Для определения значений расчетных величин используется формула [1]

$$U^{(k)} = U' + \sum_{k=2}^{kk} (-1)^{k-1} \bar{U}^{(k)}, \quad \sigma_{ij}^{(k)} = \sigma'_{ij} + \sum_{k=2}^{kk} (-1)^{k-1} \bar{\sigma}_{ij}^{(k)}. \quad (4)$$

Для решения краевой задачи используется метод конечных разностей и метод упругих решений, сформулированных нелинейных алгебраических уравнений с соответствующими граничными условиями, решается методом матричной прогонки с помощью следующей рекуррентной формулы:

$$\bar{V}_i = \alpha_i \bar{V}_{i+1} + \beta_i; \quad i = N-1, \dots, 1, \quad (5)$$

$$\text{здесь } \alpha_i = (\bar{B}_i - \bar{C}_i \alpha_{i-1})^{-1} \bar{A}_i; \quad \beta_i = (\bar{B}_i - \bar{C}_i \alpha_{i-1})^{-1} (\bar{C}_i \beta_{i-1} - \bar{F}_i). \quad (6)$$

Для реализации вышеприведенного алгоритма составлена модифицированная комплексная программа на объектно-ориентированном языке Delphi. Комплекс программ работает в диалоговом режиме [5]. На основе разработанного алгоритма произведен расчет тонкостенных стержней прямоугольного поперечного сечения, заземленного по торцам при знакопеременном нагружении с учетом накопления повреждений. Задача решена при следующих исходных данных.

Материальные константы кинетического уравнения повреждаемости:  $A = 1,2 \cdot 10^{-4}$ ;  $\alpha = \beta = 5$ ;  $\gamma = 0,8$ ;  $\alpha_1 = 0,97$ ;  $B = 1,4 \cdot 10^3$ ;  $\varepsilon_s = 0,0015$ . За внешнюю нагрузку приняты следующие значения:  $f_0^+ = 25$ ;  $f_0^- = 50$ ;  $\bar{f}_0^+ = 10$ ;  $\bar{f}_0^- = 5$  (кг/см<sup>2</sup>);  $\alpha = \pi/3$ ;  $\alpha^* = \pi/2$ ;  $\gamma = \pi/4$ ;  $\gamma^* = \pi/6$ .

В таблице 1 приводятся численные результаты вектора перемещений в зависимости от числа итерации  $\gamma$  (при  $N = 40$ ,  $k = 2$  и  $k = 10$ ).

Максимальные значения компонентов вектора перемещений на основе различных диаграмм деформирования приведены в таблице 1. Результаты численного эксперимента показывают, что с увеличением числа циклов нагружения изменяются зоны пластичности и повреждаемости, а это, в свою очередь, влияет на кинетику НДС стержня.

Таблица 1

x	k = 2			k = 10		
	Модель Мазинга – Москвитина ( $\gamma = 4$ )	Модель Гусенкова–Шнейдеровича ( $\gamma = 4$ )	Модель Буриева ( $\gamma = 5$ )	Модель Мазинга – Москвитина ( $\gamma = 3$ )	Модель Гусенкова – Шнейдеровича ( $\gamma = 3$ )	Модель Буриева ( $\gamma = 4$ )
	$W^{(k)}$					
0,5	0,274187	0,274189	0,274398	0,274144	0,274132	0,274375
	$\alpha_1^{(k)}$					
0,3	0,722022	0,722027	0,722560	0,721904	0,721872	0,722499
	$\beta_1^{(k)}$					
0,1	0,019853	0,019854	0,019871	0,019851	0,019851	0,019869
	$V^{(k)}$					
0,5	0,257083	0,257084	0,257279	0,257043	0,257030	0,257261
	$\alpha_2^{(k)}$					
0,3	0,676963	0,676968	0,677462	0,676851	0,676819	0,677415



На рисунках 1, 2 показаны зоны пластичности и поврежденности соответственно для поперечного сечения  $x = 0,0$ ;  $x = 0,5$  при  $k = 2$  (a, b) и при  $k = 10$  (c, d).

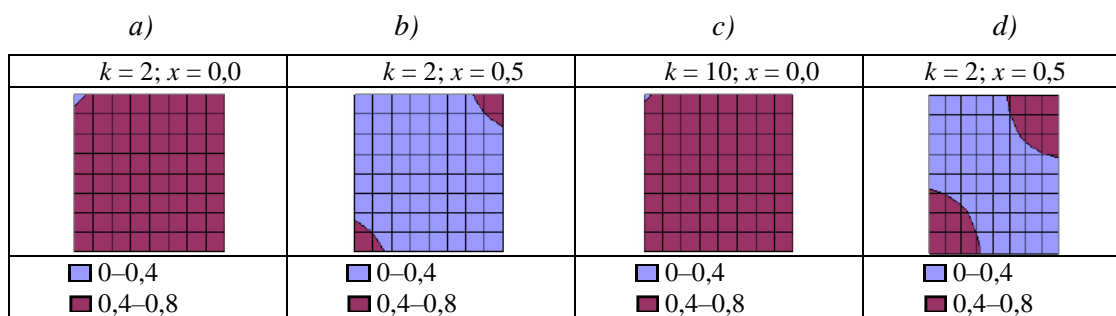


Рисунок 1 – Кинетика изменения зоны пластичности

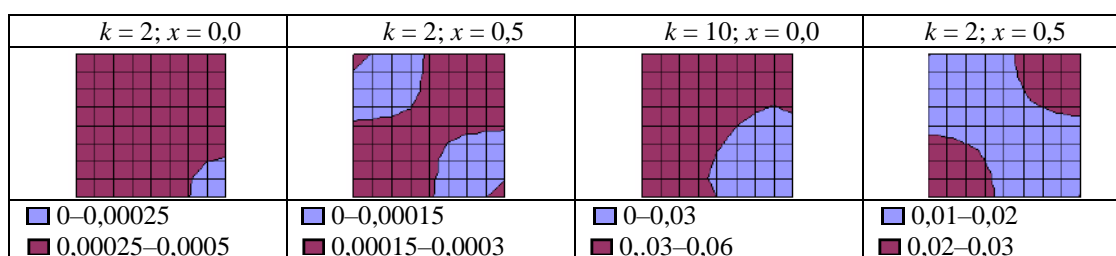


Рисунок 2 – Кинетика изменения зоны поврежденности

#### Список литературы

- 1 Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 344 с.
- 2 Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. – М. : Физматгиз, 1959. – 568 с.
- 3 Старовойтов, Э. И. Повторное знакопеременное деформирование упругопластических трехслойных стержней / Э. И. Старовойтов, Д. М. Савицкий // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2013. – № 1. – С. 17–22.
- 4 Кабулов, В. К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной теории пластичности / В. К. Кабулов. – Ташкент : Фан, 1966. – 394 с.
- 5 Абдусаттаров, А. Упругопластический расчет стержней при пространственно-переменном нагружении с учетом повреждаемости / А. Абдусаттаров, А. И. Исомиддинов // Упругость и не упругость. – М. : Изд-во Московского университета, 2016. – С. 57–65.

УДК 539.3

## ИЗГИБ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ В НЕЙТРОННОМ ПОТОКЕ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**Введение.** В монографиях [1–3] разработаны модели деформирования трехслойных элементов конструкций при квазистатических и динамических нагрузках. Свободные, вынужденные и резонансные колебания трехслойных пластин и оболочек, в том числе связанных с упругим основанием Винклера, исследовались в публикациях [4–7]. Нестационарное нагружение трехслойных цилиндрических оболочек изучалось в работе [8]. Перемещения в круговой трехслойной пластине под действием неосесимметричных нагрузок исследовано в статье [9]. Статьи [10–14] посвящены исследованию квазистатического деформирования трехслойных пластин и оболочек. Влияние нейтронного облучения на механические свойства материалов описано в монографии [15].

Предполагается, что для внешних несущих слоев  $h_1 \neq h_2$  несимметричной по толщине трехслойной круговой пластины приняты гипотезы Кирхгофа. В жестком заполнителе ( $h_3 = 2c$ ), выполняется гипотеза Тимошенко.

В начальный момент времени к внешней поверхности  $z = c + h_1$  пластины подводится *нейтронный поток* плотностью  $\phi_0$  в направлении, противоположном внешней нормали. Согласно экспериментальным данным при малых деформациях в линейном приближении можно считать, что изменение объема материала прямо пропорционально интегральному нейтронному потоку [15]:

$$\theta_{I_k} = B_k I_k(z), \quad (1)$$

где  $I_k(z) = \varphi_k(z) t$  – интегральный нейтронный поток в  $k$ -м слое;  $\varphi_k$  – интенсивность потока, нейтрон/(м<sup>2</sup>·с);  $B_k$  – константа материала, получаемая из опыта.

Если на поверхность пластины  $z = c + h_1$ , параллельно оси  $z$  падают нейтроны с интенсивностью  $\varphi_0$ , то интенсивность потока нейтронов, доходящих до плоскости, параллельной границе  $z = \text{const}$ , будет убывать по экспоненте [15]. В нашем случае в верхнем слое интенсивность будет

$$\varphi_1(z) = \varphi_0 \exp(-\mu_1(h_1 + c - z)), \quad \mu_1 = \sigma_1 n_0 = \sigma_1 \frac{A_0 \rho_1}{A_1}, \quad (2)$$

где  $\mu_1$  – величина макроскопического эффективного сечения (1/см);  $\sigma_1$  – эффективное сечение, отнесенное к одному ядру;  $n_0$  – число ядер в 1 см<sup>3</sup>;  $A_0$  – число Авогадро;  $\rho_1$  – плотность;  $A_1$  – атомный вес.

Следовательно, к моменту  $t$  через сечение  $z$  внешнего слоя пройдет интегральный поток

$$I_1(z, t) = \varphi_0 t \exp(-\mu_1(h_1 + c - z)).$$

При  $z = c$  из формулы (2) следует интенсивность нейтронного потока на границе перехода слоев 1–3:

$$\varphi_{13} = \varphi_1(c) = \varphi_0 \exp(-\mu_1 h_1).$$

В заполнителе интенсивность потока нейтронов на плоскости  $z = \text{const}$  и интегральный поток к моменту  $t$

$$\varphi_3(z) = \varphi_{13} \exp(-\mu_3(c - z)), \quad I_3(z, t) = \varphi_{13} t \exp(-\mu_3(c - z)). \quad (3)$$

На склейке заполнителя 3 с нижним несущим слоем 2 ( $z = -c$ ) из соотношения (3) следует интенсивность нейтронного потока

$$\varphi_{32} = \varphi_3(-c) = \varphi_{13} \exp(-2\mu_3 c).$$

В нижнем слое интенсивность потока нейтронов на плоскости  $z = \text{const}$  и интегральный поток к моменту  $t$  будут

$$\varphi_2(z) = \varphi_{32} \exp(-\mu_2(-c - z)), \quad I_2(z, t) = \varphi_{32} t \exp(-\mu_2(-c - z)). \quad (4)$$

Следовательно, формулы (1)–(4) позволяют рассчитать интегральный нейтронный поток по толщине слоев трехслойной пластины. Принимается, что материалы слоев пластины в процессе деформирования проявляют упругие свойства. Для описания их деформирования используются следующие физические уравнения состояния, учитывающие радиационное изменение объема (1):

$$s_\alpha^{(k)} = 2G_k \varepsilon_\alpha^{(k)}, \quad s_{rz}^{(3)} = 2G_3 \varepsilon_{rz}^{(3)},$$

$$\sigma^{(k)} = K_k (3\varepsilon^{(k)} - B_k I_k) \quad (k = 1, 2, 3; \alpha = r, \varphi).$$

где  $s_\alpha^{(k)}, \varepsilon_\alpha^{(k)}$  – девиаторные,  $\sigma^{(k)}, \varepsilon^{(k)}$  – шаровые части тензоров напряжений и деформаций;  $G_k, K_k$  – модули сдвига и объемного деформирования.

*Численные результаты* получены для круговой трехслойной несимметричной по толщине пластины, слои которой набраны из материалов Д16Т–фторопласт–4–Д16Т. Они показали, что при прохождении через пластину со слоями  $h_1 = 0,01$ ;  $h_2 = 0,06$ ;  $h_3 = 0,4$  интегральный нейтронный поток уменьшается примерно в 3 раза за время  $t = 3600$  с. При воздействии нейтронного облучения происходит увеличение объемной деформации в каждом слое, при этом верхний слой облучается потоком большей интенсивности, что вызывает прогиб, направленный вверх. Усиление интенсивности потока на порядок вызывает подобное увеличение прогиба и деформации. Нейтронное облучение не оказывает влияния на сдвиги в заполнителе.

**Заключение.** Полученные формулы позволяют рассчитать изменение величины интегрального нейтронного потока при прохождении через трехслойную пластину любой конфигурации и вычислять перемещения в пластине.

*Работа выполнена в рамках гранта Президента РБ в науке на 2021 год.*

#### Список литературы

- 1 Журавков, М. А. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 540 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Трехслойные стержни в терморadiационных полях / Э. И. Старовойтов, М. А. Журавков, Д. В. Леоненко. – Минск : Бел. наука, 2017. – 275 с.

3 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных физически нелинейных стержней / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Л. Н. Рабинский. – М. : Изд-во МАИ, 2016. – 184 с.

4 Starovoirov, É. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / É. I. Starovoirov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Strength of materials. – 2002. – Vol. 34, no. 5. – P. 474–481.

5 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых композитных пластин на упругом основании под действием локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика композитных материалов. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 943–954.

6 Starovoirov, E. I. Resonance vibrations of circular composite plates on an elastic foundation / E. I. Starovoirov, D. V. Leonenko, D. V. Tarlakovsky // Mechanics of Composite Materials. – 2015. – Vol. 51, no. 5. – P. 561–570.

7 Gorshkov, A. G. Harmonic Vibrations of a Viscoelastoplastic Sandwich Cylindrical Shell / A. G. Gorshkov, É. I. Starovoirov, A. V. Yarovaya // International applied mechanics. – 2001. – Vol. 37, no. 9. – P. 1196–1203.

8 Fedotenkov, G. V. Identification of non-stationary load upon Timoshenko beam / G. V. Fedotenkov, D. V. Tarlakovsky, Y. A. Vahterova // Lobachevskii journal of mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 4. – P. 439–447.

9 Нестерович, А. В. Напряженное состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – № 12. – С. 152–157.

10 Захарчук, Ю. В. Деформирование круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // Проблемы физики, математики и техники. – 2017. – Т. 33, № 4. – С. 53–57.

11 Козел, А. Г. Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – № 11. – С. 127–133.

12 Moskvitin, V. V. Deformation and variable loading of two-layer metal-polymer plates / V. V. Moskvitin, E. I. Starovoirov // Mechanics of Composite Materials. – 1985. – Vol. 21, no. 3. – P. 267–273.

13 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойной круговой цилиндрической оболочки в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Д. В. Тарлаковский // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2016. – № 1. – С. 91–97.

14 Старовойтов, Э. И. Термосиловое нагружение трехслойных пологих оболочек / Э. И. Старовойтов // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1989. – № 5. – С. 114–119.

15 Ильюшин, А. А. Упругопластические деформации полых цилиндров / А. А. Ильюшин, П. М. Огибалов. – М. : Изд-во МГУ, 1960. – 224 с.

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

*Московский авиационный институт (Технический университет), Российская Федерация*

Общие подходы к исследованию напряженно-деформированного состояния слоистых элементов конструкций при динамических нагрузках разработаны в монографиях [1–3]. Колебания трехслойных пластин исследовались в [4–6]. Нестационарное нагружение трехслойных оболочек изучалось в работе [7–10]. Статьи [11–16] посвящены исследованию квазистатического деформирования трехслойных пластин и оболочек.

Здесь рассматриваются собственные колебания упругой трехслойной круговой пластины, обусловленные воздействием нестационарного температурного поля. Постановка задачи и ее решение проводится в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$ . Для тонких внешних несущих слоев принимаются гипотезы Кирхгофа, для толстого легкого наполнителя справедлива гипотеза Тимошенко. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы.

Физические соотношения для материалов слоев учитывают воздействие стационарного температурного поля  $T(t)$ :

$$s_{\alpha\beta}^k = 2G_k^* \varepsilon_{\alpha\beta}^k, \quad \sigma^k = 3K_k (\varepsilon^k - \alpha_k T),$$

где  $G_k(T_k), K_k(T_k)$  – температурно-зависимые модули сдвига и объемного деформирования.

Система уравнений пластины следует из вариационного принципа Лагранжа с учетом сил инерции:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w, r) &= 0, & L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w, r) &= 0, \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w, r) - M_0 \ddot{w} &= 0, \end{aligned}$$

где  $L_2, L_3$  – линейные дифференциальные операторы,

$$L_2(g) \equiv \left( \frac{1}{r}(rg) \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r}(rL_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

Для описания прогиба рассматриваемой пластины, закрепленной по контуру, при поперечных колебаниях вводится система собственных ортонормированных функций  $v_n \equiv v(\beta_n, r)$ :

$$v_n \equiv \frac{1}{d_n} \left[ J_0(\beta_n r) - \frac{J_0(\beta_n r_1)}{I_0(\beta_n r_1)} I_0(\beta_n r) \right],$$

где  $\beta_n$  – собственные числа,  $d_n$  – нормировочные коэффициенты.

Решение дифференциальных уравнений собственных колебаний будет

$$u(r, t) = b_1 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n T_n(t), \quad \psi(r, t) = b_2 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n T_n(t), \quad w(r, t) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n T_n(t),$$

где система функций  $\varphi_n(r)$ , функции времени  $T_n(t)$  и температурный момент  $M_t$  следующие:

$$\varphi_n(\lambda_n, r) = \frac{\lambda_n}{d_n} \left[ J_1(\beta_n r_1) r - J_1(\beta_n r) + \frac{J_0(\beta_n r_1)}{I_0(\beta_n r_1)} (I_1(\beta_n r_1) r - I_1(\beta_n r)) \right],$$

$$T_n(t) = A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) - \frac{r_1^2 I(\beta_n)}{2(a_7 + a_8) \omega_n} \int_0^t \ddot{M}_t(\tau) \sin[\omega_n(t - \tau)] d\tau,$$

$$M_t = \sum_{k=1}^3 M_{kt} = 3 \sum_{k=1}^3 \alpha_{0k} K_k \int_{h_k} T z dz.$$

Численные результаты для пластины единичного радиуса ( $r_0 = 1$ ), заземленной по контуру, получены в случае материалов слоев Д16-Г–фторопласт-4–Д16-Г. Зависимости характеристик материалов слоев от температуры описывались формулой Белла. Предполагалось, что вся пластина прогревается равномерно до заданной температуры. Наблюдалось, что нагревание пластины на 100 °С приводит к уменьшению частот на 3,6 %, при нагревании на 200 °С – уменьшение 7 %.

**Выводы.** Предложенная механико-математическая модель позволяет учитывать влияние температурного поля на динамические характеристики свободных колебаний трехслойных упругих круговых пластин. Численные результаты показали, что собственные числа и частоты колебаний при стационарном температурном поле слабо зависят от температуры. Собственные частоты основного тона колебаний существенно зависят от толщины несущих слоев, увеличиваясь вместе с их ростом. При увеличении толщины заполнителя эти частоты слабо убывают.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т20Р-047).*

#### Список литературы

- 1 Журавков, М. А. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 540 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Трехслойные стержни в терморadiационных полях / Э. И. Старовойтов, М. А. Журавков, Д. В. Леоненко. – Минск : Бел. наука, 2017. – 275 с.
- 3 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных физически нелинейных стержней / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Л. Н. Рабинский. – М. : Изд-во МАИ, 2016. – 184 с.
- 4 Starovoitov, É. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / É. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, A. V. Yaroyaya // Strength of materials. – 2002. – Vol. 34, no. 5. – P. 474–481.
- 5 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых композитных пластин на упругом основании под действием локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, М. А. Журавков, Д. В. Леоненко // Механика композитных материалов. – 2016. – Т. 52. – № 5. – С. 943–954.
- 6 Starovoitov, E. I. Resonance vibrations of circular composite plates on an elastic foundation / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, D. V. Tarlakovsky // Mechanics of Composite Materials. – 2015. – Vol. 51, no. 5. – P. 561–570.
- 7 Gorshkov, A. G. Harmonic Vibrations of a Viscoelastoplastic Sandwich Cylindrical Shell / A. G. Gorshkov, É. I. Starovoitov, A. V. Yaroyaya // International applied mechanics. – 2001. – Vol. 37, no. 9. – P. 1196–1203.
- 8 Fedotenkov, G. V. Identification of non-stationary load upon Timoshenko beam / G. V. Fedotenkov, D. V. Tarlakovsky, Y. A. Vahterova // Lobachevskii journal of mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 4. – P. 439–447.
- 9 Вестяк, В. А. Распространение нестационарных объемных возмущений в упругой полуплоскости / В. А. Вестяк, А. С. Садков, Д. В. Тарлаковский // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2011. – № 2. – С. 130–140.
- 10 Старовойтов, Э. И. Исследование решения системы интегро-дифференциальных уравнений, описывающей колебания трехслойной вязкоупругой оболочки / Э. И. Старовойтов, С. А. Воробьев // Известия академии наук Белорусской ССР. Серия Физико-математические науки. – 1990. – № 1. – С. 19–24.

- 11 **Нестерович, А. В.** Напряженное состояние круговой трехслойной пластины при осесимметричном нагружении в своей плоскости / А. В. Нестерович // *Механика. Исследования и инновации.* – 2019. – Вып. 12. – С. 152–157.
- 12 **Захарчук, Ю. В.** Деформирование круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / Ю. В. Захарчук // *Проблемы физики, математики и техники.* – 2017. – Т. 33, № 4. – С. 53–57.
- 13 **Козел, А. Г.** Уравнения равновесия упругопластической круговой пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // *Механика. Исследования и инновации.* – 2018. – № 11. – С. 127–133.
- 14 **Moskvitin, V. V.** Deformation and variable loading of two-layer metal-polymer plates / V. V. Moskvitin, E. I. Starovoitov // *Mechanics of Composite Materials.* – 1985. – Vol. 21, no. 3. – P. 267–273.
- 15 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование трехслойной круговой цилиндрической оболочки в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, Д. В. Тарлаковский // *Проблемы машиностроения и автоматизации.* – 2016. – № 1. – С. 91–97.
- 16 **Старовойтов, Э. И.** Термосиловое нагружение трехслойных пологих оболочек / Э. И. Старовойтов // *Известия АН СССР. Механика твердого тела.* – 1989. – № 5. – С. 114–119.

УДК 539.37

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОДАТЛИВОЙ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ СДВИГ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КУСОЧНО-РАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКИ

*Е. А. СТОРОЖУК*

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

Рассмотрим незамкнутую бесконечно длинную пологую цилиндрическую оболочку радиуса  $R$  и толщины  $h$  с шарнирно закрепленными продольными краями, изготовленную из трансверсально-изотропного материала (рисунок 1). Отнесем оболочку к криволинейной ортогональной системе координат  $(x, y, z)$  с началом в вершине поперечного сечения, где  $x, y, z$  – длины образующей, направляющей и нормали к срединной поверхности оболочки. Предполагаем, что оболочка имеет постоянные жесткостные характеристики и находится под действием симметричной относительно вершины нормальной поверхностной нагрузки интенсивности  $q$ , которая равномерно распределена по бесконечно длинной полосе шириной  $2a$  и приложена со стороны выпуклости оболочки.

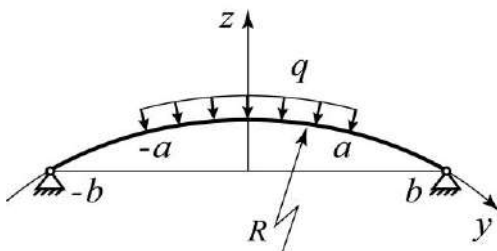


Рисунок 1 – Цилиндрическая панель под действием кусочно-равномерной нормальной нагрузки

При исследовании напряженно-деформированного состояния данного класса цилиндрических оболочек используем уравнения геометрически нелинейной теории пологих оболочек в квадратичном приближении, которая базируется на гипотезе прямой линии (учитываются деформации поперечного сдвига). В этом случае для геометрических соотношений имеем выражения:

$$\varepsilon = \frac{du}{dy} + kw + \frac{1}{2} \left( \frac{dw}{dy} \right)^2; \quad \mu = \frac{d\vartheta}{dy}; \quad \gamma = \vartheta + \frac{dw}{dy}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon, \mu, \gamma$  – компоненты деформации оболочки;  $u, w$  – тангенциальное перемещение и прогиб точек срединной поверхности оболочки;  $\vartheta$  – угол поворота нормали;  $k = 1/R$  – кривизна цилиндра.

Связь внутренних усилий ( $N, Q$ ) и момента ( $M$ ) с компонентами деформации оболочки записываем согласно закону Гука:

$$N = D_N \varepsilon; \quad D_N = \frac{Eh}{1-\nu^2}; \quad Q = D_Q \gamma; \quad D_Q = m G_{yz} h; \quad M = D_M \mu; \quad D_M = D_N h^2 / 12. \quad (2)$$

В соотношениях (2) обозначено:  $E, \nu$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала оболочки в плоскости изотропии;  $G_{yz}$  – модуль сдвига в плоскости поперечного сечения;  $m$  – коэффициент, который зависит от характера распределения сдвига по толщине.

Уравнения равновесия имеют следующий вид:

$$\frac{dN}{dy} = 0; \quad \frac{d}{dy} \left( Q + N \frac{dw}{dy} \right) - kN + q_z = 0; \quad \frac{dM}{dy} - Q = 0, \quad (3)$$

где  $q_z$  – нормальная составляющая поверхностной нагрузки.

Из первого уравнения системы (3) следует, что тангенциальное усилие не изменяется вдоль направляющей:  $N = C_0 = \text{const}$ .

Введем безразмерные величины:

$$\eta = \frac{y}{b}; \quad \xi = \frac{a}{b}; \quad \tilde{w} = \frac{w}{kb^2}; \quad \tilde{u} = \frac{u}{k^2b^3}; \quad \tilde{\vartheta} = \frac{\vartheta}{kb}; \quad \tilde{k} = \frac{kb^2}{h}; \quad \tilde{q} = \frac{qb^2}{kD_M}; \quad \beta = \frac{D_M}{D_Qb^2}; \quad \tilde{N} = \frac{Nb^2}{D_M} < 0. \quad (4)$$

Учитывая, что действующая нагрузка  $q_z$  является кусочно-равномерной, представим ее с помощью функции Хевисайда  $H(\eta \pm \xi)$ :

$$\tilde{q}_z = -\tilde{q} [H(\eta + \xi) - H(\eta - \xi)]. \quad (5)$$

На основании (1)–(3) при условии  $-\beta^{-1} < \tilde{N} < 0$  получено разрешающее уравнение:

$$\frac{d^4 \tilde{w}}{d\eta^4} + \lambda^2 \frac{d^2 \tilde{w}}{d\eta^2} = \lambda^2 + \tilde{q}(1 + \beta\lambda^2) \left\{ \beta \frac{d}{d\eta} [\delta(\eta + \xi) - \delta(\eta - \xi)] - H(\eta + \xi) + H(\eta - \xi) \right\}, \quad (6)$$

где  $\lambda^2 = -\tilde{N}/(1 + \beta\tilde{N})$ ;  $\delta(\eta \pm \xi)$  – дельта-функция Дирака.

Уравнение (6) является линейным дифференциальным уравнением четвертого порядка с постоянными коэффициентами. Решение этого уравнения, удовлетворяющее условиям шарнирного закрепления на продольных краях панели, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \tilde{w} = & \frac{1}{\tilde{N}} - \frac{\cos \lambda \eta}{\tilde{N} \cos \lambda} + \frac{\eta^2 - 1}{2} + \frac{\tilde{q}}{\tilde{N}^2} \left\{ -\tilde{N} \xi (1 + \eta) - \frac{\sin \lambda \xi \sin \lambda (1 + \eta)}{\cos \lambda} + \right. \\ & \left. + H(\eta + \xi) \left[ 1 - \cos \lambda (\eta + \xi) + 0,5 \tilde{N} (\eta + \xi)^2 \right] - H(\eta - \xi) \left[ 1 - \cos \lambda (\eta - \xi) + 0,5 \tilde{N} (\eta - \xi)^2 \right] \right\}. \quad (7) \end{aligned}$$

Удовлетворяя условию  $\tilde{\Delta} = \tilde{u}(1) - \tilde{u}(-1) = 0$ , получим зависимость между безразмерными параметрами нагрузки и тангенциального усилия в виде квадратного уравнения относительно  $\tilde{q}$

$$A\tilde{q}^2 + B\tilde{q} + C = 0. \quad (8)$$

На рисунке 2 приведена зависимость прогиба в вершине панели от нагрузки для оболочки со следующими параметрами:  $\tilde{k} = 1,7$ ;  $\xi = 0,5$ ;  $\beta = 0; 0,069; 0,139$ , где  $\beta$  – параметр сдвига.

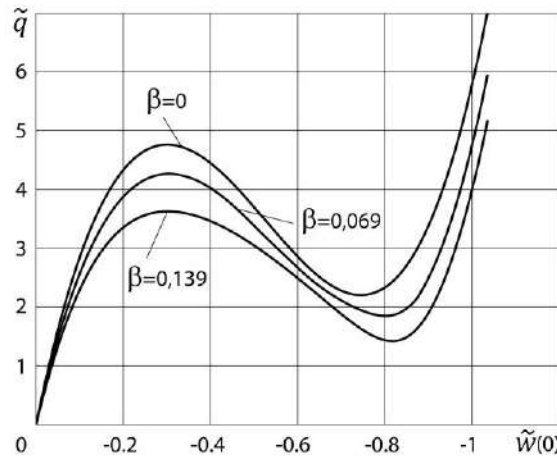


Рисунок 2 – Зависимость прогиба в вершине панели от нагрузки

Из представленных данных следует, что учет деформаций поперечного сдвига приводит к уменьшению верхних и нижних критических нагрузок на 10,5 и 26,6 % для  $\beta = 0,069$ , на 23,8 % и 35,5 % для  $\beta = 0,139$  по сравнению с результатами расчетов для модели Кирхгофа – Лява ( $\beta = 0$ ).

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Состояние геологической среды обуславливается целым рядом техноприродных факторов. Для снижения экономических рисков при ее освоении необходимо изучение процессов, происходящих, например, в зоне влияния различных инженерных сооружений, машин и механизмов, передающих вибродинамические нагрузки.

Влияние такого рода воздействий на изменение свойств грунтов имеет два аспекта изучения. С 30-х годов прошлого столетия их целенаправленно исследовали для улучшения инженерно-геологических условий строительства, например, при уплотнении грунтов в основаниях, погружении свай, шпунтов, оболочек и т. д. В меньшей степени изучено влияние техногенных динамических нагрузок на состояние и изменение свойств грунтов, что в свою очередь может обусловить дополнительные осадки сооружений и даже потерю их устойчивости при снижении сопротивления сдвигу или разжижении грунтов.

В настоящее время единственным национальным нормативным документом, регламентирующим определение динамических свойств грунтов, является технический кодекс установившейся практики «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Фундаменты при вибродинамических воздействиях». В нем в частности говорится о необходимости сбора данных, касающихся физико-механических свойств грунтов для определения их упругих характеристик и оценки возможности возникновения длительных осадок фундаментов в результате действия вибраций.

Термин «динамические свойства грунтов», используемый в специальной литературе, неоднозначен. С одной стороны, динамические свойства грунтов характеризуют их как среду распространения колебаний (упругие, демпфирующие, фильтрующие свойства), а с другой – это различные формы реакции грунтов на динамические нагрузки, т. е. их динамическая неустойчивость, под которой понимают увеличение деформируемости и снижение прочности грунта при динамическом нагружении по сравнению со статическими условиями.

Ранее проводились теоретические исследования физико-механических свойств дисперсных грунтов [1–6]. Экспериментальное определение характеристик устойчивости и пластичности различного вида грунтов отражено в публикациях [7–10].

Статическое зондирование является одним из наиболее эффективных, перспективных и динамично развивающихся полевых экспресс-методов изучения состава, строения, состояния и механических свойств дисперсных грунтов. Этот метод применяют для количественной оценки характеристик физико-механических свойств грунтов (плотности, модуля деформации, угла внутреннего трения и сцепления грунтов и др.). К основным характеристикам относятся: удельные сопротивления грунта под накопником зонда ( $q_c$ , МПа), и на участке боковой поверхности зонда ( $f_s$ , кПа), показатель трения ( $R_f$ , %).

В качестве объекта исследований служили пески различных номенклатурных видов, супеси и суглинки различного генезиса. Величина сопротивлений песка при статическом зондировании зависит от гранулометрического состава, формы и шероховатости поверхности зерен, однородности, плотности и плотности сложения, а также его происхождения.

По нашим данным, для песчаных грунтов величина сопротивления погружению конуса  $q_c$  изменяется в зависимости от генезиса и дисперсности грунтов от 0,8 до 23 МПа. При этом величина показателя трения  $R_f$  изменяется преимущественно от 0,1 до 3,6 %. В пределах одного генетического типа с увеличением крупности песков наблюдается тенденция к увеличению сопротивлений погружению конуса  $q_c$ . Для глинистых грунтов величина сопротивления погружению конуса  $q_c$  составляет 0,7–18,9 МПа, а величина показателя трения  $R_f$ , как правило, больше 0,1 % и достигает 4,3 %. На

прочность супесей, определенную по величине сопротивления погружению конуса  $q_c$ , существенное влияние оказывает наличие в составе и количество песчаных частиц (от тонких до грубых) и даже гравийных (от мелких до средних) в супесях прочных и очень прочных.

Проведено сравнение результатов определения деформационных и прочностных характеристик грунтов методами штамповых испытаний и консолидировано-дренированного плоского среза с результатами исследований статическим зондированием.

С увеличением пластичности глинистых грунтов возрастает общее сопротивление сдвигу и деформируемость, удельное сопротивление по боковой поверхности зонда уменьшается. Для сопротивления погружению конуса зависимость от глинистости не прослеживается.

Отношение значений модулей деформации грунтов, определенных штамповыми испытаниями  $E_{ш}$ , к модулям, определенным по данным зондирования  $E_{зонд}$  для песков мелких и пылеватых находятся близко к единице и не превышает 1,5. Значения модуля деформации супесей, полученные при штамповых испытаниях, превышают значения, полученные при статическом зондировании, в 2,5 раза. Для суглинков значения модулей деформации, полученные при зондировании, могут оказаться больше в два раза.

Следовательно, применение только методов зондирования для определения количественных показателей физико-механических свойств грунтов может привести к грубым ошибкам при прогнозе осадок естественных оснований.

Следует отметить, что полученные механические характеристики грунтов использовались при расчетах композитных элементов конструкций, связанных с упругим основанием [11–13].

#### Список литературы

- 1 Трацевская, Е. Ю. Особенности тектоники территории г. Гомеля в связи с оценкой устойчивости геологической среды / Е. Ю. Трацевская, А. Н. Галкин, И. А. Красовская // *Літасфера*. – 2003. – № 1 (18). – С. 78–85.
- 2 Трацевская, Е. Ю. Закономерности развития суффозионно-просадочных явлений на территории Белоруссии / Е. Ю. Трацевская, А. Н. Галкин // *Инженерная геология массивов лессовых пород : тр. междунар. науч. конф. ; под ред. В. Т. Трофимова, В. А. Королева*. – М. : 2004. – С. 108–109.
- 3 Трацевская, Е. Ю. Особенности формирования техногенного подтопления дисперсных грунтов / Е. Ю. Трацевская // *Природные ресурсы*. – 2008. – № 2. – С. 106–112.
- 4 Трацевская, Е. Ю. Современное динамическое состояние геологической среды г. Гомеля и его влияние на инженерно-геологические условия / Е. Ю. Трацевская, О. К. Абрамович // *Літасфера*. – 2008. – № 2 (29). – С. 129–137.
- 5 Трацевская, Е. Ю. Геологическая опасность развития подтопления грунтов и оценка экономических рисков при ее реализации / Е. Ю. Трацевская // *Природные ресурсы*. – 2009. – № 1. – С. 102–109.
- 6 Трацевская, Е. Ю. Влияние развития техногенного подтопления в дисперсных грунтах на надежность системы «основание – фундамент – здание» / Е. Ю. Трацевская // *Экология урбанизированных территорий*. – 2011. – № 2. – С. 71–76.
- 7 Трацевская, Е. Ю. Динамическая неустойчивость квазитиксотропных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // *Літасфера*. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–111.
- 8 Трацевская, Е. Ю. Характеристики пластичности супесчаных неводонасыщенных грунтов юго-востока Беларуси / Е. Ю. Трацевская // *Літасфера*. – 2018. – № 1 (48). – С. 12–17.
- 9 Трацевская, Е. Ю. Демпфирующие свойства слабосвязных трехфазных грунтов / Е. Ю. Трацевская // *Літасфера*. – 2019. – № 2 (51). – С. 115–121.
- 10 Трацевская, Е. Ю. Экспериментальное исследование параметров автотранспортного вибродинамического воздействия на массивы грунтов / Е. Ю. Трацевская // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт*. – 2020. – № 1 (40). – С. 58–61.
- 11 Старовойтов, Э. И. Колебания круговых композитных пластин на упругом основании под действием локальных нагрузок / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // *Механика композитных материалов*. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 943–954.
- 12 Starovoitov, E. I. Resonance vibrations of circular composite plates on an elastic foundation / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, D. V. Tarlakovsky // *Mechanics of Composite Materials*. – 2015. – Vol. 51, no. 5. – P. 561–570.
- 13 Gorshkov, A. G. Harmonic Vibrations of a Viscoelastoplastic Sandwich Cylindrical Shell / A. G. Gorshkov, É. I. Starovoitov, A. V. Yarovaya // *International applied mechanics*. – 2001. – Vol. 37, no. 9. – P. 1196–1203.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ХИМИЧЕСКИ РЕАГИРУЮЩИХ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ НА ЗАТУПЛЕННЫХ ТЕЛАХ

*О. В. ТУШАВИНА*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Для исследования существенно нелинейной системы уравнений пограничного слоя широко используются различные численные методы. Для нереагирующих пограничных слоев ранее широко использовался метод интегральных соотношений Кармана путем введения толщин вытеснения, по-



тери импульса и энергии. Однако для решения сопряженных задач теплообмена в пограничном слое и теплопроводности в теле, что как раз и необходимо при решении задач аэродинамического нагрева летательных аппаратов, метод интегральных соотношений не годится, так как на границах сопряжения требуется непрерывность не интегральных, а теплогазодинамических характеристик.

Вследствие этого наиболее широкое применение получил метод Дородницына – Лаза, основой которого является сведение систем уравнений в частных производных пограничного слоя к системам обыкновенных дифференциальных уравнений, с помощью которого можно проводить как анализ тепломассопереноса, так и расчет характеристик пограничного слоя – компонентов вектора скорости, плотности, энтальпии, тепловых потоков, концентраций компонентов газодинамической смеси в локально-одномерной (автомодельной) постановке по толщине пограничного слоя. В результате итоговая система обыкновенных дифференциальных уравнений будет также нелинейна, но ее существенно легче анализировать и решать, чем систему уравнений в частных производных. С помощью этих уравнений исследуется течение и теплообмен в критической точке и ее окрестности, где теплообмен максимальный и на пластине, где продольная составляющая градиента давления равна нулю в случае бинарной смеси газов, состоящей из частиц атомов и молекул и т. п.

В данной главе на основе переменных Дородницына – Лаза проводится анализ и вывод формул для определения тепловых потоков к телу от реагирующего сжимаемого градиентного пограничного слоя и температур тела. Приводятся примеры расчетов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-08-00880).*

УДК 536.4.08

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН В ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЛАСТЯХ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ**

*В. Ф. ФОРМАЛЕВ, С. А. КОЛЕСНИК, Е. Л. КУЗНЕЦОВА  
Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

При волновом теплопереносе закон теплопроводности отличается от классического градиентного закона Фурье дополнительным слагаемым, которое равно произведению времени релаксации на скорость изменения теплового потока. Этот закон теплопроводности называют законом Вернотта – Каттанео – Лыкова [1]. Необходимо отметить, что время релаксации является достаточно малой величиной, и для того чтобы это дополнительное слагаемое имело достаточный порядок, необходимы очень высокие скорости нагрева. Поэтому моделирование волнового теплопереноса имеет смысл при высокоинтенсивном импульсном нагреве, например высокомошными лазерами. Уравнение теплопроводности на основе этого закона является уравнением гиперболического типа, в отличие от классического уравнения теплопроводности на основе закона Фурье, где уравнение параболического типа [1].

Сложность решения задач волнового теплопереноса на основе уравнения теплопроводности гиперболического типа заключается в возникновении подвижных по пространству и времени фронтов, на которых наблюдаются разрывы температурных профилей и тепловых потоков, причем амплитуды этих разрывов уменьшаются со временем за счет диссипации энергии.

Если тело полубесконечное, то в нем возникают бегущие тепловые волны с уменьшающимися амплитудами разрывов. Такие явления рассматривались в работах Карташова Э. М. [3], Формалева В. Ф., Колесника С. А. и др. [4–6].

В этих работах описано математическое моделирование бегущих тепловых волн в полубесконечных средах. Однако волновой теплоперенос в ограниченных средах не рассматривался, поскольку отражение тепловых волн от противоположной границы существенно отличается от отражения механических волн. Тепловая волна, достигнув противоположной *теплоизолированной* границы полностью поглощается ею с повышением температуры, а затем от противоположной границы идет обратная тепловая волна, которая складывается с другой тепловой волной, идущей от левой границы к правой границе.

В работе с помощью аналитического решения моделируется волновой теплоперенос на основе анализа динамики изолированной тепловой волны. Изолированная тепловая волна возникает под действием теплового импульса, действующего в течение короткого времени, и продвигается по холодной области. В отличие от непрерывного теплового процесса в неравновесном состоянии, когда возникает

подвижной фронт бегущей тепловой волны в полубесконечном теле, тепловая волна имеет два фронта – передний и задний, между которыми наблюдается распределение температур по пространственной переменной, причем на этих фронтах наблюдаются разрывы первого рода температурного распределения с уменьшающейся амплитудой за счет диссипации тепловой энергии.

Установлен механизм отражения тепловой волны от границ тела, получены вторичные волны при отражении от правой границы, а затем вторичной волны – от левой границы к правой и т.д. При этом носители изолированных тепловых волн по пространственной переменной не изменяются, а амплитуды температур передних и задних фронтов изолированных волн подвержены разрывам первого рода.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-01-00523 А.*

#### Список литературы

- 1 **Соболев, С. Л.** Процессы переноса и бегущие волны в условиях локально-неравновесных систем / С. Л. Соболев // Успехи физических наук. – 1991. – Т. 161, № 3. – С. 5–16.
- 2 **Шашков, А. Г.** Волновые явления теплопроводности / А. Г. Шашков, А. В. Бубнов, С. Ю. Яновский. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.
- 3 **Карташов, Э. М.** Математическое моделирование теплопроводности с двухфазным запаздыванием / Э. М. Карташов // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 89, № 2. – С. 338.
- 4 **Колесник, С. А.** Идентификация компонентов тензора теплопроводности анизотропных композиционных материалов / С. А. Колесник // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18, № 1. – С. 111–120.
- 5 **Формалев, В. Ф.** Математическое моделирование аэрогазодинамического нагрева затупленных анизотропных тел / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник. – М. : Изд-во МАИ, 2016. – 160 с.
- 6 **Формалев, В. Ф.** Методика, алгоритм и программный комплекс по определению теплового состояния охлаждаемых микро ракетных двигателей / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Труды МАИ. – 2014. – № 78.

УДК 378.016:614.8

## ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК КОМПЕТЕНЦИИ БУДУЩЕГО СПЕЦИАЛИСТА ПОСРЕДСТВОМ ДИСЦИПЛИН ХИМИЧЕСКОГО БЛОКА

*Л. В. ЧЕРНЫШЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Особенности современного мира, такие как усиление потоков академического обмена студентами и магистрантами; создание большого количества межгосударственных компаний; возможность получения услуг здравоохранения в других странах; возрастание количества туристических поездок населения всех стран и доступность туристических услуг – всё это способствует увеличению объема и протяженности поездок населения стран. Все большее количество людей становится участниками железнодорожных поездок и авиаперелетов.

Государство и администрации вокзалов, аэропортов делают всё возможное, чтобы предупредить возникновение опасных для жизни ситуаций для пассажиров. На железнодорожном вокзале, станциях и в электропоездах регулярно по громкоговорителю передаются предупреждения Белорусской железной дороги о том, что нужно соблюдать максимальную бдительность, находясь вблизи путей. Но ежегодно продолжает возрастать количество случаев, приводящих к увечьям, травмам и нередко к смерти людей на вокзалах, в поездках [2].

Поэтому одной из важнейших задач для железнодорожного транспорта являлась и остается задача создания эффективной организационно-технической системы обеспечения требуемого уровня защищенности объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта от актов незаконного вмешательства, снижение рисков совершения противоправных действий в отношении участников и минимизация возможных ущербов (экономического, физического и т. д.) [1].

В связи с этим специалисты, работающие на железнодорожном транспорте, должны обладать не только высоким уровнем специальной подготовки, но и обладать достаточным уровнем компетенций в области безопасности жизнедеятельности.

Безопасность жизнедеятельности на железнодорожном транспорте как компетенция специалиста представляет собой интегративное качество личности. Становление данной компетенции позво-

ляет специалисту в будущем решать вопросы выявления и предотвращения различных видов рисков и опасностей на транспорте, вокзалах, на железнодорожных путях и т. д.

Безопасность жизнедеятельности представляет собой и динамичное образование личности, своевременно и адекватно реагирующей на меняющиеся опасности и угрозы в процессе своей деятельности на транспорте, обуславливающее формирование основных понятий об опасных и чрезвычайных ситуациях, сознательного и ответственного отношения специалиста и к личной безопасности, и к безопасности пассажиров, а также приобретение способности грамотно и адекватно реагировать в нестандартных ситуациях с учетом сложившихся условий и материальных средств.

Безопасность жизнедеятельности на железнодорожном транспорте как компетенция специалиста включает следующие интегральные характеристики личности [3]:

- когнитивные, представляющие собой позитивное мышление, предусматривающее целостное видение безопасности жизнедеятельности на транспорте с осознанием приоритетности в соблюдении правил и понимания необходимости предотвращения рисков, способных нанести вред (ущерб) интересам или здоровью пассажиров;

- диспозиционные характеристики, важнейшими из которых являются устойчивая направленность личности специалиста на уважительное отношение к собственной безопасности и безопасности других людей; психологическая устойчивость в условиях опасности или угрозы, возникающих на дороге;

- асептивные характеристики – это умения и навыки обеспечения безопасной жизнедеятельности; готовность к упреждающим действиям по предотвращению рисков и угроз.

Осознавая важность становления компетенции безопасности жизнедеятельности у студентов, мы, преподаватели дисциплин химического профиля на младших курсах БелГУТа, считаем, что особое значение в организации учебно-воспитательного процесса приобретает использование принципов наглядности, системности и принципа межпредметных связей.

Принцип межпредметных связей предполагает согласованное изучение теорий, законов, понятий, общих для родственных предметов, формирования общенаучных приемов мышления с другими дисциплинами. При изучении дисциплин химического блока студентами мы широко используем теоретические понятия, законы и знания из других дисциплин, таких как Основы экологии, Методы исследования строительных материалов, Отраслевая экология, Рациональное использование водных ресурсов, Водопроводные сети, Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций, Нефтепродуктообеспечение и другие.

Внедрение принципа межпредметных связей привело к использованию в нашей работе расчетных и творческих задач и упражнений химико-экологического типа и с природоохранным содержанием. Задачи и упражнения химико-экологического характера знакомят студентов с отрицательным воздействием химических соединений, затрагивают особенности воздействия на организм человека различных веществ в зависимости от их концентрации, строения, свойств, форм поступления в организм, рассматривают биохимические процессы в организме и влияние различных факторов окружающей среды на их течение [4]. Содержание указанных заданий соответствует основным темам курса химии: химическая термодинамика, химическая кинетика, теория растворов, коллоидная химия, основы аналитической химии.

Задачи с природоохранным содержанием обсуждают вопросы регулирования состояния окружающей среды, изыскания и разработки мер по преодолению или предупреждению негативных последствий антропогенного воздействия.

Реализация принципов наглядности и системности в учебном процессе позволила нам определить направление лабораторных работ по дисциплинам химического профиля. А именно при организации практикума наиболее пристальное внимание нами уделяется:

- формированию умения у студентов анализировать лабораторные задания-ситуации и переходить к соответствующим химико-математическим, химико-экологическим понятиям и моделям;

- становлению навыков у студентов к интерпретации результатов своей деятельности и на основе их уметь выбирать рациональный способ решения;

- развитию навыков работы с различными источниками информации: уметь классифицировать, систематизировать любые объемы информации, выбирая главное, отбрасывая второстепенное.

Принцип системности предполагает повышение общенаучной химической подготовки будущих специалистов, в частности через дисциплины химического блока, а именно:

- через знание химических основ биохимических, химико-экологических процессов;
- владение химическими методами диагностики;
- представление о химических аспектах жизнедеятельности человека;
- знание о влиянии химических, химико-биологических, химико-экологических процессов на состояние здоровья.

При общении со студентами мы говорим о ценности знаний, на конкретных примерах показываем, как важны профессионализм и компетентность. Считаем, что студенты должны получить от нас, педагогов, неискаженную шкалу ценностей своей будущей профессии. Считаем, что именно такой подход к преподаванию дисциплин химического блока в БелГУТе будет способствовать подготовке грамотных и образованных специалистов в своей области.

#### Список литературы

- 1 Гапанович, В. А. Обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-bezopasnosti-na-zheleznodorozhnom-transporte>. – Дата доступа : 26.09.2021.
- 2 О профилактике травматизма на объектах железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://minsk.rw.by/smezhnje\\_strukturi/prokuratura/o-profilaktike-travmatizma/](https://minsk.rw.by/smezhnje_strukturi/prokuratura/o-profilaktike-travmatizma/). – Дата доступа : 26.09.2021.
- 3 Пугачева, Н. Б. Технология формирования личной безопасности студентов технического вуза на основе компетентностного подхода / Н. Б. Пугачева, О. В. Писарь // Вестник НЦ БЖД. – 2010. – № 1(3). – С. 36–44.
- 4 Чернышева, Л. В. Задачи с экологическим содержанием в курсе общей химии / Л. В. Чернышева // Медицинское образование XXI века : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф. – Витебск : ВГМУ, 2006. – С. 144–145.

УДК 531.1.09

### ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ОРЕБРЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ, НАГРУЖЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СИЛАМИ

*ЧЖО ЙЕ КО, Ю. О. СОЛЯЕВ, А. В. БАБАЙЦЕВ*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Подкрепленные жесткие панели, обладающие такими преимуществами, как высокая удельная прочность и жесткость, широко используются в авиации, аэрокосмической, автомобильной и других областях. Одним из вариантов выбора подкрепления панели является топологическая оптимизация. Оптимизированная конструкция жестких панелей привлекает широкое внимание, направленное на повышение жесткости конструкции и в то же время снижение массы.

Рассмотрена задача выбора оптимальной геометрии подкрепляющих элементов для квадратных плоских панелей с геометрией 300×300 мм, нагруженных сосредоточенными силами и закрепленных в угловых точках. Расчеты реализованы для решений задачи оптимизации 5 вариантов подкреплений, используя метод движущихся асимптот (Method of Moving Asymptotes-ММА) в системе Comsol Multiphysics. При моделировании панели использовались двумерные элементы типа Shell. Задача топологической оптимизации состояла в том, чтобы выбрать оптимальное расположение и форму ребер жесткости. При решении использовалась модель пластины типа Миндлина – Рейсснера в линейно упругой постановке. Для полученных решений (геометрия панели) проводится проверка в рамках трехмерного моделирования соответствующей статической задачи. Результаты решения сравниваются с результатами трехмерного моделирования соответствующей геометрии панели, полученными в результате решения задачи топологической оптимизации. В результате было получено, что для стандартных соотношений толщины облицовки и высоты армирующих элементов явный учет деформаций поперечного сжатия при решении задачи топологической оптимизации необходим для получения корректных решений (по крайней мере, в части оценки прогибов панели).

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда 17-79-20105.*

## ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТРАНСПОРТИРОВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПНЕВМОТРУБОК

ШЕРИФ ААМЕР

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Безопасная транспортировка товаров по трубам и туннельным системам, а также краткое изложение технологий с точки зрения машиностроения и изучения возможностей их реализации для удовлетворения высокого спроса на быструю и надежную транспортную систему, особенно в больших городах. Такая новая система может обеспечить и предложить множество преимуществ для окружающей среды и безопасности, таких как уменьшение количества пробок, аварий и загрязнения воздуха. Основание пневмопочты пневматики – это адаптированный метод для транспортировки товаров, людей и различных грузов по трубе или туннелю. Развитие этих подходов обсуждается в этой статье.

Пневматические воздуховоды: система пневматических воздуховодов использует разницу давлений между торцевыми сторонами трубы. Такие перепады давления создаются нагнетательным насосом, и носитель, содержащий товары или другие предметы, может перемещаться через него, когда на направляющей присутствует воздух. Vance and Mattson [2] в широком смысле определяют его как класс транспортной системы для пассажиров или грузов, при которой капсулы перемещаются по непрерывным трубам между терминалами.

Транспортировка грузов в капсулах. Многие исследователи отмечают, что перемещение грузов внутри городов имеет решающее значение для их существования. Тем не менее, это все еще остается проблемой, которой в значительной степени не уделяется должного внимания. С другой стороны, пневматический капсульный трубопровод (ПКТ) – это метод, при котором воздух продувается по трубопроводу для транспортировки или транспортировки грузов в движущихся капсульных контейнерах или колесных транспортных средствах по трубопроводам [4]. Все современные системы ПКТ, такие как те, которые использовались в бывшем Советском Союзе для транспортировки породы, и те, которые используются в Японии, используют колесные капсулы, катящиеся по трубопроводу [1]. Было высказано предположение, что для того, чтобы капсулы сохраняли устойчивость в круглой трубе, в капсулах должны использоваться карданные колеса в сборе [3]. В то время как прямоугольные или квадратные капсулы в прямоугольном или квадратном канале могут использовать обычные колеса транспортного средства с четырьмя большими нижними колесами на дне и четырьмя маленькими направляющими колесами по бокам каждой капсулы. Чтобы уменьшить количество цепей, которые необходимо вводить в трубу, несколько капсул должны быть соединены вместе, чтобы образовать цепочку.

Все системы ПКТ используют нагнетательный насос для продувки воздухом по трубам, движущийся воздух, в свою очередь, перемещает капсулы по трубе. Есть две причины низкого заполнения линии и низкой пропускной способности. Первая – это использование вентиляторов, которые блокируют проход капсул, вторая причина – линейная загрузка/выгрузка. Идея с городскими перевозками, такая как система, которая могла бы транспортировать товары в любое место в любой момент времени, могла бы точно установить время доставки и никогда не задерживаться, а самое главное, что все это делается без чьего-либо уведомления.

Использование ПКТ, расширенного для подземных грузовых перевозок, может дать много преимуществ для окружающей среды и безопасности. Эта система уменьшит заторы, аварии, загрязнение воздуха, шумовое загрязнение и повреждение дорог и мостов по сравнению с существующей традиционной транспортной системой. Эта система может представлять собой лучшую новую технологию для будущих перевозок грузов для решения транспортных проблем в больших городах.

### Список литературы

- 1 **Kosugi, S.** Pneumatic capsule pipelines in Japan and future developments. Handbook of Powder Technology / S. Kosugi. – 2001. – Dec 31; 10:505-11.
- 2 **Vance, L.** Tube Transportation / L. Vance, P. Mattson // US Dept. of Transportation, Volpe National Transportation Systems Centre. – Feb. 1994.
- 3 **Newton, R.** Numerical analysis of some variables determining free flow / R. Newton, P. J. Redberger, G. F. Rounde // Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1963; 42:168–73.
- 4 Health Technical Memorandum, 2009 (March 2013). – London : HMSO, 2013.

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ С УЧЕТОМ НЕПОЛНОГО ОПИРАНИЯ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ

А. В. ЯРОВАЯ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В транспортном машиностроении и строительстве широко используются трехслойные панели, которые опираются на упругое основание. В некоторых случаях возможны зазоры между конструкцией и основанием, возникающие из-за техногенных условий в зоне строительства или природных факторов. При этом расчетная схема конструкции и ее напряженно-деформированное состояние меняются, что может привести к выходу панели из строя. Ранее были рассмотрены трехслойные стержни и пластины под действием равномерно распределенных [1] и линейных [2] нагрузок. Колебания трехслойной круговой пластины на упругом основании, вызванные параболической нагрузкой, исследованы в [3].

Рассматривается прямоугольная трехслойная пластина (рисунок 1) длиной  $l$ , шириной  $b_0$  и высотой  $h$ . Система координат  $x, y, z$  связана со срединной плоскостью заполнителя. По длине пластины выделяются три участка I ( $0 \leq x \leq x_1$ ), II ( $x_1 \leq x \leq x_2$ ), III ( $x_2 \leq x \leq l$ ).

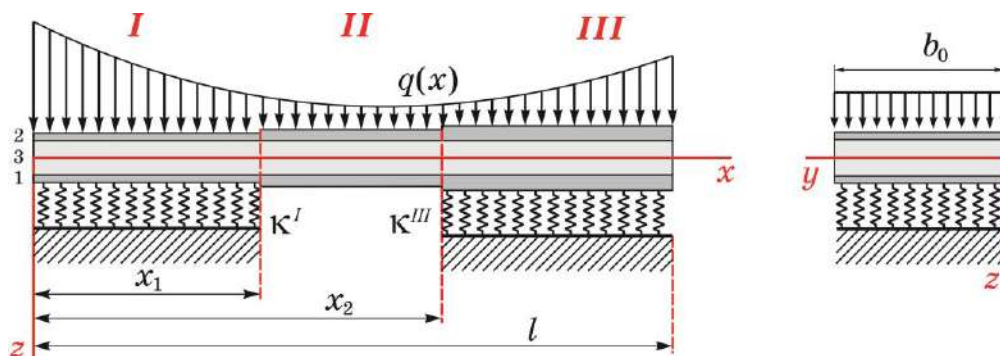


Рисунок 1 – Расчетная схема прямоугольной трехслойной пластины

На верхний внешний слой пластины действует нагрузка, изменяющаяся по закону

$$q(x) = q_0 (a_0 x^2 + b_0 x + c_0), \quad (1)$$

где  $q_0, a_0, b_0, c_0$  – константы.

Два крайних участка I и III связаны с упругим основанием Винклера, через  $\kappa^{(n)}$  обозначен коэффициент жесткости упругого основания на  $n$ -м участке. Слои считаются несжимаемыми по толщине. Деформации малы. Материалы слоев проявляют упругие свойства, для них справедлив закон Гука.

Для описания кинематики трехслойного пакета используется гипотеза «ломаной» линии: прямая до деформирования нормаль при изгибе становится ломаной; в несущих слоях нормаль остается перпендикулярной к деформированной оси стержня; в заполнителе за счет сдвига она поворачивается на дополнительный угол.

В качестве искомых величин принимаются функции  $w^{(n)}(x)$ ,  $u^{(n)}(x)$  – прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя, а также  $\psi^{(n)}(x)$  – угол поворота нормали в заполнителе за счет сдвига (угол сдвига) на  $n$ -м участке ( $n = I, II, III$ ). В точках сопряжения участков соблюдаются условия непрерывности перемещений.

С помощью принципа возможных перемещений Лагранжа получены системы уравнений равновесия для трех участков:

$$\begin{aligned} a_1^{(n)} u^{(n)}{}_{,xx} + a_6^{(n)} \psi^{(n)}{}_{,xx} - a_7^{(n)} w^{(n)}{}_{,xxx} &= 0, \\ a_6^{(n)} u^{(n)}{}_{,xx} + a_2^{(n)} \psi^{(n)}{}_{,xx} - a_3^{(n)} w^{(n)}{}_{,xxx} - a_5^{(n)} \psi^{(n)} &= 0, \end{aligned}$$

$$a_7^{(n)} u^{(n)},_{xxx} + a_3^{(n)} \psi^{(n)},_{xxx} - a_4^{(n)} w^{(n)},_{xxx} - \kappa^{(n)} w^{(n)} = -q^{(n)}, \quad (2)$$

где  $a_1^{(n)}, \dots, a_7^{(n)}$  – параметры, характеризующие геометрические и упругие свойства слоев.

При этом для участка II, не связанного с упругим основанием, в третьем уравнении слагаемое  $\kappa^{(n)} w^{(n)} = 0$ .

Соотношения для сдвига в заполнителе, прогиба и продольного перемещения срединной плоскости заполнителя получим, решив соответствующие системы уравнений равновесия (2). Аналитический вид решений зависит от типа упругого основания. Решения содержат 24 константы интегрирования, которые определяются из системы линейных алгебраических уравнений, составленной исходя из граничных условий на торцах и условий сопряжения на границах участков.

Объединением решений для отдельных участков получаются перемещения для всей пластины. Выражение для прогиба имеет вид

$$w(x) = w^{(I)}(x) + [w^{(II)}(x) - w^{(I)}(x)] H_0(x - x_1) + [w^{(III)}(x) - w^{(II)}(x)] H_0(x - x_2). \quad (3)$$

В выражении (3)  $H_0$  – функция Хевисайда.

Был составлен комплекс программ в среде MathCad, с помощью которого получены числовые результаты для нескольких типов трехслойных пакетов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект T20P-047).*

#### Список литературы

- 1 Поддубный, А. А. Цилиндрический изгиб трехслойной пластины, частично опертой на упругое основание / А. А. Поддубный, А. В. Яровая // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXIV Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова, Вятчи, 19–23 марта 2018 г. – М. : ООО «ТР-принт», 2018. – Т. 1. – С. 185–187.
- 2 Яровая, А. В. Цилиндрический изгиб прямоугольной трехслойной пластины линейно распределенной нагрузкой с учетом неполного опирания на упругое основание / А. В. Яровая // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября 2020 г.). Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 139–141.
- 3 Яровая, А. В. Колебания трехслойной круговой пластины на упругом основании, вызванные параболической нагрузкой / А. В. Яровая // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXV Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова, Вятчи, 16–20 марта 2020 г. – М. : ООО «ТР-принт», 2020. – Т. 1. – С. 234–237.

## 9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 65.03:621.89.097.2

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ЛЕГКОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

*Н. Н. АЛИФИРОВЕЦ, А. С. КОРОЛЬКОВ, О. Д. ЗАБОЛОТНЫЙ*

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь*

При эксплуатации механических транспортных средств обязательным условием является применение эксплуатационных материалов (топливо, смазочные масла, охлаждающие жидкости). Качество смазочных материалов определяют показатели работы двигателя внутреннего сгорания (надежность, топливная экономичность, долговечность). Любая организация заинтересована в том, чтобы эксплуатация транспортных средств проходила максимально эффективно с минимальными для этого экономическими затратами, связанными с закупкой эксплуатационных материалов и комплектующих.

Целью настоящей работы является расчет показателей экономической эффективности использования полусинтетических моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 при эксплуатации легковых транспортных средств модели Volkswagen Polo Sedan.

Результаты выполненных исследований по определению изменения эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 в зависимости от величины пробега транспортного средства, изложенные в работах [1–3], показывают, что фактическую замену моторных масел ввиду потери ими своих основных показателей для моторного масла марки Castrol Magnatec 10W40 нужно проводить через 12 тыс. км пробега. При использовании моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 замену нужно проводить после 10 тыс. км пробега.

Расчет экономической эффективности использования указанных марок моторных масел, полученной с учетом установленной фактической величины пробега транспортным средством до замены масла, проводили методом сравнения стоимости данных полусинтетических моторных масел.

Принятая стоимость моторных масел актуальна на 25.06.2021 г. и указывается в пересчете на 1 л моторного масла. Для моторных масел марки Shell Helix HX7 10W40 стоимость составляет 8,17 руб., марки Castrol Magnatec 10W40 – 11,23 руб, марки Eni Agip Gas Special 10W40 – 10,64 руб.

Расчет проводили на примере легкового транспортного средства марки Volkswagen Polo Sedan, оборудованного бензиновым двигателем, с условием, что на балансе организации, оказывающей услуги по пассажиро-перевозкам, находится 185 автомобилей указанной модели. Средний пробег каждого автомобиля за 1 год эксплуатации в среднем составляет 144000 км. Расход топлива для легкового автомобиля марки Volkswagen Polo Sedan при смешанном режиме движения (в городе и за городом) составляет 7,0 л на 100 км (технический паспорт).

Для определения технико-экономического обоснования использования синтетических моторных масел марок Shell Helix HX7 10W40, Castrol Magnatec 10W40 и Eni Agip Gas Special 10W40 были рассчитаны соответствующие показатели, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета технико-экономического обоснования использования исследуемых марок полусинтетических моторных масел

Показатель	Математическая модель	Марка моторного масла		
		Castrol Magnatec 10W40	Shell Helix HX7 10W40	Eni Agip Gas Special 10W40
Количество замен моторного масла в течение года эксплуатации транспортного средства, раз/год	$N_3 = \frac{L_3}{L_3}$	12	14	14



Окончание таблицы 1

Показатель	Математическая модель	Марка моторного масла		
		Castrol Magnatec 10W40	Shell Helix HX7 10W40	Eni Agip Gas Special 10W40
Количество моторного масла, необходимое для обслуживания транспортных средств (без учета угара), л	$T = N_3 N_{тс} V_M$	7992	9324	9324
Количество моторного масла, расходуемое на угар, л	$N_Y = \frac{L_3 N_{тс} n_Y}{15000}$	1154,4	2331	1776
Суммарное количество моторного масла, л	$Q = T + N_Y$	9154,4	11655	11100
Финансовые затраты на закупку суммарного количества моторного масла, руб.	$D_M = Q C_M$	102714,07	95221,34	118104
Расход топлива при использовании моторных масел за год эксплуатации, л	$R_T = \frac{L_3 N_{тс} G_T k_{исп.}}{100}$	1883448	1892772	1902096
Затраты на закупку количества топлива, при использовании исследуемых моторных масел, руб.	$D_T = R_T C_T$	3729227,04	3747688,56	3766150,08
Суммарные финансовые затраты на закупку суммарного количества моторного масла и топлива, руб.	$D_{сум.} = D_M + D_T$	3831941,11	3842909,9	3884254,08

Таким образом, по результатам исследования установлено, что использование полусинтетического моторного масла марки Castrol Magnatec 10W40 при эксплуатации транспортных средств марки Volkswagen Polo Sedan позволит снизить экономические затраты, связанные с закупкой моторного масла и топлива на 10968,79 руб. по сравнению с моторным маслом марки Shell Helix HX7 10W40 и на 52312,97 руб. в сравнении с моторным маслом марки Eni Agip Gas Special 10W40.

#### Список литературы

1 Ермак, О. К. Изучение изменения плотности полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях / О. К. Ермак, О. Д. Заболотный // Актуальные вопросы физики и техники : материалы X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : в 2 ч. Ч. 1, Гомель, 22 апр. 2021 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 75–78.

2 Заболотный, О. Д. Исследование температуры вспышки полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40 / О. Д. Заболотный, Ю. Ю. Тонко // Актуальные вопросы физики и техники : материалы X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : в 2 ч. Ч. 1, Гомель, 22 апр. 2021 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 81–83.

3 Заболотный, О. Д. Исследование кинематической вязкости полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях внутреннего сгорания / О. Д. Заболотный // Актуальные вопросы физики и техники : материалы X Респ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов : в 2 ч. Ч. 1, Гомель, 22 апр. 2021 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 83–86.

УДК 658.14/.17:656.2

## СИСТЕМЫ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ КАК ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Е. В. БОЙКАЧЕВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Как организация железнодорожный транспорт является сложной многоуровневой системой, элементы которой взаимодействуют друг с другом на функциональной, территориальной и отраслевой основе.

Элементы каждого уровня многоуровневой системы управления на железнодорожном транспорте имеют помимо общих целей свои собственные, выполнение которых не должно противоречить реализации главных целей объединения. Для этого необходима эффективная система управления, координирующая деятельность всего железнодорожного транспорта в целом таким образом,

чтобы достигался положительный эффект синергии, выполнение промежуточных целей способствовало бы выполнению стратегических целей развития отрасли, ресурсы, поступающие из внешней среды (основные средства, материалы, труд и т. д.) преобразовывались в транспортные услуги наиболее оптимальным образом.

Необходимо отметить, что цикл оборота капитала на железнодорожном транспорте по сравнению со всеми другими отраслями народного хозяйства является наиболее сложным. Здесь присутствуют и стадия централизованного и индивидуального снабжения (закупка основных средств и материальных ресурсов), и стадия производства продукции и оказания услуг, и стадия расчетов с как с внешними, так и с внутригрупповыми контрагентами согласно договорным обязательствам как по закупаемым сырью и материалам, так и по реализованным услугам. Именно поэтому система финансовых взаимоотношений в отрасли требует внедрения новых подходов к их организации.

Бюджетирование позволяет повысить эффективность распределения и использования ресурсов, создает объективную основу для оценки результатов деятельности организации и ее подразделений, является дополнительным конкурентным преимуществом благодаря организации более эффективной системы управления финансовыми потоками, определяющей финансовую устойчивость хозяйствующего субъекта.

Однако, как показывает опыт развитых стран Западной Европы, США и Канады, в сегменте среднего и малого бизнеса формируется не меньшее количество рабочих мест, которые обеспечивают занятость населения. Финансовые потрясения в этих компаниях подрывают экономику страны и вызывают серьезные социальные проблемы. Поэтому для них также важно управлять финансами и строить систему бюджетирования с учетом специфики, определяемой размером компании, сферой ее деятельности и организацией бизнес-процессов.

Бюджетное управление, как и любое воздействие человека на различные объекты, состоит из взаимосвязанных этапов. И если в бюджетном управлении отсутствует какой-либо из указанных процессов или нарушено их функционирование (организация не имеет ясных целей, отсутствует система контроля и т. д.), это означает, что цикл управления разорван и неэффективным будет не только бюджетное управление, но и управление организацией в целом.

Есть несколько подходов к автоматизации бюджета в организациях: они разрабатывают свои собственные решения на основе MS Excel-Acsess, используя готовые программные продукты, такие как бюджетный модуль, в составе системы ERP, специализированных бюджетных систем и т. д.

Благодаря бюджетированию можно получить конкурентное преимущество, создав эффективную систему управления ресурсами, предвидя потенциальные проблемы и соответственно планируя дальнейшие действия. Внедрение системы бюджетирования позволяет руководству планировать финансово-хозяйственную деятельность с расчетом на достижение конкретного финансового результата, т. е. четко определить цели и установить измеримые показатели эффективности. Кроме того, становится возможным контролировать деятельность всех отделов таким образом, чтобы можно было достигнуть желаемого финансового результата, выделив области ответственности и распределив функции финансового управления между руководителями отделов. Обмен информацией и взаимодействие структурных подразделений друг с другом улучшаются.

Использование указанного инструмента управления на железной дороге позволит:

- 1) сбалансировать доходы и расходы, потребности в ресурсах с источниками их получения;
- 2) разделить ответственность за исполнение различных видов бюджетов по всем уровням управления корпоративным объединением, установить жесткий контроль расходов в зависимости от целей, для которых они производятся;
- 3) обеспечить координацию действий управленческих структур и подчинение интересов структурных подразделений задачам объединения в целом.

Технология бюджетирования является действенным инструментом в повышении уровня эффективности управления затратами. Система управления затратами служит основным информационным фундаментом управления для внутренней деятельности предприятия, его тактикой и стратегией непосредственно через свои функции.

Бюджетирование при совершенствовании системы управления затратами на транспорте позволяет получить такие преимущества, как повышение мотивации коллектива, совершенствование координации работы предприятия, распределения ресурсов и т. п. Для обеспечения высокой результативности системы управления затратами необходимо сформулировать определенные требования к

качеству информационных потоков, которые образуют систему бюджетов предприятия: своевременность, достоверность, релевантность, полезность, полнота, понятность и регулярность поступления.

Таким образом, можно сделать вывод, что в современных условиях хозяйствования, бюджетирование на транспорте становится более динамичной, гибкой системой, которая находится в тесной связи с условиями функционирования предприятия. Бюджетирование, в отличие от традиционных способов управления, может эффективно влиять на формирование финансовых ресурсов, движение средств и на финансово-экономические результаты деятельности, оптимизировать отклонения, корректировать деятельность путем принятия соответствующих управленческих решений.

Внедрение процесса бюджетирования на предприятиях транспорта позволит:

- распределять и использовать ресурсы, оптимизировать затраты по предприятию и внедрить оперативный контроль за постоянными и переменными затратами;
- улучшать платежеспособность предприятия на основе эффективного управления денежными потоками;
- повышать качество и оперативность принятия управленческих решений;
- согласовывать, координировать действия отдельных подразделений и отделов предприятий, а также направлений деятельности для достижения поставленных глобальных задач.

Применение систем бюджетирования позволяет железной дороге реализовать стратегические цели развития деятельности в области управления денежными потоками и при решении ряда других приоритетных задач. Однако не стоит забывать о совершенствовании существующей системы нормативно-целевого бюджетирования, так как эта область, касаемая управления производственными процессами и финансовыми ресурсами, играет огромную роль в обеспечении успешной деятельности любой организации.

#### Список литературы

- 1 **Андык, А. С.** Бюджетирование как технология управления предприятием / А. С. Андык, Е. В. Бойкачева // Актуальные проблемы социально-экономического развития современного общества : сб. статей I межрегиональной заочной науч.-практ. конф. 20 апреля 2020 года / под ред. М. П. Разина [и др.]. – Киров : Кировский ГМУ Минздрава России, 2020. – С. 550–553.
- 2 **Бойкачева, Е. В.** Бухгалтерский управленческий учет на предприятиях транспорта : учеб.-метод. пособие / Е. В. Бойкачева, С. Л. Шатров. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 205 с.
- 3 **Бойкачева, Е. В.** Оценка применения современных систем учета затрат и калькулирования / Е. В. Бойкачева // Современные проблемы права и управления : сб. докладов Института законовещения и управления ВПА. – Тула : Суворовская типография. – 2018. – Вып. 8. – С. 25–30.

УДК 338.24

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОНЪЮНКТУРА НА ТРАНСПОРТЕ КАК ИНДИКАТОР ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*О. В. БЫЧЕНКО, О. Г. БЫЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Уровень экономической безопасности страны зависит от уровня развития конъюнктуры рынка. Согласно определению Н. Д. Кондратьева, экономическая конъюнктура каждого данного момента – это «направление и степень изменения совокупности элементов народнохозяйственной жизни по сравнению с предшествующим моментом». Другими словами, конъюнктура характеризует движение экономических процессов с точки зрения как направления, так и скорости.

Конъюнктура как экономическая категория отображает экономические процессы в непрерывном изменении и взаимосвязи, причём не просто фиксирует взаимосвязанные изменения, а вскрывает их причины.

*Конъюнктура транспорта* является индикатором изменений, происходящих как в производстве, так и в обращении товаров. Эта особенность может быть использована для оценки её влияния на экономическую безопасность транспорта. Транспорт оказывает сильнейшее влияние на динамику производства и торговли. В качестве потребителя ресурсов оказывает мощное воздействие на конъюнктуру товарных рынков, рынка труда и рынка капитала. Поэтому при управлении транс-

портной деятельностью необходимо учитывать не только конъюнктуру самого транспорта, но и других отраслей и рынков.

Для оценки экономической конъюнктуры используются показатели, рассчитанные на основе баланса ответов. Баланс ответов рассчитывается как разница между количеством ответов типа «больше» (улучшилось, увеличилось, высокое, хорошее) и ответов типа «меньше» (ухудшилось, уменьшилось, низкое, плохое). Эта разница, отнесенная к общему количеству значимых ответов по данному вопросу, выражается в процентах.

Индекс бизнес-климата представляет собой интегрированный показатель оценок фактической и ожидаемой динамики производства продукции (работ, услуг) и спроса на продукцию (работы, услуги). Значение индекса рассчитывается как среднее геометрическое значение балансов ответов по вопросам об изменении физического объема производства (подрядных работ, транспортных услуг, товарооборота); изменении спроса на продукцию (товары, работы, услуги предприятия); ожидании изменения объема производства (подрядных работ, транспортных услуг, товарооборота); ожидании изменения спроса на продукцию (товары, работы, услуги предприятия).

Индексы экономических настроений рассчитываются для четырех отраслей (промышленность, строительство, торговля, транспорт), которые отражают общие ощущения и ожидания в отдельном секторе экономики.

Значение индекса экономических настроений транспорта представляет собой среднее геометрическое значение балансов ответов по вопросам об: изменении физического объема договоров на перевозки, контрактов на внутреннем рынке; изменении физического объема договоров на перевозки, контрактов на внешнем рынке; изменении спроса на услуги предприятия; ожидании изменения спроса на услуги предприятия.

Аналитическое обозрение «Мониторинг предприятий реального сектора экономики Республики Беларусь» содержит результаты расчёта и анализа динамики показателей. Общая оценка экономической конъюнктуры в Республике Беларусь производится по индексу бизнес-климата Национального банка (ИБК). Скорректированный на сезонность, он продолжил снижение: в мае – июле 2020 г. по сравнению с показателем за февраль – апрель 2020 г. (минус 7,6 процента), уменьшился на 5,3 процентного пункта и составил минус 12,9 процента. Снижение ИБК произошло на фоне усиления влияния неблагоприятной эпидемиологической ситуации и сопутствующих ограничительных мер.

Скорректированный на сезонность сводный индекс экономических настроений (СИЭН), ориентированный на фактические объемы заказов на внутреннем и внешнем рынках, также продолжает снижение.

Экономическая конъюнктура по оценкам респондентов в мае – июле 2020 г. несколько улучшилась, благоприятной ее назвали 47,6 процента руководителей предприятий (три месяца ранее – 46,8 процента), в то же время неблагоприятной она была для 50,8 процента респондентов (51,7 процента).

После значительного ухудшения оценок спроса в начале 2020 г. в мае – июле 2020 г., по оценкам участников опроса, снижение спроса замедлилось. Баланс ответов по данному вопросу составил минус 18,9 процента (за февраль – апрель 2020 г. – минус 20,6 процента). Замедление темпов снижения спроса отметили предприятия промышленности, транспорта и строительства. Дальнейшее снижение спроса констатировали предприятия торговли.

В мае – июле 2020 г. руководители предприятий отметили замедление темпов снижения фактического объема производства (подрядных работ, транспортных услуг, товарооборота): баланс ответов увеличился по сравнению с показателем февраля – апреля 2020 г. на 4,3 процентного пункта и составил минус 11,4 процента. Для предприятий промышленности баланс ответов вырос на 2 процентных пункта (до минус 5,7 процента) и транспорта – на 7,3 процентного пункта (до минус 32 процентов). Предприятия торговли отметили дальнейшее снижение товарооборота (баланс ответов снизился с минус 23,3 до минус 25,9 процента). Факторами, ограничивающими рост производства, руководители предприятий назвали недостаток денежных поступлений для финансирования текущей деятельности (47,6 процента респондентов), неплатежи потребителей (47,3 процента), а также нехватку оборотных средств (42,5 процента) и недостаточный спрос на продукцию (38,3 процента). Средний уровень загрузки производственных мощностей предприятий-участников не изменился, средний срок обеспеченности производственной программы заказами составил 4,9 месяца.

Снижение физического объема реализации замедлилось.

Недостаток оборотных средств в мае – июле 2020 г. констатировали 54,9 процента предприятий – участников мониторинга (в феврале – апреле 2020 г. – 55,7 процента. Влияние колебаний курса национальной валюты сильнее всего ощущали предприятия промышленности и в несколько меньшей степени – предприятия торговли.

Экономическая конъюнктура на транспорте, по оценкам руководителей предприятий транспорта, в мае – июле 2020 г. ухудшилась, неблагоприятной ее назвали 63,2 процента респондентов (в феврале – апреле 2020 г. – 61,5 процента). Удовлетворительным экономическое положение своего предприятия назвали 62 процента руководителей, плохим – 32,9 процента (в феврале – апреле 2020 г. – 64,7 и 31,2 процента соответственно). В мае – июле 2020 г. индекс экономических настроений транспорта, скорректированный на сезонность, продолжил снижение, по сравнению с показателем за предшествующие три месяца он сократился на 10,7 процентного пункта и составил минус 33,1 процента. Фактический ИЭН транспорта в мае – июле 2020 г. составил минус 20,8 процента (минус 20,1 процента тремя месяцами ранее). Дальнейшее снижение индекса связано с ухудшением общей экономической конъюнктуры ввиду введения многими странами ограничительных мер и закрытия границ в целях преодоления неблагоприятной эпидемиологической обстановки. Вследствие неопределенности дальнейшего развития ситуации предприятия транспорта отмечают снижение спроса на услуги и сокращение объема договоров на перевозки на внешнем и внутреннем рынках. Вместе с тем в августе – октябре 2020 г. руководители транспортных организаций ожидали некоторое оживление спроса.

Такая динамика показателей свидетельствует о снижении экономической безопасности на транспорте.

#### Список литературы

1 **Кондратьев, Н. Д.** План и предвидение / Н. Д. Кондратьев // Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. – М. : Экономика, 2002. – 614 с.

2 **Рябова, Т. Ф.** Современные механизмы обеспечения национальной экономической безопасности на основе формирования рыночной конъюнктуры / Т. Ф. Рябова, Т. В. Игнатова // Пищевая промышленность. – 2016. – № 5. – С. 24–27.

3 Мониторинг предприятий реального сектора экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://finance.tut.by/news631248.html>. – Дата доступа : 20.02.21.

УДК 656.064

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕРМИНАЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*И. А. ЕЛОВОЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Д. М. ПОДСОСОННЫЙ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Рынок транспортных услуг может рассматриваться с различных точек зрения: грузоотправителей и грузополучателей; конкуренции между перевозчиками; интересов государств, по территории которых пролегают схемы доставки грузов. При этом должны учитываться также интересы транснациональных компаний [1].

Грузовые дворы (терминалы) железнодорожного транспорта были спроектированы и построены в период плановой экономики на основе ее принципов и правил. Как известно, в плановой экономике успешно решались задачи размещения производства с учетом наличия трудовых и сырьевых ресурсов, оптимального прикрепления поставщиков к потребителям на основе решения транспортной задачи линейного программирования, объемов и расстояний перевозок и др. При больших объемах перевозки строились подъездные пути (пути необщего пользования), а для доставки небольших партий грузов, перевозимых мелкими и малотоннажными отправлениями в вагонах и среднетоннажных контейнерах, сооружались грузовые дворы (терминалы). Последние были не только начально-конечными пунктами, но и местами сортировки вышеуказанных отправок и контейнеров.

Транспортная логистика в плановой экономике жестко регламентировалась. Например, перевозка грузов автомобильным транспортом допускалась только до 50–100 км, а на большие расстоя-

ния – железнодорожным или другими видами транспорта (тарифы железнодорожного транспорта начинались с 50 км, что сохранилось до настоящего времени) [4]. В таких условиях грузовые дворы (терминалы) работали с полной загрузкой, выполняя установленные показатели. После распада Советского Союза установленные ограничения были отменены и основные грузопотоки переключились на автомобильный транспорт. В результате инфраструктура терминалов осталась неиспользованной или была ликвидирована.

В существующих условиях следует ориентироваться на условия клиентов, которые отражены в схемах доставки грузов и характеризуются следующими параметрами [1, 3]:

- 1) провозные платежи (тарифы и сборы);
- 2) продолжительность доставки «от двери до двери»;
- 3) сохранность груза;
- 4) уровень и качество транспортно-экспедиционного обслуживания.

В связи с этим в основу результативности функционирования терминалов железнодорожного транспорта должны закладываться эффективные схемы доставки с их участием. В частности, в период плановой экономики для обеспечения ценовой конкурентоспособности схем доставки с участием железнодорожных терминалов не взыскивался с клиентов сбор за подачу-уборку вагонов, штраф за сверхнормативный простой вагонов, что позволяло компенсировать издержки по выполнению одной или нескольких дополнительных грузовых операций на терминале, затраты по завозу-вывозу грузов автомобильным транспортом по сравнению со схемой доставки на железнодорожный путь необщего пользования (таблица 1) [2].

При выборе эффективной схемы доставки груза с участием только железнодорожного транспорта ( $\Pi_1$ –Ж– $\Pi_2$ ) учитывались:

- а) затраты на хранение отправки в пунктах отправления и назначения;
- б) затраты, связанные с грузовыми операциями в пунктах отправления и назначения;
- в) плата за подачу-уборку вагонов на пути необщего пользования;
- г) плата за пользование вагонами (контейнерами);
- д) потери от «замораживания оборотных средств» при доставке грузов и в процессе накопления на отправку;
- е) плата за транспортировку груза и др.

Таблица 1 – Результаты исследований эффективности логистических схем доставки с участием железнодорожного транспорта по сравнению с автотранспортом при объеме перевозки 1 вагон в сутки

Вид сообщения	Стоимость груза в пункте отправления	Оценка рентабельности и потребительского спроса*	Выгодность использования ЛСД с участием железнодорожного транспорта при расстоянии транспортировки $l$ , км	
			Схема $\Pi_1$ – Ж – $\Pi_2$	Схема $A_1$ – Ж – $A_2$
Внутриреспубликанское	Низкостоимостные, цена 20 дол./т	Низкорентабельные	Выгодно при любом $l^{**}$ )	Выгодно при любом $l$
		Высокорентабельные		
	Низкостоимостные, цена 100 дол./т	Низкорентабельные	Выгодно при любом $l$	Выгодно при любом $l$
		Высокорентабельные		
	Среднестоимостные, цена 300 дол./т	Низкорентабельные	Выгодно при $l > 200$	Выгодно при $l > 600$
		Высокорентабельные		
	Высокостоимостные, цена 500 дол./т	Низкорентабельные	» любом $l$	» $l > 300$
		Высокорентабельные	» $l > 600$	Невыгодно
	Высокостоимостные, цена 1000 дол./т	Низкорентабельные	» любом $l$	Выгодно при $l > 400$
		Высокорентабельные	Невыгодно	Невыгодно
Экспортно-импортное (кроме сообщения Россия – Беларусь)	Низкостоимостные, цена 20 дол./т	Низкорентабельные	Выгодно при $l > 500$	Выгодно при $l > 1000$
		Высокорентабельные	» $l > 800$	» $l > 1500$
	Низкостоимостные, цена 100 дол./т	Низкорентабельные	» $l > 600$	» $l > 1100$
		Высокорентабельные	» $l > 1500$	» $l > 2300$
	Среднестоимостные, цена 300 дол./т	Низкорентабельные	» $l > 700$	» $l > 1200$
		Высокорентабельные	» $l > 3900$	» $l > 4000$
	Высокостоимостные, цена 500 дол./т	Низкорентабельные	» $l > 900$	» $l > 2800$
		Высокорентабельные	Невыгодно	Невыгодно
	Высокостоимостные, цена 1000 дол./т	Низкорентабельные	Выгодно при $l > 1400$	Выгодно при $l > 3400$
		Высокорентабельные	Невыгодно	Невыгодно

\* Высокорентабельными являются грузы со сроком оборачиваемости 90 сут и нормативным коэффициентом рентабельности 0,35; низкорентабельными – соответственно 365 сут и 0,1.

\*\* Расстояние транспортировки свыше 100 км.

Аналогично учитывались затраты по схеме с участием автомобильного транспорта ( $A_1$ –Ж– $A_2$ ), где издержки, связанные с подачей-уборкой на железнодорожный терминал и платой за пользование, могут учитываться или не приниматься в расчет. Однако в схеме  $A_1$ –Ж– $A_2$  появляются затраты, связанные с завозом-вывозом грузов с терминалов и дополнительной грузовой операцией.

С целью выполнения вышеперечисленных условий должна проводиться соответствующая тарифная политика, разрабатываться инновационные технологии на основе цифровизации в пределах схем доставки грузов, выполняться реконструкции терминалов и др., а затем следует проводить соответствующие мероприятия по реорганизации организационных структур, форм собственности железнодорожных терминалов и т. п. Для решения вышеизложенной проблемы на кафедре управления грузовой и коммерческой работой БелГУТа выполняются теоретические исследования и имеются практические наработки [1, 3].

#### Список литературы

- 1 **Еловой, И. А.** Интегрированные логистические системы доставки ресурсов : теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с.
- 2 **Комаров, А. В.** Теория комплексной эксплуатации видов транспорта. Ч. I / А. В. Комаров // ВИНТИ : Транспорт, наука, техника. – 2002. – № 10. – С. 70.
- 3 **Резер, С. М.** Тарифное регулирование логистических схем товаропотоков / С. М. Резер, И. А. Еловой. – М. : ВИНТИ РАН, 2009. – 364 с.
- 4 **Ходош, М. С.** Грузовые автомобильные перевозки / М. С. Ходош. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1980. – 270 с.

УДК 65.03:621.89.097.2

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В АВТОБУСАХ, ОБОРУДОВАННЫХ ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

*О. К. ЕРМАК, Н. Н. АЛИФИРОВЕЦ*

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь*

**Введение.** Неотъемлемой частью эксплуатации механических транспортных средств является использование эксплуатационных материалов, таких как топливо, смазочные масла, охлаждающие жидкости и др. От качества смазочных материалов зависят важнейшие показатели двигателей: надежность, топливная экономичность, долговечность и др. Для любой организации важно, чтобы эксплуатация транспортных средств проходила максимально эффективно с минимальными для этого экономическими затратами, связанными с закупкой эксплуатационных материалов [2–4].

В связи с этим целью настоящей работы является расчет экономической эффективности использования синтетических моторных масел марок «Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40» и «Ursa Premium TD SAE 10W40» при эксплуатации автобусов модели МАЗ 203.

**Основная часть.** Результаты выполненных исследований по определению изменения эксплуатационных показателей синтетических моторных масел марок «Авангард Ультра SAE 10W40», «Ursa Premium TD SAE 10W40» в зависимости от величины пробега транспортного средства показывают, что фактическую замену моторных масел ввиду потери ими своих основных показателей для моторных масел марок «Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40» и «Ursa Premium TD SAE 10W40» нужно проводить после 20 тыс. км пробега [2–4].

Расчет экономической эффективности использования исследуемых марок моторных масел, полученной с учетом установленной фактической величины пробега транспортным средством до замены масла, проводили методом сравнения стоимости данных моторных масел.

Принятая стоимость моторных масел актуальна на 01.09.2021 г. и указывается в пересчете на 1 л масла, т. к. данная продукция реализуется в сети интернет-магазинов в емкостях различного объема (металлических бочках) и для масла марки «Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40» составляет 216 л; для масла «Ursa Premium TD SAE 10W40» – 208 л.

Расчет был произведен для автобуса марки МАЗ 203, оборудованные дизельным двигателем DAIMLER AG с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха соответственно, на

200 автобусов организации Гродненского автобусного парка № 1, оказывающей услуги по городским пассажиро-перевозкам. В расчете принято среднеарифметическое значение величины пробега за 1 год эксплуатации транспортного средства – 29 000 км. Расход топлива для автобуса марки МАЗ 203 при режиме движения в городе составляет 32 л на 100 км [1].

В таблице 1 представлены данные по стоимости исследуемых марок синтетических моторных масел.

Таблица 1 – Стоимость исследуемых марок синтетических моторных масел (на 01.09.2021 г.)

Марка моторного масла	Стоимость моторного масла, руб.	Стоимость 1 л моторного масла, руб.
Авангард Ультра SAE 10W40	1670,48	7,73
Ursa Premium TD SAE 10W40	2356,64	11,33

Для определения технико-экономического обоснования использования полусинтетических моторных масел марок «Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40» и «Ursa Premium TD SAE 10W40» необходимо рассчитать показатели по формулам, представленным в таблице 2 [5].

Таблица 2 – Результаты расчета технико-экономического обоснования использования исследуемых марок полусинтетических моторных масел

Показатель	Формула	Марка моторного масла	
		Лукойл Авангард Ультра SAE 10w40	Ursa Premium TD SAE 10w40
Количество замен в течение года эксплуатации ТС, раз/год	$N_3 = \frac{L_3}{L_3}$	2	2
Количество моторного масла, необходимое для обслуживания транспортных (без учета угара), л	$T = N_3 N_{тс} V_M$	11 600	11 600
Количество моторного масла, расходуемое на угар, л	$N_Y = \frac{L_3 N_{тс} n_Y}{15000}$	849,7	957
Суммарное количество моторного масла, л	$Q = T + N_Y$	12 449,7	12 557
Финансовые затраты на закупку суммарного количества моторного масла, руб.	$D_M = Q C_M$	96 236,18	142 270,81
Расход топлива при использовании моторных масел за год эксплуатации, л	$R_T = \frac{L_3 N_{тс} G_T k_{исп}}{100}$	1 856 000	1 930 240
Затраты на закупку топлива при использовании исследуемых моторных масел, руб.	$D_T = R_T C_T$	3 693 440	3 841 177,6
Суммарные финансовые затраты на закупку суммарного количества моторного масла и топлива, руб.	$D_{сум} = D_M + D_T$	3 789 676,18	3 983 448,41

**Заключение.** Таким образом, по результатам исследования установлено, что использование полусинтетического моторного масла марки «Лукойл Авангард Ультра SAE 10W40» при эксплуатации автобусов марки МАЗ 203 в количестве 200 единиц, позволит снизить экономические затраты, связанные с закупкой моторного масла и топлива на 193772,23 руб. в год по сравнению с моторным маслом марки «Ursa Premium TD SAE 10W40».

#### Список литературы

- 1 МАЗ 203 руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту 2018. – С. 141.
- 2 Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания автобусов модели МАЗ 203060 / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. – Сер. 6. Тэхніка. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 73–80.
- 3 Пивоварчик, А. А. Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания / А. А. Пивоварчик, А. К. Гавриленя, А. И. Сергей // Вестник БарГУ. – Сер. Технические науки. – 2020. – № 8. – С. 111–118.
- 4 Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учеб. пособие / В. В. Остриков [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.



## ТАМОЖЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ ГРУЗОВ

*Е. Н. ЕФРЕМОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Особенности управления в сфере оказания транспортно-экспедиционных и таможенно-складских услуг дают возможность осуществлять многоступенчатую логистизацию в виде образования макро- и микрологистических систем. Макрологистика предусматривает высокий уровень логистизации, когда организация управления охватывает деятельность нескольких участников в процессе оказания услуг, связанных между собой взаимовыгодной системой. В результате образуется единая логистическая цепь хозяйствующих субъектов, взаимодействующих не только в деле оказания услуг, но и в проведении маркетинговой, инвестиционной, финансовой политики.

Таможенные вопросы при формировании логистической структуры поставки национальных товаров на внешние рынки имеют актуальное значение для рассмотрения, анализа и проведения научных исследований. Технология управления внешнеторговыми потоками в логистике рассматривается отдельными экспертами через систему таможенно-тарифного и нетарифного регулирования, которая способна обеспечить минимизацию финансовых и временных затрат на перемещение товаров через таможенные границы различных стран в интересах участников внешнеэкономической деятельности (ВЭД).

К основным проблемам, возникающим при осуществлении внешнеторговых перевозок можно отнести следующие:

- неэффективное использование маршрутов доставки продукции от производителя к потребителю, а также неразвитая транспортная инфраструктура;
- недостаточное количество грузовых терминалов и их слабое техническое оснащение;
- высокая степень физического и морального износа транспортных средств;
- нерациональное использование собственного и арендуемого транспорта;
- значительные временные потери из-за простоя транспорта при погрузо-разгрузочных операциях;
- недостаточный объём прямых инвестиций;
- нехватка квалифицированных кадров в области транспорта;
- слабая унификация правовой базы логистики на постсоветском пространстве;
- неэффективное взаимодействие таможенных органов и субъектов ВЭД.

Усиление влияния мер таможенного регулирования на становление товаропроводящих цепей и создание логистики товародвижения, привело к возникновению в научных кругах термина «таможенная логистика», который стал обозначать отдельный перечень мероприятий в области таможенного дела, направленный на решение различных вопросов, связанных с организацией международных поставок товаров, находящихся под таможенным контролем.

Таможенная логистика занимает значительное место в организации внешнеэкономической деятельности государства и хозяйствующих субъектов. Развитие эффективной таможенно-логистической системы имеет высокую значимость для интенсификации мирового товарооборота, а также обеспечения экономической безопасности государства.

Таможенный аспект в логистике товародвижения можно охарактеризовать как комплекс мер и условий государственного таможенного регулирования процессов:

- пересечения товарами и транспортными средствами таможенной границы;
- транспортировки товаров под таможенным контролем и транзита транспортных средств по национальным территориям стран;
- размещения предметов таможенных правоотношений в зонах таможенного контроля для проведения таможенной очистки и выпуска товаров;
- помещения товаров под таможенную процедуру в соответствии с целями перемещения товаров в рамках внешнеэкономической деятельности.

При размещении внешнеторговых товаров на логистическом складе должны быть учтены условия, определяющие статус товаров для таможенных целей (экспорт, импорт, транзит); помещения товаров под таможенную процедуру; применения мер таможенно-тарифного и нетарифного регулирования, операций таможенного контроля и других инструментов таможенного регулирования внешнеэкономической деятельности участников ВЭД.

Участники ВЭД имеют возможность изменять параметры логистических цепей, размещая внешнеторговые товары, находящиеся под таможенным контролем, на склады временного хранения (СВХ), таможенные или свободные склады, поместив их под соответствующие таможенные процедуры.

К документам для таможенных целей относятся: таможенные документы, коммерческие документы, транспортные (перевозочные) документы; документы, подтверждающие сведения о декларанте; документы, позволяющие идентифицировать товар, и др. Большинство документации, сопровождающей внешнеторговые товаропотоки по форме и содержанию сведений, подлежит таможенной оценке для принятия решения относительно применения к товарам и процессу их перемещения мер по соблюдению таможенного законодательства.

Автоматизация процессов декларирования и развитие информационных каналов сообщения в сфере таможенного регулирования реализуются в двух направлениях: обеспечение единого информационного пространства таможенных органов и иных государственных служб и рационализация процесса сообщения между таможенной службой и декларантами.

Современные тенденции повышения эффективности обмена данными между субъектами ВЭД и таможенными органами заключаются:

- в введении электронного декларирования;
- внедрении личного кабинета участника ВЭД, который позволяет взаимодействовать в рамках внешнеэкономических операций с документами, просматривать свои лицевые счета и отслеживать финансовую документацию, получать сведения о правовых аспектах деятельности;
- внедрении концепции «Единого окна», объединяющей информацию о хозяйственной деятельности участников ВЭД;
- развитии технологии удаленного автоматического выпуска деклараций и товаров, которая предполагает проверку выполнения требований к заявленным в документах сведениям и оценку наличия рисков совершения участником ВЭД правонарушений.

Важным элементом повышения эффективности логистического обслуживания является модернизация института уполномоченного экономического оператора. В настоящее время в Евразийском экономическом союзе функционирует многоступенчатая система присвоения статуса УЭО, которая позволяет применять в отношении хозяйствующих субъектов различные комплексы упрощений. Эффект от применения данных упрощений состоит:

- в ускорении совершения таможенных операций;
- снижении финансовых затрат, связанных с осуществлением таможенных формальностей;
- ослаблении административного давления при реализации таможенно-логистической цепи доставки внешнеторговых грузов;
- усилении доверия между субъектами ВЭД и таможенными органами.

Таким образом, можно констатировать, что таможенный аспект в логистике транспортирования и складирования внешнеторговых грузов оказывает существенное влияние на развитие и совершенствование методов управления товарными потоками и услугами по транспортно-экспедиционному обеспечению и процессу таможенного администрирования.

#### Список литературы

1 Хахаев, И. А. Информационные таможенные технологии : учеб. пособие / И. А. Хахаев. – СПб. : НИУ ИТМО, 2014. – 122 с.

2 Инновационные процессы в системе таможенного администрирования Республики Беларусь : [монография] / О. В. Морозова [и др.] ; под общ. ред. О. В. Морозовой, О. Н. Шестака. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 203 с.

УДК 656.225.031.8

## ОСОБЕННОСТИ ИНДЕКСАЦИИ ТАРИФОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ СТРУКТУРЫ ГРУЗОПОТОКОВ

*В. Л. ЖИГАЛОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*Л. В. ОСИПЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Актуальность индексации грузовых железнодорожных тарифов обусловлена необходимостью возмещения Белорусской железной дороге экономически обоснованных затрат, возникающих в

процессе перевозки грузов железнодорожным транспортом общего пользования, а также обеспечения получения обоснованного размера прибыли для выполнения социальных обязательств, программ ремонта пути, подвижного состава и технических средств, обновления подвижного состава и развития инфраструктуры, возврата заемных средств и других целей.

В настоящее время при перевозках железнодорожным транспортом во внутривнутриреспубликанском сообщении, экспортных и импортных перевозках, а также при транзитных перевозках по территории Республики Беларусь груза, следующего между государствами – членами Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС), между территориями одного из государств – членом ЕАЭС, с территории одного государства – члена ЕАЭС в третьи страны через морские порты государств – членом ЕАЭС и в обратном направлении применяются тарифы, утвержденные постановлением Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь от 21 января 2021 года № 4 [4]. В зависимости от транспортной характеристики груза и используемого типа подвижного состава тарифы [4] могут быть разделены на тарифные составляющие или применяться без выделения тарифных составляющих. В случае дифференциации на составляющие выделяются:

- тарифы группы И, представляющие собой инфраструктурную составляющую тарифа на перевозку груза локомотивом перевозчика в вагоне перевозчика, грузоотправителя, грузополучателя;
- тариф группы В, соответствующий вагонной составляющей тарифа на перевозку груза локомотивом перевозчика в вагоне перевозчика;
- тарифы группы Л, обеспечивающие возмещение расходов по локомотивной составляющей тарифа на перевозку груза локомотивом перевозчика в вагоне перевозчика, грузоотправителя, грузополучателя.

При отсутствии дифференциации на составляющие тарифы устанавливаются на основе суммарных расходов перевозчика по всем трем составляющим, нумеруются без буквенного шифра и применяются при контейнерных перевозках, а также при перевозках негабаритных грузов на платформах, габаритных и негабаритных грузов на транспортерах. Предусмотрены также тарифы, установленные за 1 километр перевозки (поездо-километр, осе-километр, контейнеро-километр, километр).

Существующая методика индексации тарифов, представленная в [4], предполагает изменение действующих тарифов:

- а) в случае выделения тарифных составляющих – посредством индексации каждой из составляющих отдельно на соответствующий ей индекс, определенный на базе себестоимости по данной тарифной составляющей в прогнозном году;
- б) в случае применения суммарного тарифа без выделения тарифных составляющих – посредством индексации на итоговой индекс, рассчитанный на основе суммарной себестоимости в прогнозном году.

Основу данной методики составляет установление изменения параметров себестоимости за предыдущий и предстоящий годы с учетом того, что структура затрат и их изменение по тарифным составляющим существенно отличаются. При прогнозировании затрат по элементам учитываются также изменение грузооборота, изменение среднегодового курса белорусского рубля к доллару США, темп роста номинальной начисленной среднемесячной заработной платы, индекс роста цен производителей промышленной продукции и другие параметры. Размеры индексации тарифов на грузовые железнодорожные перевозки устанавливаются государственным регулятором и в зависимости от конъюнктуры рынка могут быть изменены.

При этом определенные посредством данного механизма размеры индексации не учитывают место нахождения схемы доставки груза в сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах [1, 2], представляющих собой сложные адаптивные системы с обратной связью. В рамках этих систем обеспечивается управление логистическими потоками в логистической сети поставок, которое имеет конечной целью оптимизацию количественных характеристик с учетом производственных потребностей на звеньях производственно-транспортной сети [2]. Под производственными потребностями в данном контексте следует понимать размеры и сроки поставок, устанавливаемые согласно верхнему пределу цены готовой и конечной продукции и объему реализации, которые определяются товарным рынком.

Как следует из базовых принципов тарифного регулирования в транспортно-технологических системах различных видов и построения тарифных систем государств [3], тарифы в транспортно-технологических системах регулируются в соответствии с изменением транспортно-логистических

издержек в логистических цепях и их влиянием на цену продавца конечной готовой продукции или товара, а также с учетом интересов государств, их транспортных комплексов и всех участников системы (транснациональных компаний-монополистов, организаций-посредников, промышленных предприятий, перевозчиков, экспедиторов). Снижение провозных платежей при поставке материальных ресурсов на начальных логистических цепях движения ресурсов приносит больший эффект в части снижения стоимости конечной готовой продукции и повышения ее ценовой конкурентоспособности в сравнении со снижением тарифов при доставке готовых товаров (ценных грузов) в логистических цепях движения ресурсов. Транспортно-логистические издержки по конкретным наименованиям продукции более объективны и целесообразны по сравнению с укрупненными номенклатурами грузов, так как они в наибольшей степени учитывают влияние транспортно-технологических систем различных видов на конкретную цену доставляемого ресурса. Унификация транспортно-логистических издержек для всех грузов ведет к неточностям в их количественном описании и неадекватному учету действие закона спроса и предложения по конкретной продукции на элементах сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых систем.

Выполненные в Белорусском государственном университете транспорта исследования показали, что на начальных звеньях вышеуказанных сложных систем при доставке сырьевых грузов нецелесообразны высокие тарифы, так как при производстве конечной готовой продукции ее цена будет существенно увеличиваться. В то же время при увеличении тарифов на последних элементах рассматриваемых сложных логистических систем цена конечной готовой продукции не будет увеличиваться в такой же степени по сравнению с начальными звеньями этих систем.

В связи с этим индексация тарифов железнодорожного транспорта, участвующего в схемах доставки логистических цепей движения ресурсов сложных логистических систем, должна выполняться не только на основе традиционных методик, но также и на основе тарифного регулирования. Причем последнее должно осуществляться таким образом, чтобы цена конечной готовой продукции не увеличивалась или не превышала цену на рынке.

Применение предлагаемого подхода к индексации тарифов позволит сохранить ценовую конкурентоспособность конечной готовой продукции на товарном рынке, не потерять доходы железнодорожного транспорта, проводить гибкую тарифную политику во взаимодействии с бюджетами не только Союзного государства России и Беларуси, но и в рамках ЕАЭС.

#### Список литературы

- 1 Ахполов, И. К. Формирование и регулирование грузовых железнодорожных тарифов. Критический анализ и предложения по совершенствованию / И. К. Ахполов. – М., 2006. – 200 с.
- 2 Еловой, И. А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов : теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с. – (Сер. «Мировая экономика»).
- 3 Еловой, И. А. Тарифное регулирование при доставке грузов в логистических цепях движения ресурсов (теория и методология расчетов) : [монография] / И. А. Еловой, Л. В. Осипенко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 377 с.
- 4 О тарифах на перевозку грузов по территории Республики Беларусь железнодорожным транспортом общего пользования [Электронный ресурс] : постановление М-ва антимонопольного регулирования и торговли Респ. Беларусь от 21 января 2021 г. № 4 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22136317>. – Дата доступа : 15.09.2021.

УДК 339.137.2

## КОНКУРЕНЦИЯ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ КАК ФАКТОРЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

*Д. С. ЗАКРЕВСКИЙ, Т. В. ПИЛЬГУН*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Переход к рыночной экономике привел к развитию экономической категории, называемой конкуренцией. Конкуренция за рынки сбыта товаров или предоставления услуг с целью получения высоких финансовых результатов является основой рыночных отношений в любой отрасли экономики, в том числе транспортной.

Полезность конкуренции в транспортной отрасли в том, что состязающиеся хозяйствующие субъекты своими действиями и стремлениями ограничивают или исключают возможность субъекту односторонне воздействовать на условия предоставления транспортных услуг на транспортном рынке.

Примером проявления активной конкуренции в транспортной отрасли является система автомобильных грузовых перевозок, где транспортный рынок представлен множеством транспортных и транспортно-экспедиционных организаций разных форм собственности. В сфере международных автомобильных перевозок грузов занято почти 2800 юридических лиц, поэтому весьма актуальна конкурентоспособность автотранспортной организации.

В свою очередь конкурентоспособность характеризуется степенью реального или потенциального удовлетворения конкретной потребности клиента по сравнению с аналогичными объектами, представленными на данном рынке или его сегменте. Таким образом, предметом конкуренции на автомобильном транспорте являются транспортные услуги, которые выступают в роли инструмента «завоевания» заказчика (клиента), его расположения, а в конечном итоге – получения от него денежных средств посредством покупки услуги.

Положительными результатами конкуренции автотранспортных предприятий (АТП) являются:

- 1) стремление АТП повысить качество транспортных услуг;
- 2) поиск экономических инструментов управления тарифами на транспортные услуги, что должно повысить уровень привлекательности АТП для клиента;
- 3) непрерывное развитие сервиса, сопровождающего транспортную услугу;
- 4) ориентация на постановку целей, приводящих к развитию технического прогресса.

Конкуренция также может оказывать негативные влияния на АТП:

- 1) увеличение расходов со стороны АТП на рекламу, сервис, программу лояльности и т. д.;
- 2) возможность введения клиента в некоторое заблуждение;
- 3) возможность умышленного искажения отчетности и т. д.

Кроме того, появление новых конкурентов приводит к созданию новых производственных мощностей в отрасли, стремлению новичков к освоению доли рынка, что, в конечном счете, снижает общий потенциал прибыльности в отрасли. Следовательно, обоснованной является потребность применения инструментов управления его функционированием со стороны государства.

На автомобильном транспорте возможна ситуация, при которой одна организация будет занимать доминирующее положение, оказывать решающее влияние на конкуренцию, затруднять доступ на рынок другим транспортным организациям. В этом случае необходимо ограничение такого доминирования. В Республике Беларусь правовым документом, регулирующим процесс конкуренции, является Закон «О противодействии монополистической деятельности и развитии конкуренции» от 12 декабря 2013 г. № 94-З.

В условиях рыночной экономики, где перенасыщенность рынка автомобильных перевозок, а также превышения на нем предложения над спросом являются наиболее острыми проблемами для АТП, автомобильные перевозчики вынуждены вести непрерывную «борьбу» за предпочтения потребителя. Большинство АТП стремятся одновременно предлагать различные способы удовлетворения одной и той же потребности потенциального клиента на равных или незначительно отличающихся ценовых условиях. В данной ситуации предпочтение отдается услугам, которые в маркетинге охарактеризовываются как конкурентоспособные.

В связи с этим актуальны показатели, отражающие конкурентоспособность АТП. Определяют две группы показателей: производственного качества, отражающие эффективность работы АТП, и показатели потребительского качества, отражающие мнение потребителя на оказываемые транспортные услуги. Именно вторая группа показателей характеризует его удовлетворенность.

В свою очередь показатели потребительского качества также можно классифицировать:

- показатели, характеризующие признаки надежности перевозчика: соблюдение сроков доставки и сохранность грузов и др.;
- показатели, характеризующие клиентоориентированность транспортной организации: готовности потребителя к повторному обращению; постоянство клиента; уровень культуры обслуживания; комплексность услуг.

В результате оценки показателей клиентоориентированности может быть рассчитан интегральный коэффициент клиентоориентированности.

Конкурентоспособность является комплексной многоаспектной характеристикой услуг АТП, в свою очередь определяющей их предпочтения на рынке по сравнению с аналогичными услугами предприятий-конкурентов как по степени соответствия конкретной общественной потребности, так и по затратам на ее удовлетворение, которое и обеспечивает возможность реализации данной услуги (товара) в определенный момент времени на конкретном рынке или его сегменте.

Стоимостные особенности услуги, наравне с качественными, которыми обусловлена конкурентоспособность, также учитываются потребителем на основе заранее определенной им степени значимости для удовлетворения потребностей. Стоит отметить, что на рынке транспортных услуг среди аналогичных большей конкурентоспособностью обладает та, которая благодаря своим свойствам обеспечивает наибольший полезный эффект (ПЭ) по отношению к цене потребления (ЦП). Поэтому условие предпочтения конкретной транспортной услуги, а следовательно, и условие ее конкурентоспособности, имеет вид

$$K = \frac{\text{ПЭ}}{\text{ЦП}} \rightarrow \max.$$

Платежеспособный спрос и предложения АТП являются основными условиями для возникновения конкурентных отношений. Превышение предложения над спросом и создает конкуренцию между АТП за возможность предоставления транспортных услуг тем или иным потребителям, что в условиях современной рыночной экономики встречается повсеместно.

Повышение уровня конкурентоспособности услуг транспорта является инструментом получения высокой прибыли. В рамках развития сервиса, более тесного внедрения в определенный сегмент рынка транспортных услуг, а также расширения его границ АТП может:

1) организовать сопровождение процесса выполнения перевозок предложениями, советами, рекомендациями по вопросам определения стоимости и условий перевозок, мест сбыта, о которых отправитель может быть не осведомлен;

2) оказывать услуги аренды автомобильных транспортных средств с техническим обслуживанием или без него на выбор клиента;

3) предоставлять клиенту дополнительный набор услуг: возможность мониторинга перевозки в режиме онлайн; услуги водителя-экспедитора; особые условия перевозки и т. д.;

4) изменять направления перевозок и переадресовки грузов, использовать транзитные перевозки и т. д.

Кроме того, для достижения высоких результатов производственно-хозяйственной деятельности АТП, а также стабильности функционирования, необходимо добиваться снижения издержек на услуги перевозок, повышения качества обслуживания и в конечном итоге – повышения конкурентоспособности перевозок и АТП в целом.

#### Список литературы

- 1 Азоев, Г. Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика / Г. Л. Азоев. – М. : Центр экономики и маркетинга, 2013. – 654 с.
- 2 Ивуть, Р. Б. Экономические основы формирования механизма оценки конкурентоспособности автотранспортных услуг : [монография] / Р. Б. Ивуть, А. Ф. Зубрицкий. – Минск : БНТУ, 2010. – 309 с.
- 3 Фатхутдинов, Р. А. Управление конкурентоспособности организации / Р. А. Фатхутдинов. – М. : ЭКСМО, 2015. – 544 с.

УДК 656.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ РЕСУРСОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ И РАСШИРЕНИЯ КЛИЕНТСКОЙ БАЗЫ

*Н. А. КЕКИШ, М. А. СКУМИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт в Республике Беларусь функционирует с целью обеспечения потребности населения в перевозках, соответственно имеет важное значение для устойчивого развития экономики страны. Повышение конкурентоспособности со стороны других видов транспорта, развитие конкуренции в сфере грузовых железнодорожных перевозок, угроза перенаправления

транзитных потоков по альтернативным маршрутам в обход территории Республики Беларусь и другие риски предопределяют необходимость реализации Белорусской железной дорогой политики по повышению качества предоставляемых услуг, а также сохранения и расширения клиентской базы [1].

Традиционная клиентская база железнодорожного транспорта включает в себя крупные предприятия с большими объемами перевозок на дальние расстояния, при этом грузопотоки являются устойчивыми и хорошо прогнозируемыми на месяц, что соответствует действующей на железнодорожном транспорте системе планирования. Однако развитие информационных технологий создало условия для повышения гибкости и динамичности цепей поставок, что стало важным конкурентным преимуществом предприятий для обеспечения устойчивой и быстрой реакции на изменения внешней среды, а также ускорило цикл производства и потребления товаров. Для железнодорожного транспорта эти изменения требуют значительного сокращения сроков планирования и снижают прогнозируемость грузопотоков, а отсутствие необходимых условий при организации перевозки в итоге может привести к потере целого сегмента потребителей на рынке транспортных услуг и к обращению их к конкурирующим видам транспорта.

По сравнению с автомобильным транспортом основными недостатками в организации перевозок железнодорожным транспортом в Республике Беларусь являются отсутствие гибкости в планировании, длительные сроки согласования, отсутствие определенности в дате погрузки и доставки, большие сроки доставки, наличие неустоек при невыполнении заявок на перевозку. Опыт по расширению клиентской базы и перечня предоставляемых услуг другими перевозчиками свидетельствует о наличии технических средств, возможностей информационных систем и других ресурсов для повышения клиентоориентированности перевозок и формирования конкурентоспособных услуг, по качественным характеристикам не уступающих предоставляемым автомобильным транспортом. В качестве примера можно привести услуги ОАО «РЖД»: ускоренная доставка «Грузовой Экспресс», доставка сборных грузов, перевозка грузов или порожних вагонов с согласованным временем отправления и прибытия и др. [2].

Существующая система планирования на Белорусской железной дороге требует подачи месячных заявок на перевозку за 12–15 дней до начала планируемого периода, дополнительных заявок – за 10 дней до начала перевозки. Фактически обязательства перед перевозчиком вынуждают грузоотправителей подавать месячные заявки, основываясь только на прогнозируемых данных о предполагаемых сделках с грузополучателями, вследствие чего существует практика внесения грузоотправителями изменений в основные заявки неограниченное количество раз в течение месяца перевозок за счет подачи дополнительных заявок. В результате планирование железнодорожным перевозчиком объемов работ на месяц основано на недостоверных данных, которые неизбежно изменяются в течение месяца перевозок.

Фактический поиск вагонов под конкретные заявки осуществляется за 1–2 суток до подачи вагонов под погрузку на основании оперативных данных о местоположении порожних вагонов, прогнозируемом времени выгрузки вагонов, а также на основании заявленного на следующие сутки количества вагонов грузоотправителем согласно заявке. Несмотря на большой интервал времени между подачей заявки и реализацией по ней перевозки, при планировании вагонопотоков не учитывается перемещение порожних вагонов грузоотправителей/грузополучателей, так как перевозчик не располагает данной информацией. Опыт ОАО «РЖД» показал, что при отсутствии координации и оптимизации перемещения порожних вагонопотоков повышается нагрузка на инфраструктуру, вплоть до превышения её пропускной способности, а также возможна ситуация дефицита перевозочных средств [3].

Анализ недостатков существующей технологии организации перевозок в части планирования позволяет сделать вывод о необходимости изменения существующих подходов к распределению перевозочных ресурсов (инфраструктуры и парка порожних вагонов) в целях создания необходимых условий для повышения качества транспортных услуг и расширения клиентской базы. Основными результатами такого изменения должны стать сокращение сроков планирования перевозок и снижение неопределенности в назначении даты погрузки и отправления грузов.

Совершенствование технологии предполагает также учет возможных изменений в структуре собственности перевозочных средств, принципах организации движения поездов и предоставления доступа к инфраструктуре, а также возможности ликвидации монополии национального перевозчи-

ка в Республике Беларусь. Поэтому возможны следующие варианты условий эксплуатации, которые должна учитывать новая методика распределения перевозочных ресурсов:

1) 100 % вагонов грузоотправителей и грузополучателей либо определенная часть вагонов грузоотправителей и грузополучателей, а остальная часть – вагоны инвентарного парка;

2) организация движения по плану формирования поездов, выделение твердых ниток графика для ядра или для отдельных струй вагонопотоков;

3) организация движения на территории администрации Белорусской железной дороги только национальным перевозчиком либо организация движения на территории администрации Белорусской железной дороги конкурирующими перевозчиками;

4) распределение ниток графика по плану формирования для национального перевозчика либо предоставление ниток графика конкурирующим перевозчикам владельцем инфраструктуры.

Перечисленные факторы влияют на исходные данные для решаемой задачи оптимизации распределения перевозочных ресурсов и выбор методики расчетов, поэтому авторами предлагаются следующие основные положения, учитывающие различные условия функционирования железнодорожного транспорта.

1 Сохранение существующей системы планирования для устойчивых и прогнозируемых вагонопотоков крупных грузовладельцев, внедрение ускоренного варианта планирования для остальной части вагонопотоков. При этом планирование загрузки инфраструктуры следует осуществлять следующим образом: по данным месячных заявок определять прогнозируемое значение потребной пропускной и перерабатывающей способностей, а остающийся резерв в режиме реального времени распределять между поступающими дополнительными заявками с привязкой к конкретной дате перевозки в течение месяца перевозок.

2 Реорганизация управления перемещением порожних вагонопотоков по сценариям: формирование услуги для владельцев подвижного состава по передаче во временную регулировку общесетевому перевозчику или формирование в режиме реального времени предложений перевозок грузов для владельцев подвижного состава в информационной системе оптимизации привязки порожних вагонов к заявкам и использование вагона для погрузки по конкретной заявке после получения согласия владельца вагона.

Предложенная методика оптимизации распределения перевозочных ресурсов позволит Белорусской железной дороге повысить конкурентоспособность и увеличить объемы перевозок, как следствие – повысить экономическую безопасность транспортной системы Республики Беларусь.

#### Список литературы

1 **Коришева, О. В.** Экономическая безопасность транспортных компаний в сфере грузовых железнодорожных перевозок : учеб. пособие / О. В. Коришева. – М. : РУТ (МИИТ), 2018. – 74 с.

2 ОАО «РЖД». Услуга перевозки грузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cargo.rzd.ru/ru/9435>. – Дата доступа : 10.09.2021.

3 **Никифорова, Г. И.** Исследование проблем деятельности операторских компаний в управлении вагонным парком / Г. И. Никифорова // Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке : 6-й сб. тр. XII С.-Петербург. конгресса. – СПб. : ПГУПС, 2018. – № 9 – С. 172–173.

УДК 656.225

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

*М. М. КОЛОС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Беларусь является экспортно ориентированным государством с хорошо развитым производственным сектором и сельским хозяйством. 61 % производимой продукции экспортируется. Товарная структура белорусского экспорта включает в себя более 1000 товарных позиций. Важнейшими экспортными позициями являются нефть и продукты нефтепереработки, калийные и азотные удобрения, металлопродукция, грузовые и легковые автомобили, тракторы, шины, молочная и мясная продукция.



География потребителей белорусского калия обуславливает поставки продукции морским транспортом, что в свою очередь ведет к необходимости организации смешанной перевозки с перевалкой груза в иностранных портах. При формировании системы доставки необходимо учитывать, что создаваемые в ее рамках схемы доставки являются довольно сложными: имеют большую географическую протяженность; проходят по территории разных государств; включают субъекты хозяйствования разной формы собственности со своей спецификой работы и собственными экономическими интересами; должны сочетать работу разных видов транспорта и т. п.

Формирование системы доставки калийных удобрений в страны Юго-Восточной Азии и Латинскую Америку морским транспортом подразумевает необходимость доставки удобрений по железной дороге в иностранные морские порты для их перевалки. Задача относится к нелинейным, что объясняется нелинейной зависимостью издержек на железнодорожную перевозку и перевалку в порту от объемов грузопотока и зависимостью издержек на морскую перевозку от грузоподъемности судна, а следовательно, от характеристик портов отправления и назначения. В конечном итоге необходимо найти такие объемы грузопотоков в направлении портов перевалки, которые минимизируют суммарные издержки, связанные поставкой продукции на условиях FOB или CFR.

Сложность и протяженность схем доставки делают их уязвимыми к воздействию негативных факторов. Схема доставки перестает функционировать, чаще всего в результате форс-мажорных обстоятельств. Форс-мажорные обстоятельства могут быть обусловлены факторами природного (наводнения, штормы, землетрясения) или социального (изменение законодательства, решения органов власти, блокада, санкции, военные действия) характера. Отказы, обусловленные форс-мажорными обстоятельствами, характеризуются локализацией в цепочке доставки, интенсивностью и продолжительностью, они могут быть временными (в этом случае работа цепочки доставки или канала приостанавливается) или постоянными (при которых работа схемы доставки становится невозможной в течение обозримого будущего).

Существующие в настоящее время практические решения по формированию системы доставки минеральных удобрений направлены на минимизацию транспортных издержек в настоящий момент или в краткосрочном периоде. Сегодня подавляющая часть экспортных калийных удобрений ОАО «Беларуськалий» переваливается в Клайпедском морском порту. Очевидно, что в условиях турбулентных явлений во внешней политике работа такой одноканальной системы значительно ослабляет устойчивость системы доставки и безопасность экспортных потоков, которые являются критически важными для формирования бюджета Республики Беларусь.

Одним из путей обеспечения безопасности экспорта калийных удобрений является формирование системы доставки в несколько портов перевалки, расположенных в разных морских бассейнах и разных государствах. Результаты проведенных расчетов свидетельствуют, что увеличение количества портов перевалки, то есть увеличение количества каналов в системе доставки, ведет к снижению издержек. В перспективе объемы поставок обеспечивают наличие скидок с тарифов при перевозке железнодорожным транспортом и перевалке продукции в порту отправления. Исследования позволили выявить фактические размеры скидок с тарифов на железнодорожную перевозку, обусловленные объемами предъявляемых к перевозке грузов и уровнем конкуренции. Для различных железных дорог они достигают уровня 10–40 % по отношению к исходным ставкам тарифов, что свидетельствует о достаточно высокой степени влияния выделенных факторов на издержки.

В условиях острой конкуренции между портами перевалки отсутствие жесткой привязки к какому-либо из портов перевалки становится важным преимуществом. Поддержание высокой конкуренции между портами (каналами логистической системы) позволяет играть на снижении затрат за счет благоприятной конъюнктурной ситуации. Выбор количества портов перевалки и методология формирования потоков в направлении этих портов непосредственным образом влияет на устойчивость логистической системы к воздействию негативных факторов техногенного, природного или социального характера.

Установление рационального количества портов или каналов в системе доставки массовых экспортных грузов позволяет, с одной стороны, увеличить надежность системы доставки, с другой – за счет повышения уровня конкуренции добиться снижения издержек, связанных с доставкой удобрений по железной дороге и их перевалкой. Для учета влияния рисков в системе доставки необходимо учитывать дополнительные издержки, связанные с простоем судов, увеличением парка вагонов и

хранением калийных удобрений, возникающие вследствие неработоспособности системы. Результаты расчетов свидетельствуют, что при увеличении количества портов перевалки эти издержки снижаются в зависимости от количества портов перевалки (каналов) в системе доставки: увеличение количества каналов с одного до двух снижает издержки от 6 до 15 %; увеличение количества каналов до трех приводит к снижению издержек от 7 до 18 %.

В рамках многоканальной системы доставки объемы грузов, направляемых по каналам логистической системы, представляют собой не только результат решения транспортной задачи, но и являются мощнейшим фактором формирования каналов логистической системы. Посредством изменения размеров грузопотока предприятие-экспортер в состоянии воздействовать как на работу отдельных звеньев цепочки доставки, так и на системы доставки в целом.

Минимальный объем грузопотока можно рассматривать в качестве производной от потенциально возможных объемов перевалки груза на специализированном терминале. При перевалке калийных и иных минеральных удобрений стивидорные предприятия стремятся заключать договоры с клиентами таким образом, чтобы полностью задействовать производственные мощности, привлекая минимальное количество клиентов. Для обеспечения безусловного приоритета обслуживания при прочих равных условиях достаточно обеспечить чуть более 50 % загрузки суммарной мощности терминала. В таком случае независимо от объемов приоритет переработки грузов такого клиента будет наивысшим.

#### Список литературы

- 1 Общая информация о внешней торговле: направления, задачи, итоги за актуальный период [Электронный ресурс] / М-во иностранных дел Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://mfa.gov.by/trade/>. – Дата доступа : 17.08.21.
- 2 Колос, М. М. Направления совершенствования системы доставки калийных удобрений / М. М. Колос // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2012. – № 1(24). – С. 92–95.
- 3 Колос, М. М. Формирование многоканальной системы доставки массовых экспортных грузов / М. М. Колос // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ. – 2021. – С. 193–196.

УДК 336.773

## КОММЕРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛИЗИНГОВЫХ КОМПАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ КАК ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

*Ю. В. КОРОЛЕВИЧ*

*Минский инновационный университет, Республика Беларусь*

Важнейшей отраслью экономики Республики Беларусь является транспортный комплекс. Цель транспортного комплекса заключается в обеспечении полного, своевременного и качественного удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в перемещении грузов и пассажиров. Его роль определяется необходимостью обеспечения экономической и экологической безопасности республики.

Экономическая безопасность на транспорте является частью экономической безопасности государства.

Под экономической безопасностью страны понимается такое состояние экономики и органов власти, которое обеспечивает защиту национальных интересов, высокий экономический потенциал при действии неблагоприятных внутренних и внешних факторов, поддержание социально-политической стабильности общества [1].

Одним из путей повышения экономической безопасности на транспорте в Республике Беларусь является деятельность лизинговых компаний.

Предприятия, организации, фирмы, осуществляющие лизинговые операции, называются лизинговыми компаниями. Как правило, лизинговые компании представляют собой малые предприятия с небольшой численностью сотрудников в штате. Основными объектами лизинга белорусских компаний являются транспортные средства, машины и оборудование, здания и сооружения, оргтехника.

Правовые основы деятельности лизинговых компаний регулируются Указом Президента Республики Беларусь от 25 февраля 2014 г. № 99 «О вопросах регулирования лизинговой деятельности» [2], по которому Национальный банк Республики Беларусь наделен необходимым спектром полномочий по регулированию лизинговой деятельности.

В самом общем смысле лизинг представляет собой комплекс имущественных отношений, связанных с передачей имущества во временное пользование (аренду).

В классическом лизинге участвуют минимум три стороны:

- собственник имущества (лизингодатель);
- пользователь имущества (лизингополучатель);
- продавец имущества (поставщик).

Но на практике число участников сделки может быть и большим. Как правило, лизингодатель привлекает ещё и банки для получения кредита на свою деятельность.

В зависимости от состава сторон лизинг подразделяется на *внутренний* и *международный*.

В Республике Беларусь используется только два критерия классификации лизинга: условия возмещения лизингодателю лизингополучателем затрат и права собственности на объект лизинга. Поэтому различают финансовый и оперативный лизинг [3]. При *финансовом лизинге* в течение договора лизинга, заключенного на срок не менее одного года, лизингодателю через лизинговые платежи возмещается более 75 процентов первоначальной стоимости объекта лизинга. А при *оперативном лизинге* в течение договора лизинга лизингодателю возмещается путём лизинговых платежей менее 75 процентов первоначальной стоимости объекта лизинга.

Юридически лизинговые отношения сторон оформляются в договоре лизинга.

По окончании договора лизингополучатель имеет право либо купить предмет лизинга по остаточной стоимости, либо заключить новое лизинговое соглашение на этот же предмет лизинга (как правило, на меньший срок и по льготной ставке) или на новую, более совершенную технику, либо возвратить лизингодателю предмет лизинга.

Различают специализированные и универсальные лизинговые компании. *Специализированные компании* работают с одним видом товаров (например, автотранспорт) или группой однородных товаров (например, строительным оборудованием, компьютерами). Такие компании обычно сами осуществляют техническое обслуживание объекта лизинга и следят за поддержанием его в нормальном эксплуатационном состоянии. *Универсальные компании* передают в аренду самые разнообразные объекты, техническое обслуживание и ремонт которых могут осуществляться как самой лизинговой компанией, так и лизингополучателем.

В настоящее время на фоне кредитной экспансии и роста белорусской экономики рынок лизинговых услуг динамично развивается.

По состоянию на 01.01.2019 г. в реестр Национального банка включено 97 лизинговых организаций, совокупный уставный фонд которых составляет 649,7 млн рублей [4].

Возросло количество лизинговых компаний с участием иностранного капитала, что говорит о привлекательности рынка лизинга в Республике Беларусь для иностранных инвесторов, добротной и благоприятной законодательной базе и развитости инфраструктуры лизинга в стране. Правовой основой регулирования международного лизинга является Указ Президента Республики Беларусь от 14 января 2019 г., № 16 «О развитии международного лизинга» [5].

Иностранные инвесторы из Кипра, Эстонии, России, Латвии, Литвы, США, Италии, Австрии, Великобритании, Шотландии в настоящее время имеют долю участия в уставных фондах белорусских лизинговых организаций.

По данным Ассоциации лизингодателей Беларуси, международным лизингам в республике в 2019 г. занимались 4 лизинговых организации: ОАО «Промагролизинг», ООО «РЕСОБелЛизинг», ООО «АСБ Лизинг», ООО «Риетуму Лизинг». Количество договоров международного лизинга в 2019 г. – 30, на общую сумму 92,731 млн рублей [6]. Использование международного лизинга в экономике страны особенно полезно в случаях дефицита капиталовложений, когда национальные предприятия не имеют достаточных собственных средств для инвестиций в производство.

В условиях влияния внешних кризисов и санкций на экономику Республики Беларусь лизинг, соответствующий международным требованиям, является одним из реальных инструментов, способных стимулировать развитие экономики страны и одну из её важнейших отраслей – транспорт и коммуникации.

### Список литературы

- 1 Экономическая безопасность и экономическая политика : учеб. пособие / А. В. Бондарь [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2007. – 423 с.
- 2 О вопросах регулирования лизинговой деятельности [Электронный ресурс] : указ Президента Респ. Беларусь от 25 фев. 2014 г. № 99 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2014.
- 3 Банковский кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 25.10.2000, № 441-3. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk0000441> . – Дата доступа : 12.09.2021.
- 4 Дедков, А. Основные тенденции и направления развития лизинга в Республике Беларусь / А. Дедков, Ю. Герасимчик // Банковский вестник. – Апр. 2019. – С. 32–34.
- 5 О развитии международного лизинга [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 14.01.2019, № 16 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь, 17.01.2019, 1/18136. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31900016&p1=1>. – Дата доступа : 12.09.2021.
- 6 Везубова, Т. А. Тенденция развития белорусского лизинга на современном этапе / Т. А. Везубова, Е. И. Барановская // Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития : материалы XXI Междунар. науч. конф. – Минск, 2020. – Т. 3. Секция 4 «Инновационно-инвестиционное развитие экономики». – С. 16–17.

УДК 656.2.003:336.763

## СПРАВЕДЛИВАЯ СТОИМОСТЬ АКТИВОВ КАК ОСНОВА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТА

*А. В. КРАВЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях усиления процессов глобализации важное значение отдается информации как основному источнику обоснования принимаемых решений по управлению компаниями и по инвестированию средств в них. Основным информационным источником является бухгалтерская финансовая отчетность. В соответствии с постановлением министерства финансов Республики Беларусь «Об утверждении Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности “Индивидуальная бухгалтерская отчетность”», внесении дополнений и изменений в постановление Министерства финансов Республики Беларусь от 30 июня 2014 г. № 46 и признании утратившими силу постановлений Министерства финансов Республики Беларусь от 31 октября 2011 г. № 111 и отдельных структурных элементов некоторых постановлений Министерства финансов Республики Беларусь» № 104 от 12.12.2016 предусмотрены различные оценки активов и обязательств при отражении их в отчетности. Однако стоит отметить, что применяемые на сегодняшний день оценки активов не в полной мере соответствуют требованиям рынка, собственника, кредитора и инвестора.

Современные условия хозяйствования требуют принципиально нового подхода к оценке активов и обязательств компании. Стоимость оцениваемого объекта определяется, прежде всего, ожидаемой экономической выгодой от его использования. Достоверная оценка позволяет прозрачно отражать реальное состояние компании, что, в свою очередь, будет выступать гарантом уверенности инвестора в оценке финансового состояния, экономической эффективности вложений.

На стыке проблемы оценки имущества многие авторы дискутируют как о необходимости применения справедливой стоимости, так и о трактовке понятия «справедливая стоимость».

Хендриксен Э. С. отмечает, что справедливая стоимость не является самостоятельной оценкой, которая может использоваться для составления финансовой отчетности, а, скорее, представляет комбинацию различных оценок, установленную специальной комиссией [1].

Адъфред Кинг утверждает, что справедливая стоимость – это то же самое, что и чистая стоимость реализации, которая используется в некоторых случаях при оценке запасов [2].

Российский автор Сорокина Е. М. справедливую стоимость рассматривает с двух позиций: присутствия и отсутствия рынка. В условиях активного рынка справедливая стоимость отождествляется с рыночной стоимостью и определяется спросом и предложением. В случае, когда активный рынок отсутствует, автор рассматривает справедливую стоимость как аналогию рыночной стоимости, если сделки на нем совершаются нерегулярно, но имеют возможность соблюдения всех условий, позволяющих определить справедливую стоимость [3].

Малькова Т. Н. дает следующее определение: «справедливая стоимость – это стоимость, по которой независимые и информированные стороны могут приобрести активы / погасить обязательства» [4].

Туякова З. С. указывает, что «справедливая стоимость – качественная характеристика стоимостного измерения объектов бухгалтерского учета с использованием системы альтернативных способов оценки, основным из которых является рыночная стоимость при наличии активного и немонополизированного рынка и соблюдения условий осведомленности, заинтересованности, независимости и действительного желания сторон совершить сделку [5]. В качестве альтернативного вида стоимости выступают дисконтированная и восстановительная стоимости, а также рассматривается возможность замещения исторической стоимостью.

Международный стандарт финансовой отчетности (IFRS) 13 «Оценка справедливой стоимости» гласит, что справедливая стоимость – это цена, которая была бы получена при продаже актива или уплачена при передаче обязательства в ходе обычной сделки между участниками рынка на дату оценки [6]. При этом МСФО 13 допускает использование метода оценки по первоначальной стоимости для учета нефинансовых активов, по которым затруднительно обеспечить достоверную оценку.

Стандарт определения справедливой стоимости подразделяет информацию, на основании которой она производится, на три уровня.

1 Рыночный. Нефинансовый актив оценивается по стоимости такого же на активном рынке в данный момент времени (момент оценки). Первый уровень определяет несомненную оценку.

2 Корректировочный. Актив или обязательство не постоянны, а относятся к определенному периоду, их стоимость можно определить только в этот период, сравнив с котировками на данный момент. Поэтому справедливая стоимость уже будет не безоговорочной, а скорректированной на время, место, состояние актива и особенности рынка. Второй уровень требует дополнительных методов оценивания.

3 Ненаблюдаемый. Иногда данные для определения стоимости актива или обязательства невозможно определить прямо (они ненаблюдаемы), в этом случае нужно анализировать весь максимум доступной об активе информации. На третьем уровне нужно приводить сопутствующую оценке информацию: изменения в отчетном периоде, суммы затрат и прибылей по этому активу за оцениваемый период, описание процесса оценивания.

В первый уровень попадают финансовые инструменты, для определения справедливой стоимости которых используются котировки рынка без каких-либо изменений. Для второго уровня – финансовых инструментов – используются другие данные рынка с аналогичными финансовыми активами или обязательствами, которые могут быть прямо или косвенно взяты для их оценки. Третий уровень включает все остальные финансовые активы и обязательства, не относящиеся к первым двум уровням, и предполагает отсутствие активного рынка, другого рынка с аналогичными инструментами, поэтому и расчет справедливой стоимости должны осуществлять сотрудники компании, опираясь на профессиональное суждение. Соответственно, третий уровень иерархии справедливой стоимости представляет собой наиболее трудоемкий и неоднозначный процесс применения справедливой стоимости оценки финансовых инструментов.

Применение уровней определения справедливой стоимости позволит обеспечить возрастание капитала транспортных организаций, что приведет к обеспечению экономической безопасности, соблюдению интересов собственника, формированию достоверной информации, привлечению иностранных инвесторов. Однако для активации применения справедливой стоимости следует четко определить те объекты учета и условия, при которых данное понятие будет экономически обосновано, разработать методические указания (положения), позволяющие обеспечить единство понимания как самого термина, так и условий его применения.

Возможность применения справедливой стоимости приведет к повышению информационной функции бухгалтерского финансового учета, однако отмечается снижение контрольной функции, что является немаловажным в управлении активами. В свою очередь, предприятиям транспорта не стоит отказываться от понятий учетной и фактической себестоимости как учетной оценки актива, что обусловлено особенностью заготовительного процесса.

Резюмируя вышесказанное, отметим, что в современных условиях возникла необходимость применения справедливой стоимости предприятиями транспорта как основы информационного обеспечения, однако должна быть проведена большая работа, обеспечивающая единство трактовки, методологии учета, формирования показателей отчетности.

## Список литературы

- 1 Хендриксен, Э. С. Теория бухгалтерского учета : пер. с англ. / Э. С. Хендриксен, М. Ф. Ван Бреда. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 576 с.
- 2 Кинг, А. Оценка справедливой стоимости для финансовой отчетности: Новые требования FASB / А. Кинг. – М. : Альпина Паблишер, 2011. – 383 с.
- 3 Сорокина, Е. М. Оценка активов организации по справедливой стоимости / Е. М. Сорокина, С. А. Макаренко // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2004. – № 4. – С. 17–21.
- 4 Малькова, Т. Н. Теория и практика международного бухгалтерского учета / Т. Н. Малькова. – СПб. : Бизнес-пресса, 2003. – 348 с.
- 5 Туякова, З. С. Справедливая стоимость в системе рыночной оценки объектов бухгалтерского учета / З. С. Туякова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 9 (59). – С. 199–205.
- 6 Международный стандарт финансовой отчетности (IFRS) 13 «Оценка справедливой стоимости». – Режим доступа : [http://minfin.ru/common/upload/library/no\\_date/2021/prilozhenie\\_No\\_7\\_-\\_RU\\_GVT\\_IFRS\\_13\\_May\\_2011.pdf](http://minfin.ru/common/upload/library/no_date/2021/prilozhenie_No_7_-_RU_GVT_IFRS_13_May_2011.pdf). – Дата доступа : 10.09.2021.
- 7 Шатров, С. Л. Оценочные резервы в системе управления активами железнодорожного транспорта : [монография] / С. Л. Шатров, О. В. Липатова, А. В. Кравченко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 175 с.
- 8 Федива, Н. С. Справедливая стоимость: международные подходы к оценке активов транспортных организаций / Н. С. Федива, С. Л. Шатров, А. В. Кравченко // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – 2018. – С. 262–263.

УДК 656.2

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ, ЦИФРОВИЗАЦИИ И ЛОГИСТИЗАЦИИ СТАНЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

*П. В. КУРЕНКОВ, С. А. ФИЛИПЧЕНКО, А. В. АСТАФЬЕВА*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

*Д. Ю. ЛЕВИН*  
*Российская академия естественных наук, г. Москва*

Повышение уровня безопасности функционирования железнодорожного транспорта является важнейшим государственным приоритетом развития и модернизации отрасли, научных исследований и текущей эксплуатационной работы.

Непосредственное решение задач по обеспечению безопасности движения приходится решать дежурно-диспетчерскому аппарату. Особое место принадлежит дежурному по станции, который принимает решения в стандартных, нестандартных и аварийных условиях при острой нехватке времени, непредсказуемости ситуаций, повышенного риска.

И без того ответственная и напряженная работа дежурного по станции в современных условиях еще усугубляется дефицитом путей на станциях и пропускной способности на участках. Установлено, что 80–85 % всех случаев нарушений безопасности движения по хозяйству перевозок так или иначе связано с виной дежурного по станции. В силу повышения надежности и функциональности технических средств, доля ошибок человека стала значительно превышать технические сбои.

Все ошибки дежурного по станции можно объединить в несколько групп:

- ошибки подмены, когда вместо требуемого, выполняется другое действие;
- ошибки последовательности – это неправильные, слишком быстрые или медленные действия;
- ошибки памяти – в нужный момент не выполняются требуемые действия;
- ошибки регламента – нарушается очередность действий;
- ошибки потери концентрации (внимания) при восприятии и выполнении управляющих действий;
- ошибки оцепенения при растерянности, испуге.

Из всего многообразия функций дежурного по станции выделим: 1) планирование поездных и маневровых маршрутов следования поездов; 2) непосредственное управление устройствами СЦБ в штатном режиме; 3) приготовление маршрутов следования поездов в нештатном режиме. Если на небольших станциях для выполнения этих функций от дежурного по станции требуются высокая

бдительность, внимательность, соблюдение регламента переговоров, безупречное знание технических средств станции, технологического процесса, инструкций и правил. То на крупных станциях этого оказывается недостаточно для обеспечения безопасности и выполнения графика движения.

Для решения этой проблемы и создания комфортных условий работы дежурного по станции на крупных пассажирских станциях предлагается автоматизировать его работу. В дальнейшем предлагаемые решения целесообразно использовать на рабочих местах не только дежурных по станции, но и поездных диспетчеров. Для автоматизации основных функций дежурного по станции использованы дискретно-событийное моделирование функционирования станции и методы супервизорного (диспетчерского) управления.

Поставлена цель разрешить основную коллизию традиционной схемы управления поездной и маневровой работой, заключающуюся в том, что дежурный персонал инициирует выполнение функций управления и контролирует результаты их исполнения, на основе чего и возникают возможные ошибки. В традиционной схеме дежурный по станции находится над всеми задачами, являясь инициирующим и контролирующим звеном цепочки управления. При этом основными регламентирующими инструментами являются график движения и инструкции. Формализация регламента и включение его модели в качестве главного контролирующего и управляющего звена в схеме управления, с одной стороны, автоматизирует ряд функций, которые в традиционной схеме выполняет дежурный по станции; с другой – ограничивает его роль, например, при приготовлении маршрутов приема, отправления и пропуска поездов. Регламентами и определяется роль человека в цепочке управления поездной и маневровой работой. Новый механизм управления основан на событийном моделировании путем введения модели активных сценариев, которые моделируют регламенты и другие нормативные документы, особенно в нештатных ситуациях.

Использование событийного моделирования основано на том, что автоматизация технологических процессов достигается на основе строго выполнения предписаний регламентов, инструкций и технологии, путем формализации структуры производственных и технологических процессов, мониторинга их выполнения и оперативной коррекции отклонений. Формализация регламента и включение его модели в качестве главного контролирующего и управляющего звена в схеме управления, с одной стороны, автоматизирует необходимые функции, которые в существующей схеме выполняются «вручную», с другой – ограничивает роль дежурного по станции контролем. Событийное моделирование основано на введении модели активных сценариев, которые моделируют регламенты и нормативно-технологические документы; описании алгоритмов управления и воздействия на объект управления.

Основной задачей событийного моделирования, отвечающего сформулированным целям, является представление структуры станции, всех выполняемых работ и операций в виде моделей процессов, программ достижения технологических целей в виде активных сценариев и интерпретации их выполнения сменой состояния структуры и генерации соответствующего потока событий.

Дискретно-событийное моделирование позволяет создать схему логического управления последовательностью событий. Основными событиями являются приготовление маршрутов следования поездов и их движение по ним.

События наступают в указанные моменты времени (по графику движения поездов), в которые автоматически готовятся маршруты прибытия и отправления поездов. Примеры событий: изменения состояния отдельных компонентов модели; следование поездов по подготовленным маршрутам и т. д. График движения поездов определяет время, в которое реагирует модель и меняет свое состояние (местоположение поездов на станции, положение стрелок, показания светофоров и др.). Последовательная обработка событий в модели ведется автоматическим дежурным по станции по принципу «обратной связи».

Дискретно-событийная система с таймером – это набор  $\langle E, G, K, S, t_c \rangle$ , где  $E$  – конечное множество событий;  $G$  – размеченный граф путевого развития станции;  $K$  – выбранные маршруты следования поездов,  $S$  – супервизор (управляющий компонент ДСС), обеспечивающий реализацию событий в соответствии с выбранными маршрутами следования поездов.

Работа модели связана с генерацией событий в соответствии с расписанием прибытия и отправления поездов. Таймер сигнализирует время наступления очередного события. Из возможных вариантов маршрутов следования поездов выбирается необходимый по определенным критериям (крат-

чайший путь и минимум враждебности с пропуском других поездов). При этом модель имитирует движение поезда и при возникновении враждебности или препятствия прекращается рассмотрение этого варианта и рассматривается другой вариант маршрута следования поезда.

По результатам расчета модель выдает таблицу с выбранными маршрутами следования поездов. Полученные результаты на модели автоматизированного дежурного по станции после одобрения реального дежурного по станции реализуются устройствами электрической централизации стрелок и сигналов путем автоматического перевода стрелок и включением разрешающего показания светофоров. Модель по результатам расчетов формирует электрические сигналы для воздействия на устройства СЦБ через программируемые логические контроллеры.

Разработанная дискретно-событийная модель, лежащая в основе системы автоматизированного дежурного по станции, позволяет:

- при введении нового графика движения поездов автоматизировать разработку суточного плана-графика работы пассажирской станции;
- при изменении графика движения поездов (при возрастании и уменьшении пассажиропотока, предоставлении «окон» и т. д.) автоматизировано корректировать суточный план-график работы пассажирской станции;
- при значительных отклонениях движения поездов от нормативного графика оперативно менять маршруты следования поездов на станции и оптимизировать распределение приема поездов на перронные пути;
- при отказах подвижного состава, устройств пути, СЦБ и контактной сети автоматизировано готовить маршруты приема и отправления поездов, не допуская их непроизводительного простоя;
- для обеспечения графика движения рассчитывать оборот пригородных поездов на участках и необходимое число составов;
- для обеспечения графика движения оптимизировать оборот локомотивных бригад, определять их потребное число и составлять график работы локомотивных бригад.

Разработано программное обеспечение для автоматизации формирования суточного плана-графика работы крупной пассажирской станции на основе алгоритма дискретно-событийного моделирования работы станции.

Программное обеспечение позволяет задать расписание движения поездов, схему путевого развития станции, начальное расположение поездов на станции, возможность использования различных участков для прохождения поездов, маршруты следования поездов по станции, а также моделировать возникновение нештатных ситуаций. Для разработки суточного плана-графика и моделирования работы станции созданы настройки (рисунки 7–10), которые позволяют менять параметры отображения, скорость вычислений, собирать статистику.

Для работы в нештатных и аварийных ситуациях в системе автоматизированного дежурного по станции кроме решения задачи по выбору маршрутов следования поездов содержится блок безопасности. В меню блока безопасности перечислены все возможные ситуации. Реальный дежурный по станции вместо поиска в инструкциях регламента действий в меню находит возникшую на станции ситуацию. После нажатия на соответствующую кнопку предоставляется алгоритм его действий. Строгое выполнение алгоритма гарантирует обеспечение безопасности движения.

Использование дискретно-событийного моделирования позволило создать систему автоматизированного дежурного по крупной пассажирской станции. Управление поездной работой основано на интерпретации технологических сценариев в штатном, нештатном и аварийном режимах. Событийные модели позволили реализовать принцип управления с обратной связью по отклонениям от графика движения поездов и отказам подвижного состава, устройств пути, СЦБ и контактной сети. Активные технологические сценарии использованы как программы:

- автоматизированной разработки нормативно-технологических документов;
- автоматизации работы дежурного по станции;
- ликвидации или сокращения отклонений от графика движения поездов;
- оптимальной работы в аварийных ситуациях;
- обеспечения безопасности движения.

Полученные решения позволили переложить ряд функций управления с человека на автоматизированную систему и показали новые возможности автоматизации управления поездной и маневровой работой не только на станциях, но и на участках.



## **РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*О. В. ЛИПАТОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях хозяйствования и разработки экономической политики развития организаций Республики Беларусь актуальной становится проблема разработки соответствующего механизма управления затратами, определения инструментария сознательного использования экономических законов. На железнодорожном транспорте система управления затратами включает в себя целый комплекс последовательно и постоянно осуществляемых организационных и практических мероприятий, при этом в сферу управления попадает как производственная деятельность всей железной дороги в целом, так и отдельных структурных подразделений, выраженная экономическими показателями.

Действующий порядок аналитических исследований в области оптимизации расходов железной дороги и последующая реализация результатов анализа имеют целый ряд существенных недостатков, так как не обеспечивают полного контроля за использованием технических средств, материалов, топлива, электроэнергии и заработной платы и не в полной мере заинтересовывают предприятия в снижении затрат. Для выявления резервов сокращения и оптимизации эксплуатационных расходов необходимо осуществлять дифференцированный подход к поиску резервов по снижению уровня затрат и начинать аналитические исследования непосредственно с низовых предприятий.

Дифференцированный подход к поиску резервов по отраслевым хозяйствам и его взаимосогласованность и взаимообусловленность на различных уровнях управления позволит разработать механизм сокращения уровня расходов, консолидирующей частью которого должна стать отраслевая составляющая. Результатом внедрения такого механизма поиска резервов снижения затрат станет возможность сбалансировать результаты хозяйствования и определить наиболее экономически обоснованные решения в области экономической политики на дорожном уровне.

Внедрение дифференцированного подхода к поиску резервов снижения величины затрат (эксплуатационных расходов) на Белорусской железной дороге может быть реализовано при использовании методики оптимизационного сравнительного анализа. Данный вид анализа представляет собой метод оптимизации величины расходов структурных подразделений со схожими условиями работы, видом выполняемых работ и организационно-техническим уровнем путем определения эталонных значений (минимальных значений на принятый измеритель) и разработки рекомендуемой величины расходов с учетом принятых эталонов и планируемых объемов работы подразделений. При этом ответственность за расходы при таком многообразии структурных подразделений должна выполнять служба, на которую возлагается роль центра ответственности в выполнении определенной технологической операции в перевозочном процессе и, следовательно, именно на уровне службы целесообразным и экономически обоснованным является разработка мероприятий по повышению эффективности хозяйствования и оптимизации уровня затрат.

В процессе оптимизационного сравнительного анализа затрат можно выделить ряд последовательных этапов, которые позволят понять сущность предлагаемого метода.

На первом этапе анализа на основании аналитических исследований в разрезе отраслевых хозяйств выделяются обособленные подразделения со схожими условиями хозяйствования.

На втором этапе по результатам все структурные подразделения, разграниченные ранее, объединяются в одну или несколько групп со схожими условиями работы, видом выполняемых работ и организационно-техническим уровнем.

Третий этап предусматривает выбор измерителей (измерителя), от величины которых зависит величина эксплуатационных расходов по каждому хозяйству. Причем необходимо отметить, что для определенных ранее группировок выбранные измерители (измеритель) должны быть идентичными.

На четвертом этапе определяются удельные затраты на единицу выбранного измерителя, т. е. осуществляется расчет частной, удельной себестоимости производственного процесса каждого структурного подразделения.

Пятый этап предполагает определение внутри каждой группы структурного подразделения, имеющего минимальные удельные затраты. Удельные затраты выбранного структурного подразделения принимаются в качестве эталонных для ограниченной ранее совокупности структурных подразделений со схожими видом работ и условиями работы.

Шестой этап предполагает определение для каждой группы структурных подразделений рекомендуемой величины эксплуатационных расходов путем корректировки эталонного значения удельной величины затрат на единицу измерителя на фактический (предполагаемый) объем работы данного структурного подразделения.

Заключительный этап предусматривает определение экономии эксплуатационных расходов, которая может быть получена в случае достижения структурным подразделением эталонного уровня эксплуатационных расходов как разница между фактическими затратами и их скорректированным эталонным значением. Кроме того, на данном этапе в зависимости от количества обособленных подразделений, имеющих эталонную величину удельных расходов и масштабов распространения их технологии, организации производства и труда на другие обособленные подразделения, оценивается их влияние на уровень затрат по соответствующим отраслям хозяйства.

Предлагаемый подход в аналитическом исследовании затрат является реальным инструментом управления затратами железной дороги. Углубленное всестороннее применение предлагаемого метода анализа на всех уровнях управления и хозяйствования позволит выявить резервы экономии даже в тех хозяйствах и предприятиях, которые сейчас кажутся самыми эффективными.

Опыт работы предприятий Белорусской железной дороги в условиях перехода к рынку показал, что для выполнения поставленных перед железнодорожным транспортом задач повышения эффективности производства необходимо усиление роли перспективных аналитических исследований хозяйственной деятельности в основных подразделениях и организационных структурах железнодорожного транспорта. Поэтому предлагается для определения прогнозных показателей развития железной дороги использовать методику перспективного анализа эксплуатационных расходов на основе метода целевой прибыли, сущность которой заключается в выявлении возможных резервов снижения эксплуатационных расходов при прогнозируемом уровне объема перевозок и заданном уровне рентабельности, обеспечивающем нормальное развитие предприятия.

На основе анализа рынка транспортных услуг определяется прогнозное значение объема перевозок, ожидаемая величина доходных поступлений (с учетом инфляции) и прибыли, а также определяется уровень рентабельности необходимый для обеспечения нормальной жизнедеятельности дороги и социального развития ее коллектива. После этого определяется величина расходов с таким расчетом, чтобы все они покрывались намечаемыми доходами и при этом обеспечивалось получение необходимой прибыли. Эта величина расходов признается оптимальной при заданных условиях хозяйствования.

Анализ эксплуатационных расходов на основе их оптимизации как в оперативном, так и в перспективном анализе отличается от традиционных методов более сильным воздействием со стороны управления на формирование себестоимости и более оперативной информацией, необходимой для принятия управленческих решений в ходе производственного процесса.

#### Список результатов

1 **Гизатуллина, В. Г.** Управление затратами на железнодорожном транспорте: [монография] / В. Г. Гизатуллина, О. В. Липатова – Гомель : БелГУТ, 2008. – 352 с.

2 **Шатров, С. Л.** Аутсорсинг бизнес-процессов транспортных систем [монография] / С. Л. Шатров, О. В. Липатова, И. А. Кейзер. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 203 с.

3 **Липатова, О. В.** Развитие учетно-аналитических подходов процесса управления затратами / О. В. Липатова // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель, 2017. – Вып. 10. – С. 45–55.

4 **Липатова, О. В.** Оценка современного состояния и пути совершенствования анализа эксплуатационных расходов на железнодорожном транспорте / О. В. Липатова // Бухгалтерский учет и анализ. – 2005. – № 10. – С. 41–44.

УДК 656.2:003

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

*А. В. МИТРЕНКОВА, Д. А. ИГНАШЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

За последние годы в мировой экономике всё большую значимость приобретают глобализация и интеграция, которые приводят к росту объемов мировой торговли, что в свою очередь ведет к увеличению спроса на логистические услуги (доставку, хранение, обработку, таможенные и другие

операции). При высокой конкуренции в большинстве сфер производства очень важную роль играет конечная стоимость товара, т. е. та стоимость, которую заплатит потребитель с учетом всех логистических операций, необходимых для доставки по схеме «от двери до двери» (DTD).

Проведенные исследования показали, что проектирование системы доставки грузов является сложной и многовариантной задачей. При решении данной задачи необходимо осуществить комплекс мероприятий, связанных с проектированием системы доставки грузов, выбором варианта доставки, по анализу и выбору логистических посредников, контролю качества их деятельности. При этом необходимо учесть, что основным критерием для потребителя в настоящее время является соблюдение сроков поставки (точно во время) и минимизация издержек.

Анализ проблем, связанных с выбором логистических посредников и оптимальной схемы доставки груза, нашел отражение в работах Аникина В. А., Бенсон Д., Будриной Е. В., Гаджинского А. М., Домниной С. В., Зайцева Е. И., Королевой Е. А., Куренкова П. В., Лукинского В. С., Миротина Л. Б., Мошина Ю. А., Парфенова А. В., Сергеева В. И., Ташбаева Ы. Э., Уварова С. А., Чудаков А. Д., Холопова К. В., Штина А. А. и др. Однако, несмотря на достигнутые результаты, по-прежнему остается актуальной разработка новых методических подходов, позволяющих решать комплексные задачи проектирования систем доставки грузов.

Реализация поставленной цели обусловила необходимость решения ряда взаимосвязанных задач:

- анализ развития транспорта при выполнении внешнеторговых перевозок;
- анализ состояния, тенденции развития и применение теории логистики при доставке внешнеторговых грузов;
- проектирование системы доставки грузов и разработка обобщенного алгоритма выбора системы доставки с учетом ограничений;
- совершенствование методик выбора логистических посредников;
- разработка системы показателей оценки качества деятельности логистических посредников;
- разработка комплексной информационной базы для проектирования системы доставки грузов и оценки качества деятельности логистических посредников, апробация разработанных методик на примере организации контейнерных рефрижераторных перевозок.

Объектом исследования являются транспортные, экспедиторские, брокерские компании и другие операторы рынка, участвующие в системе доставки грузов.

Предметом исследования являются модели и методы управления доставкой грузов, а также факторы, влияющие на качество деятельности логистических посредников (ЛП).

Теоретической и методологической основой исследования послужили теория вероятности, теория логистики, методы экономико-математического моделирования, методы решения задач оперативного планирования грузовых перевозок. В качестве инструментов исследования нашли применение методы: логического анализа и синтеза, статистической обработки информации, социологические.

Анализ современного состояния внешнеэкономических связей Республики Беларусь показывает, что наблюдается рост объемов перевозимых экспортно-импортных грузов и в сложившейся экономической ситуации роль транспорта будет непрерывно возрастать. Наиболее динамично развиваются контейнерные перевозки, которые имеют большое влияние на обеспечение положительного внешнеторгового баланса нашей страны.

Подходы к проектированию логистической системы доставки грузов, ориентированные на решение задач минимизации времени или затрат и не учитывающие контроль качества системы доставки груза не могут считаться эффективными, особенно в долгосрочной перспективе.

Определение места и роли логистических концепций (всеобщего управления качеством, точно во время, быстрого реагирования и др.) позволило выявить основные проблемы при проектировании системы доставки грузов, к которым относятся: множественность маршрутов; неточность методики выбора ЛП, отсутствие системы контроля качества и др.

Разработанные обобщенные алгоритмы для проектирования мультимодальной доставки включают формирование альтернативных способов доставки, выбор оптимальных маршрутов на основе сетевых графиков, оценку качества доставки на основе концепции «точно во время», контроль качества функционирования логистического посредника. Использование данного алгоритма позволяет определить оптимальный способ доставки, выбор вида транспорта, проверку ограничений по видам транспорта, соблюдение концепции «точно во время».

Анализ методик выбора ЛП показал, что они требуют дополнительного развития и усовершенствования. Метод выбора ЛП уточняет существующие подходы в виде следующих дополнительных операций: процедуры ранжирования показателей (критериев); выбор весовых коэффициентов, которые определяются в соответствии с ранжированными показателями; многокритериальная оценка; непрерывный процесс контроля ЛП с введением процедуры оценки качества.

Для оценки качества проектируемой системы доставки грузов и функционирования логистических посредников разработаны и обоснованы следующие ключевые показатели: время доставки; сохранность груза; мониторинг; ценовая политика; предоставление нужного объема транспорта в нужное время. Разработан алгоритм контроля качества перевозочного процесса, основанный на использовании контрольных карт для ключевых показателей и статистических методов анализа. Рассмотренный алгоритм показал высокую эффективность ее применения при международных смешанных перевозках. Обоснована необходимость формирования информационной базы для реализации разработанных методик и алгоритмов, которая должна включать в себя сбор данных от участников логистических цепей поставок: грузоотправителей, грузополучателей, региональных логистических центров (складов и терминалов), союзов и ассоциаций (МСАТ, ФИАТА и др.), таможенных органов.

#### Список литературы

1 Еловой, И. А. Организация транспортно-экспедиционного обслуживания / И. А. Еловой [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 92 с.

2 Еловой, И. А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с. – (Сер. «Мировая экономика»).

УДК 656.073.235

### **РОЛЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕРМИНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

*О. В. МОСКВИЧЕВ, Д. В. ВАСИЛЬЕВ*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Важнейшим стратегическим направлением модернизации транспортной системы является сбалансированное развитие инфраструктуры транспорта. Актуальность транспортных проблем подтверждается тем, что до 50 % всех затрат на организацию логистического сервиса связано с транспортными издержками, минимизация которых позволит создать эффективную систему транспортной логистики на территории Российской Федерации.

В условиях увеличения товарооборота с высокой удельной стоимостью наблюдается тенденция к ужесточению требований к качеству и надежности предоставляемых транспортных услуг, в том числе к сокращению и соблюдению сроков доставки, обеспечению сохранности перевозимых грузов, полноте и доступности транспортных услуг, снижению транспортных издержек.

Развитие перевозок грузов в контейнерах является одной из важнейших доминант создания инновационной, конкурентной и интегрированной транспортной системы. Контейнерные перевозки значительно сокращают общие транспортные издержки, которые входят в себестоимость продукции. На сегодняшний день более 70 % международных перевозок тарно-штучных грузов – это перевозки в контейнерах.

Для достижения целей по росту объемов контейнерных перевозок и повышению уровня конкурентоспособности железнодорожного транспорта при перевозках контейнеропригодных грузов холдинг «РЖД» проводит политику, направленную на достижение практических улучшений в нескольких направлениях [1]:

- автоматизация и цифровизация технологических процессов на контейнерных терминалах;
- совершенствование технологий перевозок контейнеров, в том числе за счет внедрения нового подвижного состава;

- улучшение уровня информационного обеспечения перевозок;
- развитие и модернизация терминальной инфраструктуры и станций, выполняющих существенные объемы переработки контейнерных отправок;
- повышение уровня взаимодействия и кооперации с партнерами по реализации логистических технологий и интермодальных схем перевозок;
- развитие линейки конкурентоспособных услуг и повышение их привлекательности для клиентов.

К приоритетным мероприятиям относятся [2]:

1) формирование сети крупных терминалов-хабов, способных обеспечить ритмичную работу с контейнерными поездами;

2) организация челночных грузовых перевозок по пассажирскому принципу – следование контейнерных поездов постоянной составности на высокой скорости, продажа грузовых мест в которых будет производиться по принципу продажи мест в пассажирских поездах. Остановки предусматриваются на станциях, расположенных вблизи крупных городов. Прием поезда осуществляется на боковой путь, оборудованный небольшой площадкой с погрузочно-разгрузочным механизмом (ПРМ).

Одна из ключевых задач, которые необходимо решить в рамках данных мероприятий, – определение оптимальных планов работы ПРМ. Это необходимо для сокращения длительности начально-конечных операций в первом случае и простоя в пути следования под грузовыми операциями во втором. Таким образом, значительно сократится срок доставки контейнеров.

Формирование контейнерных поездов полной длины делает крайне затруднительным ручное определение оптимального плана постановки контейнеров на фитинговые платформы: для контейнерного поезда длиной 71 условный вагон максимальная загрузка составляет 126 ДФЭ, что соответствует  $2,372 \cdot 10^{211}$  различных вариантов порядков постановки [3]. В связи с увеличением объемов контейнерных перевозок и необходимостью сокращения сроков доставки для обеспечения конкурентоспособности железнодорожных контейнерных перевозок требуется внедрить программную систему, самостоятельно определяющую планы работы ПРМ на основе данных о предстоящей работе и текущей ситуации на контейнерном терминале [4].

В силу большого числа вариантов последовательностей постановки контейнеров на поезд их полный перебор для определения оптимального невозможен. Для сокращения полного перебора могут быть использованы эвристические алгоритмы, например, генетический алгоритм [5]. Его главным преимуществом применительно к данной задаче является изначально заложенный принцип перебора и преобразования последовательностей. Пример его работы представлен на рисунке 1.

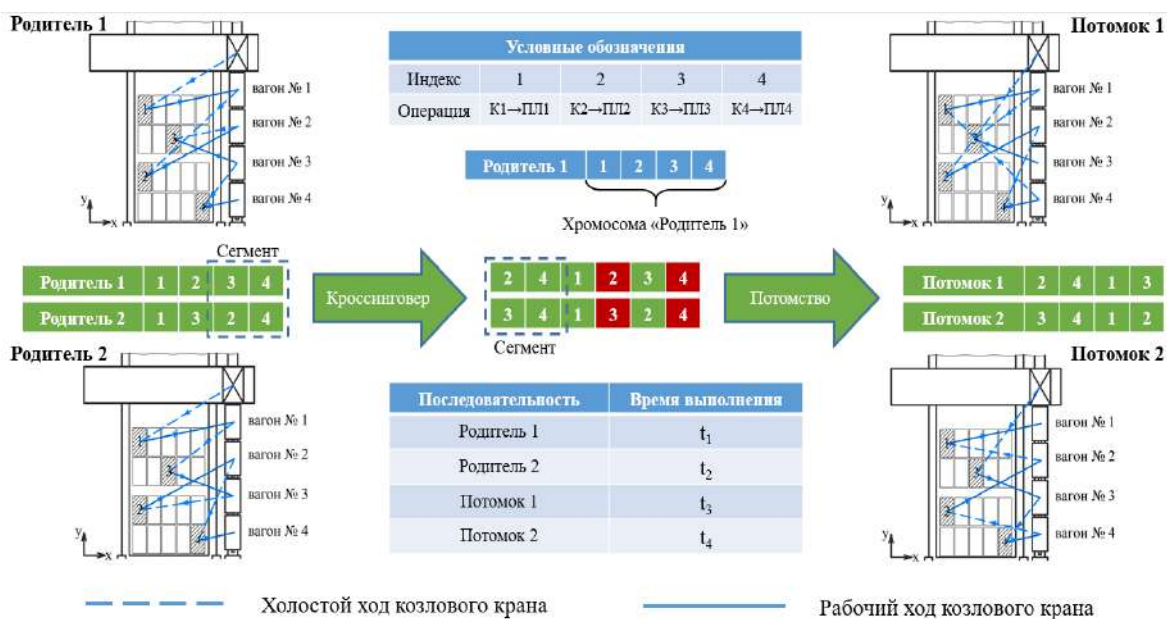


Рисунок 1 – Пример работы генетического алгоритма для определения оптимальной последовательности постановки контейнеров

Общий принцип заключается в следующем: случайным образом отбирается и сортируется по времени выполнения ряд последовательностей, на основе которых в дальнейшем формируются новые последовательности. В зависимости от времени выполнения новых последовательностей их могут взять для дальнейших экспериментов или отбросить. Так продолжается до момента достижения заданного критерия останова. Результаты численных экспериментов представлены в таблице 1.

*Таблица 1 – Результаты компьютерных экспериментов по нахождению оптимальных последовательностей постановки контейнеров*

Число повторов генетического алгоритма	Время выполнения программы, с	Длительность выполнения последовательности, мин
1	0,028	241
10	0,055	214
100	0,169	139
1000	1,128	112

Данные, представленные в таблице 1, демонстрируют эффективность использования подобного решения и подтверждают возможность его использования в оперативной работе терминала. В зависимости от числа контейнеров, которые должны быть обработаны, последовательность, определяемая программой, в 3–7 раз быстрее, чем результат, полученный человеком. Данный алгоритм также можно использовать для оптимального распределения работы между погрузочно-разгрузочными механизмами, обеспечивая их равномерную загрузку путем дифференциации их зон ответственности.

#### Список литературы

- 1 Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/902325994>. – Дата доступа : 19.09.2021.
- 2 Москвичев, О. В. О новом подходе к организации контейнерных поездов во внутреннем сообщении / О. В. Москвичев // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 2. – С. 56–59.
- 3 Кочнева, Д. И. Модель планирования маршрутных контейнерных поездов с грузовыми операциями в пути следования / Д. И. Кочнева, Х. Чан // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 4 (48). – С. 46–55. – DOI: 10.20291/2079-0392-2020-4-46-55.
- 4 Москвичев, О. В. Интеллектуальная система управления контейнерным терминалом / О. В. Москвичев, Д. В. Васильев // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 4. – С. 16–19.
- 5 Научно-технологическое обеспечение железнодорожного транспорта с целью повышения эффективности его функционирования : [монография] / В. И. Александров [и др.] / под ред. д-ра техн. наук, доцента О. В. Москвичева. – Самара : СамГУПС, 2020. – 171 с.

УДК 330.322(075.8)

## ИНВЕСТИЦИИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

У. С. НАДИРХАНОВ

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Л. Ш. САБИРОВА

*Ташкентский финансовый институт, Республика Узбекистан*

С 2016 года в экономическом и социальном развитии Республики Узбекистан эксперты выделяют новый этап, который характеризуется прорывным уровнем поставленных и решаемых задач. Улучшение инвестиционного климата, сформированная правовая среда, законодательная база, новые механизмы управления экономикой и социальной сферой способствовали высоким результатам в диверсификации экономики, развитии банковской системы, внешнеэкономических связей. Так, объем валового внутреннего продукта (ВВП) вырос с 242 495,5 млрд сум в 2016 г. до 580 203,2 млрд сум в 2020, или в 2,4 раза (1).

В целях дальнейшего роста экономики, включая развитие экспорта, перетоки экономических ресурсов в Узбекистане реализуется широкомасштабная программа по ускоренному развитию дорожно-транспортной системы республики, в числе приоритетных задач – работа по минимизации и преодолению негативного эффекта «double locked country». В соответствии с Инвестиционной программой Республики Узбекистан объем капитальных вложений в Дорожный фонд Республики Узбекистан вырос с 1 103, 0 млрд сум в 2015 г. до 1 961, 3 млрд сум в 2019 г. (+1,77 раз) (рисунок 1).

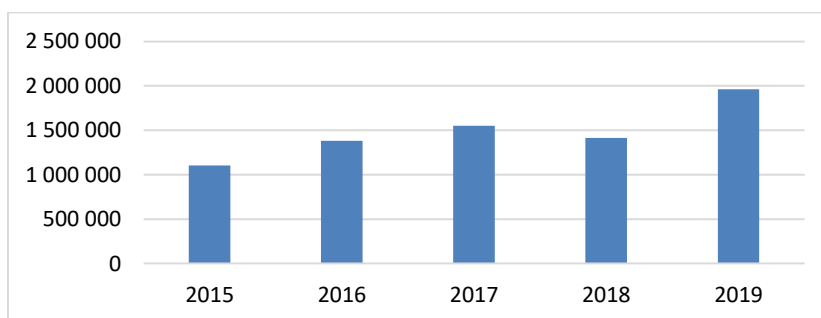


Рисунок 1 – Основные параметры капитальных вложений в Дорожный фонд Республики Узбекистан за 2015–2019 гг.

Анализ данного вопроса показывает, что с 2017 г. в Республике Узбекистан формируется комплексный подход, при котором финансирование строительства и реконструкции автомобильных дорог государственного и местного значения заметно возросло (рисунок 2).

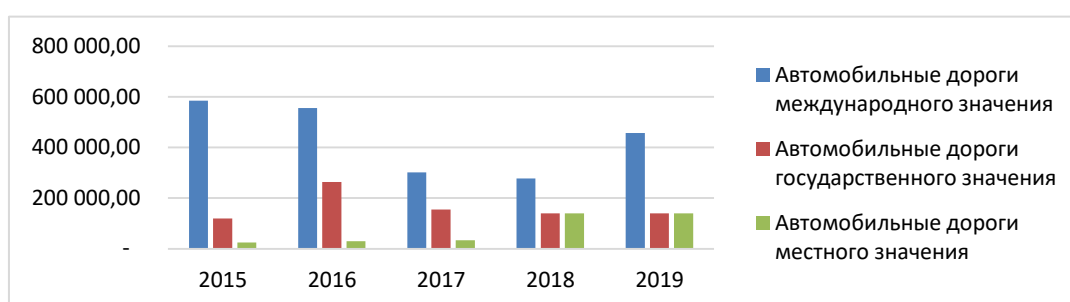


Рисунок 2 – Выделение капитала на строительство и реконструкцию автомобильных дорог международного, государственного и местного значения за 2015–2019 гг. [3]

Объем финансирования для закупки дорожно-строительной техники с 80 млрд сум в 2017 году вырос до 150 млрд сум в 2019 г. [3], при этом сохраняется стабильный уровень финансирования проектно-изыскательских работ на перспективу. Наряду с ростом национальных инвестиций в данную сферу в республике принимаются меры по привлечению средств международных финансовых институтов, например, для реализации 18 новых крупных проектов по дорогам международного и государственного значения протяженностью 1600 километров [4].

В настоящий момент автодорожная (и железнодорожная) сеть постепенно восстанавливаются после многих лет недостаточного финансирования, что повышает стоимость для пользователей из-за снижения скорости и дополнительных расходов на ремонт транспортных средств. Так, несмотря на коронавирусные проблемы, Сводные прогнозные параметры освоения капитальных вложений предусматривают рост инвестиций в развитие автомобильных дорог с 1,515 трлн сум в 2020 г. до 1,981 трлн сум в 2022 г. (1,3 раз) [5]. Узбекистан построил автодороги мирового уровня, такие как шоссе, между Ташкентом и Самаркандом. Тем не менее качество некоторых важных автодорог все еще ниже мировых стандартов, что, опять же, ведет к снижению скорости и более быстрому износу транспортных средств [6].

В феврале 2019 года создано Министерство транспорта, которое определено в качестве органа государственного управления по выработке и реализации единой государственной политики в области развития автомобильного, железнодорожного, воздушного, речного транспорта, метрополитена, а также дорожного хозяйства. Принят ряд постановлений и указов Главы государства по ускоренному развитию дорожно-транспортной сферы, которые приобрели значение программных [7]. На их основе в регионах Узбекистана осуществляется внедрение общепризнанных международных стандартов и лучших практик в сфере проектирования и строительства автомобильных дорог, современных инновационных технологий и материалов, применяемых в дорожном строительстве, обеспечивающих повышение качества и сроков службы автомобильных дорог.

Мировая практика показывает, что привлекаемые инвестиции должны быть жестко упакованы в конкретные проекты со строгим контролем и четкими критериями будущих эффектов. В этой связи

кардинальное совершенствование системы подготовки и переподготовки, повышения квалификации кадров для сферы дорожного хозяйства, в том числе в сотрудничестве с зарубежными профильными учебными заведениями и центрами становится важнейшим направлением деятельности нашего университета, созданного в мае 2020 года [8] в результате объединения Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, Ташкентского института проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог и факультета авиакосмических технологий Ташкентского государственного технического университета.

#### Список литературы

- 1 Стал известен объем ВВП Узбекистана за 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [yandex.ru](https://yandex.ru)Stal izvesten obem VVP Uzbekistana za 2020 god--2260e66cdcd. – Дата доступа : 18.05.2021.
- 2 Инвестиционная программа Республики Узбекистан за 2015–2019 годы Гос. комитет Респ. Узбекистан по статистике.
- 3 Приложение 6 к Инвестиционной программе Республики Узбекистан за 2015–2019 годы / Гос. комитет Респ. Узбекистан по статистике.
- 4 Протокол заседания под руководством Президента Респ. Узбекистан Ш. Мирзиёева № 41 от 2 октября 2019 года.
- 5 Приложение № 1 к Постановлению Президента Респ. Узбекистан от 9 января 2020 года № пп-4563 «О мерах по реализации Инвестиционной программы Республики Узбекистан на 2020–2022 годы».
- 6 Проблемы транспорта и логистики : интервью с экспертом Международного транспортного форума (МТФ) Яром Кауппилой (Jari Kaupila) от 12.06.2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kun.uz/ru/75884910>. – Дата доступа : 15.09.21.
- 7 Постановления Президента Респ. Узбекистан: «О мерах по внедрению передовых зарубежных методов организации работ в сфере строительства и эксплуатации, автомобильных дорог» №ПП-4035 от 27.11.2018; «О мерах по дальнейшему упрощению регулирования деятельности по перевозке пассажиров автомобильным транспортом» № ПП-5108 от 7 мая 2021 г.; «О мерах по трансформации и поддержке предприятий гражданской авиации» № ПП-5100 от 30 апреля 2021 г.
- 8 Постановление Президента Респ. Узбекистан «О мерах по кардинальному совершенствованию системы подготовки кадров в сфере транспорта» № ПП-4703 от 4 мая 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lex.uz/ru/docs/4805176>. – Дата доступа : 15.09.2021.

УДК 657.5

### ВАЛЮТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

*П. Г. ПОНОМАРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспортные организации Республики Беларусь проводят работу по обновлению подвижного состава и транспортной сети, реализуют крупные инвестиционные проекты, направляя значительные финансовые ресурсы на приобретение необходимых для этих целей материальных ресурсов у нерезидентов Республики Беларусь. Кроме того, транспортным комплексом страны выполняется для нерезидентов значительный объем транзитных перевозок, а также перевозок за пределами страны. В силу указанных обстоятельств транспортные организации Республики Беларусь становятся участниками внешнеэкономических договоров, а потому у них могут возникать финансовые риски из-за неисполнения обязательств нерезидентами, которые влияют на их экономическую безопасность.

В целях минимизации рисков отечественных субъектов хозяйствования, возникающих при неисполнении обязательств нерезидентами, с 9 июля 2021 года в Республике Беларусь усовершенствован механизм валютного регулирования и валютного контроля. Он регламентирован законом Республики Беларусь «О валютном регулировании и валютном контроле» № 226 от 22 июля 2003 года (в редакции закона № 36-З от 30 июня 2020 года), а также указом Президента Республики Беларусь «О порядке исполнения внешнеэкономических договоров», изложенным с учетом изменений, которые предусмотрены указом Президента Республики «Об изменении указов Президента Республики Беларусь» от 8 июля 2021 года № 265. Данные нормативные правовые акты ориентированы на защиту экономических интересов резидентов Республики Беларусь, минимизацию их финансовых рисков и обеспечение экономической безопасности в случае неисполнения или ненадлежащего исполнения обязательств иностранными контрагентами.



Законом Республики Беларусь «О валютном регулировании и валютном контроле» расширен перечень операций с нерезидентами, подлежащих валютному регулированию и контролю со стороны государства. Если до 9 июля 2021 года объектами валютного регулирования и контроля были внешнеторговые договоры, предусматривающие экспорт и импорт товаров, работ и услуг, то в настоящее время к ним добавились валютные договоры с нерезидентами, связанные с движением капитала. Эти обстоятельства свидетельствуют о том, что государство берет на себя функции валютного регулирования и контроля с целью обеспечения финансовой безопасности своих субъектов хозяйствования.

Финансовая безопасность резидентов Республики Беларусь зависит от целого ряда факторов: четкое определение и юридическое закрепление в договорах сроков погашения нерезидентами обязательств, возникающих перед субъектами хозяйствования Республики Беларусь; своевременная репатриация валютной выручки и возврат авансов (предварительной оплаты) в страну нахождения резидентов, возможность проведения расчетов не только в свободно конвертируемых, но и в национальных валютах, а также предоставление права на использование валютной выручки, поступившей на счета, открытые в зарубежных банках. Очевидно, что меры по совершенствованию валютного регулирования, принимаемые государством, ориентированы на минимизацию рисков и обеспечение экономической безопасности как для отечественных предприятий, так для государства в целом.

Государственная политика валютного регулирования заключается в определении объектов валютного контроля, разработке механизма его проведения, установлении сроков исполнения обязательств по внешнеторговому договору соглашением сторон, в формировании на уровне государства информационного массива, необходимого для управления валютными операциями. Она ориентирована на обеспечение финансовой безопасности субъектов хозяйствования, принимающих участие в реализации внешнеторговых договоров, а потому предполагает реализацию целого комплекса мер организационно-технического характера.

1 Регистрация валютных договоров с нерезидентами на портале Национального банка Республики Беларусь с целью обеспечения контроля за их исполнением. Регистрации подлежит валютный договор, который отвечают двум критериям одновременно: входит в перечень договоров для обязательной регистрации, установленный Инструкцией о регистрации резидентами валютных договоров, утвержденной постановлением Правления Национального банка Республики Беларусь от 12 февраля 2021 года № 37; сумма денежных обязательств по валютному договору для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей превышает 4000 базовых величин или не определена договором. При соблюдении ранее названных критериев регистрируются также публичные договоры (оферты), в том числе и при работе с иностранными интернет-площадками (Google, App Store и др.)

2 Установление сроков регистрации валютных договоров. Договоры, по которым их исполнение начинает резидент – перечисляет аванс (производит предварительную оплату), передает исключительные права, начинает оказывать услуги или выполнять работы – должны быть зарегистрированы до момента начала исполнения им обязательств. Если действия по исполнению договора совершает нерезидент – передает исключительные права, начинает оказывать услуги или выполнять работы, то такие договоры подлежат регистрации не позднее даты перечисления денег резидентом в пользу нерезидента. В том случае, когда первым действием нерезидента будет перечисление резиденту аванса (предварительной оплаты), то такой договор должен быть зарегистрирован не позднее 7 рабочих дней с даты, следующей за датой поступления платежа на счет резидента.

3 Информация об исполнении внешнеторговых валютных договоров в виде электронных сообщений генерируется в формате, пригодном для выполнения контрольных и регулирующих процедур со стороны государственных органов. В сборе такой информации принимают участие органы Государственного таможенного комитета, Национальный банк и коммерческие банки, а также предприятия-нерезиденты. Последние ежемесячно, до 15 числа следующего месяца, через личный кабинет передают на портал Национального банка информацию об исполнении валютных договоров за предыдущий месяц. Резидентами передается в Национальный банк информация о поступлении денег на счета в иностранных банках и их расходовании с этих счетов, о приобретенных ценных бумагах, объектов недвижимости и объектов долевого строительства за рубежом, а также о переводе долга на нового кредитора по договорам уступки права (требования).

4 Обязательная репатриация денежной выручки в страну нахождения резидента. Резидент обязан обеспечить зачисление выручки от реализации товаров, продукции, работ и услуг на открытые ему счета в Республике Беларусь, а также возврат в установленные сроки денежных средств, перечисленных нерезиденту в виде аванса, в случае неисполнения им в установленные сроки обязательств по валютному договору. Сроки репатриации денежных средств по валютным договорам, предусматривающим экспорт и импорт, определяются в валютном договоре по соглашению сторон.

Законодательством Республики Беларусь также допускается зачисление резидентами выручки, поступившей от нерезидентов, на счета, открытые в иностранных банках. Однако в течение 5 рабочих дней данная выручка должна быть переведена на свой счет в Республике Беларусь.

5 Нормативными правовыми актами Республики Беларусь разрешается использование иностранной валюты резидентами (юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями) для проведения расчетов с резидентами (юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями), осуществляющими транспортно-экспедиционную деятельность, за перевозку и (или) экспедирование грузов за пределы и из-за пределов Республики Беларусь, за пределами Республики Беларусь, при транзите через территорию Республики Беларусь.

Таким образом, система валютного регулирования и контроля, созданная в Республике Беларусь, защищает экономические интересы ее резидентов и государства в целом. Она ориентирована на уменьшение финансовых рисков субъектов хозяйствования и формирует алгоритм их действий по заключению, регистрации и исполнению валютных договоров.

#### Список литературы

1 О валютном регулировании и валютном контроле [Электронный ресурс] : закон Респ. Беларусь от 22 июля 2003 года № 226-3 (в редакции закона Респ. Беларусь «Об изменении законов по вопросам валютного регулирования и валютного контроля» от 30 июня 2020 года № 36-3) // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h10300226> . – Дата доступа : 12.09.2021.

2 О порядке исполнения внешнеторговых договоров [Электронный ресурс] : указ Президента Респ. Беларусь от 27 марта 2008 года № 178 (с изм., предусмотренными указом Президента Респ. Беларусь от 8 июля 2021 года № 265) // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь . – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=p30800178> . – Дата доступа : 12.09.2021.

УДК 656.6

## РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ОТДЕЛЕНИЯ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*Т. Г. ПОТЁМКИНА, Т. А. ЧУЯСОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт представляет собой многоотраслевое хозяйство, включающее в себя в той или иной мере различные отрасли народного хозяйства: черную и цветную металлургию, машиностроение, энергетику, связь, строительство, сельское хозяйство, просвещение, торговлю и др. Железнодорожный транспорт отличается многообразием основных фондов. Это железнодорожный путь, искусственные сооружения, многосерийный парк тепловозов, электровозов, дизельных поездов, моторвагонных секций, грузовые и пассажирские вагоны разных типов, контактная сеть, тяговые подстанции, устройства автоматики, телемеханики и связи, энергетические установки, путевые машины, механизмы, строительная техника, разнообразные станки и оборудование многочисленных и разных по профилю работы заводов и других промышленных, ремонтных, строительных предприятий и организаций.

Все хозяйства железнодорожного транспорта должны работать согласованно, как единый сложный механизм, обеспечивающий непрерывные перевозки сырья, материалов и другой продукции. Транспорт непосредственно влияет на своевременное и полное материально-техническое снабжение предприятий народного хозяйства. Поэтому сбои в перевозочном процессе из-за несвоевременной подготовки подвижного состава, нарушений в работе многочисленных технических устройств в связи с недостаточным снабжением материалами, запасными частями, оборудованием оборачиваются для народного хозяйства невосполнимыми потерями.

Для бесперебойной и слаженной работы всех звеньев транспорта необходимо регулярное и ритмичное снабжение его предприятий материалами, запасными частями, оборудованием и различными изделиями по широкой номенклатуре.

В организации материально-технического снабжения железнодорожного транспорта имеется ряд особенностей, вытекающих из характера работы железных дорог.

Организация работы и структура органов материально-технического снабжения железнодорожного транспорта определяются прежде всего большим числом предприятий, расположенных на большом протяжении, но связанных единством транспортного конвейера по перевозочной работе. Даже самое крупное промышленное предприятие располагается, как правило, в одном месте, поэтому организовать материально-техническое снабжение его цехов и других подразделений можно из одного пункта, что позволяет оперативно маневрировать наличными материальными ресурсами в интересах всего производства.

Обеспечение же многочисленных предприятий железной дороги является делом значительно более сложным и трудоемким. На сети железной дороги помимо крупных предприятий и строек имеется очень большое количество небольших структурных предприятий, выполняющих разнообразную и сложную работу в едином транспортном конвейере. В составе железнодорожного транспорта имеются эксплуатационные, промышленные, ремонтные, строительные и другие предприятия. Поэтому в круг деятельности органов материально-технического снабжения железнодорожного транспорта входит бесперебойное обеспечение материалами, запасными частями, оборудованием и другой продукцией потребностей эксплуатационной деятельности железных дорог, капитального строительства, промышленного производства, ремонта подвижного состава, а также ремонта зданий и сооружений и выполнение других работ.

Железнодорожный транспорт является крупным потребителем промышленной продукции: черных и цветных металлов, лесоматериалов и химикатов, топлива, оборудования, приборов и аппаратуры, широкого ассортимента запасных частей и т. д. а также продукции, которая в других отраслях народного хозяйства либо не потребляется совсем, либо используется в незначительных объемах: рельсы, шпалы, балласт и др. Своевременное и комплексное снабжение этих предприятий всеми необходимыми материальными ресурсами осуществляют отделы материально-технического снабжения, имеющиеся в каждом отделении дороги. На них возложена функция определения потребности структурных предприятий железнодорожного транспорта в материальных ресурсах, приобретение необходимых ресурсов и их дальнейшая поставка линейным предприятиям.

Органы материально-технического снабжения оказывают влияние на повышение рентабельности производства в результате:

- приобретения более дешевых и экономичных материалов;
- сокращения транспортно-заготовительных расходов по доставке материалов от поставщиков до потребителей;
- уменьшения затрат на содержание аппарата работников управления и складского хозяйства;
- механизации погрузочно-разгрузочных работ и других операций.

Исходя из этого отдел материально-технического снабжения предприятий железнодорожного транспорта должен тщательно изучать потребности предприятий в материальных ресурсах и организовывать их своевременную доставку потребителям.

#### Список литературы

1 **Кравченко, Н. В.** Особенности организации процесса снабжения материальными ресурсами на белорусской железной дороге и их влияние на систему бухгалтерского учета / Н. В. Кравченко // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. ; под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель : БелГУТ, 2013. – Вып. 6. – С. 81–88.

УДК 656.2:656.225.073.46

## ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД РАСЧЕТА ПЛАТЫ ЗА ПОДАЧУ И УБОРКУ ВАГОНОВ

*Е. Н. ПОТЫЛКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Традиционно плата за подачу-уборку вагонов на места необщего пользования формировалась на основе расходной ставки локомотиво-часа и нормы прибыли. Тогда логистика базировалась на положении, что при перевозке до 50 км груз допускался к перевозке автомобильным транспортом,

свыше 50 – железнодорожным. Со временем осуществлялась концентрация грузовых и коммерческих операций на местах общего и необщего пользования, на опорных станциях железнодорожных участков, на грузовых станциях в крупных железнодорожных узлах. Одновременно малодеятельные станции для выполнения грузовых и коммерческих операций на участках закрывались, что было обусловлено также уменьшением объемов грузовой работы в связи с переключением части объемов перевозок на автомобильный транспорт. После распада Советского Союза и плановой системы экономики ограничения перевозки грузов автомобильным транспортом до 50 км утратили свою актуальность, а транспортирование продукции автотранспортом стало осуществляться на большие расстояния (2500 км и выше). В то же время множество станций на участках осуществляли отправку, прием грузов, например, лесных и т. п., что требовало осуществления подачи-уборки вагонов по тарифным ставкам за маневровую работу, так как рассматриваемые станции перестали быть тарифными. Аналогичные закономерности появились и в крупных железнодорожных узлах, где строились отдельные промышленные и другие объекты, удаленные от станции примыкания.

Данные обстоятельства привели к адаптации действовавших тарифных ставок за подачу-уборку вагонов к реальным условиям работы путем увеличения расстояния от станции примыкания до путей необщего пользования и применения корректирующих коэффициентов. Это породило скачкообразное («пилообразное») изменение тарифных ставок за подачу-уборку вагонов, что нарушило логику существующих технологических процессов, когда тарифные ставки за рассматриваемую маневровую работу на малые и большие расстояния оказались одинаковыми.

Также к недостаткам существующих тарифных ставок за подачу-уборку вагонов следует отнести их зависимость от суточного числа поданных и убранных вагонов, что существенно затрудняет учет и расчет платы за маневры при нахождении вагонов на ответственном простое в течение не одних, а нескольких суток. В то же время наличие нескольких перевозчиков или хозяйствующих субъектов, осуществляющих услуги по подаче-уборке вагонов на места необщего пользования, требует разработки новой процессной модели расчета тарифов, за услуги по подаче-уборке, зависящих от числа вагонов в конкретной подаче или уборке и расстояния от тарифной станции до мест погрузки-выгрузки:

$$\Pi_{\text{пу}} = c_{\text{в-км}} m_{\text{пу}} l_{\text{пу}} c_{\text{лч}} (t_{\text{рс}}^{\circ} + t_{\text{об}}^{\circ}),$$

где  $c_{\text{в-км}}$  – тарифная ставка за 1 ваг·км, ден. ед./ваг·км;  $l_{\text{пу}}$  – расстояние подачи-уборки в оба конца, км;  $c_{\text{лч}}$  – тарифная ставка за 1 лок·ч, ден. ед./лок·ч;  $t_{\text{рс}}^{\circ} + t_{\text{об}}^{\circ}$  – общая продолжительность расстановки-сборки вагонов с учетом ожиданий, ч/подачу.

Представленный подход к тарификации услуг по подаче и уборке вагонов на железнодорожные пути необщего пользования предполагает выделение двух составляющих: 1-я связана с операциями по перемещению от станции к месту необщего пользования; 2-я связана с маневровыми операциями у мест необщего пользования. Таким образом, модель позволяет учесть технологию выполнения всех операций процесса подачи-уборки вагонов на путях необщего пользования.

УДК 331.101.262:656.2

## **ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРУДОВЫМИ РЕСУРСАМИ – ЗАЛОГ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

*Л. Г. СИДОРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Значение транспортной отрасли для белорусской экономики сложно переоценить как с геополитической точки зрения, так и с позиции развития кадрового потенциала страны. Предприятия транспорта обеспечивают рабочие места для значительного числа населения страны.

Сегодня во всем мире транспортная отрасль переживает бурное технологическое обновление. Для поддержания конкурентоспособности на транспорте внедряются современные технологии. Однако без привлечения сотрудников, способных стратегически и инновационно мыслить, невозможно качественное предоставление транспортной услуги. На сегодняшний день наличие технологических навыков является одной из приоритетных компетенций для каждого специалиста по персоналу.

По ряду прогнозов перспективы развития транспортной инфраструктуры связаны с «Интернетом вещей», который объединяет транспортные средства, системы видеонаблюдения и безопасности, навигацию (GPS), мобильные приложения и бесконтактные системы передачи данных. В Беларуси разработки индустриального интернета вещей постепенно находят свое применение: в промышленности (автоматизация), общественном транспорте (оплата проезда), логистике (отслеживание перемещения грузов в реальном времени), сельском хозяйстве (полный жизненный цикл производства и реализации продукции) и банковской сфере (платежные терминалы, коммунальные платежи).

Безопасность на транспорте зависит от надежности защиты данных и процессов. Поэтому кибербезопасность на транспорте должна предусматривать обучение персонала; управление инструментами идентификации и доступа, мониторинг и защиту облачных хранилищ, в том числе от утечки данных.

Конечно, упомянутые изменения в транспортной сфере неизбежно приводят к значительным переменам на рынке труда:

- активное «вымирание» профессий и сокращение рабочих мест по рабочим профессиям;
- появление новых профессий и увеличение высококвалифицированных рабочих мест;
- расширение инженерных и информационных компетенций;
- рост требований к высокой квалификации.

В связи с повсеместным внедрением технологий решение проблемы эффективности работы предприятий железнодорожного транспорта во многом определяется качественным использованием кадрового ресурса. Для этого необходим анализ имеющихся трудовых ресурсов в количественных и качественных оценках, выявление потребности их роста или сокращения, разработка механизмов их формирования. От того, в какой степени предприятие обеспечено трудовыми ресурсами и насколько эффективно они используются, зависят объем и своевременность выполнения всех работ, эффективность использования оборудования, машин, механизмов и, как результат, увеличение объемов производства продукции, снижение себестоимости, повышение прибыльности, а также ряд других экономических показателей. Рациональное использование персонала является непременным условием бесперебойности перевозочного процесса.

В этой связи исходя из изучения международного опыта, перспективными направлениями в сфере управления персоналом являются:

- развитие искусственного интеллекта, роботизация и автоматизация;
- VR и AR-технологии – уже сейчас технологии виртуальной реальности используются в обучении сотрудников в различных сферах;
- компании «командных сетей» и удаленная работа – в настоящее время большинство работников предпочитают работу с возможностью дистанционного общения;
- персонализация услуг, т. е. мотивация людей на достижение разных жизненных целей;
- новый образ мышления компании и кандидата.

Изучение эволюции развития общественного производства позволило установить, что человеческий фактор является определяющим в развитии производительных сил. По мере развития и усложнения производственно-хозяйственных связей должны изменяться принципы, формы и методы управления персоналом применительно к реальным ситуациям. Основное требование к науке по управлению персоналом на современном этапе развития экономики Республики Беларусь – адаптация подготовки производственного персонала, форм и методов управления к реформированию отрасли, а также переосмыслению методологических подходов в оценке роли человеческого фактора в результатах производственной деятельности организации.

Важнейшим направлением управления персоналом является мотивация труда. Наиболее высокий результат достигается при создании условий работы, при которых цели работников максимально приближены к целям организации. Недостаток комплексных теоретических разработок по мотивации труда снижает возможности принятия эффективных управленческих решений. Реформирование экономики диктует необходимость расширения системы рычагов мотивации труда и ее гибкой адаптации к условиям рынка. Повышение трудовой мотивации, особенно для работников младшего и среднего звеньев управления, возможно при расширении практики тестирования, выявление наиболее активной и перспективной части молодых специалистов и индивидуального планирования их деловой карьеры. Для рабочего контингента с тяжелыми и вредными условиями труда, удельный вес которого на транспорте довольно высок, необходимо разрабатывать программу социальной защиты и улучшения условий труда, быта и отдыха, что особенно важно для сохранения этого контингента в период реформирования [1].

Большое влияние на мотивацию труда на транспорте оказывает психологический фактор. С одной стороны, его влияние обуславливается тяжелыми условиями и спецификой работы, с другой – отсутствием достаточно полных теоретических наработок и тем более методических и инструктивных материалов для функциональных служб управления персоналом. Снижения негативного влияния психологического фактора следует добиваться путем последовательного устранения технико-технологических причин, способствующих возникновению отрицательного психологического воздействия, вызывающего проблемные производственные ситуации, а также разработкой специальных психологических тестов для индивидуальной диагностики при подготовке и рекомендации персонала к работе в психологически напряженных участках.

Эффективное управление трудовыми ресурсами отрасли предполагает, прежде всего, разработку рациональной системы стимулирования труда. Под системой стимулирования понимается совокупность сознательно созданных условий труда, которые могут принимать форму материальных и моральных стимулов для достижения стратегических и оперативных целей и влияющих на поведение работников. Можно выделить внешние и внутренние стимулы для предприятия или отрасли. К внешним стимулам могут быть отнесены: географические, социально-культурные и политико-правовые условия. Внутренняя система стимулирования традиционно включает в себя материальные и моральные стимулы. Система материального стимулирования включает в себя: постоянный оклад или тарифную ставку; дополнительное вознаграждение; предоставление дополнительных материальных и социальных услуг; участие в капитале предприятия. В качестве нематериальных стимулов можно выделить повышение социального статуса, возможность идентификации с фирмой. Также важным аспектом при разработке системы стимулирования является изучение и внедрение инновационных процессов, таких как развитие искусственного интеллекта, роботизация, VR и AR-технологии и др. [4].

Кроме того, важным аспектом эффективного управления трудовыми ресурсами является детальное изучение, освоение и внедрение на транспортные предприятия альтернативных подходов к управлению персоналом. Использование услуг аутстаффинга поможет решить проблему сокращения или ограничения штата работников, а также позволит увеличить эффективность производственной деятельности за счет более квалифицированной рабочей силы.

Консалтинговые услуги могут использоваться в качестве источника получения квалифицированной помощи по различным вопросам, которым, в свою очередь, требуется независимая оценка, анализ и последующие рекомендации по повышению эффективности производственных процессов и деятельности компаний в целом.

Аутсорсинг в сфере бухгалтерского и налогового учета для предприятий транспортной отрасли позволит осуществить передачу функций по ведению учета сторонним организациям. Они, в свою очередь, обеспечат предприятие грамотными специалистами, имеющими специальное образование и опыт работы в данной отрасли и выполняющими все необходимые задачи должным образом.

Подводя итог вышеизложенному, можно сказать, что создание эффективного механизма управления трудовым потенциалом является объективно необходимым для функционирования предприятий железнодорожного транспорта в условиях реформирования отрасли. Для транспортной сферы требования к технологическому обновлению особенно велики, потому указанных изменений невозможно достичь без максимального использования HR-технологий, управления данными и передовых инноваций. Причем качественно решить эту проблему возможно только при комплексном подходе, базируясь на конкретных условиях существования предприятий, конкретных факторов внешней среды, инновационной активности, а также должном качественном и количественном состоянии трудовых ресурсов на предприятии.

#### Список литературы

- 1 **Сидорова, Л. Г.** Мотивация персонала как важнейшая функция управления предприятием / Л. Г. Сидорова, А. А. Глот // Рынок транспортных услуг (проблемы по повышению эффективности : междунар. сб. науч. тр. ; под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель : БелГУТ, 2020. – Вып. 13. – С. 251–258.
- 2 **Мирзакаримова, Н. А.** Трудовые ресурсы и их роль в развитии железнодорожного транспорта России / Н. А. Мирзакаримова // Транспортное дело России. – 2018. – № 1.
- 3 **Шкурина, Л. В.** Формирование трудовых ресурсов в условиях инновационного развития железнодорожного транспорта / Л. В. Шкурина, Е. В. Стручкова // Экономика железных дорог. – № 8. – 2016. – С. 64.
- 4 **Федосеев, В. Н.** Управление персоналом : учеб. пособие / В. Н. Федосеев. – Сер. «Учебный курс». – М. – Ростов н/Д : МарТ, 2017. – 528 с.

## АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ В ПЕРИОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКИ ОТ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ COVID-19

Ю. И. СОКОЛОВ, О. В. КОРИШЕВА

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Железнодорожный транспорт не случайно является «кровеносной системой экономики», так как выступает одним из принципиальных гарантов обеспечения экономической безопасности, устойчивости и развития экономики. Железнодорожная отрасль формирует не только прямые результаты и способствует увеличению ВВП страны, но и генерирует огромный внутранспортный эффект, осуществляя вклад в развитие целых территорий, регионов и отраслей. Несмотря на существенный вклад в развитие экономики страны, железные дороги одними из первых испытывают последствия кризисных явлений как в отдельных отраслях, так и в экономике в целом [3]. На экономическую безопасность железнодорожного комплекса негативные тенденции экономики влияют в первую очередь, что сразу отражается на его показателях.

Экономические последствия искусственных мер по борьбе с распространением COVID-19 уже проявились в отставании темпов развития различных отраслей экономики, в частности, железнодорожного транспорта. Фактически произошло сдерживание не только вируса COVID-19, но и хозяйствующих субъектов, экономики в целом, за исключением отдельных отраслей. Несмотря на отрицательную динамику показателей деятельности железных дорог России в 2020 году, положительная тенденция восстановления деятельности железнодорожного комплекса уже проявляется по итогам первой половины 2021 года.

По оперативным данным ОАО «РЖД» [1], объем пассажирских перевозок за январь – июль 2021 года увеличился на 31 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года: с 543,7 до 600,6 млн человек. Рост в дальнем следовании составил 30 % (547,4 млн чел.), в пригородном следовании – 46 % (53,1 млн чел.) за обозначенный период. Пассажиروоборот за аналогичный период 2021 года составил 59,5 млрд пас·км, что на 42,7 % выше данного показателя за 2020 год. В пригородном сообщении рост составил 25,7 %, в дальнем сообщении увеличение произошло на 50 %. По данным статистики можно отметить, что постепенное снятие ограничений на передвижение, определенное удорожание билетов на авиасообщение, рост спроса на туристические поездки, в особенности на курорты Краснодарского края, Сочи и Крыма, а также не только восстановление сообщения с Беларусью, но и запуск новых поездов «Ласточка», связывающих Минск и Москву, – всё это способствовало росту спроса на пассажирские перевозки по сети РЖД.

В секторе грузовых железнодорожных перевозок также наблюдается рост показателей по превалярующей доле номенклатуры грузов и в совокупности. Так, тарифный грузооборот за январь – август 2021 года увеличился на 4,6 % с 1664,3 млрд тарифных т·км в 2020 году до 1741,7 млрд тарифных т·км в 2021 году. Общая погрузка за рассматриваемый период также возросла на 4 % по сравнению с показателем 2020 года и составила 849,8 млн тонн. Динамика погрузки по видам грузов на железнодорожном транспорте за январь – август 2021 года представлена в таблице 1.

*Таблица 1 – Динамика погрузки по видам грузов на железнодорожном транспорте за период январь – август 2021 года [1]*

Вид груза	Погрузка, млн т, за январь – август		Изменение в 2021 по сравнению с 2020, %
	2020 г.	2021 г.	
Каменный уголь	226,1	246,1	+8,8
Кокс	7,3	7,7	+5,5
Нефть и нефтепродукты	140,2	142,5	+1,6
Руда железная и марганцевая	80,1	80,5	+0,5
Черные металлы	44,4	45,3	+2
Лом черных металлов	8,7	10,8	+25,2
Удобрения	41,8	43,2	+3,5
Цемент	16,7	17,9	+7,2
Лесные грузы	28,1	28,9	+2,7
Зерно	15,2	15,6	+2,5
Строительные грузы	88,9	85,8	-3,5
Руда цветная и серное сырье	13,4	13,3	-0,6
Химикаты и сода	16,2	16,1	-0,4
Промсырье	22,1	23,5	+6,2
Остальные, включая грузы в контейнерах	67,7	72,5	+7,1

Благоприятное влияние на формирование положительной динамики в перевозке грузов железнодорожным транспортом оказал общий рост промышленного производства в России, который, по данным Росстата за первое полугодие 2021 года, составил 4,4 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. При этом за весь 2020 год падение данного показателя составило 2,9 %.

Отметим, что, несмотря на общий рост погрузки почти по всей номенклатуре грузов, в том числе, по перевозке нефти и нефтепродуктов, доля перевозок в общем объеме погрузки по данному виду грузов сократилась с 17,16 до 16,77 % за период январь – август 2020 и 2021 гг., соответственно. При этом по перевозке другого вида грузов – каменного угля – наблюдается противоположная ситуация. За аналогичные периоды 2020 и 2021 гг. доля каменного угля в общем объеме перевозок составила 27,68 и 28,96 % соответственно. При этом данная тенденция не может считаться абсолютно положительной для дальнейшей деятельности ОАО «РЖД», так как нефть и нефтепродукты являются высокодоходным грузом в отличие от каменного угля. Данную тенденцию также подтверждают исследования АНО «ИПЕМ» [2], на которых наглядно можно увидеть тенденцию к снижению перевозок нефти не только по сравнению с 2020 г., но и с 2019 г., и наоборот, рост перевозок каменного угля, для чего в настоящее время прилагаются большие усилия по развитию Восточного полигона и строительству новой инфраструктуры.

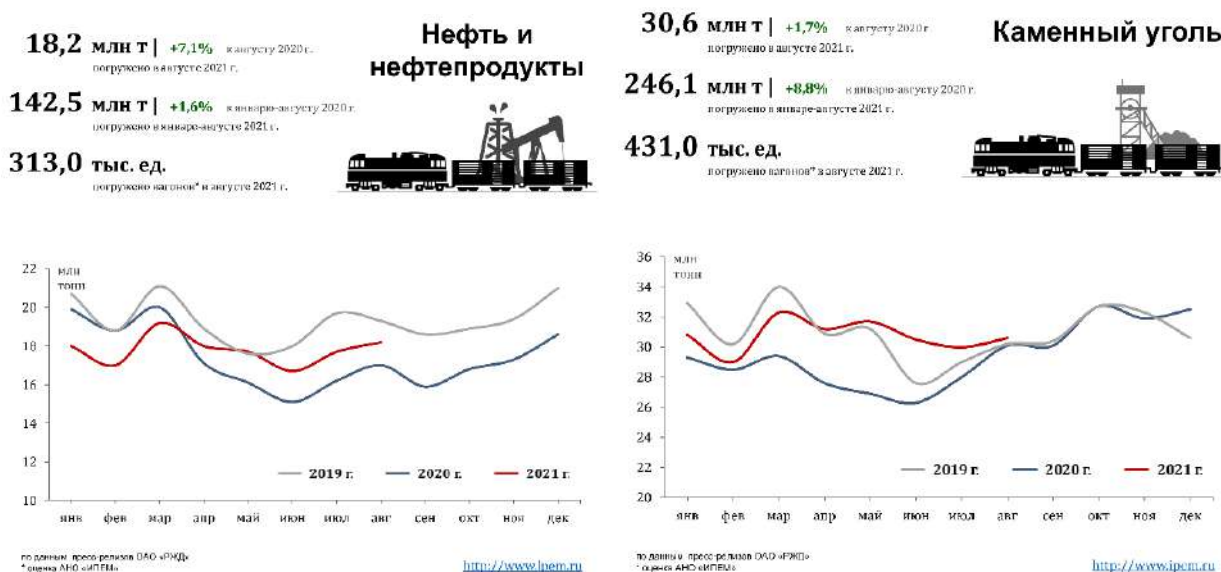


Рисунок 1 – Показатели перевозки каменного угля и нефти и нефтепродуктов за 2019–2021 гг. [2]

Таким образом, рассмотренная статистика свидетельствует о функциональной готовности железнодорожного транспорта к восстановительному периоду в экономике. Возможности транспорта являются одним из необходимых факторов развития иных отраслей экономики России. В то же время наметившиеся тенденции в изменении структуры номенклатуры перевозимых грузов формируют риски экономической безопасности самой железнодорожной отрасли. В связи с этим представляется необходимым при разработке стратегических планов развития российской экономики учитывать экономические интересы железнодорожного транспорта.

#### Список литературы

- 1 ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <https://company.rzd.ru/ru/9377/page/103290?id=16978#main-header>. – Дата доступа : 15.09.21.
  - 2 АНО «ИПЕМ» [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – Режим доступа : <http://ipem.ru/research/infographics/318.html>. – Дата доступа : 15.09.21.
- Соколов, Ю. И.** Анализ текущего состояния и деятельности транспортного комплекса России в аспекте формирования национальной экономической безопасности / Ю. И. Соколов, О. В. Коришева // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. ; под ред. В. Г. Гизатуллиной. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 251–258.



## ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*Е. О. ФРОЛЕНКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Т. И. ЖЕЛУДКОВИЧ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Изучая устойчивость и эффективность экономики, особое внимание следует уделить транспортной сфере, так как именно она обеспечивает все без исключения области функционирования экономики страны, а также от качества и своевременности транспортных услуг зависит успешное развитие бизнеса.

Железнодорожный транспорт – десятки лет существующая, стабильно развивающаяся система, выполняющая важнейшую экономическую и социальную функцию Республики Беларусь – обеспечение перевозочного процесса. Единая и слаженная система железнодорожного транспорта позволяет отрасли успешно строить работу по-новому, разрабатывать и внедрять новейшие передовые технологии, обеспечивать безопасность, бесперебойность и надежность функционирования сложнейшего транспортного комплекса страны.

Также в условиях растущей конкуренции и цифровизации бизнеса и экономики нашей страны железнодорожный транспорт должен реагировать на изменения рынка и оказывать услуги с высоким качеством и максимальной экономической эффективностью. Этому способствует применение процессного подхода к управлению Белорусской железной дороги.

В настоящее время процессный подход на предприятиях Белорусской железной дороги реализуется посредством Единой корпоративной интегрированной системы управления финансами и ресурсами (ЕК ИСУФР) – системы корпоративного типа класса ERP второго уровня, которая уже имеет некоторый набор схем бизнес-процессов. Система построена по модульному принципу, это позволяет интегрировать в единой информационной среде данные, которые поступают из различных источников, а также реализовывать модули под конкретную специфику или определенный бизнес-процесс, однако функциональные возможности процессного управления реализованы не полностью [2].

Развитие системы ЕК ИСУФР должно обеспечить эффективное управление финансовыми и иными ресурсами отрасли на всех уровнях системы управления. Использование на Белорусской железной дороге современных программ и телекоммуникационных средств дает возможность постоянно совершенствовать технологию сбора отраслевой статистической информации по перевозкам грузов и пассажиров, погрузке и эксплуатационной работе.

Для более предметного описания реализации процессного подхода на Белорусской железной дороге возможно рассмотреть пример такой реализации локомотивном хозяйстве.

В частности, в настоящее время в локомотивном депо Минск используются разнотипные программные средства, такие как ЕК ИСУФР; автоматизированная система управления Автоматизированное рабочее место (нарядчиков, дежурных, инструкторов, психологов и медиков депо) (АСУ АРМ); автоматизированная система интегрированной обработки маршрута машиниста (АСИОММ). Однако уровень автоматизации работ продолжает оставаться недостаточно высоким, что существенно усложняет принятие своевременных управленческих решений, так как функционирование нескольких программных комплексов различных разработчиков затрудняет получение необходимой информации для принятия решений в быстроменяющихся оперативных условиях, и существующие программные комплексы пока еще не отражают все важные бизнес-процессы, не функционируют в режиме реального времени.

Однако для совершенствования процессов оперативной обработки информации при использовании существующей современной информационно-аналитической системы требуется лишь ввести дополнительные параметры. Но прежде чем вводить параметры, необходимо эти бизнес-процессы и процессы (подпроцессы), их составляющие, выстроить. Как только эта система будет выстроена, появится возможность определять затраты по каждому из процессов [3].

Изучив перечни процессов и операций локомотивного депо, можно отметить сложную систему взаимодействий различных сегментов его деятельности. Выстроившаяся система обеспечения тяги путем управления и взаимодействия непрерывно пересекающихся процессов имеет достаточно сложную и многопрофильную структуру формирования информационных потоков системной среды локомотивного депо Минск.

Уникальность процессного подхода заключается в таких его категориях, как «бизнес-процесс» и «подпроцесс», которые тесно взаимосвязаны между собой. Однако здесь стоит отметить, что отдельно подпроцесс не имеет реализации, а может функционировать лишь в совокупности бизнес-процесса, который в последующем реализовывается. Из этого можно сделать вывод, что лишь грамотно составленный бизнес-процесс с учетом всех тонкостей подпроцессов позволит предприятиям железной дороги повысить результативность использования ее средств, максимизировав все свои возможности. Дальнейшая реализация и развитие возможностей ЕК ИСУФР в части организации процессного учета позволит обеспечить систему управления информацией, необходимой для реинжиниринга бизнес-процессов, с целью оптимизации их структуры и управления затратами, доходами и результатами деятельности как определенного процесса, так и железной дороги в целом [1].

В настоящее время в рамках системы ЕК ИСУФР выделяются следующие подпрограммы (модули): «Экспедитор»; «Бюджет и финансирование»; «Консолидация и баланс»; «Управление перевозками, доходами и доходными поступлениями»; «Типовая подсистема бухучета»; «Управление персоналом»; «Учет труда и расчет заработной платы»; «Интеграция SAP с технологическим ПО БЖД»; «Техническое обслуживание и ремонты оборудования» (ТОРО); «Управление материально-техническим снабжением». Самым успешным и проработанным на сегодняшний день является модуль «Техническое обслуживание и ремонты оборудования» (ТОРО). Три группы бизнес-процессов были автоматизированы в рамках данного проекта: нормативно-справочная информация (НСИ) ТОРО, планирование ТОРО и выполнение ТОРО.

Белорусской железной дороге для выделения, описания, регламентации и эффективного управления бизнес-процессами необходимо разрабатывать методики, нормативные документы, инструкции и положения, касающиеся процессного управления. Только тогда можно будет говорить об эффективной реализации процессного подхода к управлению.

Еще более глубокая модернизация системы позволит, в частности, уменьшить бумажный документооборот, повысить скорость и расширить полноту предоставления информации, необходимой для принятия управленческих решений.

Проанализировав систему ЕК ИСУФР, построенную на базе SAP, со всеми модулями, можно сделать вывод о том, что имеющийся набор процессов недостаточен для принятия эффективных управленческих решений, так как не описывает всех процессов, осуществляемых на предприятиях железной дороги, и не обеспечивает полной информацией процесс принятия решения. Отчеты, настроенные в каждом из модулей, имеют узконаправленный спектр и не отражают информацию о протекающем бизнес-процессе в целом, а лишь охватывают определенную его часть. Каждый из отчетов не производит анализа как такового, он выбирает данные и формирует их в табличный вид. На основе полученных данных руководителям предприятий сложно оценить их работу в оперативном режиме без привлечения нескольких специалистов, а также провести краткосрочное и долгосрочное планирование финансово-экономической деятельности предприятия.

#### Список литературы

1 **Липатова, О. В.** Бизнес-процессы железнодорожного транспорта и необходимость их построения / О. В. Липатова, Е. О. Фроленкова, О. Г. Никитко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 31–32.

2 **Фроленкова, Е. О.** Бизнес-процесс в контексте процессного подхода к управлению на предприятиях железной дороги / Е. О. Фроленкова, Д. Г. Цыбуревкина // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 334–342.

3 **Шатров С. Л.** Формирование системы управления эффективностью бизнес-процессов в локомотивном хозяйстве: процессы технического обслуживания и ремонта локомотивов / С. Л. Шатров, Н. С. Кузнецова // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности) : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Вып. 12. – С. 342–349.

**РАЗРАБОТКА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО  
ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ОКАЗЫВАЕМОГО  
ГОМЕЛЬСКИМ ФИЛИАЛОМ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «БТЛЦ»  
КЛИЕНТУ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ МАССОВЫХ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ  
С УЧАСТИЕМ ТЭРДУП «ГОМЕЛЬЖЕЛДОРТРАНС»**

*С. В. ХМЕЛЁВ*

*Гомельский филиал государственного предприятия «БТЛЦ», Республика Беларусь*

*А. А. ИГРАЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Стремительно развивающаяся конкуренция на рынке транспортно-экспедиционных услуг требует от транспортных предприятий постоянного изучения и анализа потребностей клиентов, а также нестандартных подходов к решению поставленных задач. Поэтому в данный момент особенно актуальной становится тема совершенствования транспортно-экспедиционного обслуживания грузопользователей [1].

Оказание полного комплекса транспортно-логистических услуг на уровне мировых стандартов для своевременного и качественного удовлетворения потребностей клиентов является приоритетной задачей государственного предприятия «БТЛЦ».

В данный момент в состав предприятия входят филиалы во всех областных центрах республики (Минск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Могилев). Гомельский филиал государственного предприятия «БТЛЦ» взаимодействует с Управлением Белорусской железной дороги и структурными подразделениями Белорусской железной дороги, экспедиторскими, транспортными и другими организациями, как на территории Республики Беларусь, так и за ее пределами.

*Целью исследования* является изучение деятельности филиала по оказанию полного комплекса транспортно-экспедиционного обслуживания в Гомельском регионе по принципу «одно окно».

Тесное сотрудничество с НОД-4, ТЭРДУП «Гомельжелдортранс», автотранспортными предприятиями ориентировано на развитие транспортных, экспедиционных услуг, а также реализацию проектов по комплексному обслуживанию клиентов.

Рассмотрим пример комплексного транспортно-экспедиционного обслуживания, оказываемого Гомельским филиалом государственного предприятия «БТЛЦ» клиенту при перевозке щебня со ст. Козенки Гомельского отделения в Россию с участием ТЭРДУП «Гомельжелдортранс». Первая партия из 42 вагонов со щебнем отправилась со ст. Козенки в мае 2019 г. Возникновение возможности перевозить данный груз со станции обусловлена установкой вагонных тензометрических весов грузоподъемностью 150 тонн в грузовом районе Матрунки Калинковичского производственного участка ТЭРДУП «Гомельжелдортранс».

Как правило, щебень завозится с карьера, находящегося в деревне Глушковичи Лельчицкого района, на грузовой район Матрунки автотранспортом. Подача-уборка вагонов на грузовой фронт для погрузки щебня производится силами тепловоза локомотивного депо Калинковичи, привлеченного по договору с ТЭРДУП «Гомельжелдортранс». Работы по погрузке щебня осуществляют специалисты ТЭРДУП «Гомельжелдортранс», и в данном случае с клиента не взимается плата за пользование подвижным составом. Но если вагоны не грузятся или простаивают по вине клиента, то данная плата по акту взыскивается непосредственно с клиента. Маневровая работа при взвешивании груза производится также с помощью привлеченного по договору тепловоза депо Калинковичи.

Следует отметить, что клиент имеет право выдать доверенность на ответственного лица ТЭРДУП «Гомельжелдортранс» за выполнение погрузочно-разгрузочных работ, и данное ответственное лицо в дальнейшем отвечает за правильность размещения и крепления груза в вагонах. Таким образом, клиенту не требуется сдавать экзамен по схемам размещения и крепления груза у работников отделения дороги. Работник ЛЦТО может также по доверенности за клиента оформить перевозочные документы. Соответственно, стоимость указанной и других операций, рассмотренных ранее (подача-уборка вагонов, маневровая работа при взвешивании груза, выполнение погрузочно-разгрузочных работ, ответственность за правильность размещения и крепления груза), выставляют

ся клиенту через договор непосредственно с Гомельским филиалом государственного предприятия «БТЛЦ», то есть клиенту дополнительно не нужно заключать договор с ТЭРДУП «Гомельжелдортранс», НОД-4.

В отношении таможенного оформления перевозки стоит указать, что таможенная декларация оформляется для клиента по договору поручения. Так как в рассматриваемом примере перевозка осуществляется в Россию (страну, входящую в состав Евразийского экономического союза), то в данном случае оформляется статистическая декларация и подается она с 1 по 10 число месяца, следующего за отчетным.

Любой грузовладелец или экспедитор, заключив договор, обеспечивает беспрепятственное следование своего груза железнодорожным транспортом по таможенной территории Таможенного союза, а также получает своевременную и полную информацию о проделанной работе по оформленным документам таможенного транзита [2].

На основании вышеприведенного примера следует сделать вывод: заключая только один договор с Гомельским филиалом государственного предприятия «БТЛЦ», клиент получает весь комплекс логистических услуг, что является ключевым конкурентным преимуществом предприятия. Также в качестве основных преимуществ филиала можно выделить следующие:

- длительные партнерские отношения с крупными зарубежными транспортно-экспедиторскими компаниями;
- участие в международных транспортных проектах, в том числе в перевозках ускоренными контейнерными поездами;
- оказание услуг по предоставлению арендованного, привлеченного, а также находящегося в собственности «БТЛЦ» подвижного состава, адаптированного к потребностям клиентов;
- выполнение взаиморасчетов с перевозчиками и экспедиторами Республики Беларусь, государств СНГ и дальнего зарубежья;
- осуществление по поручению грузовладельцев согласования условий и порядка перевозки грузов с иностранными железными дорогами;
- функциональная гибкость, быстрота и обязательность в работе, индивидуальный подход к каждому клиенту.

Особое внимание стоит уделить тому, что Гомельский филиал имеет долгосрочные и эффективные отношения с экспедиторами как в Республике Беларусь, так и за ее пределами. Это позволяет выбрать максимально выгодный вариант по экспедированию заявленного к перевозке груза, при возникновении непредвиденных обстоятельств оперативно использовать услуги другого экспедитора, а значит, всегда выполнять свои обязательства перед клиентом в полном объеме и в указанные сроки.

Требования клиента к организации перевозки сегодня уже не ограничиваются оплатой железнодорожного тарифа, а выражают необходимость организации услуг транспортной, складской и таможенной логистики. Разработка схем крепления грузов, организация вывоза товаров со склада отправителя, складирование, подготовка грузовых партий, погрузка в железнодорожный транспорт, таможенное оформление, оформление транспортных и иных документов, информационное обслуживание и другие сопутствующие услуги являются на данный момент важными требованиями клиента при организации перевозки [3].

Соответственно, для поддержания конкурентоспособного положения на рынке филиал планирует свою деятельность не только на развитии уже наработанных экспедиторских услуг, но и в поиске и предложении клиенту новых дополнительных услуг, индивидуальному подходу к каждому заказчику.

#### Список литературы

- 1 Организация транспортно-экспедиционного обслуживания / И. А. Еловой [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 92 с.
- 2 **Годовой отчет государственного предприятия БТЛЦ** [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа : <https://belint.by>. – Дата доступа : 19.09.2021.
- 3 **Еловой, И. А.** Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с. – Сер. «Мировая экономика».

## МЕСТО СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*О. А. ХОДОСКИНА, К. С. ДИТКОВСКАЯ, А. А. СТАРОВОЙТОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт Республики Беларусь можно по праву считать ведущим звеном транспортной системы страны. На данный момент он является самым экономически эффективным способом перевозки пассажиров и транспортировки значительных по объемам потоков грузов, доставляемых на средние и дальние расстояния. Явные преимущества железнодорожного транспорта (низкая себестоимость, систематичность, проходимость в различных погодных условиях, высокая грузоподъемность) не только дают возможность его дальнейшего развития в области увеличения объемов перевозок, но и открывают перспективы для технического и технологического его совершенствования. И хотя темпы развития железнодорожного транспорта меньше, чем, например, у автомобильного (что связано в первую очередь с большим удельным весом основных средств и невозможностью быстрой замены всех технических устройств и транспортных средств при появлении более современных образцов), сегодня железнодорожные перевозки являются наиболее перспективной и динамичной сферой для развития в стране.

При осуществлении перевозочного процесса железнодорожным транспортом одной из важных составляющих является его технологическое оснащение. Технологический процесс – это производственный результат, который содержит направление действий по изменению и определению состояния предмета труда. То есть этот процесс представляет собой комплекс технологических операций, в результате которых происходит последовательное улучшение выполняемой работы с последовательной передачей на следующую технологическую операцию. Справедливо такое определение будет и для предприятий железнодорожного транспорта, однако с учетом специфики работы конкретных структурных подразделений. Таким образом, технологический процесс работы предприятий железной дороги – это система организации работ на станциях примыкания и подъездных путях и коммерческих работ, по подготовке, приему, отгрузке и доставке продукции. При этом важнейшим элементом в организации работы предприятий железнодорожного транспорта является их техническое оснащение, использование соответствующей актуальной технологии при выполнении непосредственно перевозок и организации сопутствующих работ и производств.

Для структурных подразделений железнодорожного транспорта техническое оснащение включает: железнодорожный путь с необходимыми путевыми разветвлениями на отдельных пунктах для приема, скрещения, обгона, расформирования и отправления поездов, также для выполнения других операций; устройства телемеханики, автоматики и связи для увеличения эффективности перевозочного процесса и обеспечения безопасности движения поездов; устройства электроснабжения, к которым относятся тяговые подстанции и контактная сеть на электрифицированных линиях; устройства водоснабжения; логистические устройства; сооружения для посадки, высадки и обслуживания пассажиров; устройства для хранения, погрузки и разгрузки товаров; конструкции для оборудования и ремонта вагонов и локомотивов. При этом все указанные элементы не только нуждаются в периодической замене или модернизации, но и должны претерпевать качественные изменения на основе использования новой современной технологии и материалов, инновационных подходов в реализации производственного потенциала структурных подразделений как при общей организации перевозочного процесса, так и отдельных его составляющих. При этом, наряду с материальными, человеческие ресурсы также формируют производственный потенциал структурных подразделений Белорусской железной дороги, так как только с помощью конкретных людей железная дорога может реализовать непосредственно свою основную деятельность – перевозки грузов и пассажиров.

Для железнодорожного предприятия как для организации, постоянно модернизирующейся, кроме технологического и человеческого ресурсов также наиболее важными являются материальные и информационные ресурсы, к которым относят документы и массивы данных в информационных системах, технологическое оборудование и материалы и сырье, связанные непосредственно с эксплуатацией и укомплектованием железнодорожного транспорта.

Независимо от количественного состава и значения ресурсов каждая из составляющих системы производственного потенциала имеет свой удельный вес, величина которого определяется руководством любого структурного подразделения БЖД для формирования целостного потенциала организации. Только зная целостную картину, можно говорить об эффективной реализации современных инновационных решений, так как именно производственный потенциал и имеющиеся ресурсы железной дороги являются базой для них.

Главным направлением развития железнодорожной отрасли является стремление к повышению уровня качества услуг по сравнению с растущими запросами потребителей и требованиями транспортного рынка. Инновационное развитие железнодорожного транспорта является одной из наиболее перспективных возможностей для достижения этих целей.

Базисными направлениями инновационного развития железнодорожного транспорта и железнодорожных перевозок в мире являются реконструирование парков поездного состава, модернизация путей сообщения; оптимизация структуры путевого хозяйства, каналов связи и информации; модернизация технических объектов электроснабжения; развитие технической базы ремонтных работ подвижных составов. Причем в разрезе указанных направлений инновационного развития современные тенденции в большей мере касаются совершенствования технического оснащения железнодорожных предприятий.

Так, в настоящее время в путевом хозяйстве реализуется программа оснащения железных дорог путевыми машинами и средствами контроля состояния пути. На первый план также выходит комплексная реабилитация пути с акцентом на перевозке пассажиров, что позволит на этой основе обеспечивать стабильное движение пассажирских поездов с повышенной скоростью.

Также еще одним направлением является осуществление работ по созданию и освоению качественно отличающихся грузовых вагонов нового поколения. В рамках таких проектов разрабатываются конструкционные материалы для кузовов вагонов нового поколения, которые будут соответствовать виду перевозимого груза и специализации вагонов и будут в полной мере отвечать современным требованиям, предъявляемым не только к скорости доставки разного рода грузов, но и к их сохранности с учетом требований заказчика и уникальности их характеристик. Вместе с тем применение современных средств и усовершенствованных технологий механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ для выполнения требований по защите перевозимых грузов, снижения времени на погрузочно-разгрузочные работы позволит не только наиболее полно учесть все требования заказчика, но и, как следствие, повысить уровень конкурентоспособности по отношению к другим видам транспорта, повысить эффективность выполнения перевозок.

В вагонном хозяйстве главными задачами реализации являются:

- создание подвижного состава нового поколения;
- улучшение системы технического обслуживания;
- совершенствование системы ремонта грузовых вагонов;
- внедрение ресурсосберегающих технологий.

Наряду с реализацией основных задач для пунктов технического обслуживания создается высокотехнологичная ремонтная установка нового поколения. Формируется новая информационная база о техническом состоянии вагонного парка и технология ее внедрения с ремонтно-эксплуатационным паспортом грузового вагона. Совершенствуется система информационного обслуживания с целью повышения уровня управляемости вагонным хозяйством.

Планируется разработка автоматизированной системы учета отказов технических средств и контроля качества ремонта и технического обслуживания грузовых вагонов; реализуется программа по совершенствованию системы неразрушающего контроля грузовых и пассажирских вагонов железнодорожного транспорта.

Таким образом, мотивация инновационных процессов на железнодорожном транспорте, развитие инновационной деятельности, внедрение новшеств в работу ж.-д. транспорта даст возможность повысить конкурентную способность ж.-д. транспорта на рынке транспортных услуг и усилить конкурентные позиции в условиях межвидового соперничества.

Следует отметить, что хотя железнодорожный транспорт и является отраслью достаточно консервативной в части скорости модернизации используемого оборудования, замены технических средств и устройств, у него имеется большой технический и технологический резерв, основанный в первую очередь на применении современных технических решений, элементов роботизированной

техники, логистизации перевозок, применении инновационных решений при организации непосредственно перевозочного процесса. Всё это в комплексе является значимым аргументом в области повышения качества перевозок, эффективности их выполнения, а также выступает конкурентным преимуществом на пути к увеличению рыночной ниши не только в стране, но и в Евро-Азиатском регионе.

#### Список литературы

- 1 Хоменко, Я. В. Совершенствование технологических процессов для повышения эффективности труда на предприятиях железнодорожного транспорта / Я. В. Хоменко, С. В. Рачек // Вестник Евразийской науки. – 2019. – Т. 11, № 2. – 54 с.
- 2 Белорусская железная дорога подвела итоги 2020 года и обозначила перспективы на 2021 год // INFOTRANS. Транспортно-логистический портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://infotrans.by/2021/02/01/belorussskaya-zheleznaaya-doroga-podvela-itogi-2020-goda-i-oboznachila-perspektivy-na-2021-god/>. – Дата доступа : 25.09.2021.

УДК 656

## МЕСТО ИННОВАЦИОННОГО ПОДХОДА В РАЗВИТИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*О. А. ХОДОСКИНА, Т. С. ПАНЧЕНКО, О. А. КУРГАНОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На сегодняшний день транспорт является одной из важнейших отраслей производственно-социальной инфраструктуры, которая является «кровеносной системой страны», обеспечивает динамическое развитие экономики и насущные потребности населения и субъектов хозяйствования в перевозках грузов и пассажиров. В Республике Беларусь это в особенности касается системы железнодорожного сообщения, поскольку в связи с географическими особенностями нашей страны она играет исключительно важную роль, представляя собой оптимальное транспортно-логистическое звено в реализации масштабных проектов в сфере экономики и транспортной логистики между Восточноазиатским регионом и странами Западной Европы.

Стремительное развитие рыночных отношений и глобализация внешнеэкономической деятельности обуславливает необходимость поиска путей совершенствования системы транспортного комплекса, в долгосрочной перспективе ставится задача коренного реформирования и значительного повышения социально-экономической эффективности функционирования различных видов транспорта – в первую очередь железнодорожного. Анализ опыта зарубежных стран свидетельствует о существовании прямо пропорциональной зависимости социально-экономического развития страны и развитости ее железнодорожного хозяйства, посредством которого создается новое пространство для реализации возможностей развития различных отраслей экономики, что способствует повышению мобильности, деловой и социальной активности в обществе.

Так, в стратегии развития железнодорожного хозяйства Республики Беларусь до 2030 года были определены следующие проблемы, от методики решения которых будет зависеть дальнейшее социально-экономическое развитие страны: ускоренное обновление основных фондов железнодорожного транспорта и повышение безопасности его функционирования; недостаточность инвестиционных ресурсов и снижение территориальных диспропорций в развитии железнодорожной инфраструктуры и, кроме того, преодоление технического и технологического отставания Республики Беларусь от передовых стран мира по уровню железнодорожной техники и развития железнодорожных магистралей. Это свидетельствует о том, что первостепенной задачей для железнодорожного транспорта страны является совершенствование материально-технической базы структурных подразделений с упором на ее современное инновационное и, как следствие, эффективное развитие.

Поэтому внедрение так называемых «подрывных» инноваций и стимулирование инновационной деятельности для Белорусской железной дороги является стратегической целью на предстоящий период и представляется наиболее перспективным способом повышения конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности. В ближайшие десятилетия в железнодорожной отрасли планируется осуществить кардинальные изменения во всех основных технологических и бизнес-

процессах, которые базируются на внедрении нового подвижного состава, эффективных объектов технологической инфраструктуры, интеллектуальных систем управления перевозочным процессом и других технологических и организационных инноваций. В связи с этим закономерно встает вопрос о необходимости реализации мероприятий по обновлению и усовершенствованию структуры материально-технической базы железнодорожного транспорта как самостоятельной отрасли народного хозяйства.

В настоящее время под материально-технической базой железнодорожного транспорта понимается совокупность средств и путей сообщения, а также различных устройств и сооружений, а именно: путь и путевое хозяйство, вагоны и вагонное хозяйство, локомотивы и локомотивное хозяйство, станции, грузовое и весовое хозяйство, транспортные конторы и др. Необходимо отметить, что одной из основных задач выступает определение наиболее благоприятного соотношения между изменением объемов перевозок грузов и пассажиров и технической базы и вместе с тем поддержание оптимальной структуры основных фондов железной дороги.

При этом также значимой проблемой выступает отсутствие четкого определения того, что принимать за оптимальную структуру фондов и какова должна быть протяженность железнодорожных линий, как наилучшим способом распределить инвестиции на различные виды основных фондов и для различных хозяйств и структурных подразделений, какой объем подвижного состава будет в долгосрочной перспективе качественно и своевременно обслуживать субъектов хозяйствования.

Немаловажным является и тот факт, что на железнодорожном транспорте основная деятельность сконцентрирована на оказании услуг, вследствие чего на железной дороге достаточно редко можно встретить внедрение продуктовых инноваций. Поскольку объемы пассажиро- и грузопотоков напрямую связаны с состоянием экономики в целом и ее промышленных отраслей, то железнодорожный транспорт в значительной мере зависит от общей экономической конъюнктуры страны и региона. По этой причине очень важным является создание благоприятных условий для перехода железной дороги на передовые интенсивные технологии для того, чтобы морально устаревшая техника своевременно и должным образом заменялась прогрессивной. Также стоит учитывать, что предприятия железнодорожного транспорта подвержены высоким экономическим рискам в процессе осуществления модернизации основных средств не только из-за того, что являются «потребителями» инноваций в других отраслях, но и ввиду высокой экономической стоимости основных производственных фондов и материально-технической базы, выступающих, в первую очередь, технологической основой инновационного развития. При этом, говоря о потенциальном потребителе транспортных услуг и, соответственно, внедряемых инноваций, зачастую подразумевают грузоотправителей и грузополучателей, хотя пассажирские железнодорожные перевозки также занимают значительное место в транспортной системе страны и являются потребителями актуальных инновационных продуктов.

Белорусская железная дорога, обслуживая, главным образом, международные грузоперевозки, занимает достаточно сильные позиции на рынке транспортных перевозок в Беларуси по сравнению со странами ЕС и наряду с автопредприятиями является основным пассажироперевозчиком в стране, выполняя более 40 % пассажирооборота страны. Пассажирские перевозки имеют ряд конкурентных преимуществ и занимают особое место в работе железнодорожного транспорта в силу своей надежности, регулярности, независимости от погодных условий и небольшой энергоемкости перевозочного процесса. В настоящее время железнодорожное пассажирское сообщение Республики Беларусь охватывает более 2100 населенных пунктов и обеспечивает перевозки пассажиров в международном, межрегиональном и региональном сообщениях, связанные как с производственной деятельностью, так и с культурно-бытовой необходимостью. Однако немаловажным является тот факт, что последствия пандемии и повсеместное введение соответствующих ограничительных и карантинных мер привели к возникновению существенных диспропорций в транспортной отрасли евро-азиатского региона в целом, а это в свою очередь отрицательно сказалось не только на объемах пассажироперевозок железнодорожным транспортом Республики Беларусь, но и на выполнении других целевых показателей, которые в общей сложности сложились ниже уровня предыдущего года.

Таким образом, инновационное развитие железнодорожного комплекса Республики Беларусь направлено в первую очередь на строительство новых железнодорожных линий, модернизацию и внедрение высокотехнологичных компонентов в инфраструктуру, надежное и своевременное обновление подвижного состава (в первую очередь для пассажирских перевозок) для повышения безопасности и качества предоставляемых Белорусской железной дорогой услуг населению.



## Список литературы

- 1 Михальченко, А. А. Современные подходы в инвестиционной деятельности для развития железной дороги / А. А. Михальченко, В. С. Коцур // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 144–145.
- 2 Инновационные направления развития железнодорожного транспорта // Военный юрист [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа : <https://voennyjvopros.ru/innovacionnye-napravlenija-razvitija-zheleznodorozhnogo-transporta.html>. – Дата доступа : 25.09.2021.

УДК 338.24.021.8

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*С. Л. ШАТРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. В. ДАНИЛЕНКО, В. Л. ЖИГАЛОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

В условиях повышенного риска и влияния негативных экзогенных и эндогенных факторов безопасность является триггером экономически устойчивого развития транспортной системы. Это обуславливает необходимость исследования широкого спектра инструментов (управление рисками: диверсификация, страхование, хеджирование и др.; техническая защита: охрана, безопасность информации, кадровая политика; финансовая защита: финансовый мониторинг, управленческий учет и контроль, бюджетирование), технологий и факторов, влияющих и обеспечивающих экономическую безопасность хозяйствующего субъекта. Безусловно, наиболее изучены и подвержены огласке внешние угрозы, связанные с промышленным и IT-шпионажем, санкциями в финансовой и технологической сферах. Однако внутренние угрозы, такие как закредитованность, аритмичность объемов работы и ее структуры, ограниченность ресурсов для развития и др., не менее важны и существенны в изменяющихся условиях хозяйствования.

Из множества функциональных составляющих экономической безопасности можно выделить основные взаимосвязанные направления по ее обеспечению, которые в свою очередь различны по набору инструментов, методологии и объекту защиты.

1 Финансовая безопасность. Финансовая составляющая экономической безопасности включает ряд мероприятий, обеспечивающих эффективность использования капитала, повышение качества планирования и осуществления хозяйственной деятельности железной дороги:

– внедрение системы бюджетирования. Система управления в условиях ограниченности ресурсов претерпевает качественные содержательные изменения, эффективность которых зависит от уровня информационного обеспечения принимаемых решений. Своевременная, полная и достоверная информация составляет основу оптимизации затрат, продаж и финансовых результатов. Формирование подобного рода информации осуществляется в рамках системы контроллинга, основными функциями которого являются анализ безубыточности производства, учет по центрам ответственности, нормирование, планирование и бюджетирование. Следует отметить, что существующая система финансового управления и планирования содержит ряд позитивных элементов, например, наличие развернутой системы планирования и контроля детализированных затрат, которые необходимо интегрировать с научно обоснованной системой бюджетирования. При этом система бюджетирования должна быть построена по принципу «сверху – вниз», т. е. на основе определенного на уровне Управления железной дороги ожидаемого объема доходов, необходимо рассчитать «допустимый» уровень затрат. Этот уровень определяется как разность между ожидаемыми доходами, платежами по кредитным и иным обязательствам. «Допустимый» уровень затрат должен быть равен общедорожному бюджету, который в зависимости от стратегических целей развития железной дороги должен быть распределен на бюджеты второго уровня (предприятия, входящие в систему финансирования), которые в свою очередь разработают бюджеты, подчиненным структурам (филиалы);

– отказ от непрофильных видов деятельности и непрофильных активов. Непрофильные виды деятельности – это виды деятельности, не связанные с основной деятельностью подразделений, выполняющие вспомогательные, обслуживающие или социальные функции, способные представлять стратегическую важность, социальную значимость и обеспечивать безопасность основных бизнес-процессов организации. Непрофильные виды деятельности, в которых задействована значительная часть работников, занимали и занимают заметную долю в экономических показателях работы железной дороги. К ним относятся, прежде всего, содержание объектов социальной сферы (санаторно-курортных учреждений, учреждений культуры и спорта, объектов жилого фонда и др.) и так называемые иные виды деятельности с широким спектром услуг и работ, не относящиеся непосредственно к перевозкам. При этом часть услуг, относимых к непрофильным видам деятельности, а также связанных с содержанием объектов социальной сферы, мало доходны, убыточны или имеют уровень производительности труда значительно ниже общедорожного, что обуславливает необходимость поиска вариантов повышения эффективности их осуществления (к примеру, выделение и передача этих видов деятельности в обособленные виды бизнеса для развития конкуренции и максимизации их доходности). Вместе с тем многие непрофильные виды деятельности тесно или неразрывно связаны с основными и оказывают непосредственное влияние на качество транспортных услуг и эффективность работы предприятий железной дороги в целом. То есть качество непрофильных работ и услуг находится в системной зависимости с качеством перевозок. Кроме того, повышение эффективности дополнительных работ и услуг приводит к росту конкурентоспособности и экономической безопасности железнодорожной отрасли на рынке транспортных услуг в целом;

– переход к договорным отношениям, заказу и оплате региональных и межрегиональных перевозок пассажиров администрациями соответствующих местных администраций. Это позволит перенести акцент с социальных гарантий по обеспечению в транспортировке населения на основную задачу железной дороги – перевозку, объем которой должно определять само население через администрации соответствующих территориальных единиц (будут нести бремя социальных гарантий через финансирование перевозки, оплачивая ее стоимость на уровне тарифа, обеспечивающего окупаемость перевозки).

2 Кадровая безопасность – обеспечение экономической безопасности железной дороги за счет снижения рисков и угроз, связанных со шпионажем, мошенничеством, недоброкачественной работой сотрудников, их интеллектуальным потенциалом и трудовыми отношениями в целом. Интеллектуальный потенциал представляет собой один из главных ресурсов производства, на основе чего существующее положение и эволюция его структурных и количественных параметров играет немаловажную роль в укреплении и формировании экономической безопасности. В современных условиях основной задачей для железнодорожного транспорта является повышение уровня моральной и материальной оценки труда работников с целью поддержания высокого уровня производительности труда, что зависит и одновременно влияет на финансовые результаты деятельности всей железной дороги.

3 Техничко-технологическая безопасность. Обеспечение технико-технологической функциональной составляющей экономической безопасности является важной задачей каждого элемента системы железнодорожного транспорта. Важность выражена тем, что поддержание технико-технологического потенциала железной дороги на высоком уровне обеспечивает конкурентные преимущества, гибкость технологического процесса перевозки, способность реагировать на изменения конкурентной среды и противостоять дестабилизирующим факторам.

Таким образом, успех в поддержании и повышении технико-технологического и кадрового потенциала железнодорожного транспорта находится в прямой зависимости от финансовых возможностей, и наоборот, финансовый результат определяется уровнем технико-технологического и кадрового потенциала. Поэтому проблема обеспечения экономической безопасности железной дороги требует разработки соответствующей комплексной системы мер и формирования действенной системы контроля за их выполнением и результативностью.

#### Список литературы

1 Жигалов, В. Л. Система управления эффективностью бизнес-процессов на железнодорожном транспорте / В. Л. Жигалов, С. Л. Шатров, Е. О. Фроленкова // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – 2018. – С. 235–237.

2 Липатова, О. В. Комплексный подход к оценке эффективности функционирования логистических систем / О. В. Липатова, С. Л. Шатров // Современные концепции развития транспорта и логистики в Республике Беларусь. – Минск, 2014. – С. 208–213.

3 **Сергеева, И. А.** Комплексная система обеспечения экономической безопасности предприятия : учеб. пособие / И. А. Сергеева, А. Ю. Сергеев. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – 124 с.

4 **Шатров, С. Л.** Теория контроля / С. Л. Шатров. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 48 с.

5 **Шатров, С. Л.** Система внутреннего контроля финансово-хозяйственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта : состояние и направления развития / С. Л. Шатров // Бухгалтерский учет и анализ. – 2006. – № 10. – С. 8–13.

6 **Шатров, С. Л.** Развитие системы внутреннего контроля на железнодорожном транспорте / С. Л. Шатров, Е. В. Пойкер // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. – Минск : БГЭУ, 2011. – С. 211–212.

УДК 338.14:004.6

## **ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЙ КОНТЕНТ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

*В. В. ШИБОЛОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Цифровая экономика требует нового уровня взаимодействия сотрудников и коммуникаций с контрагентами, новых бизнес-моделей и ускорения процессов. Передовые компании-разработчики уже говорят о новых форматах цифровизации бизнеса и предлагают стратегию DigitAll («цифровизируй все»), которая включает шесть направлений: мощная платформа, удобство пользователей, омниканальность, развитие юридической значимости, интеллект и роботизация, готовый набор комплексных бизнес-решений, основанный на лучших практиках внедрения [3].

Построение системы эффективного управления контентом предприятия является актуальной задачей любой организации, в том числе и транспортной. В текущих реалиях ее не решить без применения современных корпоративных информационных систем (ЕСМ-систем) [3–5].

В отечественной и зарубежной практике при классификации программного обеспечения (информационных систем), позволяющих организовать работу с электронными документами, принято использовать два понятия, которые часто считаю синонимами СЭД (система электронного документооборота, система управления электронными документами) и ЕСМ (система интеллектуального управления контентом предприятия). Понятие ЕСМ шире, чем СЭД. Чтобы СЭД стала ЕСМ-системой она должна содержать средства сканирования документов, гарантировать сохранность документов, поддерживать правила хранения документов и т. д.

**ЕСМ (Enterprise Content Management)** – набор технологий, инструментов и методов, используемых для сбора, управления, накопления, хранения и доставки информации (контента) всем потребителям внутри организации. Контент – это некое собирательное понятие для любой информации, которая содержится в информационном ресурсе (документы, фото и видео материалы, данные о клиентах, каталоги и т. д.) [3–5].

Термин ЕСМ можно рассматривать в двух взаимосвязанных проекциях:

- 1) общая стратегия работы с различного рода корпоративным контентом;
- 2) набор программных продуктов для управления полным жизненным циклом такого контента.

К ЕСМ можно отнести системы, которые поддерживают три из шести функций:

- 1) управление документами (экспорт, импорт, контроль версий, безопасность и т. д.);
- 2) сканирование документов и управление образами документов;
- 3) управление записями для долгосрочного архивного хранения, автоматизация правил и нормативов хранения, гарантирование соответствия записей законодательству и регулирующим правилам;
- 4) workflow для поддержки бизнес-процессов, маршрутизации контента, назначение рабочих задач и состояний, трассировка маршрутов и контроль исполнения;
- 5) управление веб-контентом для автоматизации публикаций, управление динамическим контентом и взаимодействие пользователей для этих задач;
- 6) совместная работа над общими документами и поддержка проектных команд [4, 5].

В настоящее время рынок ЕСМ-систем во всем мире демонстрирует динамичное развитие. Эти системы покрывают значительный спектр задач по автоматизации процессов документооборота (делопроизводственный, договорной, проектный, кадровый, учетно-финансовый, архивный и др.), имеют инструменты уникальных производственных решений, приспособлены к интеграции с сервисами обмена и другими информационными системами предприятия.

Определение ЕСМ-системы как «набора технологий, инструментов и методов, используемых для сбора, управления, накопления, хранения и доставки информации (контента)», раскрывает два важных момента.

1 Управление информацией производится на протяжении всего жизненного цикла информации: от ее создания или поступления в организацию до уничтожения после окончания срока хранения. Именно эта комплексность позволила ЕСМ выделиться в отдельную отрасль.

2 ЕСМ – это не только инструменты, но и стратегии и методики управления информацией. Если нет понимания задачи и выработанной стратегии, если не разработаны и не соблюдаются методики, то внедрение ЕСМ-инструментов не сможет решить задач организации. В этой связке важны три элемента: стратегии, инструменты, методики [3–5].

Информационные технологии постоянно развиваются. Чтобы эффективно применить новую технологию, важно понять ее место в общей стратегии управления информацией.

Проследим основные ЕСМ-технологии в соответствии с решаемыми ими задачами [5].

1 *Захват информации.* На этом этапе жизненного цикла информация создается или импортируется в ЕСМ-систему извне, при этом информация может создаваться человеком или приложениями. На этапе захвата используются следующие технологии: сканирование документов, распознавание образов документов, обработка форм, интеграция с другими системами и др.

2 *Управление.* Информация, занесенная в ЕСМ-систему, должна «работать», оптимально и продуктивно использоваться в повседневной деятельности предприятия. Для этого нужно проанализировать жизненный цикл каждого вида контента и связать занесенные документы с соответствующими бизнес-процессами, учитывающими интересы всех его участников. Кроме того, единая стратегия управления контентом должна связать воедино всю цепочку жизненного цикла документа от занесения в систему до передачи в архив или уничтожения, обеспечить доступ к контенту всех заинтересованных сторон. Используемые технологии: workflow, web-сервисы, шины данных, инструменты для мониторинга и оптимизации и др.

3 *Доставка.* В рамках работы с контентом требуется обеспечить доставку информации потребителям, то есть конечным пользователям. Здесь можно выделить следующие технологии: формирование отчетов, преобразование форматов документов, печать и публикация документов на web-порталы, организация доступа с различных устройств, использование инструментов для межкорпоративного электронного документооборота.

4 *Оперативное хранение информации.* Информация, поступившая в систему, хранится в ней в соответствии с установленными для этого класса информации политиками и доступна сотрудникам для оперативного использования. Соответствующие технологии позволяют решать следующие задачи, возникающие в процессе хранения: разграничение прав доступа, поиск, работа с версиями, регистрация, аудит действий пользователя, извлечение документов и информации.

5 *Архивное хранение информации.* В долговременное архивное хранение контент передается по необходимости после вывода из оперативного использования. Для таких целей предприятия могут использовать ЕСМ-систему, но всё чаще применяют отдельные системы архивного долговременного хранения документов, которые решают свои специфические задачи, обеспечивающие занесение, выдачу и юридическую значимость документов в течение всего срока хранения. Для решения этих задач используются следующие инструменты и технологии: усовершенствованная квалифицированная цифровая подпись, специальные архивные форматы, перенос на более дешевые носители информации, специальные процедуры архивирования и т. д. [5].

Текущее развитие ИТ-отрасли позволяет выводить технологии информационных систем на новый уровень, в том числе с применением искусственного интеллекта, чат-ботов и программных роботов [5].

#### Список литературы

- 1 **Бобылева, М. П.** Управленческий документооборот: от бумажного к электронному. Вопросы теории и практики / М. П. Бобылева. – М. : ТЕРМИКА, 2019. – 232 с.
- 2 **Романов, Д. А.** Правда об электронном документообороте / Д. А. Романов, Т. Н. Ильина, А. Ю. Логинова. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 224 с.

3 Просто о цифровой трансформации // ЕСМ-Journal [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ecm-journal.ru/special/30699470.aspx#ecm>. – Дата доступа : 15.09.2021.

4 Как оценивать эффективность ЕСМ-проектов // ЕСМ-Journal [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ecm-journal.ru/docs/Как-ocenivat-ehffektivnost-ЕСМ-proektov.aspx>. – Дата доступа : 15.09.2021.

5 Управление корпоративной информацией // itWeek [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.itweek.ru/ecm/article/detail.php?ID=155780>. – Дата доступа : 15.09.2021.

6 Цифровая трансформация // ЕСМ-Journal [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ecm-journal.ru/transformation#ecm>. – Дата доступа : 15.09.2021.

УДК 331.108

## **КАДРОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК НАПРАВЛЕНИЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТРАСЛИ**

*Н. В. ЯШКОВА*

*Филиал Самарского государственного университета путей сообщения,  
г. Нижний Новгород, Российская Федерация*

Кадровая безопасность – это предотвращение негативных воздействий на экономическую безопасность предприятия за счет устранения рисков и угроз, связанных с персоналом, его интеллектуальным потенциалом и отношениям в целом. Объектом кадровой безопасности предприятия можно считать негативные внутренние риски компании и угрозы, связанные с деятельностью персонала, а также внешние факторы, снижающие уровень кадровой безопасности [1].

Все угрозы кадровой безопасности условно можно разделить на две группы: угрозы материального характера и угрозы нематериального характера. Если угрозы материального характера трудно регулировать в силу того, что система материального стимулирования регламентируется законодательной базой, то угрозы нематериального характера возможно регулировать силами предприятия.

Для выявления наиболее актуальных угроз кадровой безопасности нематериального характера нами был проведен социологический опрос сотрудников предприятий железнодорожного транспорта. Результаты опроса представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Результаты социологического опроса

Проведенное исследование позволило выявить, что основной угрозой кадровой безопасности нематериального характера является возможность карьерного роста, именно это направление нематериального стимулирования выделили 34,5 % опрошенных, 24,7 % опрошенных назвали возможность профессионального роста. Поэтому для улучшения кадровой безопасности как элемента экономической безопасности предприятий железнодорожного транспорта необходимо улучшить работу по формированию кадрового резерва.

Процесс формирования кадрового резерва осуществляется в соответствии с Положением о кадровом резерве ОАО «РЖД», разработанным с целью повышения эффективности управления персоналом посредством целенаправленного отбора и развития высокопотенциальных работников, по-

вышения уровня их профессиональных и управленческих компетенций для достижения корпоративных и стратегических целей ОАО «РЖД».

Формирование кадрового резерва происходит поэтапно. Этапы формирования кадрового резерва представлены на рисунке 2.

Согласно Положению кадровый резерв представляет собой «сформированную группу перспективных работников, обладающих высоким потенциалом и уровнем развития профессиональных и корпоративных компетенций, личностных и морально-этических качеств, позволяющих им достигать установленных ключевых показателей эффективности деятельности и реализовывать цели и задачи ОАО «РЖД».

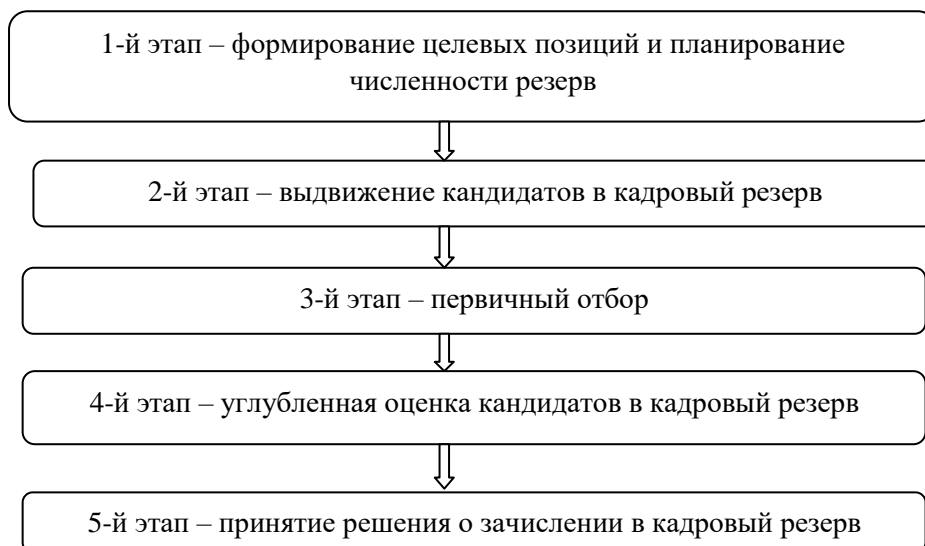


Рисунок 2 – Этапы формирования кадрового резерва

На предприятиях ОАО «РЖД» выделяют несколько видов кадрового резерва, которые представлены на рисунке 3.

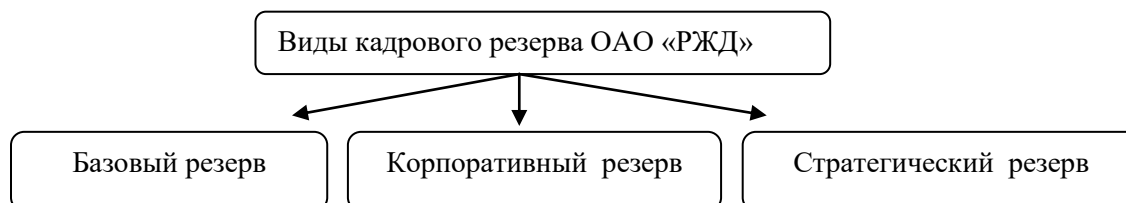


Рисунок 3 – Виды кадрового резерва

Характеристика каждого вида резерва представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика кадровых резервов [1]

Вид резерва	Характеристика резерва
Базовый	Это резерв на должности руководителей, назначение на которые осуществляется приказами руководителей подразделений ОАО «РЖД»
Корпоративный	Это резерв на должности руководителей подразделений ОАО «РЖД», назначение на которые осуществляется приказами президента ОАО «РЖД» и вице-президента, в ведении которого находятся вопросы управления персоналом и социальные вопросы
Стратегический	Это группа наиболее подготовленных, высокопрофессиональных и перспективных работников из зачисленных в корпоративный резерв, прошедших подготовку по специальной программе развития и в приоритетном порядке рассматривающихся в качестве кандидатов на ключевые руководящие должности в компании

Формирование кадрового резерва в структурных подразделениях ОАО «РЖД» осуществляется на основе системы Единых корпоративных требований к персоналу, которые представлены на рисунке 4.

Оценка по системе ЕКТ позволяет не только объективно и быстро выбирать лучших работников, но и эффективно управлять их развитием. Смысл корпоративных требований не в равных требованиях, а в равных ориентирах.

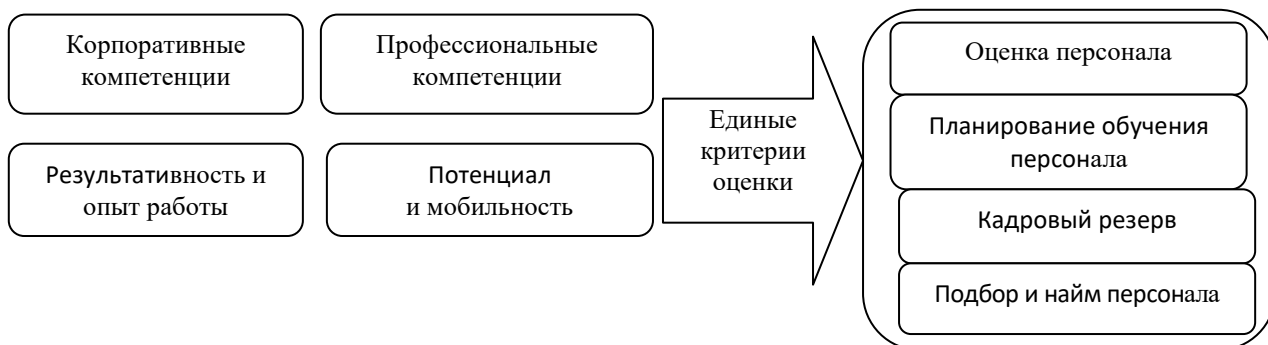


Рисунок 4 – Система единых корпоративных требований

Для улучшения работы по формированию кадрового резерва необходимо внести корректировки в систему оценки персонала. Для того нами рекомендуется разработать рейтинговую оценку персонала дифференцированно для каждого вида резерва и с учетом единых критериев оценки. Рейтинговая система сделает систему формирования кадрового резерва более прозрачной и вызовет больше доверия со стороны сотрудников организации.

Работа с кадровым резервом предполагает рассмотрение возможности мобильности сотрудников. Для выявления мобильности сотрудников нами был проведен социологический опрос среди персонала одного из структурных подразделений холдинга. В результате данного опроса установлено, что 53 % сотрудников, включенных в кадровый резерв, готовы к переезду на другие полигоны (железные дороги), 19 % согласны, но при выполнении ряда условий, таких как предоставление жилья; предоставление работы супруге/супругу; предоставление места в детском саду; 28 % опрошенных не согласны на переезд на другое место жительства.

Структура мобильности сотрудников представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Структура кадрового резерва по уровню мобильности в 2019 г.

Фактор мобильности также необходимо учитывать при формировании кадрового резерва. Считаем, что его нужно включать в систему рейтинговой оценки персонала для формирования кадрового резерва.

#### Список литературы

1 Распоряжение № 1748р от 30.08.2017 «Об утверждении положения о кадровом резерве ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gkrfkod.ru/zakonodatelstvo/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-30082017-n-1748r/>. – Дата доступа : 15.09.2021.

# **10 ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

---

УДК 624.21.033:004.45

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ КРАТКОСРОЧНОГО (ВРЕМЕННОГО) ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ (BLENDER, UNITY)**

*С. М. БОБРИЦКИЙ, К. Ю. КРУКОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На современном этапе развития инженерного искусства проектирования транспортных сооружений ни одно техническое решение не может быть принято без соответствующего обоснования, подкрепленного строгими математическими расчетами. Применение математических методов и возможностей электронных вычислительных машин, оснащенных высокоэффективными программными продуктами, дает возможность учитывать большое количество факторов, влияющих на выбор оптимальных вариантов построения схем краткосрочного (временного) железнодорожного моста из типовых элементов конструкций в заданных местных условиях [1].

Одной из важных задач в построении варианта схемы железнодорожного моста является оптимальное использование мостовых конструкций, в первую очередь пролетных строений, которые могут быть использованы для восстановления нескольких мостов на железнодорожном участке или направлении. Следовательно, могут быть ограничения по наличию пролетных строений наибольшей длины. Поэтому в данных условиях необходимо для оптимального построения схемы рационально использовать гидрогеологические условия места возведения моста. Гидрогеологический профиль мостового перехода непосредственно влияет на выбор расположения в схеме моста пролетных строений максимальной длины.

Многовариативное построение схем в короткие сроки стало возможно с использованием современных программ разработки 3D-моделей (Blender или других аналогов) и сценариев построения схем в трехмерном пространстве (Unity). Фиксированное построение схемы моста с заданными и расчетными параметрами 3D-объектов элементов конструкций моста в оболочке Unity возможно с применением языка программирования. Укрупненный алгоритм построения схемы краткосрочного (временного) железнодорожного моста (далее – алгоритм) представлен на рисунке 1.

Исходные данные алгоритма (см. рисунок 1) представляют собой набор собранных в ходе технической разведки проектируемого мостового перехода данных с характеристиками: высотные отметки земли подходов к мосту; ширина зеркала воды в реке; характеристики грунтов; глубина воды в реке по оси моста через расстояние по длине не менее чем через 5 м; вид восстановления (краткосрочный, временный); габарит речного судоходства или необходимый показатель высоты моста или проектная отметка подошвы рельса; характеристики высоты бровки земляного полотна на подходах к мосту; выбор количества имеющихся пролетных строений для восстановления.

Имеющаяся база данных позволяет накапливать конструктивные решения типовых элементов фундаментов, надстроек опор и пролетных строений [2], разработанных в 3D-модели с подробной параметрической информацией и другими данными о них. В последующем используемые элементы конструкций в построенной схеме моста участвуют в формировании ведомостей материальных затрат в табличном виде с возможностью дальнейшего использования как исходных данных для их изготовления.



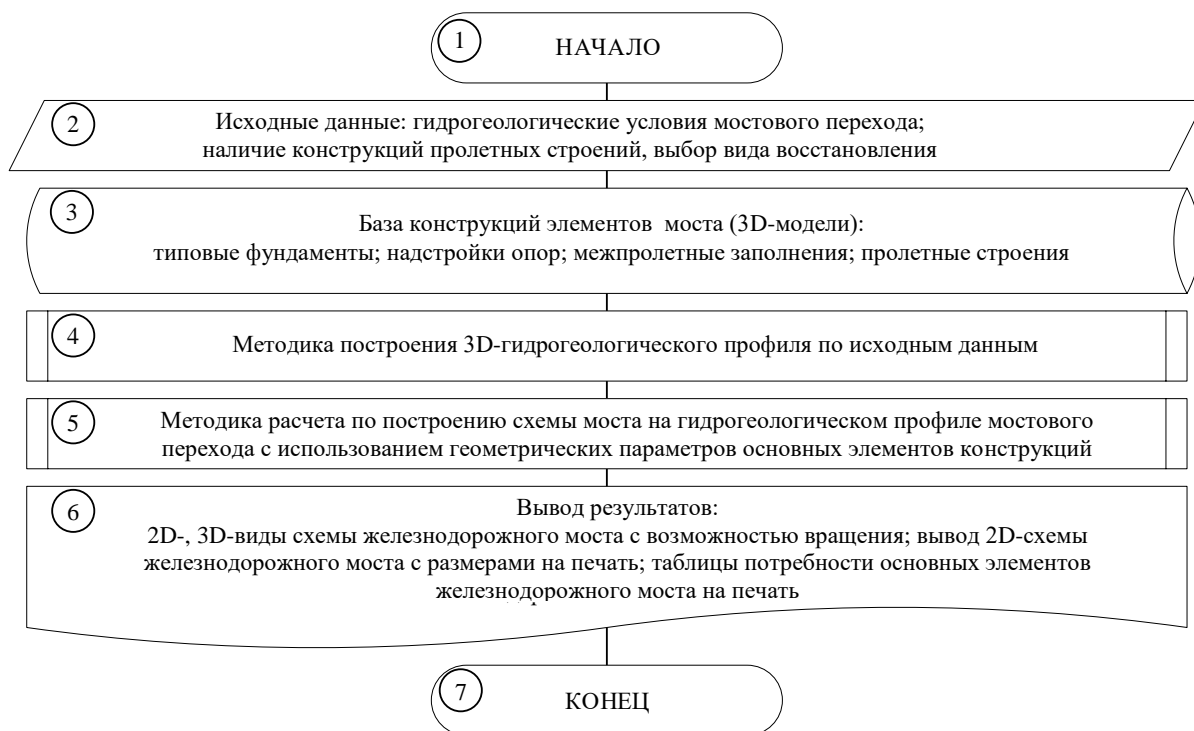


Рисунок 1 – Укрупненная блок-схема алгоритма построения схемы краткосрочного (временного) железнодорожного моста

Методика построения 3D-гидрогеологического профиля осуществляется по отметкам земли и русла реки через фиксированные расстояния вдоль оси проектируемого моста на основе построения функции с использованием интерполяции.

В методике расчета по построению схемы моста с использованием геометрических параметров основных элементов конструкций заложены принципы условий применимости конструктивных типовых решений фундаментов, надстроек опор и пролетных строений в порядке построения схемы по частям моста (береговой, русловой) и размеров между основными проектными отметками на границах объединения элементов между собой. В условиях расчетов также заложены принципы применимости элементов конструкций между собой и требования к основным отметкам моста из условий видов восстановления. Заложенные в методику математические модели, описанные по вышеприведенным условиям, прописаны машинным кодом с использованием языка программирования для совместной работы в оболочке Unity и апробированы в ходе дипломной работы Круковского К. Ю., выполненной в 2021 году. Результаты вариантов автоматизированного построения краткосрочного (временного) железнодорожного моста в 3D-виде представлены на рисунке 2.

а)



б)



Рисунок 2 – Варианты схем железнодорожного моста на ближнем обходе:  
*а* – краткосрочный низководный; *б* – временный высоководный

Изложенные проблемные вопросы и пути их решения позволят осуществлять многовариативное построение схем краткосрочного (временного) железнодорожного моста с использованием типовых конструкций с высокой достоверностью полученных данных в короткие сроки. А анализ полученных вариантов позволит командиру (инженеру) принять оптимальное решение на возведение моста. Кроме того, разработанные базы схем мостов к реальным мостовым переходам на железных дорогах могут быть использованы для накопления необходимых ресурсов в пролетных строениях.

#### Список литературы

1 **Бобрицкий, С. М.** Методика ускоренного проектирования военных железнодорожных мостов на жестких опорах / С. М. Бобрицкий, Е. В. Печенев // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч.1 / под общ. ред. А. А. Поддубного ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – С. 138–146.

2 **Бобрицкий, С. М.** Временное восстановление железнодорожных мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий, А. А. Поддубный, К. В. Махаев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 218 с.

УДК 624.21.09:614.8

### АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ПОВРЕЖДЕНИЙ, СОСТОЯНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

*С. М. БОБРИЦКИЙ, Е. В. ПЕЧЕНЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современных условиях обеспечению безопасного функционирования транспортных объектов на железных дорогах Республики Беларусь уделяется значительное внимание. Но несмотря на проводимые мероприятия по обеспечению бесперебойного движения железнодорожного транспорта по мостовым сооружениям, к сожалению, случаются и непредвиденные случаи, вызванные чрезвычайными ситуациями.

Несколько примеров повреждения основных конструкций железнодорожных мостов при чрезвычайных ситуациях (подмыв опор) представлены на рисунке 1.

*а)*



*б)*



Рисунок 1 – Обрушение больших железнодорожных мостов вследствие подмыва русловых опор:  
*а* – через реку Абакан в Республике Хакасия (май 2011 г.); *б* – через реку Кола в Кольском районе Российской Федерации (июнь 2020 г.)

Представленные на рисунке 1 оба обрушенных моста имеют общий характер повреждения русловых опор путем подмыва фундаментов паводком. Как следствие – обрушены русловые пролетные строения, которые вызвали загромождение русла и стеснение водотока. В обоих случаях прерыв движения по железнодорожным участкам составил не менее одного месяца, а следовательно, большие финансовые потери, за счет организации обходов через барьерный участок и дополнительной перевозки грузов автомобильным транспортом.

При возникновении таких чрезвычайных ситуаций требуется проведение комплекса мероприятий, направленных на ликвидацию последствий. На начальном этапе производится оценка причин возникновения аварии, возможные последствия нахождения моста в аварийном состоянии. Далее осуществля-

ется оценка состояния и положения конструкций и принимаются решения на устранение повреждений и возобновление движения по мосту. На каждом этапе выполняемых мероприятий исключительно время является основным показателем. При этом достоверность получаемых данных в короткие сроки должна обеспечить выбор наиболее рационального варианта решения по ликвидации последствий обрушений и проведению комплекса восстановительных работ на мостовом переходе.

Оперативное получение достоверной информации о характере повреждений, состоянии и положении основных элементов конструкций мостовых сооружений, вызванных при чрезвычайных ситуациях, на наш взгляд, представляется возможным с применением современных высокотехнологичных и в то же время мобильных и многофункциональных устройств. Для решения задач по сбору информации о состоянии поврежденных конструкций их положению в плане и профиле необходимо знать полную картину из эпицентра повреждения моста. Работа на небольшом расстоянии является рискованной и в большинстве случаев опасной, так как предсказать поведение обрушенных частей невозможно. В этом случае авторами предлагается рассмотреть комплекс мероприятий по использованию следующих технических средств по целевому назначению (рисунок 2).

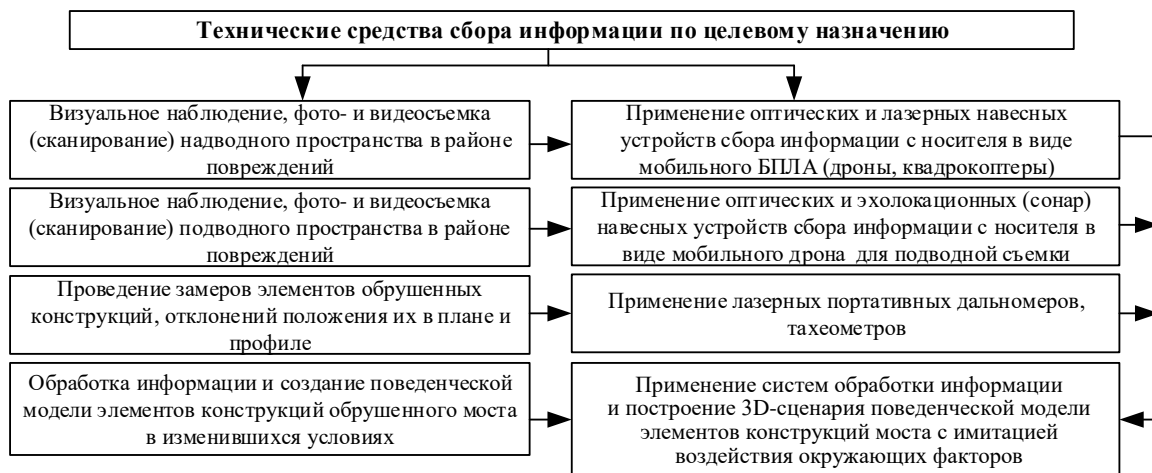


Рисунок 2 – Принципиальная схема сбора и обработки данных о характере повреждений, состоянии и положении основных элементов конструкций мостовых сооружений

Представленные на рисунке 2 технические средства должны удовлетворять тактико-техническим параметрам для достижения максимальной достоверности получаемых данных. Только при таком подходе представляется возможность в последующем моделировать поведение обрушенных элементов конструкций в условиях воздействия окружающих факторов (водного потока русла реки относительно положений элементов конструкций моста).

Приведем некоторые примеры современных технических средств для ведения фото- и видеосъемки надводного и подводного пространства (рисунок 3).



Рисунок 3 – Современные мобильные и многофункциональные устройства для сбора данных о состоянии и повреждении конструкций:

*а* – гидрографический лазерный сканер для БПЛА RIEGL VQ-840-G; *б* – подводный дрон Gladius Mini

Использование поведенческой имитационной модели позволит на следующем этапе восстановления избежать излишнего риска неконтролируемой осадки (смещения) конструкций при удалении с оси моста. Подобрать оптимальную технологию работ по разборке завалов от обрушенных конструкций.

Таким образом, применение представленного подхода к анализу характера повреждений, состояния и положения основных элементов конструкций мостовых сооружений, вызванных при чрезвычайных ситуациях, позволит оперативно и с требуемой достоверностью собирать необходимые данные для выбора оптимальных решений по ликвидации последствий.

#### Список литературы

1 **Бобрицкий, С. М.** Временное восстановление железнодорожных мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий, А. А. Поддубный, К. В. Махаев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 218 с.

УДК 656.2.08

## ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА ВОЗДУШНОМ И ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

*П. С. ВЕРБИЦКИЙ*

*Военный комиссариат Гомельского района, Республика Беларусь*

**Авиационные аварии и катастрофы** возможны по многим причинам. К тяжелым последствиям приводят разрушения отдельных конструкций самолета, отказ двигателей, нарушение работы систем управления, электропитания, связи, пилотирования, недостаток топлива, перебои в жизнеобеспечении экипажа и пассажиров.

### ***Как действовать при декомпрессии?***

Декомпрессия – это разряжение воздуха в салоне самолета при нарушении его герметичности. Быстрая декомпрессия обычно начинается с оглушительного рева (уходит воздух). Салон наполняется пылью и туманом. Резко снижается видимость. Из легких человека быстро выходит воздух, и его нельзя задержать. Одновременно могут возникнуть звон в ушах и боли в кишечнике. В этом случае, не дожидаясь команды, немедленно наденьте кислородную маску. Не пытайтесь оказать кому-либо помощь до того, как сами наденете маску, даже если это ваш ребенок: если вы не успеете помочь себе и потеряете сознание, вы оба окажетесь без кислорода. Сразу же после надевания маски пристегните ремни безопасности и подготовьтесь к резкому снижению.

### ***Как действовать при пожаре на самолете?***

Помните, что в случае пожара на борту самолета наибольшую опасность представляет дым, а не огонь. Дышите только через хлопчатобумажные или шерстяные элементы одежды, по возможности, смоченные водой. Пробираясь к выходу, двигайтесь пригнувшись или на четвереньках, так как внизу салона задымленность меньше. Защитите открытые участки тела от прямого воздействия огня, используя имеющуюся одежду, пледы и т. д. После приземления и остановки самолета немедленно направляйтесь к ближайшему выходу, так как высока вероятность взрыва. Если проход завален, пробирайтесь через кресла, опуская их спинки. При эвакуации избавьтесь от ручной клади и избегайте выхода через люки, вблизи которых имеется открытый огонь или сильная задымленность.

После выхода из самолета удалитесь от него как можно дальше и лягте на землю, прижав голову руками – возможен взрыв.

В любой ситуации действуйте без паники и решительно, это способствует вашему спасению.

### ***Как действовать при «жесткой» посадке и после нее?***

Перед каждым взлетом и посадкой тщательно подгоняйте ремень безопасности. Он должен быть плотно закреплен как можно ниже у ваших бедер. Проверьте, нет ли у вас над головой тяжелых чемоданов.

Аварии на взлете и посадке внезапны, поэтому обращайтесь внимание на дым, резкое снижение, остановку двигателей и т. д. Освободите карманы от острых предметов, согнитесь и плотно сцепите руки под коленями (или схватитесь за лодыжки). Голову уложите на колени или наклоните ее как

можно ниже. Ноги уприте в пол, выдвинув их как можно дальше, но не под переднее кресло. В момент удара максимально напрягитесь и подготовьтесь к значительной перегрузке. Ни при каких обстоятельствах не покидайте своего места до полной остановки самолета, не поднимайте панику.

Большинство крупных **аварий и катастроф на судах** происходит под воздействием ураганов, штормов, туманов, льдов, а также по вине людей – капитанов, лоцманов и членов экипажа. Зачастую аварии происходят из-за промахов и ошибок при проектировании и строительстве судов.

Среди предварительных мер защиты пассажиру можно посоветовать запомнить дорогу из своей каюты к спасательным шлюпкам на верхнюю палубу, так как во время катастрофы ориентироваться очень трудно, особенно при задымлении и крене судна.

#### ***Как действовать при высадке с судна?***

Помните, что решение об оставлении судна принимает только капитан. При высадке с судна выполняйте указания членов экипажа и соблюдайте следующие правила:

- в первую очередь в шлюпках предоставляются места женщинам, детям, раненым и старикам;
- перед посадкой в шлюпку или на спасательный плот наденьте на себя побольше одежды, а сверху – спасательный жилет. Если есть возможность, погрузите в шлюпку одеяла, дополнительную одежду, аварийное радио, питьевую воду и еду;
- если вы вынуждены прыгать с борта корабля в воду, то желательно с высоты не более пяти метров, закрыв рот и нос одной рукой, второй крепко держась за жилет;
- так как в воде с каждым движением увеличиваются потери тепла, плывите только к спасательному средству;
- после погрузки на спасательное средство необходимо отплыть на безопасное расстояние от тонущего судна (не менее 100 м).

#### ***Как действовать при отсутствии спасательных средств?***

Находясь в воде, подавайте сигналы свистком или поднятием руки. Двигайтесь как можно меньше, чтобы сохранить тепло. Потеря тепла в воде происходит в несколько раз быстрее, чем на воздухе, поэтому движения даже в теплой воде должны быть сведены к тому, чтобы только держаться на плаву. В спасательном жилете для сохранения тепла сгруппируйтесь, обхватите руками с боков грудную клетку и поднимите бедра повыше, чтобы вода меньше омывала область паха. Этот способ увеличит расчетный срок выживания в холодной воде почти на 50 %. Если на вас нет спасательного жилета, поищите глазами какой-нибудь плавающий предмет и ухватитесь за него, чтобы было легче держаться на плаву до прибытия спасателей. Отдыхайте, лежа на спине.

#### ***Как действовать при нахождении на спасательном плавательном средстве?***

Примите таблетки от морской болезни. Чтобы сберечь тепло, на шлюпке держитесь ближе к другим пострадавшим, делайте физические упражнения. Давайте пить только больным и раненым. В открытом море, если нет обоснованной надежды достичь берега или выйти на судовые пути, старайтесь держаться вместе с другими шлюпками вблизи места гибели судна.

Держите ноги по возможности сухими. Регулярно поднимайте ноги и двигайте ими для снятия отечности. Никогда не пейте морскую воду. Сохраняйте жидкость в организме, сокращая бесполезные движения. Для сокращения потоотделения днем увлажняйте одежду, а для снижения температуры внутри палатки смачивайте водой его наружную оболочку. Употребляйте в день не более 500-600 мл воды, разделив их на многочисленные малые дозы с самой большой дозой вечером. Питайтесь только аварийным запасом пищи. Сохраняйте дымовые шашки до момента, когда появится реальная возможность того, что их заметят. Не применяйте шашки все вместе в надежде обнаружить себя, поручите их применение одному человеку.

УДК 656.2.08

## **ЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ МОСТОВ ОТ КОРРОЗИИ**

*В. Н. ВОРЕПО, Д. В. ЯКУНИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Меры борьбы с ржавлением металлов разнообразны: на поверхности металла создают слой окислов (окисливание и воронение), главным образом из магнитной окиси железа; вводят в металл легирующие добавки – никель, медь и хром; покрывают пленками другого расплавленного ме-

талла (оцинкование, лужение и т. д.). Наиболее распространенными способами борьбы с ржавлением конструкций стальных мостов является защита стали лакокрасочными материалами, устройство хорошо обтекаемых конструкций, по возможности без пазух, конструктивных «мешков», корытообразных профилей и т. д.

Подготавливая стальные элементы к окраске, очищают их поверхность от грязи, пыли, минеральных масел, поврежденной старой краски и ржавчины. Пыль и грязь с поверхности элементов счищают водой и сжатым воздухом. Металл, загрязненный маслом, очищают бензином. Старую краску удаляют, если она имеет ржавые пятна, вспучивание, рыхлые слои, а также сквозные трещины в слое краски и плохое сцепление с металлом. Участки с хорошим слоем краски оставляют, но для удаления выветрившегося слоя и лучшего сцепления с новой краской их обрабатывают металлическими щетками, смачиваемыми скипидаром или уайт-спиритом. От качества выполнения этих работ зависит не только долговечность окраски, но и срок службы сооружений. Если окрашиваемая поверхность плохо очищена от ржавчины и старой краски, то любая краска не сможет предупредить ржавление стали. Если нанести на рыхлую, потрескавшуюся или вспученную старую краску новую, то она окажется непрочной и не будет предохранять металл от ржавления.

Рабочие, занимающиеся очисткой поверхностей от свинцовых красок, должны быть обеспечены респираторами.

Очистку выполняют, как правило, механизировано и только в отдельных случаях при малых объемах работ вручную проволочными щетками и скребками. Для механизированной очистки используют пескоструйные аппараты, механические щетки и специальные электроинструменты. Электроинструмент И-109 для очистки ржавчины имеет следующие показатели:

С разрешения вышестоящей организации и особой необходимости могут применяться огневые и химические способы очистки металла от старой краски. При химическом способе очистки рекомендуется применять смывки марки СМ-6 по МРТУ 8-10-641-67.

Смывку наносят на поверхность изделия кистью или щеткой плотным слоем и в зависимости от толщины старой краски – в несколько приемов, а после разрыхления или вспучивания старого лакокрасочного покрытия его удаляют щетками или шпателем. Затем для удаления с поверхности металла едкого натра, образующегося под воздействием смывки, эту поверхность (особенно в щелях и пазухах) тщательно промывают водой и 10%-ным раствором сернокислого аммония.

Принимать работы по очистке надо до нанесения грунтовки. Особое внимание нужно обращать на качество очистки в труднодоступных местах. Для сварных мостов тщательный осмотр после очистки поверхности от старой краски имеет особое значение, так как в этом случае можно обнаружить появившиеся в процессе эксплуатации скрытые дефекты в швах. Эти дефекты надо устранять до окраски. Если очищенная поверхность не может быть загрунтована в день очистки, ее покрывают тонким слоем олифы, а в случае перерыва более трех суток очистку повторяют.

Для производства окраски сразу же после проверки качества очистки и не позднее 2 ч с момента ее окончания грунтуют насухо вытертую поверхность. При малых объемах работ грунтовку наносят кистью тонким слоем с тщательной растушевкой. Поверхности с хорошо сохранившейся краской не грунтуют, а окрашивают одновременно с загрунтованной поверхностью. При больших объемах работ грунтовку производят распылителями. Шпаклевку приготавливают из натуральной олифы, молотого мела и свинцового сурика, принимая их в количестве по массе соответственно 15 : 60 : 25. При отсутствии свинцового сурика шпаклевку можно приготовить из натуральной олифы и мела (состав 17 : 83). Кусковой мел перемалывают и после просушки просеивают через сито с 400 отверстиями на 1 см<sup>2</sup>. Все зашпаклеванные просохшие щели и углубления покрывают олифой.

Окраску и грунтовку поверхностей стальных пролетных строений надо выполнять только летом, в сухую погоду.

Слои краски, нанесенные на предварительно загрунтованную поверхность, принимают в количестве не меньше двух для всех легкопроветриваемых элементов и соединений, в которых не может скопиться влага, а в остальных местах – три слоя. Чтобы краска не стекала с окрашиваемых вертикальных поверхностей при температуре наружного воздуха около +25°, количество олифы, добавляемой в краску при ее разведении, уменьшают на 4–5 % для грунтовки и первого слоя и на 8–10 % для второго слоя. Во избежание сморщивания слоя краски температура окрашиваемой поверхности и краски должна быть примерно одинаковой. Для этого готовую краску перед употреб-

лением выдерживают некоторое время на воздухе. Поверхности, нагреваемые солнцем, рекомендуются окрашивать в вечернее время.

При окраске вручную краску в ведре необходимо перемешивать примерно 1 раз в 5–10 мин (перемешивать кистью не допускается). Нанесенную на поверхность краску необходимо растушевывать кистью сначала в горизонтальном, а потом в вертикальном направлениях (или наоборот) с таким расчетом, чтобы слой ее был по возможности тонким и ровным. В толстом слое краски при просыхании на вертикальных поверхностях часто образуются подтеки, складки, а иногда и трещины.

В последнее время для окраски конструкций со сплошными балками начали применять установки безвоздушного распыления типа УБРХ-1М. Краска в них при выходе из сопла пистолета не распыляется, а подается на окрашиваемую поверхность под большим давлением и равномерно распределяется без потерь, которые свойственны воздушному распылению. Производительность установок безвоздушного распыления 400–500 м<sup>2</sup>/ч, для ее питания необходимо давление 2–5,5 кгс/см<sup>2</sup> и расход воздуха до 3,8 м<sup>3</sup>/мин. Пневмогидравлический насос высокого давления развивает давление на краску до 190 кгс/см<sup>2</sup> до выхода ее из сопла.

По окончании окрасочных работ в книге искусственных сооружений указывают дату окраски, способы очистки и окраски, тип примененных лакокрасочных материалов для грунтовочных и покровных слоев, погодные условия, результаты контроля качества красок и работ и другие данные.

При окраске нужно руководствоваться соответствующими правилами техники безопасности.

Контроль качества работ по окраске элементов стальных мостов начинается с подготовки поверхностей и до окончания окраски; проверяют и качество красок. Перед нанесением первого из верхних слоев должно быть проверено качество шпаклевки щелей и местных углублений. В процессе окраски необходимо следить, чтобы:

1) образовавшаяся пленка перед употреблением краски была снята, а краска размешана до полной однородности и процежена; 2) краска была нанесена тонкими ровными слоями без пропусков и потеков и точно соответствовала заданному образцу краски; 3) через нанесенный слой краски не просвечивались металл, грунтовка или нижележащий слой краски; 4) последующие слои наносились примерно через сутки и только после просыхания слоя, проверки качества окраски и приемки его по акту.

Общую приемку окраски моста проводят спустя двое суток после нанесения последнего слоя.

Качество окраски проверяют следующими способами:

1) высыхание – при нажиме пальцем не должно оставаться отпечатка, пленка не должна давать отлипа;

2) эластичность пленки – при срезании пленки острым ножом должна получиться эластичная стружка, которая не слипается и не крошится;

3) наружные дефекты – внешним осмотром;

4) укрывистость пигмента – внешним осмотром, при этом через краску не должен просвечивать металл, грунт или нижележащий слой краски.

УДК 625.8

## **ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*И. С. ГАРЕЛИК, И. А. БАГАРЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Землетрясение – подземные толчки и колебания земной поверхности, возникающие в результате внезапных смещений и разрывов в земной коре и верхней мантии и передающиеся на большие расстояния.

Интенсивность землетрясения – качественная характеристика землетрясения, указывающая на характер и масштаб воздействия землетрясения на естественные и искусственные сооружения, в том числе железнодорожную инфраструктуру, людей и животных, земную поверхность. Измеряется в баллах по шкале MSK-64 (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика землетрясений по шкале MSK-64

Балл	Сила землетрясения	Краткая характеристика разрушений
1	Не ощущается	Не ощущается. Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабые толчки	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий
3	Слабое	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика
4	Интенсивное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей
5	Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов – всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Ощущается людьми и вне зданий
6	Сильное	Ощущается всеми. Отдельные куски штукатурки откалываются
7	Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются. Падают фабричные трубы
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся
10	Уничтожающее	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление рельсов
11	Катастрофа	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление рельсов, разрушаются мосты
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает

При получении информации о землетрясении интенсивностью до 4 баллов включительно дежурный специалист отдела гидрометеорологии Управления пути и сооружений докладывает начальнику Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры – филиала «БЖД», диспетчерскому аппарату Ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями, диспетчеру службы пути дирекции инфраструктуры, в районе которой зафиксировано землетрясение.

При получении информации о землетрясении интенсивностью в эпицентре от 4 баллов и более, оперативный специалист отдела гидрометеорологии Управления пути и сооружений обязан незамедлительно поставить в известность начальника Центральной дирекции инфраструктуры, его заместителей, начальника Управления пути и сооружений, его заместителей; начальника отдела гидрометеорологии; начальников Управления вагонного хозяйства, Управления автоматики и телемеханики, Управления электрификации и электроснабжения, Службы механизации, Службы диагностики и мониторинга инфраструктуры, главного диспетчера «БЖД», диспетчерский аппарат Ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями, Центральную станцию связи. При получении информации о землетрясении из средств массовой информации, дежурный специалист отдела гидрометеорологии Управления пути и сооружений обязан принять все меры к подтверждению информации о землетрясении.

#### **Порядок работы при получении оповещения о землетрясении**

В целях обеспечения безопасности движения поездов на сейсмоопасных участках железных дорог и своевременного оповещения причастных служб при получении информации о землетрясении установить следующий порядок: при землетрясениях интенсивностью до 4 баллов включительно эксплуатация железных дорог осуществляется обычным порядком в соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации.

При землетрясении 4 балла и более силами командного состава дистанций пути, энергоснабжения, СЦБ и связи, гражданских сооружений немедленно производится осмотр пути, искусственных сооружений, зданий, устройств связи и СЦБ, контактной сети и других обустройств, а также осматриваются скально-обвальные и лавиноопасные участки, высокие насыпи на оползневых косогорах, принимаются меры по устранению выявленных повреждений.

В случае землетрясений интенсивностью 5 баллов и более движение поездов должно осуществляться с ограничением скорости до 50 км/ч.

При землетрясениях 6 баллов и более движение поездов прекращается. Поездам, находящимся в тоннелях разрешается следовать со скоростью не более 15 км/ч – для выхода из тоннелей. Участки пути, где обнаружены повреждения, угрожающие безопасности движения поездов, ограждаются. Нормальный режим эксплуатации восстанавливается после освидетельствования пути, сооружений и других устройств, при отсутствии или устранении повреждений, вызванных землетрясением.



## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ

*Р. Ю. ДОЛОМАНЮК, П. А. КАЦУБО, Е. В. ПЕЧЕНЕВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одной из наиболее важных задач в обеспечении безопасности дорожного движения на автомобильных и железных дорогах является безопасный пропуск пешеходов через транспортные коммуникации. С этой задачей на протяжении длительного времени справляются пешеходные мосты. Однако конструкции и материалы опор и пролетных строений зависят как от характера преодолеваемой преграды, так и от различного рода факторов местности и района расположения конструкции [1].

Сами конструкции пролетных строений пешеходных мостов можно разделить как по материалу, так и по основным системам.

Наименее распространенные, но в свою очередь относительно дешевые и экологические являются деревянные пролетные строения пешеходных мостов. Чаще всего они используются в сочетании с опорами из бетона или железобетона. Использование данных видов мостов целесообразно в районах с естественным ландшафтом и за территорией городов. Также с архитектурной точки зрения деревянные мосты подходят для разбавления железобетонных и металлических.

Деревянные пролетные строения можно подразделить на клееные и клефанерные. При использовании клееной древесины пролетные строения пешеходных мостов могут достигать восьмидесяти метров, что позволяет перекрывать большие расстояния. Стоит заметить, что для сооружения данных мостов необходимо большое количество древесины.

Системы деревянного моста подразделяются на балочную, балочно-подкосную, с применением сквозных конструкций, а также висячие.

Наиболее распространенные и простые в эксплуатации являются балочные системы. Главные балки в такой системе применяются прямоугольные клееные или двутавровые клефанерные. Сверху они покрываются переходным дощатым настилом.

При необходимости перекрытия больших пролетных строений применяется балочно-подкосная система.

Наиболее распространенные и привычные нашему взгляду пешеходные мосты выполнены из железобетона. Применение таких мостов в плотной городской застройке, а также на путепроводах является стандартным решением. Ранее железобетонные пролетные строения применяли в виде плоских плит. В свою очередь сейчас используют пролетные строения в виде ребристых плит или балок. Данный переход произошел из-за увеличения ширины проезжей части, что повлекло за собой увеличение длины пролёта железобетонного пешеходного моста. Одним из преимуществ данного вида мостов является то, что сооружение происходит из готовых и чаще всего типовых железобетонных конструкций фиксированной длины. Данный факт ускоряет процесс проектирования и сооружения мостов.

Имеются следующие виды поперечного сечения железобетонных пешеходных мостов, такие как: плитной конструкции, ребристого сечения, коробчатого сечения [1].

Если длина пролета незначительна, то применяются плитные конструкции. Плиты в таких случаях бывают постоянной или переменной толщины.

Если длина пролета значительно больше ширины прохода, то применяется ребристое сечение. При ширине прохода 2–2,5 метра, целесообразно применять тавровые и двутавровые поперечные сечения с одной главной балкой. Двухребристое поперечное сечение устраивают при ширине прохода, превышающей 2,5 метра.

Если пешеходный мост необходимо сооружать с поворотом (криволинейным), то применяют в основном пролетные строения коробчатого сечения.

Применяются пролетные строения следующих схем: балочно-разрезной, балочно-неразрезной, рамной, арочной.

Металлические пешеходные мосты имеют балочную, арочную, подвесную (висячие и вантовые мосты) и подвижную системы.

Металлические балки или арки сплошного сечения представляют собой главные несущие элементы. Конструкция пролетного строения чаще всего состоит из нескольких главных балок двутаврового сечения. Они располагаются на расстоянии 1,5–2,0 метров друг от друга. Поверх их устанавливается настил пешеходного прохода. Настил пешеходного прохода представляет собой железобетонные плиты с асфальтным покрытием. Также может устраиваться простейший деревянный настил.

В балочной системе пролетные строения применяют со сплошными главными балками, а также с главными фермами.

При перекрытии пролетов с использованием главных балок их длина варьируется от 10 до 150 метров. Пролетные строения бывают консольно-балочными, разрезными и неразрезными. Сечение главных балок может быть двутавровое либо коробчатое. Их высота составляет 1/15–1/30 пролета. Это зависит от многих факторов, одним из которых является нагрузка.

В связи с использованием верхнего строения прохода из железобетона расход металла уменьшается, а жесткость конструкции увеличивается.

Пролетные строения с главными балками в основном применяют решетчатые фермы с движением поверху. Для снижения строительной высоты целесообразно использовать фермы с движением понизу.

Для максимальной архитектурной выразительности используют арочные металлические мосты, которые имеют большое разнообразие конструктивных решений. Сплошностенчатое сечения арки применяют в мостах с малыми и средними пролетами.

В подвесных (висячих и вантовых) пешеходных мостах используется система растянутых элементов. Эти элементы преимущественно состоят из высокопрочных стальных канатов или вантов. Балки жесткости с пешеходной частью подвешивают на канаты. Неразрезные цельнометаллические балки жесткости двутаврового или коробчатого сечения используют в висячих системах.

В настоящее время все чаще в строительстве применяются композитные материалы. В архитектурном строительстве, а также в мостостроении применяются фиброармированные композиты. Они классифицируются по типу армирующего материала, а именно: стеклопластики, углепластики и органопластики. Эти композиты армируются стекловолокном, углеродным волокном, органическим волокном. В современных условиях стеклопластик применяют совместно с другими материалами, например, бетоном или сталью. Пролетные строения пешеходных мостов из стеклопластика отличаются своим разнообразием конструкций как технических, так и архитектурных. Из-за небольшого веса материала и его прочности монтаж пролетных строений становится проще, а главное экономичнее. Высокая сопротивляемость агрессивных сред, долговечность службы более 100 лет и минимальные затраты на содержание являются неотъемлемыми преимуществами данного вида материалов. Помимо этого, стеклопластик эстетично вписывается в городскую среду.

Основными недостатками стеклопластика являются высокая первоначальная стоимость.

#### Список литературы

1 **Доломанюк, Р. Ю.** Прогнозирование депассивации защитного слоя бетона от влияния температуры, влажности, времени эксплуатации в цикле «замораживание – оттаивание» / Р. Ю. Доломанюк, П. А. Кацубо, В. В. Петрусевич // Научная дискуссия современной молодежи: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. IX междунар. науч.-практ. конф., – Пенза : МЦНС «Наука и просвещение», 2019. – С. 18–20.

УДК 656.2.08

## ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ И АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

*К. В. ЕФИМЧИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основными причинами **аварий и катастроф на железнодорожном транспорте** являются неисправности пути, подвижного состава, средств сигнализации, централизации и блокировки, ошибки диспетчеров, невнимательность и халатность машинистов. Чаще всего происходит сход подвижного состава с рельсов, столкновения, наезды на препятствия на переездах, пожары и взрывы непо-

средственно в вагонах. Тем не менее, ехать в поезде примерно в три раза безопаснее, чем лететь на самолете, и в 10 раз безопаснее, чем ехать в автомобиле.

### ***Основные профилактические правила***

С точки зрения безопасности самые лучшие места в поезде – центральные вагоны, купе с аварийным выходом-окном или расположенное ближе к выходу из вагона, нижние полки. Как только вы оказались в вагоне, узнайте, где расположены аварийные выходы и огнетушители. Соблюдайте следующие правила: при движении поезда не открывайте наружные двери, не стойте на подножках и не высовывайтесь из окон; тщательно укладывайте багаж на верхних багажных полках; не срывайте без крайней необходимости стоп-кран; запомните, что даже при пожаре нельзя останавливать поезд на мосту, в тоннеле и в других местах, где осложнится эвакуация; курите только в установленных местах; не возите с собой горючие, химически- и взрывоопасные вещества; не включайте в электросеть вагона бытовые приборы; при запахе горелой резины или появлении дыма немедленно обращайтесь к проводнику.

### ***Как действовать при железнодорожной аварии?***

При крушении или экстренном торможении закрепитесь, чтобы не упасть. Для этого схватитесь за поручни и упритесь в стену или сиденье ногами. Безопаснее всего опуститься на пол вагона. После первого удара не расслабляйтесь и держите все мышцы напряженными до тех пор, пока не станет окончательно ясно, что движения больше не будет.

### ***Как действовать после железнодорожной аварии?***

Сразу после аварии быстро выбирайтесь из вагона через дверь или окна – аварийные выходы (в зависимости от обстановки), так как высока вероятность пожара. При необходимости разбивайте окно купе только тяжелыми подручными предметами. При покидании вагона через аварийный выход выбирайтесь только на полевую сторону железнодорожного пути, взяв с собой документы, деньги, одежду или одеяла. При пожаре в вагоне закройте окна, чтобы ветер не раздувал пламя, и уходите от пожара в передние вагоны. Если не возможно – идите в конец поезда, плотно закрывая за собой все двери. Прежде чем выйти в коридор, подготовьте защиту для дыхания: шапки, шарфы, куски ткани, смоченные водой. Помните о том, что при пожаре материал, которым облицованы стены вагонов – малминит – выделяет токсичный газ, опасный для жизни. Оказавшись снаружи, немедленно включайтесь в спасательные работы: при необходимости помогите пассажирам других купе разбить окна, вытаскивайте пострадавших и т. д. Если при аварии разлилось топливо, отойдите от поезда на безопасное расстояние, т. к. возможен пожар и взрыв.

Если токонесущий провод оборван и касается земли, удаляйтесь от него прыжками или короткими шажками, чтобы обезопасить себя от шагового напряжения. Расстояние, на которое растекается электроток по земле, может быть от двух (сухая земля) до 30 м (влажная).

В настоящее время любой вид транспорта представляет потенциальную угрозу здоровью и жизни человека. Технический прогресс одновременно с комфортом и скоростью передвижения принес и значительную степень угрозы. В зависимости от вида транспортной аварии возможно получение множественных травм и ожогов, в том числе опасных для жизни человека.

Около 75 % всех **аварий на автомобильном транспорте** происходит из-за нарушения водителями правил дорожного движения. Наиболее опасными видами нарушений по-прежнему остаются превышение скорости, игнорирование дорожных знаков, выезд на полосу встречного движения и управление автомобилем в нетрезвом состоянии. Очень часто приводят к авариям плохие дороги (главным образом скользкие), неисправность машин (на первом месте – тормоза, на втором – рулевое управление, на третьем – колеса и шины).

Особенность автомобильных аварий состоит в том, что 80 % раненых погибает в первые три часа из-за обильных кровопотерь.

### ***Как действовать при неизбежности столкновения?***

Сохраняйте самообладание – это позволит управлять машиной до последней возможности. До предела напрягите все мышцы, не расслабляйтесь до полной остановки. Сделайте все, чтобы уйти от встречного удара: кювет, забор, кустарник, даже дерево лучше идущего на вас автомобиля. Помните о том, что при столкновении с неподвижным предметом удар левым или правым крылом хуже, чем всем бампером. При неизбежности удара защитите голову. Если автомашина идет на малой скорости, вдавитесь в сиденье спиной, и, напрягая все мышцы, упритесь руками в рулевое колесо. Если же скорость превышает 60 км/ч и вы не пристегнуты ремнем безопасности, прижмитесь грудью к рулевой колонке.

Если вы едете на переднем месте пассажира, закройте голову руками и завалитесь на бок, распротершись на сидении. Сидя на заднем сидении, постарайтесь упасть на пол. Если рядом с вами ребенок – накройте его собой.

***Как действовать после аварии?***

Определитесь, в каком месте автомобиля, и в каком положении вы находитесь, не горит ли автомобиль и не подтекает ли бензин (особенно при опрокидывании). Если двери заклинены, покиньте салон автомобиля через окна, открыв их или разбив тяжелыми подручными предметами. Выбравшись из машины, отойдите от нее как можно дальше – возможен взрыв.

***Как действовать при падении автомобиля в воду?***

При падении в воду машина может держаться на плаву некоторое время, достаточное для того, чтобы покинуть ее. Выбирайтесь через открытое окно, т. к. при открывании двери машина резко начнет тонуть.

При погружении на дно с закрытыми окнами и дверьми воздух в салоне автомобиля держится несколько минут. Включите фары (чтобы машину было легче искать), активно провентилируйте легкие (глубокие вдохи и выдохи позволяют наполнить кровь кислородом «впрок»), избавьтесь от лишней одежды, захватите документы и деньги. Выбирайтесь из машины через дверь или окно при заполнении машины водой наполовину, иначе вам помешает поток воды, идущей в салон. При необходимости разбейте лобовое стекло тяжелыми подручными предметами. Протиснитесь наружу, взявшись руками за крышу машины, а затем резко плывите вверх.

***Как обеспечить личную безопасность при движении в общественном транспорте?***

Находясь в общественном транспорте, при отсутствии свободных сидячих мест постарайтесь встать в центре салона, держась за поручень для большей устойчивости. Обратите внимание на расположение аварийных и запасных выходов.

Электрическое питание трамваев и троллейбусов создает дополнительную угрозу поражения человека электричеством (особенно в дождливую погоду), поэтому наиболее безопасными являются сидячие места. Если обнаружилось, что салон находится под напряжением – покиньте его. При аварии у выходов возможна паника и давка. В этом случае воспользуйтесь аварийным выходом, выдернув специальный шнур и выдавив стекло.

В случае пожара в салоне сообщите об этом водителю, откройте двери (с помощью аварийного открывания), аварийные выходы или разбейте окно. При наличии в салоне огнетушителя примите меры к ликвидации очага пожара. Защитите органы дыхания от дыма платком, шарфом или другими элементами одежды. Выбирайтесь из салона наружу пригнувшись и не касаясь металлических частей, так как в трамвае и троллейбусе возможно поражение электричеством.

При падении автобуса в воду дождитесь заполнения салона водой наполовину, задержите дыхание и выныривайте через дверь, аварийный выход или разбитое окно.

УДК 625.8

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА  
С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ WI-FI**

*Л. М. ЖУРАВЛЁВА, В. В. ЛЕВШУНОВ, Д. А. РЫЖКОВ  
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Одной из ключевых задач в обеспечении безопасности на железной дороге является оперативное оповещение всех участников движения о чрезвычайной ситуации. Для своевременного информирования машинистов и диспетчеров в центре принятия решения о возникшей угрозе (на переездах, мостах, на участках со сложным рельефом и т. д.) необходимо организовать систему мониторинга для контроля за техническим состоянием инфраструктуры железной дороги (ж. д.), а также видеотрансляции с опасных участков железной дороги. Такой подход к обеспечению безопасности движения на ж. д. соответствует требованиям, прописанным в долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 года; утвержденной правительством Российской Федера-

ции, предусматривающей переход на «цифровую железную дорогу». В настоящее время для реализации системы мониторинга можно использовать существующие сети передачи информации (мобильную связь, спутниковую связь). Учитывая возможные сбои в работе и недостаточное качество сигнала спутниковой связи из-за атмосферных помех, солнечной интерференции, сложного рельефа местности, а также перегруженность телетрафика мобильной связи, в системе мониторинга целесообразно использовать локальные сети Wi-Fi поездов. Для этого нужно исследовать качественные характеристики сети Wi-Fi и соответствие их требованиям безопасности движения на ж. д.

Исследуемая в данной работе задача – анализ приемо-передающих характеристик подвижных базовых станций (БС), а именно, изменения уровня входного сигнала при движении поезда и переключении (хэндовер) с одной БС (головной) на другую (хвостовую) БС (рисунок 1).

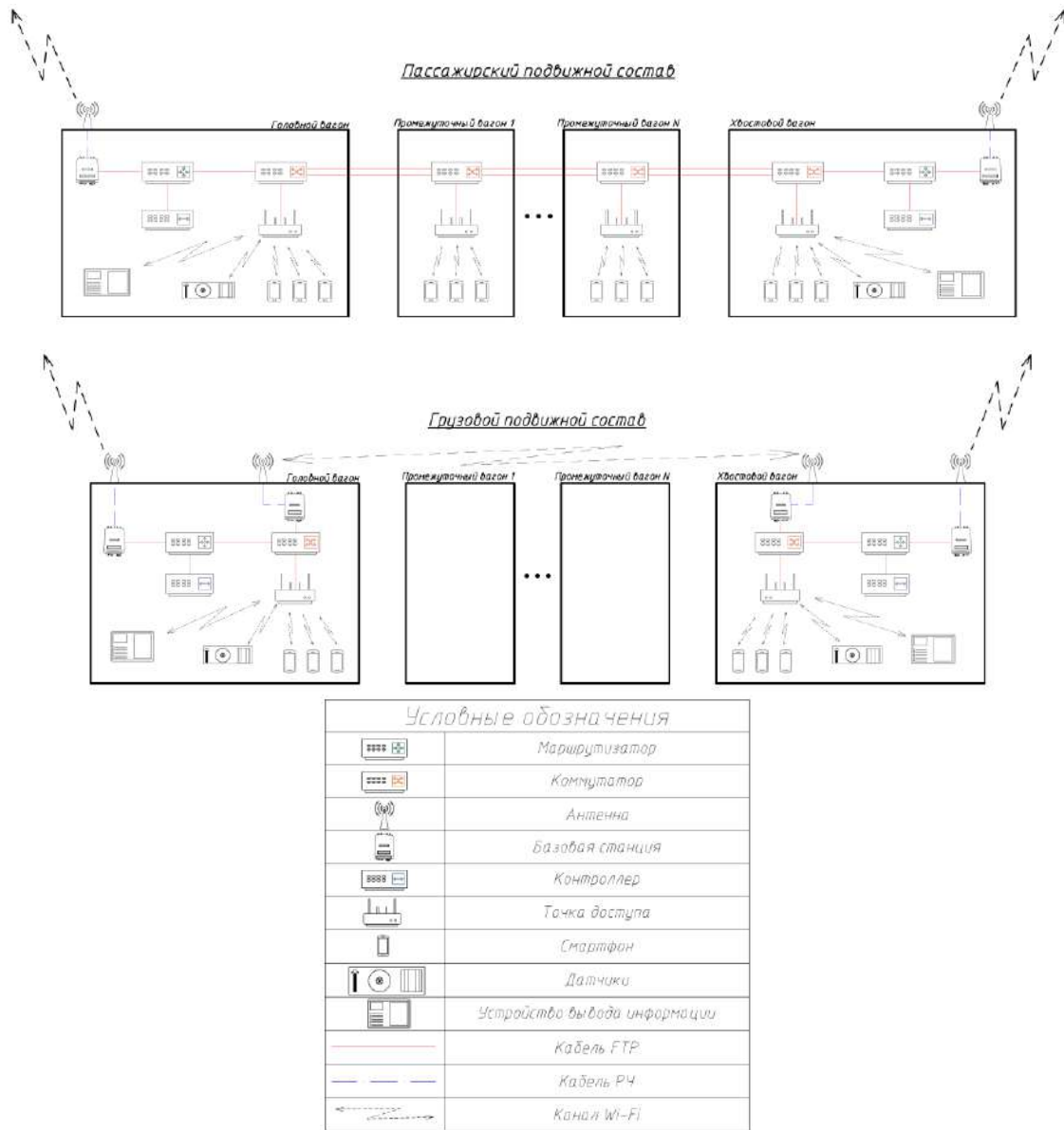


Рисунок 1 – Варианты локальной сети Wi-Fi для пассажирского (верхний) и грузового (нижний) поездов

На рисунке 1 изображены основные блоки локальной сети Wi-Fi, которая состоит из приемо-передатчика (БС), коммутаторов (контроллера и точек доступа), потребителей информации (мобильные телефоны, компьютеры). Для выхода на магистральную сеть связи предусматриваются стационарные БС, которые расставляются по ходу движения поездов.

Эксперимент по измерению и тестированию приемо-передающих характеристик устройств диапазона 5–6 ГГц проведен в лаборатории АО «МаксимаТелеком» с помощью специального устройства «Эмулятор канала CH01 (RadioGigabit)», БС – «Fruidmesh 4800» (рисунок 2). В качестве коммутирующих устройств использованы коммутаторы Cisco SG300, которые между собой соединены по схеме, представленной на рисунке 2.

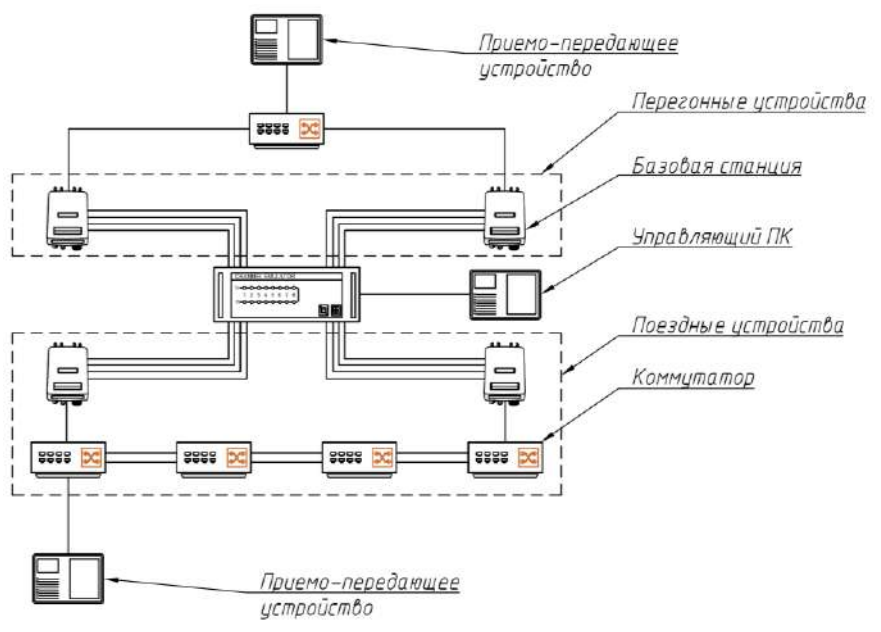


Рисунок 2 – Схема подключения устройств

Две базовые станции FM имитировали работу стационарных (перегонных) БС, две другие FM – соответственно, работу подвижных БС на поезде (на рисунке показаны в виде цепочки коммутаторов).

Эмулятор позволяет управлять коэффициентами ослабления между портами базовых станций и, таким образом, создавать условия, аналогичные распространению радиоволн в реальных условиях.

Эксперимент проводился в динамическом режиме, который позволил имитировать работу системы связи при движении поезда по тоннелю и открытому участку с расположенными в нем двумя стационарными БС.

В реальном времени для каждой подвижной БС поезда составляется список доступных стационарных БС для подключения. Из этого списка одна из БС на поезде, назначенная главной (Мастером), локальной сети Wi-Fi выбирает наилучшую БС в тоннеле на основании сравнения обобщенного параметра, включающего величины коэффициента затухания, уровня сигнала, вероятности ошибки. Как правило, наилучшей является ближайшая к поезду стационарная БС. В зоне действия одной стационарной БС Мастер имеет возможность выбора наилучшей из БС поезда и перенаправить потоки данных в обратном направлении. Таким образом, переход из зоны действия одной стационарной БС в зону другой БС «смягчается» наличием двух подвижных БС в локальной сети Wi-Fi.

Коэффициент затухания в каждом из каналов эмулятора

$$PL = 47 + 10A \log_{10}(d) - G1 - G2,$$

где  $A$  – экспонента затухания;  $d$  – расстояние между антенной состава и базовой станцией;  $G1,2$  – коэффициенты усиления приёмной и передающей антенн, дБ.

Экспонента затухания зависит от типа участка (тоннель или открытый участок) и равна: 2 – в случае открытого участка; 1,8 – в случае прямого тоннеля; 2,4 – в случае тоннеля в повороте [1].

В результате эксперимента получены характеристика изменения огибающей входного сигнала во времени (рисунок 3) и совместная зависимость пропускной способности сети и огибающей входного сигнала (рисунок 4). Чёрной стрелкой отмечен момент хэндовера – переключение с одной стационарной БС на другую.

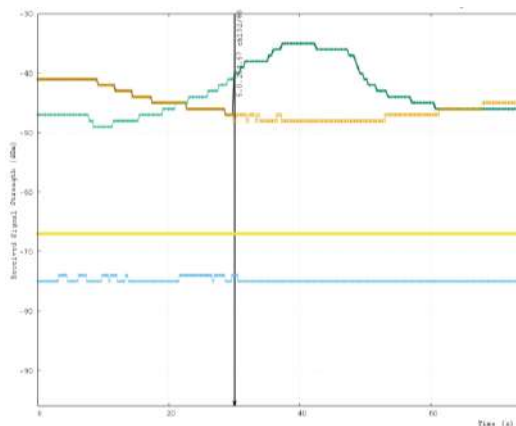
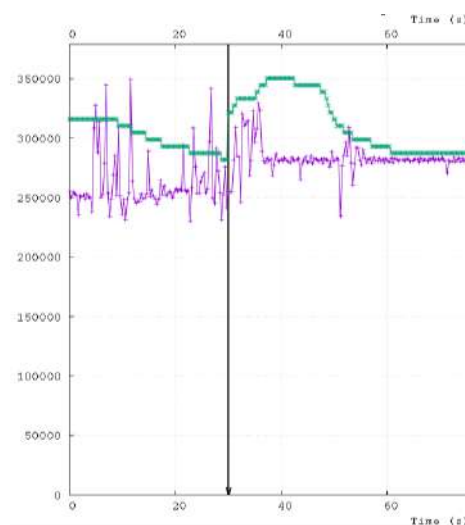


Рисунок 4 – Изменение пропускной способности канала (Throughput) и огибающей входного сигнала (RSSI) от времени

Рисунок 3 – Характеристика распределения огибающей уровня сигнала (RSSI) во времени (зеленый – между хвостом и первой БС, синий – между хвостом и второй БС, оранжевый – между головой и первой БС, жёлтый – между головой и второй БС)



Из полученных графиков можно сделать выводы о том, что в моменты хэндовера происходит ухудшение качества связи (снижение уровня входного сигнала), а также общее снижение и резкие колебания пропускной способности сети поезда. Время переключения с одной БС на другую влияет на эффективность мониторинга на основе технологии Wi-Fi. Время затрачивается на следующие операции: 1) сравнение результатов величины затухания сигналов; 2) передача управляющих команд коммутаторам и подвижной БС; 3) переключение БС и коммутаторов точек доступа для перенаправления телетрафика. Продолжительность периода хэндовера зависит от быстродействия элементной базы электроники и алгоритмов управления локальной сетью Wi-Fi.

Известно, что снижение отношения мощностей сигнала к шуму на входе приемника БС непосредственно влияет на вероятность ошибки (BER), ухудшая условия передачи информации. Уменьшение динамического диапазона канала также напрямую влияет на пропускную способность (формула Шеннона), снижая оперативность доставки данных мониторинга технического состояния в кабину машиниста и диспетчеру за счет увеличения телекоммуникационного джиттера.

Таким образом, радикальным решением снижения влияния хэндовера на качество работы локальных сетей Wi-Fi является совершенствование алгоритмов управления сетью и переход на элементную базу нанoeлектроники.

#### Список литературы

1 **Алешин, К. Н.** Описание Эмулятора канала CN01 / К. Н. Алешин, Д. А. Ладейнов, А. Ю. Трушанин // RadioGigabit. – 2020. – Вер. № 1.

# НАДЕЖНОСТЬ ЦИСТЕРН ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА ШАССИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ К МЕСТУ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*С. Г. КОРОТКЕВИЧ, В. А. КОВТУН*

*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск*

*Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ*

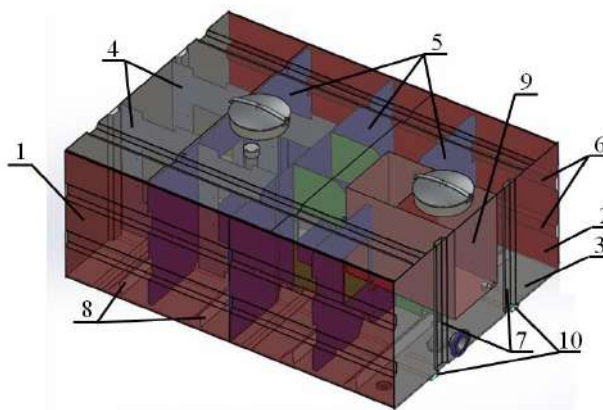
*Национальная академия наук Беларуси, г. Минск*

Ежедневно пожарные аварийно-спасательные подразделения сталкиваются в своей работе с различными чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Для оперативного прибытия спасателей необходимо наличие современной техники, обладающей высокими эксплуатационными характеристиками. Поэтому проведение и реализация мероприятий по ее обновлению и модернизации является одной из приоритетных задач Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Сравнительный анализ в Республике Беларусь количества выездов пожарной аварийно-спасательной техники на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций показал, что основной привлекаемой единицей является пожарная автоцистерна, в которой основным элементом является цистерна для перевозки огнетушащей жидкости [1]. Эффективность использования пожарных автомобилей с цистерной большого объема обусловлена повышением тактических возможностей при тушении пожаров в безводных районах и населенных пунктах, слабо оснащенных водными коммуникациями, а также при тушении лесных и торфяных пожаров. Современные образцы техники на шасси МАЗ-6317 способны перевозить 8–12 тонн воды (рисунок 1).

При производстве пожарных автоцистерн особенно важно соблюдение повышенных требований к прочности конструкции самой цистерны, которая при движении испытывает значительные повторно-переменные нагрузки [1]. Анализ данных о ремонтах пожарных автомобилей позволил установить, что одной из основных причин является появление течи в областях сварных соединений цистерны. Устранение данной неисправности требует большого объема подготовительных и ремонтных работ, что снижает боевую готовность подразделений МЧС. Одним из путей решения данной проблемы является научно обоснованное проектирование конструкции, оптимизация устанавливаемых элементов и ребер жесткости, что является сложной, но весьма актуальной технической задачей.

Рисунок 1 – Конструкция цистерны пожарного автомобиля десятитонного водоизмещения на шасси МАЗ-6317:  
1 – задняя стенка; 2 – боковая стенка; 3 – дно; 4, 5 – продольные и поперечные волноломы, 6 – ребра жесткости на боковых стенках, 7 – ребра жесткости на передней и задней стенках;  
8 – поперечные усиления в виде уголков; 9 – пенобак;  
10 – нижние лонжероны



Для оценки напряженно-деформированного состояния цистерн пожарных автомобилей предложена новая расчетная методика, основанная на двухэтапном подходе, включающем оценку возникающих под действием инерционных нагрузок экспериментально установленных максимальных значений ускорений на поверхности их стенок и разработку адаптивных к режимам движения пожарных автомобилей конечно-элементных моделей (рисунок 2) [1, 2].



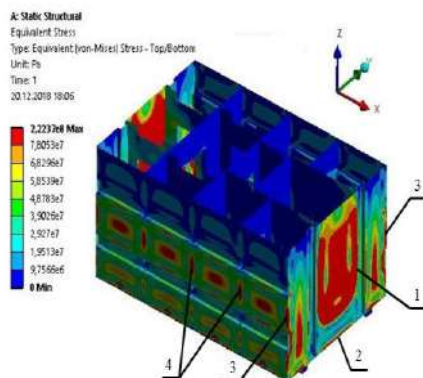


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в конструкции цистерны пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317: 1 – угловое сварное соединение пенобака к передней стенке; 2 – угловое сварное соединение нижней и передней стенки; 3 – угловое сварное соединение передней и боковых стенок; 4 – угловое сварное соединение поперечных волноломов к боковым стенкам

Моделирование проводилось в программном комплексе ANSYS. Программные настройки учитывают физико-механические характеристики материалов, применяемых в конструкции цистерны. Граничными условиями для статического прочностного анализа принято закрепление цистерны по нижней части лонжеронов с учетом демпфирующих элементов. Для каждого режима движения принято гидростатическое давление на стенки цистерны с учетом вектора действующей силы (по осям XYZ) и плотности жидкости, а также заданы максимальные значения ускорений, возникающих на поверхности стенок цистерны под действием инерционных нагрузок, которые получены экспериментально с использованием измерительного оборудования.

Разработанные новые конечно-элементные модели цистерн позволили исследовать характер формирования напряженно-деформированного состояния и уровень механических напряжений в конструкции, что обеспечило в комплексе с проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями разработку защищенных патентами модернизированных конструкций цистерн пожарных автомобилей с высокой эксплуатационной надежностью [3–5].

#### Список литературы

- 1 Ковтун, В. А. Особенности формирования напряженно-деформированного состояния угловых сварных соединений цистерн при движении пожарного автомобиля / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич, В. А. Лодня // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2020. – № 2. – С. 59–67.
- 2 Ковтун, В. А. Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич, В. А. Жаранов // Вестник ун-та граждан. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90.
- 3 Kovtun, V. Damage features of tanks of fire trucks and strength assessment of their welded joints / V. Kovtun, S. Korotkevich, Y. Pleskachevsky // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. – 2021. – № 1 (54). – С. 15–20.
- 4 Пожарная цистерна : полез. модель ВУ 11787 / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич, В. Н. Пасовец. – Оpubл. 30.10.2018.
- 5 Цистерна пожарного автомобиля: полез. модель ВУ 12486 / В. А. Ковтун, С. Г. Короткевич. – Оpubл. 28.02.2021.

УДК 624.21/8

## НОВЫЕ СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ МОСТОВ

А. А. КРУПСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Для укрепления конусов мостов и откосов земляного полотна используются железобетонные плиты, которые хорошо работают на сжатие, но становятся хрупкими и непрочными при растяжении. Растягивающие напряжения так же, как и пластическая усадка во время отверждения, приводят к трещинам, которые поглощают воду, что в конечном счете приводит к коррозии металлической арматуры и существенной потере монолитности бетона при разрушении металла.

Решить проблему, связанную с хрупкостью бетона при растяжении и коррозией металлической арматуры, возможно с использованием композитных материалов. Геосинтетические материалы уже давно зарекомендовали себя в области решения сложных инженерных задач. Геосинтетики включают в себя широкий спектр материалов, в группу которых входят:

- геосетки;
- георешетки;

- нетканые материалы – фильтры;
- геотекстиль-дорнит;
- геоячейки;
- композитные материалы из полиэтилена, полипропилена, арамида или полиэфира.

При помощи этих материалов решаются очень важные задачи:

- повышение устойчивости откосов;
- противоэрозионная защита;
- предотвращение образования трещин в дорожном полотне;
- укрепление слабых оснований;
- строительство насыпей с откосами, при этом откосы могут быть как пологими, так и повышенной крутизны.

**Геосетка** – геосинтетический плоский полимерный рулонный материал с сетчатой структурой, образованный эластичными ребрами из высокопрочных пучков нитей, скрепленными в узлах прошивочной нитью, переплетением, склеиванием, сплавлением или иным способом, с образованием ячеек, размеры которых больше образующих сетку ребер, обработанных специальными составами для улучшения свойств и повышения их стабильности.

**Георешетки** – один из видов геосинтетиков, который представляет собой двух- или трехмерную сотовую структуру, изготовленную из полос полиэфирного иглопробивного полотна или полиэтиленовых и полипропиленовых лент, скрепленных между собой сварными швами высокой прочности. При растяжении в рабочей плоскости образуется устойчивый горизонтально и вертикально каркас, предназначенный для армирования заполняющих ячейки георешетки грунтов, грунтощебня, щебня, песка и других строительных материалов.

**Геотекстиль** (англ. *geotextile*) – один из видов геосинтетиков; геоткань (тканое полотно), а также нетканое полотно, изготавливаемые иглопробивным, термоскрепленным (каландрирование) или гидроскрепленным способами из полипропиленовых и/или полиэфирных нитей – из одной бесконечной нити (мононить), либо из обрезков 5–10 см (штапель). Смесовые волокна подразумевают включение полушерстяных или хлопчатобумажных нитей.

Тканой разновидностью геотекстиля является геоткань, изготавливаемая из стеклянных или полиэфирных волокон. Геоткань характеризуется разрывной нагрузкой до 1000 кН/м<sup>2</sup>. При ее изготовлении из волокон вначале формируются нити толщиной 1–3 мм, из которых затем изготавливается ткань.

**Композитный материал (КМ), композит** – многокомпонентный материал, состоящий, как правило, из пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями, обладающими высокой прочностью, жесткостью и т. д. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам и в то же время они легче. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении её механических характеристик.

*Вывод: геоматериалы начинают вытеснять железобетонные плиты, так как они имеют большие преимущества:*

- долговечность использования, ведь современные материалы данного типа могут использоваться более 120 лет без единых нареканий. Главное для этого – правильно провести монтажные работы;
- использование при их создании только натуральных компонентов, которые полностью безвредны для людей, животных и природы;
- устойчивость к воздействию окружающей среды, прочность, они не вступают во взаимодействие с химическими веществами, а также с легкостью принимают необходимую структуру;
- экономичность, ведь обладая уникальными свойствами, они имеют относительно небольшую стоимость. Геоматериалы достаточно доступны в цене, поэтому и получили широкое распространение по всему миру.

#### Список литературы

- 1 **Кацубо, П. А.** Перспективы развития технологий покрытий автомобильных дорог / П. А. Кацубо, Р. Ю. Долманюк, В. В. Петрусевич // Научная дискуссия современной молодежи: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. IX междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и просвещение», 2019. – С. 15–17.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Д. В. МАЛАШКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Наряду с бесспорными достоинствами автомобилизации появляется тенденция к увеличению человеческих и материальных потерь вследствие аварий, связанных с транспортными средствами. Автомобиль представляет собой потенциальный источник повышенной опасности для людей, которая резко возросла в последние годы в результате роста мощности двигателей и скорости движения. В связи с этим требования к конструктивной безопасности транспортных средств возрастают.

Безопасность транспортного средства подразумевает такие эксплуатационные и динамические качества, которые уменьшают вероятность дорожно-транспортного происшествия (ДТП), а в случае его возникновения – исключение травм водителя, пассажиров и снижение их последствий.

Конструктивная безопасность транспортного средства включает в себя активную, пассивную, послеаварийную и экологическую безопасность транспортного средства.

Активная безопасность – это свойство транспортного средства предотвращать дорожно-транспортное происшествие (снижать вероятность его возникновения). Активная безопасность проявляется в период, соответствующий начальной фазе дорожно-транспортного происшествия, когда водитель еще в состоянии изменить характер движения транспортного средства (ТС).

Активная безопасность транспортного средства зависит от его конструкции: габаритных и весовых параметров, тяговой и тормозной динамичности, устойчивости и управляемости.

Конструктивная безопасность является одним из обобщенных свойств ТС. Для количественной характеристики применяют показатели эксплуатационных (минимальный тормозной путь, максимальное замедление, критические скорости по условиям заноса и опрокидывания и т. п.) и других свойств.

Под пассивной безопасностью подразумевается комплекс эксплуатационных свойств транспортного средства, обеспечивающих снижение тяжести последствий ДТП. Пассивная безопасность вступает в действие, если водителю не удалось избежать аварии, и обеспечивает уменьшение инерционных нагрузок на водителя и пассажиров, ограничение перемещения их в кабине, защиту от травм, увечий при ударе, устранение возможности выбрасывания из кабины в момент столкновения.

Различают внутреннюю и внешнюю пассивную безопасность. Под внутренней пассивной безопасностью понимают свойства транспортного средства, снижающие тяжесть последствий ДТП для водителя и пассажиров, находящихся в транспортном средстве. Внешняя пассивная безопасность – свойства транспортного средства, позволяющие снизить тяжесть последствий для других участников ДТП (пешеходов, водителей и пассажиров других транспортных средств).

Послеаварийная безопасность – это свойства транспортного средства снижать тяжесть последствий ДТП.

К элементам послеаварийной безопасности относятся конструктивные свойства автомобиля, предотвращающие возникновение опасных явлений (пожар, заклинивание дверей), возникающих в результате ДТП. К элементам послеаварийной безопасности можно также отнести средства аварийной сигнализации и связи, средства оказания медицинской помощи пострадавшим в результате ДТП.

Наибольшую опасность для водителя и пассажиров представляет возгорание транспортного средства. Хотя, по данным статистики, вероятность возгорания при ДТП составляет 0,3–1,2 %, оно приводит к тяжелейшим последствиям.

Взаимосвязь различных видов безопасности и противоречивость требований, предъявляемых к конструкции транспортных средств, вынуждают конструкторов и технологов принимать компромиссные решения.

Экологическая безопасность – это свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый участникам движения и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Мероприятиями по уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать снижение токсичности отработавших газов и уровня шума.

Основные загрязняющие вещества при эксплуатации автотранспорта:

- выхлопные газы;
- нефтепродукты при их испарении;
- пыль;
- продукты истирания шин, тормозных колодок и дисков сцепления, асфальтовых и бетонных покрытий.

Ярким примером неблагоприятного влияния развития производства на окружающую среду может служить автомобилизация. Автомобили оказывают вредное воздействие на природу и человека, так как в отработанных продуктах содержатся опасные для здоровья и окружающей среды компоненты, при движении автомобилей возникает шум.

При дорожно-транспортных происшествиях наносится материальный ущерб (уничтожение и повреждение грузов, транспортных средств и сооружений) и возможны гибель и ранение людей. По данным Всемирной организации здравоохранения на автомобильных дорогах мира ежегодно гибнет (в том числе и от послеаварийных травм) свыше 900 тыс. человек, несколько миллионов становятся калеками, а свыше 10 млн человек – получают травмы.

Источником загрязнения и истощения окружающей среды стала как сама трасса, так и её инженерные сооружения, объекты обслуживания, особенно места хранения нефтепродуктов, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, мойки и т. п.

В отдельных городах и их агломерациях под воздействием автомобильного транспорта и других источников загрязнения образовались предельные экологические состояния, что препятствует устойчивому их развитию и требует кардинальных решений по улучшению их коммуникационной инфраструктуры.

Основными мероприятиями по предотвращению и уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать:

- 1) разработку таких конструкций автомобилей, которые меньше загрязняли бы атмосферный воздух токсичными компонентами отработавших газов и создавали бы шум более низкого уровня;
- 2) совершенствование методов ремонта, обслуживания и эксплуатации автомобилей с целью снижения концентрации токсичных компонентов в отработавших газах, уровня шума, производимого автомобилями, и загрязнения окружающей среды эксплуатационными материалами;
- 3) соблюдение при проектировании и строительстве автомобильных дорог, инженерных сооружений, объектов обслуживания таких требований, как вписывание объекта в ландшафт; рациональное сочетание элементов плана и продольного профиля, обеспечивающее постоянство скорости движения автомобиля; защита поверхностных и грунтовых вод от загрязнения; борьба с водной и ветровой эрозией; предотвращение оползней и обвалов; сохранение животного и растительного мира; сокращение площадей;
- 4) использование средств и методов организации и регулирования движения, обеспечивающих оптимальные режимы движения и характеристики транспортных потоков, сокращение остановок у светофоров, числа переключения передач и времени работы двигателей на неустановившихся режимах.

#### Список литературы

- 1 Безопасность транспортных средств / В. А. Гудков [и др.]. – М. : Наука, 2010. – 431 с.
- 2 Яхьяев, Н. Я. Безопасность транспортных средств / Н. Я. Яхьяев. – М. : Academia, 2011. – 452 с.

УДК 656.2.08

## ТРАНСПОРТ И ЕГО ОПАСНОСТИ. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

*А. В. МАРДАНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспорт является неотъемлемой составляющей нашей жизни, среды нашего обитания. Невозможно представить себе существование современного общества без транспортных средств.

Транспорт – это отрасль материального производства, осуществляющая перевозки людей и грузов. Различают наземный, водный и воздушный транспорт. К наземным видам относятся железно-

дорожный, автомобильный и трубопроводный транспорт. Водный транспорт – морской, речной и озерный. Воздушный – авиационный транспорт. Транспорт подразделяется на транспорт общего пользования, обслуживающий сферу обращения товаров и население, транспорт необщего пользования (внутрипроизводственное перемещение сырья, полуфабрикатов, готовых изделий и т. п.), а также транспорт личного пользования. По характеру выполняемых работ транспорт подразделяется на грузовой, грузопассажирский и пассажирский.

Каждый вид транспорта имеет свои особенности, свои зоны повышенной опасности и свои правила безопасного пользования им.

Рассмотрим основные виды транспорта и их особенности.

### **Городской транспорт**

К нему относятся автобус, троллейбус, трамвай, метро.

Автобус – самый распространенный вид транспорта в городах и населенных пунктах. Он легко маневрирует в транспортном потоке, может резко менять направления и скорость движения. Сами автобусы оборудованы не только необходимыми для удобства пассажиров во время движения элементами, но и необходимыми приспособлениями для обеспечения безопасности на случай аварии и других непредвиденных дорожных ситуаций.

Опасность можно разделить условно на следующие элементы:

- посадка и высадка;
- обычная поездка;
- аварийная ситуация.

Какие правила могут быть полезными в таких ситуациях?

- посадка и высадка производятся только после полной остановки;
- не стремитесь быть в первых рядах, особенно при ожидании на остановках;
- занимайте места подальше от прохода;
- обеспечивайте устойчивое положение в салоне, если нет возможности сесть, держитесь за поручни, лучше над головой. Низкий поручень при резком торможении не удержит от падения;
- находитесь всегда лицом в сторону движения, так у вас будет возможность иметь информацию об экстремальной ситуации;
- не передвигайтесь по салону во время движения. Если вы вынуждены это сделать, находите промежуточные точки опоры;
- обходить автобус необходимо сзади;
- при возникновении какой-либо опасной ситуации, в первую очередь, действовать по указанию водителя.

Метро – транспортное средство повышенной опасности.

Особенности поведения в метро.

Метро – это огромная искусственная система, слаженно работающий механизм. Каждому, кто входит с ним в контакт, всегда следует помнить, что метро – зона повышенной опасности. Следует соблюдать правила пользования, которые можно прочитать в каждом вагоне.

Экстремальные ситуации в метро могут возникнуть:

- на эскалаторе;
- на платформе;
- в вагоне метро.

Опаснее всего нарушать правила безопасности на эскалаторе. Если вы не держитесь за поручень, то при экстренной остановке машины будет резкий толчок и вас по инерции бросит вперед. Чемодан, который вы не держали или поставили на поручень, понесется вниз, сбивая других пассажиров и светильники. Вдвое-втрое большая скорость спуска будет у того, кто бежал по эскалатору. Человек, который сидит на ступенях эскалатора, имеет все шансы не только упасть головой вниз, но и застрять полами одежды в ступеньках или гребенке.

Что же делать, если вы оказались на рельсах? Прежде всего, не пытаться подтянуться за край платформы, поскольку под ней лежит 800-вольтный контактный рельс, и, хотя он укрыт кожухом, испытывать его изоляцию не стоит. Если поезд еще не выехал на станцию, то следует бежать «к голове» платформы (там, где зеленый свет и часы) – вы успеете, т. к. машинист обязательно начнет тормозить. Если поезд уже близко, необходимо лечь между рельсами – глубина лотка рассчитана на то, чтобы ходовая часть вагонов не коснулась лежащего человека.

Основные правила безопасности граждан при пользовании метрополитеном:

- при нахождении на эскалаторе следует стоять справа, лицом по направлению движения, держаться за поручень, проходить с левой стороны и не задерживаться при спуске с него;
- малолетних детей необходимо держать за руку или на руках, не разрешать им прислоняться к неподвижным элементам эскалатора;
- на платформе в ожидании поезда пассажирам следует размещаться равномерно по длине поезда.

### **Железнодорожный транспорт**

Особенностью железнодорожного транспорта являются использование рельсового пути, перегрузность железнодорожного состава, большие размеры тормозного пути при экстренном торможении и небезопасность такого торможения для состояния самого состава и для находящихся в них грузов и пассажиров.

Эти и другие особенности и факторы оказывают существенное влияние на безопасность железнодорожного транспорта, а следовательно, на экстремальность обстановки, которая может сложиться на железной дороге.

Основные причины катастроф на железной дороге:

- неудовлетворительное состояние пути или поезда;
- ошибки машинистов;
- ошибки диспетчерских служб (включая стрелочников);
- неисправность сети электропитания железнодорожного состава.

Последняя причина особенно опасна. В случае пожара в поезде шансы пассажиров на спасение уменьшаются, и, соответственно, резко возрастает число жертв.

Аварии и катастрофы на железной дороге, к сожалению, уже стали ее печальной особенностью.

Памятка пассажиру поезда:

- не кладите тяжелые вещи на верхнюю заднюю (по отношению к локомотиву) багажную полку. Если же положить больше некуда, попробуйте закрепить вещи;
- если есть выбор, куда лечь, ложитесь на переднюю по отношению к локомотиву полку. Это избавит вас от травм в случае экстренного торможения поезда;
- не оставляйте на столике после еды режущие, колющие и бьющиеся предметы – ножи, вилки, стаканы и т. д.;
- передвигаясь по вагону во время движения поезда, придерживайтесь за поручни, поскольку всегда возможно экстренное торможение;
- курите только в специально отведенных местах. Следите за тем, чтобы по окончании курения сигарета обязательно была погашена.

### **Список литературы**

- 1 Безопасность транспортных средств / В. А. Гудков [и др.]. – М. : Наука, 2010. – 431 с.
- 2 Яхьяев, Н. Я. Безопасность транспортных средств / Н. Я. Яхьяев. – М. : Academia, 2011. – 432 с.

УДК 625.8

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ ПОСТРАДАВШИХ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

*А. Н. НАПРЕЕНКО, Н. А. ХРИСОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Мысль об использовании железных дорог для эвакуации раненых и больных возникла в 1850–1860 гг. вместе с развитием железнодорожной сети. При первых попытках транспортировки раненых по железным дорогам эвакуация совершалась не в санитарных поездах, а в санитарных вагонах.

Санитарные поезда впервые были применены англичанами в 1856 году в ходе Крымской войны. В дальнейшем железнодорожные поезда для перевозки раненых широко использовались в ходе Гражданской войны в Америке (1861–1865 гг.) и Франко-прусской войны (1870–1871 гг.). В немецкой армии за время этой войны 36 санитарных поездов перевезли до 40 тысяч больных и раненых.

Первый военно-санитарный поезд (ВСП) был создан в Германии (г. Вюртенберг) в 1862 г. [1, с. 136].

Россия не отставала от «прогрессивного человечества» и 4 декабря 1876 года вышел указ императора Александра II о формировании 14 санитарных поездов «на случай войны». В соответствии с указом такой поезд состоял: из 17 шестиколесных или 12 восьмиколесных санитарных вагонов, 2 пассажирских – для медицинского персонала и прислуги и 3 товарных: кухонного, вагона-кладовой и вагона для грязного белья и умерших в пути.

В России железнодорожный санитарный транспорт впервые был использован для эвакуации раненых в период Русско-турецкой войны 1877–1878 гг. Согласно Положению о военно-санитарных поездах в 1876 г. формировались постоянные и временные ВСП. Постоянные ВСП состояли из приспособленных пассажирских вагонов, в которых можно было разместить от 200 до 300 раненых и больных, вагона-кухни, вагона-прачечной и др.; временные ВСП – из приспособленных для перевозки раненых грузовых и пассажирских вагонов, в которых в зависимости от числа вагонов можно было разместить от 200 до 400 раненых и больных [1, с. 137].

По составу и месту обращения постоянные ВСП подразделялись на полевые и тыловые.

Полевые ВСП предназначались для перевозки раненых и больных на передовых участках ТВД, а тыловые, главным образом, для эвакуации в глубокий тыл. В штате полевого военно-санитарного поезда полагалось иметь: старшего врача (он же начальник поезда), 2 младших врачей, 8 фельдшеров, заведующего хозяйственной частью (офицер), 2 сестер милосердия, 3 надзирателей, 37 чел. санитарной прислуги, повара, писаря и слесаря. Поезд имел по 9 кадровых, специально оборудованных двух- и трехосных вагонов. Его переменная часть состояла из 30 теплушек, оборудованных станками Левчака и пружинами Кружилина. Штат тылового военно-санитарного поезда (более усовершенствованного устройства, чем полевой) отличался большим числом сестер милосердия (5 чел.) и меньшим количеством санитарной прислуги (25 чел.). Он имел 8 четырехосных вагонов кадра. Его переменная часть состояла из 8 четырехосных и 12 трехосных вагонов третьего класса.

Значительную роль играл железнодорожный транспорт и в годы Великой Отечественной войны. К началу войны в Красной Армии для эвакуации раненых по железной дороге предусматривалось иметь постоянные и временные ВСП. Оборудование, порядок формирования и организация работы в них регламентировались согласованными между Народным Комиссариатом обороны СССР и Народным Комиссариатом путей сообщения СССР и введенными в действие в 1941 г. документами: Положением о военно-санитарных поездах, Правилами составления постоянных и временных военно-санитарных поездов и оборудования для них подвижного состава, Инструкцией по погрузке и разгрузке военно-санитарных поездов. В дополнение к этим документам Главным военно-санитарным управлением Красной Армии в 1942 г. было введено в действие Руководство по организации и работе военно-санитарных поездов, в котором определялись функциональные обязанности должностных лиц и организация лечебной работы в ВСП [1, с. 137].

В годы войны сотни ВСП и военно-санитарных летучек (ВСЛ) курсировали по стране, выполняя задачи по эвакуации раненых и больных. На их счету тысячи рейсов и огромный объем перевозок – 83,5 % всех раненых и больных. Только за один месяц 1942 г. соотношение количества раненых, эвакуированных различными видами транспорта, было следующим: в армейских районах автомобильным транспортом эвакуировано 44 % человек, железнодорожным – 55,6 %, авиационным – 0,4 %, во фронтовом соответственно 5,2, 94,4 и 0,4 %. Из фронтовых госпитальных баз в тыл страны постоянными ВСП (ПВСП) было эвакуировано 55,3 % от общего числа пострадавших, перевезенных железнодорожным транспортом, временными ВСП (ВВСП) – 29,6 % и ВСЛ – 15,1 %.

Богатый исторический опыт использования железнодорожного транспорта для эвакуации раненых и больных, безусловно, показал его высокую эффективность.

В современных условиях железнодорожный транспорт можно использовать как в военных конфликтах, так и в чрезвычайных ситуациях.

Тактика использования ВСП может быть следующей. Поезда располагаются по регионам, в которых созданы медицинские отряды специального назначения. Ответственность за охрану и обслуживание ВСП возлагается на медицинскую службу округа данного региона. В случае возникновения ЧС призывается приписной состав данного поезда, он следует в соответствующий район для оказания медицинской помощи пострадавшим и работает до тех пор, пока не развернутся достаточные силы и средства медицинской службы. После этого на нем можно быстро эвакуировать пострадавших из очага.

Кроме того, поезда можно использовать для диспансеризации населения, оказания консультативно-диагностической помощи, проведения лечебно-профилактических мероприятий.

В настоящее время в России существует 5 таких поездов: Доктор Войно-Ясенецкий, Терапевт Матвей Мудров, Терапевт Николай Пирогов, поезд «Здоровье», Академик Федор Углов.

С 1993 г. по 2011 г. число обслуживаемых в год станций возросло с 4 до 102. За 440 выездов бригады медицинских работников провели углубленные профилактические осмотры более 195 тысяч человек, 141 тысячу флюорографических, 850 тысяч функциональных и клиничко-диагностических исследований, 623 тысячи консультативных приемов врачей-специалистов. У 67 процентов обследованных выявлена та или иная патология внутренних органов (у четверти из них - впервые в жизни). Свыше 35 тысяч человек были взяты на диспансерный учет, 10,5 тысячи госпитализированы в лечебные учреждения Западно-Сибирской дороги. Среди получивших медицинскую помощь в поезде «Здоровье» 68 % составили сегодняшние и вчерашние труженики магистрали и их родственники.

#### Список литературы

1 Железнодорожный санитарный транспорт. Большая медицинская энциклопедия. – Т.8. – М., 1978. – С. 136–138.

УДК 625.8

## СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*А. Н. НАПРЕЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Ровные высококачественные современные асфальто-бетонные дорожные покрытия, которые обеспечивают полноценное сцепление колес транспорта с дорожным полотном, являются залогом безопасного и комфортного дорожного движения. Но под механическим воздействием на дорожную одежду большегрузов и из-за старения дорожной одежды образуются трещины, ямы, деформация дорожной одежды. Зачастую все эти деформации провоцирует зимний период. Вода, проникающая в поверхностные трещины, превратившись в лёд, расширяется и выдавливает окружающий асфальт. После оттаивания пораженный участок остается непригодным для повторной инфильтрации воды, что в конечном итоге приводит к большим трещинам и выбоинам.

Одним из самых распространенных видов ремонта дорог является ямочный ремонт, так как нет необходимости перекрывать движение и это не так затратно, если бы производился ремонт всего участка дороги. Но качество ямочного ремонта зависит в первую очередь от соблюдения последовательности технологических операций при выполнении работ. Довольно часто нерадивые рабочие даже не обращают внимания на условия и требования, которые необходимо соблюдать в процессе выполнения ремонта дорог, поэтому недобросовестное и небрежное отношение к работе чаще становится причиной разрушения покрытий дорог.

Ямочный ремонт дороги не подразумевает выполнения каких-либо работ по восстановлению коммуникаций, благоустройству территорий: асфальт укладывается только на участках, которые нуждаются в срочном ремонте. Помимо этого, следует отметить, что подобные работы должны осуществляться в строгом соблюдении всех пунктов технологического процесса.

Ямочный ремонт актуален на протяжении десятилетий. Есть десятки технологий проведения такого ремонта дорожных покрытий, при этом оптимальный способ подбирается исходя из погодных условий, состояния полотна, возможностей полноценного использования специальной техники и от специфики применяемых материалов.

Ямочный ремонт дорожного покрытия обладает несколькими неоспоримыми достоинствами:

- нет необходимости в полном перекрытии движения по автострате/трассе;
- оперативное проведение всех нужных работ (маленькие участки восстанавливаются в течение суток);
- отсутствие необходимости привлечения тяжелой специальной техники;
- ямочный ремонт асфальтового покрытия не требует огромных финансовых затрат (в сравнении с выполнением капитального ремонта).



При выполнении ямочного ремонта не обязательно использовать тяжелые катки, в некоторых случаях достаточно ручных вибрационных плит. Также ямочный ремонт асфальта выполняют с использованием небольших тротуарных или вибрационных катков.

Традиционный метод ремонта. При таком способе ремонта сначала отделяется поврежденный участок от покрытия, делается это при помощи дорожной фрезы. Затем обрубается кромка выбоины с приданием им прямоугольных очертаний. Затем производится очищение дефектного сектора от пыли и крошек его кромки и дно обрабатывают жидкой битумной эмульсией или разогретым битумом, после чего заливают асфальтобетонную смесь. Ямочный ремонт дорожного покрытия, технология которого традиционная, позволяет получать высококачественный результат работы, однако при этом требуется проводить существенное количество операций. Его используют в процессе ремонта различных видов покрытий из битумоминеральных и асфальтобетонных материалов.

Но специалисты создали «самоисцеляющийся» материал, путём насыщения асфальта электропроводящими волокнами-наполнителями в конфигурации замкнутых контуров.

Инновационная система действует следующим образом: электрический ток пропускается через волокна-наполнители в непосредственной близости с дорожной трещиной.

Электрическая цепь генерирует внутреннее тепло необходимой температуры. Под действием нагрева битум расплавляется и уплотняется.

Также учёные решили подмешивать в битум богатую магнетитом железную руду, обнаруженную в породе горного хребта Месаби.

Таким способом им удалось создать модифицированный материал, которым можно эффективно ремонтировать дорожные полотна, используя специальное транспортное средство.

Инновационный строительный материал содержит следующие компоненты: магнетит (1–2 %), измельченный асфальт, крошка переработанных тротуарных покрытий, крошка переработанной черепицы.

Обнаруженные выбоины дорожного полотна заливаются такой смесью, после чего смесь нагревают микроволновым блоком. Излучающий микроволны сервисный блок прикрепляется к специальному ремонтному грузовику.

Дополнительным преимуществом этой технологии видится использование переработанных строительных материалов вместо первичных связующих материалов.

Тем самым данная технология существенно удешевляет содержание давно построенных дорог. Хотя они и надёжны, но материал стареет и нуждается в усовершенствовании и восстановлении, чем является данная технология.

#### Список литературы

1 Поддубный, А. А. Оценка изменения гидрофобности поверхности дорожно-строительных материалов посредством определения краевого угла смачивания / А. А. Поддубный, В. В. Петрусевич, П. А. Кацубо // Горная механика и машиностроение : науч.-техн. журнал. – № 3. – 2021.

2 Петрусевич, В. В. Подбор оптимального состава профилактической обработки и анализ его влияния на физико-механические свойства материалов асфальтобетонных покрытий / В. В. Петрусевич // Горная механика и машиностроение : науч.-техн. журнал. – № 2. – 2019. – С. 73–77.

УДК 004.031.4

### ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНИКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

*А. Д. ОБУХОВ, Д. А. СЕМЕНОВ, И. А. СОРОКИН*

*Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,  
г. Княгинино, Российская Федерация*

Беспилотные летательные аппараты (которые нередко обозначаются также как «БПЛА», «дроны»), являются революционным изобретением в области транспортной безопасности. На дронах используются самые передовые технологии, которые непрерывно совершенствуются для обеспечения высокой производительности и автономности, универсальности, что делает их использование подходящим для многих сфер человеческой деятельности.

В настоящее время БПЛА широко применяются в различных областях народного хозяйства. Использование подобных средств экономически оправдано при мониторинге различных объектов (сельхозугодий, лесных массивов, в системе силовых структур и т. п.). В частности, в ОАО «РЖД» планируется оснастить ремонтно-восстановительные поезда авиационными беспилотниками.

Основная функция БПЛА, востребованная у железнодорожников, состоит в разведке местности и передаче визуальной информации в условиях экстремальных температур, значительной скорости ветра, ограниченности связи, удаленности от населенных пунктов. Как правило, БПЛА в аварийно-восстановительных поездах предлагается использовать для предварительной оценки состояния пути и подвижного состава на месте аварии и принятия оперативных решений о перечне первоочередных работ, составе оборудования и оснастки, необходимых для их выполнения.

Но что, если от места предполагаемой аварии до места базирования аварийно-восстановительного поезда достаточно большое расстояние? Ведь в таком случае время прибытия поезда может быть отложено на достаточно большой срок, что в условиях оказания срочной медицинской помощи, либо же устранения последствий схода поезда может быть крайне критично.

На данный момент на рынках как отечественном, так и международном нет решений, позволяющих в должной мере произвести эффективную оценку места аварийной ситуации. Попытки выполнения таких проектов связаны с их высокой стоимостью, массогабаритными параметрами и возможностью передачи данных на относительно небольшие расстояния.

Эти проблемы также важны по своей актуальности, как и проблемы, связанные с аварийностью на любых транспортных объектах. В современном обществе вопросам, связанным с безопасностью, как человека, так и имущества, уделяется очень большое внимание. Появление все более оснащенных электронными средствами локомотивов и вагонов с большим количеством датчиков, являющихся частью АСУ управления тормозной системой, и разработка в будущем автопилотируемых поездов нового поколения обусловлено высокой степенью рисков перехвата управления этими транспортными средствами злоумышленниками. В скором времени вероятность возникновения таких угроз может резко увеличиться, а автоматизированные системы могут стать оружием в руках злоумышленников.

В повседневной действительности сход подвижного состава с рельс, не говоря уже о перехвате управления поездом, явление довольно редкое, ввиду отсутствия полномасштабной автоматизации процессов управления перевозочным процессом. Однако в условиях развития современных бортовых систем автоведения в ближайшем будущем стоит ожидать повышения степени автоматизации управления, а возможно и полной автономности, а также телеуправления тяговым подвижным составом непосредственно из единого диспетчерского центра.

В таких условиях вопрос об устранении последствий происшествий встает наиболее остро. В отличие от других сфер деятельности железнодорожные перевозки имеют одну важную специфику. Как правило, составы передвигаются постанционно от одной к другой, в результате чего основной угрозой является именно сход подвижного состава. Ликвидация последствий схода подвижного состава осуществляется путем отправки специального восстановительного поезда к месту аварии. Восстановительный поезд – это специальное формирование ОАО «РЖД», предназначенное для ликвидации последствий сходов и столкновений подвижного состава, а также оказания помощи в пределах своих технических возможностей при ликвидации последствий природного и техногенного характера.

Кроме того, состав восстановительного поезда может быть увеличен при необходимости использования дополнительного количества оборудования и оснастки. Как правило, такие поезда находятся в постоянной оперативной готовности, но ввиду того, что ситуация может быть дополнительно осложнена обстоятельствами конкретной аварии, может потребоваться прицепка дополнительных вагонов с оборудованием, техникой или т. п.

Исходя из этого, для уменьшения времени реагирования и для повышения оперативности работы аварийно-восстановительных служб требуется проведение своевременной и точной разведки на местности, которая позволяет на основании достоверных сведений принять решение о прицепке дополнительных вагонов и платформ. В целях упрощения оценки возникшей ситуации предлагается использовать систему, в основе которой будет находиться БПЛА.

Основными эффектами от внедрения такого комплекса являются сокращение времени развертывания системы мониторинга последствий и повышение достоверности объективной оценки повреждений, основанной на интеллектуальном анализе получаемых фото- и видеоданных.

В последнее время все большее количество предприятий и производств доверяют автоматическим системам работу по распознаванию образов, либо изображений. Такие системы используются, к примеру, для выбраковки деталей на крупном производстве, где они позволяют в несколько раз увеличить скорость и качество оценки деталей по сравнению с анализом, производимым человеком. Также такие системы используются в автопилотируемых транспортных средствах для анализа ситуации на дороге, который происходит через распознавание образов и вычленение определенных объектов, соответствующих их базе данных из общей массы. Авторами предлагается использовать подобную систему для оценки качества и количества повреждений в местах схода подвижного состава при помощи БПЛА. Такая система позволит качественно осуществить оценку мест повреждений, провести аэровидео съемку места аварии, а установленная на его борту система компьютерной идентификации позволит произвести разграничение и выделение мест повреждений и дать комплексную оценку требуемых действий. Все это позволит повысить эффективность работы бригады восстановительного поезда.

Предлагаемая комплексная система должна быть оснащена мощным процессором, который позволяет обрабатывать полученные изображения в режиме реального времени. Принцип распознавания изображения заключается в следующем. Сначала изображение поступает в память устройства, где происходит разбиение этого изображения на определенные секторы. В каждом из этих секторов находится в соответствие с уже имеющейся базой данных. К примеру, изображение должно четко определять границы железнодорожного полотна и соответственно расположение на нем подвижного состава. В том случае, если подвижный состав смещается с железнодорожного пути, система должна выделять это для себя и сигнализировать оператору БПЛА о таких местах. Кроме того, подобные системы способны определять визуальные места повреждений, расцеп вагонов в составе поезда, а также наличие посторонних предметов на железнодорожном пути или подвижном составе.

Авторами предложен концептуальный подход к разработке системы автоматической оценки мест повреждений, основанной на применении беспилотных летательных аппаратов с возможностью управления БПЛА при помощи пульта дистанционного управления непосредственно с земли. Такая система позволит обезопасить оператора от возможных последствий схода подвижного состава, а также минимизировать потери времени на ликвидацию последствий аварий.

Как результат работы получаем такую систему, которая способна не только обезопасить человека при проведении осмотра мест повреждений подвижного состава, но и качественно оценить последствия аварии, а также провести видеофиксацию возможных мест повреждений. Время проведения аварийно-восстановительных работ в этом случае снижается за счет использования уже заранее выбранного оборудования, а также разработанного плана мероприятий, который может быть составлен в штате аварийно-восстановительной бригады непосредственно за время движения восстановительного поезда к месту аварии.

УДК 656.2.08

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ**

*А. А. ПАРФЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**Железнодорожный транспорт** – это один из основных видов транспорта. Преимуществами его являются возможность обеспечения самых объемных грузовых и пассажирских перевозок и независимость функционирования от метеорологических условий, сезона или времени суток. Железные дороги имеют колоссальную протяженность, высокую надежность и обеспечивают большую пропускную способность во всех регионах страны. Изложенные достоинства и преимущества железно-

дорожного транспорта закономерно влекут за собой повышение опасности возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) и необходимости разработки существенных мер по их предупреждению и ликвидации.

Основными причинами аварий и катастроф на железнодорожном транспорте являются: неисправности пути, подвижного состава, средств сигнализации, централизации и блокировки, ошибки диспетчеров, невнимательность и халатность машинистов. Чаще всего происходит сход подвижного состава с рельсов, столкновения, наезды на препятствия на переездах, пожары и взрывы непосредственно в вагонах. Тем не менее, ехать в поезде примерно в три раза безопаснее, чем лететь на самолете, и в 10 раз безопаснее, чем ехать в автомобиле.

Знайте, что с точки зрения безопасности самые лучшие места в поезде – центральные вагоны, купе с аварийным выходом-окном или расположенное ближе к выходу из вагона, нижние полки.

Как только вы оказались в вагоне, узнайте, где расположены аварийные выходы и огнетушители. Соблюдайте следующие правила:

- 1) при движении поезда не открывайте наружные двери, не стойте на подножках и не высовывайтесь из окон;
- 2) тщательно укладывайте багаж на верхних багажных полках;
- 3) не срывайте без крайней необходимости стоп-кран; запомните, что даже при пожаре нельзя останавливать поезд на мосту, в тоннеле и в других местах, где осложнится эвакуация;
- 4) курите только в установленных местах;
- 5) не возите с собой горючие, химически и взрывоопасные вещества;
- 6) не включайте в электросеть вагона бытовые приборы;
- 7) при запахе горелой резины или появлении дыма немедленно обращайтесь к проводнику.

#### *Чрезвычайные ситуации природного характера*

Природной ЧС называется обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате возникновения источника природной ЧС, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде и нарушение условий жизнедеятельности.

*Чрезвычайные ситуации, вызванные нарушениями безопасности движения на железнодорожном транспорте*

Безопасность движения поездов – это состояние защищенности процесса перевозок от аварийных ситуаций, обеспечивающее сохранность грузов, защиту пассажиров и персонала, охрану окружающей природной среды и бесперебойную работу железнодорожного транспорта.

*Нарушения безопасности движения в поездной и маневровой работе на железных дорогах классифицируются:*

- крушения поездов;
- аварии;
- особые случаи брака в работе.

*Чрезвычайные ситуации, вызванные нарушениями пожарной безопасности на железнодорожном транспорте*

По требованиям международной классификации пожары разделяются на пять типов в соответствии с видами источников возгорания: пожары твердых веществ (древесина, текстиль, бумага, уголь), пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ, нерастворимых в воде (бензин, эфир, нефтепродукты), растворимых в воде (спирт, метанол, глицерин), пожары газов, пожары металлов и их сплавов, пожары, связанные с горением электрических установок.

В настоящее время на Белорусской железной дороге находится в эксплуатации четыре системы радиосвязи:

- поездная радиосвязь;
- станционная радиосвязь;
- ремонтно-оперативная радиосвязь;
- аварийно-технологическая связь.

В настоящее время системы поездной радиосвязи Белорусской железной дороги построены, как правило, с использованием аналогового малоканального оборудования, работающего в гектометровом и метровом диапазонах по принципу «одна частота – один канал» и в значительной степени выработавшего свой ресурс. Задачи по организации каналов радиосвязи между подвижными и стационарными объектами в технологических процессах управления перевозками и обеспечения без-

опасности движения решаются в основном за счет высокой избыточности радиосредств и громоздкой системы эксплуатации.

Совершенно очевидно, что отсутствие цифровой сети радиосвязи Белорусской железной дороги ограничивает развитие современных технологий организации эксплуатации железных дорог, систем автоматического управления движением и безопасности, препятствует повышению пропускной способности железных дорог.

На стальных магистралях Европы, в том числе высокоскоростных и скоростных, используется в основном стандарт GSM-R, адаптированный специально под задачи и нужды железнодорожного транспорта, как по передаче голоса, так и данных. На его основе создаются системы обеспечения безопасности и управления перевозочным процессом. Для внедрения этого стандарта во многих странах на государственном уровне выделены необходимые радиочастотные ресурсы (в частности, в Германии – полоса шириной 4 МГц в диапазоне 800 МГц). Серийным выпуском адаптированного под нужды железных дорог оборудования GSM-R занимается целый ряд компаний. ОАО «РЖД» ведет строительство опытной зоны GSM-R на Калининградской железной дороге. Совместно с компаниями «Мобильные Теле-Системы», «МегаФон» и «ВымпелКом» организуются три опытных участка по отработке технических решений построения системы GSM-R на базе сетей публичных операторов стандарта GSM.

Департамент связи и вычислительной техники считает целесообразным принять в качестве основной для участков скоростного и высокоскоростного движения систему цифровой радиосвязи стандарта GSM-R. Для этого необходимо получение на первичной основе в соответствии с рекомендациями и решениями Международного союза железных дорог (МСЖД) полос радиочастот 876–880 и 921–925 МГц для организации технологической радиосвязи Белорусской железной дороги и полосы частот для внедрения широкополосных подвижных систем. Необходимо продолжить проработку возможности построения сетей технологической радиосвязи на базе публичных сетей подвижной связи стандарта GSM. Для этого предстоит пересмотреть технические требования к цифровой системе радиосвязи Белорусской железной дороги с учетом гармонизации их с требованиями МСЖД, а также совместно с коммерческими операторами стандарта GSM разработать технические решения по организации технологической связи.

#### Список литературы

1 Емельянова, И. А. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов : пособие для студентов электротехнического факультета. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 50 с.

УДК 614.841.2.001.5

### АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИНАХ

*В. Н. ПАСОВЕЦ, В. А. КОВТУН*

*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск*

Пожарная опасность, возникающая в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, обусловлена наличием большого количества горючих материалов, используемых в различных системах двигателя, зубчатых и фрикционных передачах и гидравлическом оборудовании. При этом пожарная нагрузка зерноуборочного комбайна в среднем составляет  $900-1\,000\text{ кг/м}^2$  ( $2 \cdot 10^4\text{ МДж/м}^2$ ). Согласно статистическим данным в Республике Беларусь за период 2015–2019 гг. произошло сокращение машинно-тракторного парка в аграрном секторе экономики Республики Беларусь, в связи с чем возросла сезонная нагрузка на каждую единицу техники.

Также необходимо отметить, что на сегодняшний день сельскохозяйственное машиностроение развивается по пути увеличения производительности посредством повышения энергонасыщенности тракторов и комбайнов различного назначения. При этом повышение энергонасыщенности обеспечивается за счет увеличения мощности их силовых агрегатов. Однако применение сельскохозяйственных машин с более высокой производительностью также создает дополнительную опасность возгорания. Указанные обстоятельства наряду с увеличением доли машин, выработавших свой ресурс, существенно актуализируют проблему пожарной безопасности.

На основе информации, зафиксированной Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, можно выделить 11 групп пожаров на сельскохозяйственной технике (рисунок 1).

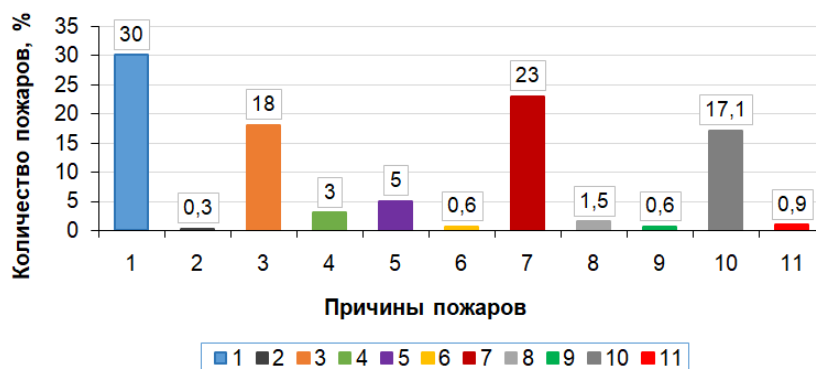


Рисунок 1 – Причины пожаров на сельскохозяйственной технике в Республике Беларусь:

- 1 – нарушение правил эксплуатации; 2 – проявление сил природы; 3 – разрушение узлов и деталей; 4 – нарушение технологического регламента; 5 – неосторожное обращение с огнем; 6 – поджоги; 7 – конструктивные недостатки; 8 – неустановленные причины; 9 – нарушение противопожарных требований; 10 – прочие причины; 11 – нарушение правил хранения и транспортирования веществ и материалов

При этом необходимо отметить, что одной из частых причин пожаров является скопление горючего материала на деталях с высокими температурами, расположенных рядом с двигателем. Температура поверхности элементов данных деталей может достигать 500 °С, что превышает температуры воспламенения соломы и пожнивных остатков. Так, пшеничная солома имеет температуру воспламенения 200 °С. При этом регулярное техническое обслуживание и очистка сельхозмашин являются одним из путей снижения риска возникновения пожара.

Среди причин, связанных с нарушением правил эксплуатации, конструктивными недостатками машин и механизмов и разрушением узлов и деталей, наиболее часто к пожарам приводят неисправности в системах питания, смазки и выпуска отработавших газов, электрооборудования, а также гидроприводов навесного и прицепного оборудования.

Утечки топлива, масел и жидкостей из гидравлических систем вследствие износа и повреждения деталей, узлов и систем сельскохозяйственной техники при эксплуатации и дорожно-транспортных происшествиях могут привести к пожару. Частыми причинами пожаров на сельскохозяйственной технике являются следующие неисправности топливной системы: повреждение и разгерметизация топливных баков, разрывы топливопроводов, течь топлива в местах соединения топливопроводов при механическом и тепловом воздействиях.

В связи с вышеизложенным к конструкциям топливных систем сельскохозяйственной техники предъявляется ряд требований, например, в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним» топливные баки изготавливаются коррозионно-стойкими и устанавливаются с защитой от последствий удара по передней или задней части трактора, также топливные баки должны сохранять герметичность при давлении, в 2 раза превышающем рабочее давление. При этом топливо не должно протекать через крышку бака или через устройства, предназначенные для компенсации избыточного давления, даже в случае, если бак находится в полностью перевернутом состоянии.

Повышение нагрузочных режимов работы двигателей внутреннего сгорания сопровождается увеличением удельных нагрузок на детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, а также на детали трансмиссии, что ведет к интенсификации процессов старения масла и невозможности обеспечения системой смазки охлаждения трущихся поверхностей. В результате наблюдается значительный рост температуры на трущихся поверхностях. При этом современные моторные масла имеют температуру вспышки 190–220 °С.

Электрическая энергия, используемая для пуска двигателя, а также для приведения в действие контрольно-измерительных приборов сельскохозяйственной техники, может являться источником зажигания. При достижении критических значений температур в электрооборудовании возможно воспламенение изоляции и находящихся вблизи горючих конструкционных материалов и т. д. Если же температура не достигает критической, но достаточно высока, то в значительной степени увеличивается скорость старения изоляции провода, а ее эксплуатационное состояние и долговечность

снижаются. Это может привести к воспламенению изоляции токоведущих частей в результате короткого замыкания.

Таким образом, в сельскохозяйственной технике, как и в автомобиле, возможно возникновение нескольких аварийных режимов работы электрооборудования: короткое замыкание, устойчивое перенапряжение вследствие механических нарушений в работе регулирующих аппаратов, кратковременное перенапряжение, возникающее при коммутации мощных электрифицированных механизмов и аппаратов, например, установка мощных нештатных аудиосистем, длительное коррозионное воздействие на электрические контакты и электронные системы.

Система выпуска отработавших газов также представляет собой определенную пожарную опасность, так как она подвержена воздействию высоких температур газов, образующихся в цилиндрах двигателя при сгорании топливовоздушной смеси. При попадании топлива на выпускной коллектор происходит образование пожаровзрывоопасной горючей смеси в подкапотном пространстве.

Огромную пожарную опасность создают искры, представляющие собой горящие частицы, выбрасываемые с отработавшими газами. Причиной образования искр в двигателях внутреннего сгорания тракторов и комбайнов является нагар, который образуется на стенках системы выпуска отработавших газов при сгорании дизельного топлива и моторного масла. При сгорании 100 кг дизельного топлива образуется 150 г. нагара. Сгорание моторного масла, попавшего в цилиндры двигателя, дает значительно больше нагара за счет присутствия в масле металлической и минеральной пыли. Данная проблема усугубляется отсутствием или низкой эффективностью искрогасителей, применяемых на сельскохозяйственной технике в Республике Беларусь.

Таким образом, основными путями снижения количества пожаров на сельскохозяйственной технике является предотвращение образования потенциальных источников зажигания в системах питания, смазки, выпуска отработавших газов и электрооборудования, а также строгое соблюдение технологического регламента обслуживания сельхозмашин и правил пожарной безопасности.

УДК 614.841.2.001.5

## **НЕИСПРАВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАК ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА НА САМОХОДНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ**

*В. Н. ПАСОВЕЦ, В. А. КОВТУН*

*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, г. Минск*

Электрическая энергия, используемая для пуска двигателя, а также для приведения в действие контрольно-измерительных приборов сельскохозяйственной техники [1, 2], может являться источником зажигания [3]. В качестве источников электрического тока на сельскохозяйственной технике используются электрические аккумуляторы и генератор. Электрическая система является одной из самых пожароопасных систем трактора или комбайна [4]. Факторами, влияющими на работу электрических систем сельскохозяйственной техники, являются: высокие температуры поверхностей двигателя, высокий уровень теплового излучения от двигателя, наличие топливopроводов, расположенных в непосредственной близости, при повреждении которых электросистема становится потенциальным источником зажигания. Также вода, пыль и грязь вызывают коррозию в местах электрических контактов, увеличивая при этом электрическое сопротивление и вызывая местные перегревы, оплавления и горение изоляции.

Необходимо отметить, что короткое замыкание является наиболее распространенным аварийным режимом работы электрооборудования, приводящим к пожару. При достижении критических значений температур в электрооборудовании возможно воспламенение изоляции и находящихся вблизи горючих конструкционных материалов. Если же температура не достигает критической, но достаточно высока, то увеличивается скорость старения изоляции провода, а ее эксплуатационное состояние и долговечность снижаются. Это может привести к короткому замыканию и воспламенению изоляции токоведущих частей.

Таким образом, в сельскохозяйственной технике, как и в автомобиле, возможно возникновение нескольких аварийных режимов работы электрооборудования: короткое замыкание, устойчивое перенапряжение вследствие механических нарушений в работе регулирующих аппаратов, кратковременное перенапряжение, возникающее при коммутации мощных электрифицированных меха-

низмов и аппаратов, например, установка мощных нештатных аудиосистем, длительное коррозионное воздействие на электрические контакты и электронные системы. В качестве примера уничтожения сельскохозяйственной техники пожаром, образовавшимся из-за неисправности электрической системы, можно привести возгорание комбайна «КВК-800», находящегося на сельскохозяйственном поле вблизи д. Болотня Рогачевского района.

В результате проведенных исследований было установлено, что очаг пожара находился во внутреннем объеме моторного отсека комбайна. Технической причиной возникновения пожара явился аварийный режим работы электрической сети – короткое замыкание на электрических проводниках, что подтверждается микроструктурными исследованиями (см. рисунок 1) изъятых медных проводников. Так, исследование оплавления первого проводника (рисунок 1, *а*) показало, что массовая доля кислорода в сплаве находится в пределах от 0,05 до 0,39 %. В микроструктуре по границам зерен наблюдается тонкая прослойка эвтектики, по краям образца присутствует эвтектика  $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$  и первичные кристаллы закиси меди, газовые раковины и поры отсутствуют, что является дифференцирующим признаком первичного короткого замыкания [5, 6].

Микроструктурные исследования второго образца показали (см. рисунок 1, *б*), что структура меди в зоне оплавления имеет многочисленные газовые раковины и поры, образованные в результате интенсивного взаимодействия меди с газообразными продуктами среды, формирующейся при пожаре (водород, окись углерода, водяной пар и т. д.), что является дифференцирующим признаком вторичного короткого замыкания [7, 8].

Основанием для данных выводов явилось следующее. Для изготовления медных проводников применяется медь марки М1, в которой содержится 0,05–0,06 % кислорода. В исходной проволоке кислород находится в виде сферических частиц закиси меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ . При температуре 1100 °С в расплавленной меди может раствориться до 1 % кислорода. Поскольку растворимость кислорода в твердой меди составляет всего 0,01 %, то в литой меди, содержащей более 0,01 % кислорода, на границах между кристаллами меди образуется прослойка эвтектики  $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$  [9, 10].

Высокая скорость охлаждения расплавленной части медного проводника при первичном коротком замыкании приводит к тому, что образующиеся в расплаве центры кристаллизации начинают интенсивно расти в направлении максимального отвода тепла, а выделяющаяся в процессе кристаллизации скрытая теплота плавления препятствует росту кристаллов в других направлениях. В результате образуется зона вытянутых кристаллов, получивших название столбчатых дендритов. Дендритная структура является устойчивым дифференцирующим признаком, характеризующим первичное короткое замыкание. Указанный признак сохраняется при последующих высокотемпературных (до 1000 °С) отжигах. При первичном коротком замыкании в атмосфере отсутствуют газы-восстановители и это приводит к тому, что газовые раковины и поры в оплавленном участке не образуются [11].

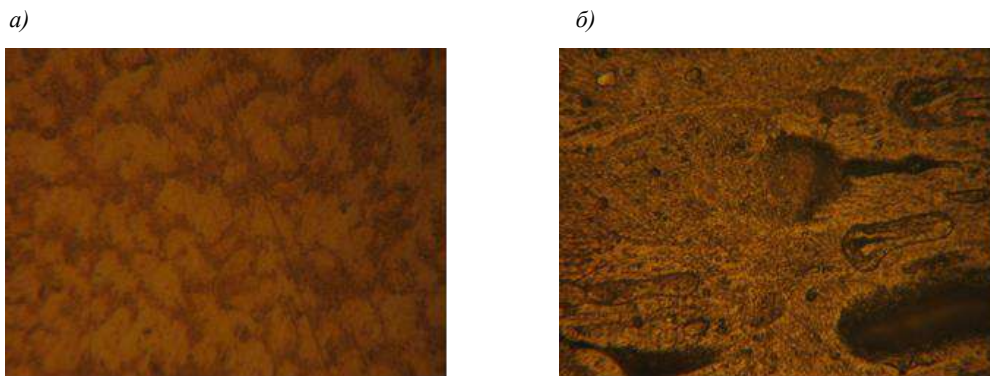


Рисунок 1 – Микроструктура оплавления медных проводников

В случае вторичного короткого замыкания или при коротком замыкании в условиях пожара, характеризующегося пониженным содержанием кислорода, высокой температурой и высоким содержанием газообразных продуктов горения, наблюдается иная микроструктура. Наличие в атмосфере короткого замыкания окиси углерода приводит к исчезновению эвтектики  $\text{Cu} - \text{Cu}_2\text{O}$  по границам зерен меди, а присутствие в атмосфере небольшого количества водорода, помимо этого, способствует образованию газовых раковин и пор по границам и внутри тела зерен меди. Сами зерна литой меди имеют округлую форму [7].



## Список литературы

- 1 Синельников, А. Х. Электронные приборы для автомобилей / А. Х. Синельников. – М. : Электроатомиздат. 1986. – 256 с.
- 2 Смелков, Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 133 с.
- 3 Зернов, С. И. Пожарно-техническая экспертиза: назначение и использование результатов / С. И. Зернов, О. Ю. Антонов – М. : ЮИ МВД РФ, 1997. – 298 с.
- 4 Донцов, В. Г. Дознание и экспертиза пожаров. Справочное пособие / В. Г. Донцов, В. И. Путилин. – Волгоград : ИНКОМ, 2015. – 159 с.
- 5 Таубкин, С. И. Пожар и взрыв, особенности экспертизы / С. И. Таубкин. – М. : ВНИИПО, 1999. – 600 с.
- 6 Мишури, В. М. Надежность водителя и безопасность движения / В. М. Мишури, А. Н. Романов. – М. : Транспорт, 1990 – 167 с.
- 7 Федотов, А. И. Пожарно-техническая экспертиза / А. И. Федотов, А. П. Ливчиков, Л. Н. Ульянов. – М. : Стройиздат, 1986. – 403 с.
- 8 Донцов, В. Г. Дознание и экспертиза пожаров. Справочное пособие / В. Г. Донцов, В. И. Путилин. – Волгоград : ИНКОМ, 2015. – 159 с.
- 9 Хрустале, В. Н. Участие специалиста-криминалиста в следственных действиях / В. Н. Хрустале. – СПб. : Питер, 2003. – 208 с.
- 10 Зернов, С. И. Техничко-криминалистическое обеспечение расследования преступлений, сопряженных с пожарами / С. И. Зернов. – М. : ЭКЦ МВД России, 1996. – 128 с.
- 11 Криминалистика / под ред. В. А. Образцова. – М. : Юристъ, 1995. – 422 с.

УДК 358.1

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Сегодня подразделения Транспортных войск являются основным и единственным средством в Министерстве обороны Республики Беларусь для строительства и восстановления железных дорог.

Эффективность применения подразделения Транспортных войск во многом зависит от проведения технической разведки.

Основными задачами технической разведки являются: добывание разведывательных данных об разрушенных железнодорожных объектах, разведка местности вблизи этих объектов, наблюдение за положением и действиями противника и своих войск.

Для решения этих задач техническая разведка на сегодняшний день выполняется военнослужащими Транспортных войск на устаревших образцах техники (рисунок 1).

а)



б)



Рисунок 1 – Техника для проведения технической разведки:  
а – УАЗ на комбинированном ходу; б – УРАЛ-4320

Нельзя оставить без внимания и вопрос своевременности доведения разведывательной информации. Как известно, выполнение задач по строительству и восстановлению железнодорожного участка (объекта) напрямую связано со скоростью поступления достоверной информации от подразделений технической разведки.

Данное обстоятельство обуславливает ряд проблемных вопросов: низкая скорость используемых транспортных средств, отсутствие визуализации в режиме реального времени.

В настоящее время острота указанных проблем может быть частично снята применением беспилотных авиационных комплексов. Подтверждением этому является факт принятия на вооружение и применение их во многих армиях стран мира. Под беспилотным авиационным комплексом понимается совокупность функционально связанных и используемых совместно беспилотных летательных аппаратов (летательный аппарат без экипажа на борту), средств наземного управления, обеспечения, технического обслуживания и подготовки, необходимых для применения беспилотных летательных аппаратов по целевому назначению.

Основными особенностями беспилотного авиационного комплекса, способствующими выполнению ими разведывательных задач, являются:

возможность ведения всех видов разведки (радиотехнической, радиолокационной, оптико-электронной и др.) на стратегическом, оперативном и тактических уровнях;

возможность ведения круглосуточной разведки;

высокая вероятность распознавания;

высокая точность измерения координат распознанных объектов;

высокая маневренность;

малозаметность;

Кроме того, использование беспилотного летательного аппарата не приведёт к потерям личного состава. Положительным является также их относительно небольшая стоимость и низкие затраты на эксплуатацию.

Примером применения беспилотного авиационного комплекса является контртеррористическая операция российской группировки войск в Сирийской Арабской Республике. Исходя из информации, имеющейся в открытой печати в Сирийской Арабской Республике, было развернуто 33 беспилотных авиационных комплексов, включающих около 80 беспилотных летательных аппаратов.

Анализ применения беспилотных авиационных комплексов в контртеррористической операции в Сирийской Арабской Республике показал, что применение беспилотной авиации в интересах Транспортных войск может обеспечить: ведение круглосуточной разведки; распознавание замаскированных объектов; сокращение времени поиска объектов; уточнение координат целей с высокой точностью; контроль за ходом восстановительных работ; сокращение отрыва личного состава и техники.

В целом анализ мирового опыта применения беспилотных авиационных комплексов различных классов подтверждает высокую эффективность этого вида вооружения в условиях современных военных действий любой интенсивности.

В настоящее время на вооружении Вооруженных Сил Республики Беларусь состоят разведывательные беспилотные авиационные комплексы: «Москит», «Суперкам С-100», «Беркут-2», «Суперкам SC-350», «Бусел-10» (рисунок 2) [1, 2].

а)



б)



Рисунок 2 – Беспилотные летательные аппараты, входящие в состав беспилотных авиационных комплексов: а – «Москит»; б – «Суперкам С-100»

Основные тактико-технические характеристики беспилотных авиационных комплексов, состоящих на вооружении Вооруженных Сил Республики Беларусь, приведены в таблице 1.

Они предназначены для ведения воздушной оптико-электронной разведки местности в любое время суток. Основными задачами являются: определение координат объекта; выполнение полет-

ного задания в автоматическом режиме с возможностью его изменения с наземного пункта управления; наблюдение и получение фото- или видеосъемки; получение и передача изображений обнаруженных объектов и местности в любое время суток.

**Таблица 1 – Основные тактико-технические характеристики беспилотных авиационных комплексов, состоящих на вооружении Вооруженных Сил Республики Беларусь**

Тактико-технические характеристики	Беспилотный авиационный комплекс				
	«Москит»	«Суперкам С-100»	«Беркут-2»	«Суперкам CS-350»	«Бусел-10»
Радиус действия, км	12	25	35	50	220
Время полета, ч	0,45	1	2	4	14
Высота полета, м:					
минимальная	180	250	100	250	700
максимальная	1500	3500	3000	5000	5000
Скорость полета, км/ч:					
крейсерская	70	60–120	80–100	60–120	120
максимальная	120	120	120	120	150
Точность определения координат объекта, м	30	5	7	50	30
Высота ведения разведки, м	200	50–1500	100–400	50–4500	700–1000
Количество БЛА, шт.	2	2	3	2	4

Таким образом, проведенный анализ показывает, что беспилотные авиационные комплексы возможно использовать в интересах Транспортных войск Республики Беларусь. Однако для этого необходимо определить задачи, решаемые ими, их потребное количество, а также организационно-штатную структуру подразделений беспилотных авиационных комплексов и их место в структуре Транспортных войск Вооруженных Сил Республики Беларусь.

#### Список литературы

- 1 **Петрусевиц, В. В.** Применение беспилотных авиационных комплексов при проведении технической разведки железнодорожного участка в интересах транспортных войск / В. В. Петрусевиц // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.) : в 5 ч. Ч. 5 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 197–199.
- 2 Беспилотные авиационные комплексы [Электронный ресурс] / Беспилотные авиационные комплексы. – 2020. – Режим доступа : <http://www.558agr.by/>. – Дата доступа : 05.09.2020.

УДК 624.21:625.745.12

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА МОСТОВОМ ПЕРЕХОДЕ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

*Е. В. ПЕЧЕНЕВ, П. А. КАЦУБО, Р. Ю. ДОЛОМАНЮК,  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

События, происходящие по всему миру в сфере чрезвычайных ситуаций, заставляют по новому посмотреть на основы безопасности транспортных коммуникаций и водных преград в целом. Наводнения в странах Европы, унесшие жизни сотни людей, демонстрируют безжалостное поведение бушующих рек.

Передовые технологии в сфере контроля и оповещения о чрезвычайных ситуаций, постоянный мониторинг метеорологических условий, современная техника, оснащение и оборудование служб чрезвычайных ситуаций – все эти меры и условия все равно не обеспечивают безопасность мирного населения от природных явлений.

Одним из способов обеспечения безопасности являются постоянный мониторинг водной преграды, а именно гидрологические и гидрометрические работы.

Помимо этого своевременные и профилактические гидрологические и гидрометрические работы на мостовом переходе позволяют избежать непоправимых последствий вследствие подмыва опор, насыпей в ходе выхода рек из берегов и повышения скорости течения.

Гидрологические и гидрометрические работы на мостовом переходе подразумевают также измерение толщины льда и интенсивность ледохода.

Целью гидрологических и гидрометрических работ является получение данных о режиме реки, необходимых для определения ряда параметров водной преграды.

Гидрологические и гидрометрические работы включают съемку русла с промером глубин и толщины льда в зимнее время, измерение скоростей течения воды, установление характерных уровней воды, сбор сведений о характере и интенсивности ледохода, определение расхода воды, производство гидрологических расчетов.

Съемка русла реки выполняется промером глубин и определением положения промерных точек на оси моста. Промер глубин выполняется с помощью эхолота или вручную.

Эхолот позволяет измерять глубины воды от 0,5 до 20 м с автоматической записью их на ленту. В зависимости от применяемых приборов точность измерений достигает 2 %. Профиль дна фиксируется на электротермической бумаге в виде эхограмм. Масштаб записи 1:100. Если эхолота нет, то глубины измеряют нивелировочными рейками, шестами и тросами с грузом. На несудоходных реках шириной до 150 м глубины измеряют каждые 5–10 м по меткам на тросе, перетянута через реку. В зимнее время промер ведут через лунки во льду, отсчитывая глубины от верхней поверхности льда, очищенного от снега. Одновременно измеряют толщину льда. По результатам измерения ширины реки и данным промеров глубин вычерчивается поперечный профиль реки, который вместе с данными нивелирования берегов составляет профиль речной долины.

Скорости течения измеряются с помощью гидровертушки. По глубине реки скорость течения неодинакова, она больше у поверхности воды, наименьшая у дна реки. Поэтому измерение скоростей течения гидровертушкой производят в одной или нескольких точках на каждой вертикали в зависимости от глубины воды. При глубине воды  $h$  до 1,0 м – в одной точке ( $0,6 h$ ), при глубине от 1 до 3 м – в трех точках, при глубине более 3 м – в пяти точках. Средняя скорость течения тогда будет определяться по эпюре.

В условиях ограниченного времени допускается измерять гидрометрической вертушкой скорость течения на глубине  $0,6 h$  от дна реки. На этой глубине скорость течения близка к средней.

При хорошей видимости, отсутствии ветра и волнения воды поверхностную скорость течения измеряют поплавками. Работы состоят в разбивке створов, дальномерном измерении расстояния между створами и засечке времени хода поплавок между створами. Расстояние между створами принимается от 30 до 100 м в зависимости от скорости течения.

С лодки поочередно запускают 5–8 поплавков. Засекают время прохода поплавок между створами по секундомеру. Из всех измерений выбирают 3 поплавок с наименьшим временем хода и вычисляют среднеарифметическое время.

Также основными данными являются характерные уровни воды: высокий исторический уровень, уровень высокой воды, расчетный уровень высокой воды (далее – РУВВ), расчетный судоходный уровень (далее – РСУ), уровень высокого ледохода (далее – УВЛ), уровень низкого ледохода (далее – УНЛ), уровень меженной воды.

РУВВ и РСУ устанавливаются расчетом, а остальные характерные уровни могут быть установлены одним из следующих методов: по данным гидрометрических станций и водомерных постов; опросом местных жителей и использованием данных местных дорожно-строительных и эксплуатационных органов; по следам и признакам, оставляемым течением на местности.

К таким следам и признакам относятся:

- отложение на берегах пойменных участков реки различных предметов (сучьев, стволов деревьев и т. п.), принесенных водой при подъеме уровня и оставшихся на берегу при спаде его. Такие следы сохраняются относительно малое количество лет;

- следы, оставляемые водой на размываемых берегах или на каменистых прибрежных скалах. На размываемых берегах ясно видны подмывы грунта, а на скалах смачиваемая часть отличается по цвету от верхней;

– следы на опорах и ледорезах, оставленные при прохождении ледохода, по которым можно определить УВЛ и УНЛ.

По имеющимся материалам описаний изучаются также условия образования и перемещения льда в районе перехода; устанавливаются сроки появления отдельных ледообразований, их места и размеры в разные периоды ледохода; выясняются места возможного образования заторов льда, места промерзания реки до дна и образование наледей.

Основной задачей гидрологических расчетов является определение расчетного расхода и соответствующего ему РУВВ.

Расчетным расходом называется количество воды в м<sup>3</sup>/с, протекающее через живое сечение реки под мостом в период паводка с заданной вероятностью превышения. Расчетный расход может быть определен одним из двух методов:

по известному расчетному уровню воды в период паводка с повторяемостью 1 раз в 10–25 лет; методом математической статистики по многолетним данным измерения максимальных годовых уровней гидрометрическими станциями и водомерными постами.

При отсутствии данных о периодах повторяемости за расчетный уровень принимается наивысший уровень, наблюдавшийся в последние 10–25 лет.

Составляют профиль живого сечения реки и пойм по оси мостового перехода. На поперечный профиль наносят измеренный уровень воды. Отдельно для коренного русла, левой и правой пойм вычисляют среднюю глубину  $H$ , м, как отношение площади живого сечения  $\omega$  к ширине  $B$  (соответственно русла или пойм).

Более точно можно определить расчетный расход по имеющимся данным водомерных постов о максимальных годовых уровнях в период паводков не менее чем за 15–20 лет.

Таким образом, определение и знание данных гидрологических и гидрометрических работ позволяет производить мониторинг основных параметров для прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

#### Список литературы

1 Долманюк, Р. Ю. Расчетно-экспериментальная зависимость степени карбонизации для критерия оценки технического состояния железобетонных конструкций и элементов пролетных строений / Р. Ю. Долманюк, П. А. Кацубо, В. В. Петрусевич // Актуальные проблемы науки и техники : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (8 января 2021 г., г. Уфа). – Уфа : Изд. НИЦ Вестник науки, 2021. – С. 254–257.

УДК 539.3

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*А. А. ПОДДУБНЫЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. А. ГОРДОН*

*Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Российская Федерация*

Транспорт это одна из важнейших составных частей нашей экономики, которая обеспечивает ее единство и целостность. Развитие и защита транспорта и коммуникаций определяет безопасность и обороноспособность страны. Главной целью государственной транспортной политики является формирование высокоэффективной национальной транспортной системы, призванной обеспечить удовлетворение спроса на перевозки грузов и пассажиров, повышение их безопасности и качества, создание условий для финансового оздоровления предприятий транспорта за счет инвестиционной активности, повышение конкурентоспособности отечественных перевозчиков на внутреннем и внешнем рынке транспортных работ и услуг. Осуществление государственной транспортной политики

предусматривает реализацию закрепленных в Конституции Республики Беларусь прав граждан на свободное передвижение, обеспечение единого экономического пространства и перемещение товаров. Транспорт всегда был и останется важнейшей составной частью экономики, фактором, обеспечивающим ее единство и целостность. С целью обеспечения транспортной безопасности в Республике Беларусь разработана и изготовлена серия малогабаритных, сборно-разборных мостовых пролетов. Это изобретение относится к области строительства, в частности, к мостам сборно-разборным, предназначенным для быстрой установки низководных мостов в труднодоступных местах. Применяется при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий. В ходе разработки, основной задачей являлось снижение трудоемкости монтажа мостового пролета, упрощение конструкции для уменьшения массы и количества деталей, снижение стоимости при изготовлении, сборке и эксплуатации.

Использование малогабаритного сборно-разборного мостового пролета позволяет за счет минимального количества элементов составных частей снизить массу конструкции и трудоемкость монтажа (демонтажа) оборудования, что дает возможность переносить элементы вручную и монтировать его в любом труднодоступном месте.

### **Расчет элементов малогабаритного сборно-разборного мостового пролета (МСРМП)**

Одной из важных проблем при проектировании является анализ чувствительности несущих конструкций к структурным перестройкам и повреждениям под нагрузкой при эксплуатации типа внезапно выключающихся связей, частичных разрушений, трещин, расслоений и т. д. Получение такой информации для реальных конструкций требует разработки специальных методов, так как данная проблема не может быть решена универсальным методом. С позиции строительной механики в этих задачах возникает необходимость расчета конструктивно нелинейных конструкций, изменяющих расчетную схему под нагрузкой. Особо важным является учет внезапности образования дефекта. До возникновения дефекта напряженно-деформированное состояние конструкции определялось статическим воздействием нагрузки и реакции основания. При внезапном образовании повреждения или структурной перестройки моментально снижается общая жесткость несущей системы, нарушается статическое равновесие, и система приходит в движение, в ходе которого перераспределяются и растут деформации и внутренние силовые факторы. Такое динамическое догружение приводит к нарушению штатного функционирования конструкции – отказам, потере несущей способности, прогрессирующему разрушению.

Каждый элемент МСРМП был рассчитан под заданную нагрузку с заданным запасом прочности [1].

Как правило, строительство производится на структурно неустойчивых грунтах, то есть изменяющих свою структуру под внешними влияниями, дающих просадку.

На несущую способность оснований горизонтально нагруженных фундаментов большое влияние оказывает материал, форма и размеры подземной части сваи (стержня), глубина погружения в грунт, характеристики грунта, величина, направления и место приложения горизонтальных сил и т. д.

Поэтому с целью увеличения живучести моста были произведены расчеты по специально разработанным методикам.

При расчете свайного фундамента была применена методика расчета критической силы сжатого стержня, частично опертого на упругое основание Винклера. Решив эту задачу, мы оценили величину «условной силы» в долях известной критической силы такого же, но свободного (без основания) стержня. Это позволило, определить коэффициент, характеризующий данную систему «стержень – основание», обоснованно выбрать одну из трех функций прогибов (форм потери устойчивости) и далее определить критическую силу на базе этих функций и не допустить потерю устойчивости свайного фундамента. Подробно эта методика рассмотрена в работе [2].

Так как рассматриваемые мосты строятся на структурно-неустойчивых грунтах, была применена методика определения динамических догрузений стержня при внезапном изменении структуры упругого основания. Разработанная математическая модель процесса позволяет последовательно решить следующие задачи. Полученные результаты исследования показали существенные приращения напряжений и значительные изменения картины напряженно-деформированного состояния, вызванные внезапным изменением структуры и расчетной схемы рассмотренной модели «балка – основания». Подробно эта методика рассмотрена в работе [3].

Все проведенные расчеты в совокупности позволяют принять правильное решение для определения элементов конструкций малогабаритного сборно-разборного мостового пролета с запасом прочности не менее 20 %.

### **Апробация результатов**

В соответствии с требованиями заказчика был разработан малогабаритный сборно-разборный мостовой пролет (МСРМП) и выполнены следующие работы:

- все элементы МСРМП спроектированы и рассчитаны на заданную нагрузку;
- разработана техническая документация для изготовления МСРМП;
- изготовлено на заводе более 100 м. п. МСРМП;
- произведено строительство моста более 400 м. п. на структурно неустойчивых грунтах;
- мост проходит испытание с учетом изменяющихся граничных условий его эксплуатации.

Применение малогабаритных сборно-разборных мостовых пролетов позволяют за счет минимального количества элементов составных частей снизить массу конструкции и трудоемкость монтажа (демонтажа) оборудования, что дало возможность переносить элементы вручную и монтировать их в любом труднодоступном месте. А применение разработанных методик расчета позволило обоснованно принять правильное решение для определения элементов конструкций МСРМП с запасом прочности не менее 20 %. Построить мост на структурно неустойчивых грунтах с высокой степенью надежности, в кратчайшие сроки и минимальными материальными затратами. Подана заявка на регистрацию изобретения. Все эти научные разработки позволяют обеспечить быстрое наведение временных мостов в случае разрушения или планового ремонта мостовых переходов, что существенно увеличивает транспортную безопасность Республики Беларусь.

### **Список литературы**

- 1 Старовойтов, Э. И. Механика материалов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 376 с.
- 2 Поддубный, А. А. Методика расчёта критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2019. – № 1(38).
- 3 Poddubny, A. A. Dynamic Loading of the Rod at a Sudden Change of Elastic Foundation Structure / A. A. Poddubny, V. B. Gordon // Conference Series : materials Science and Engineering. – Vol. 1079. – 2021. – 042076.

УДК 624.21/.8

## **ОСОБЕННОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*А. Ю. РЫТИКОВ, А. А. БОНДАРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Мосты – это сложные дорогостоящие сооружения, предназначенные для длительной службы, чем и определяются предъявляемые к ним требования.

Движение автомобилей по мосту должно быть безопасным, удобным, беспрепятственным и с расчетной скоростью. Ширина проезжей части и тротуаров на мосту должна соответствовать расчетной пропускной способности с учетом перспективы роста движения. Конструктивная схема моста, величины пролетов и возвышение конструкций над расчетным уровнем воды должны обеспечивать нормальные условия судоходства, пропуск воды в паводок и пропуск ледохода. Все это должно обеспечивать длительный срок службы и необходимую надежность всех мостовых конструкций.

Конструкция моста должна отвечать требованиям индустриального (заводского) изготовления и механизированного возведения.

Все элементы мостовой конструкции должны быть прочными, жесткими и устойчивыми, должны придать сооружению лучший внешний вид и добиваться гармоничного сочетания сооружения с окружающей местностью, т. е. нужно вписать сооружение в рельеф местности или в ансамбль окружающей застройки в городах, причем архитектурные требования к городским мостам очень высоки.

Особенно важно выполнение экономических требований. При проектировании должно быть найдено оптимальное решение, при котором затраты материалов и финансовых средств будут минимальны, причем только этим нельзя в полной мере оценить экономичность конструкции. Необходимо учитывать срок службы сооружения, условия эксплуатации, а также затраты на возможные ремонты и реконструкцию сооружения.

Для возведения мостов преимущественно применяют сборный железобетонный с доставкой на место строительства и последующим монтажом опор и пролетных строений. Нередко применяется

монолитный железобетонный. В таком случае все строительные процессы, в том числе и бетонирование, осуществляются на месте, в построчных условиях. Индустриальное (заводское) изготовление железобетонных элементов дает возможность повысить качество и снизить трудовые затраты, а сам процесс возведения моста, состоящий, в основном, из монтажа заранее заготовленных элементов, может быть выполнен в более короткие сроки и практически круглогодично.

Для увеличения срока службы, экономии арматуры, повышения трещиностойкости и общей надежности железобетонные конструкции мостовых сооружений выполняют преимущественно преднапряженными. Такие сооружения являются более жесткими, имеют меньшие деформации и в них эффективнее используется материал.

Мосты из таких конструкций более прогрессивны, экономически выгодны и получили широкое распространение в практике строительства.

Срок службы железобетонных мостов достигает 100 лет.

Металл – отличный материал для строительства мостов. Прокатные профили, выпускаемые металлургической промышленностью, позволяют создавать разнообразные конструктивные решения. Металлические пролетные строения оказываются более легкими по сравнению с железобетонными, что дает возможность перекрывать большие пролеты – до 1300 м.

Металл применяют, в основном, для возведения автодорожных мостов при пролетах 100 и более метров. При этом проводится тщательное сравнение технических, экономических и архитектурных показателей как варианта железобетонного, так и варианта металлического моста.

Нередко рациональными оказываются пролетные строения, в которых сочетается работа стальных и железобетонных элементов, такие конструкции получили название сталежелезобетонных и они широко используются в мостостроении.

Таким образом, в современном мостостроении основной акцент делается на повышение качества изготовления конструкций на заводах, совершенствование конструкций мостового полотна, совершенствование сталежелезобетонных пролетных строений, развитие и увеличение объемов внедрения монолитных мостовых конструкций со специальной технологией бетонирования, применение в конструкциях нетрадиционных материалов с увеличенной надежностью, прочностью, создание принципиально новых технологий, повышение на основе всего этого долговечности и надежности мостовых сооружений. В условиях современного строительства охране окружающей среды придается первостепенное значение, для чего разрабатываются и реализуются соответствующие комплексные мероприятия. В мостостроении вредное воздействие на окружающую среду можно уменьшить за счет правильного выбора соответствующего транспорта, техники, технологии производства, а также использовать материалы, безвредные по отношению к окружающей среде.

Мероприятия по предотвращению загрязнения воздушного бассейна включают применение газо- и пылеулавливающих установок, в особенности при погрузо-разгрузочных операциях с цементом.

Важен периодический контроль состояния двигателей внутреннего сгорания строительных машин и транспортных средств с обеспечением содержания токсичных примесей в выхлопных газах не выше установленных норм.

На стройплощадках создаются системы очистки сточных вод, а также системы оборотного водоснабжения, в особенности для обеспечения производственных процессов с высоким уровнем водопотребления, например установок для промывки заполнителей для бетона.

Защита от шума, особенно в условиях городской застройки, осуществляется путем применения соответствующих методов строительства (например, замены забивных свай на буровые, шпунтовых ограждений на ограждения типа «стена в грунте»), а также мероприятий по снижению уровня шума строительного-монтажного оборудования. Воздействие шума можно ограничить с помощью соответствующего профиля, специальных экранов и насыпей для поглощения шума. Шум от дорожного движения можно снизить до 3–5 дБ за счет использования дренирующих асфальтобетонных смесей и конструкции мостового полотна.

Устройство строительных площадок, особенно в условиях линейного строительства искусственных сооружений, нередко наносит вред природным ландшафтам, сельскохозяйственным угодьям. Весьма важны мероприятия по рекультивации территорий стройплощадок: засыпка траншей и котлованов, планировка территорий, обратный завоз растительного грунта, посадка зеленых насаждений.

На содержание важных и ценных мостов для уменьшения негативного воздействия на природу необходимо выделение дополнительных ассигнований.



Экологические требования определяются интересами охраны окружающей среды. В последние годы вопросы охраны окружающей среды приобретают все большую остроту, что определяет необходимость строгого соблюдения принципа наименьшего вмешательства в природную среду при проектировании и строительстве искусственных сооружений.

УДК 658.5.017.7

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ПО СЛУХУ

*Н. В. РЯЗАНЦЕВА, Е. А. ЖИДКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В состав систем обеспечения безопасности достаточно часто включаются системы оповещения. Однако использование таких систем людьми с ограниченными возможностями по слуху затруднительно, а иногда и невозможно. Системы для слабослышащих или слабовидящих, занимающие пограничную с медициной область, на рынке представлены мало.

Авторы разработали нейросетевую систему, которая в реальном времени анализирует окружающую обстановку, определяет источники и характер звуков, а также классифицирует данные звуки по категориям с дальнейшим уведомлением пользователя. Так как основными пользователями системы являются люди с ограниченными возможностями по слуху, категории звуков включают в себя основные бытовые события с возможностью дополнительного обучения (плач ребенка, звонок в дверь, звуковые уведомления бытовой техники и т. д.) на усмотрение пользователя. Разрабатываемая система включает в себя аппаратную часть, программный модуль обработки звуков, программный модуль для формирования и обмена уведомлениями, а также приложение для мобильного телефона для обработки данных уведомления.

Для решения поставленной задачи система должна обладать возможностью идентификации звука и сопоставления записанной звуковой волны с готовыми паттернами. Отсюда можно выделить несколько подзадач, которые требуется рассмотреть: получение оцифрованной звуковой волны, математическая обработка данных для получения цифрового отпечатка, обучение нейронной сети готовым набором цифровых последовательностей, верификация обученной нейронной сети. Качество обработки данных имеет ключевое значение и непосредственно влияет на результат распознавания, так как малое количество отсчетов при оцифровке сигналов или низкая разрешающая способность АЦП негативно скажутся на качестве выборки, что ухудшит качество распознавания нейронной сети в целом. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

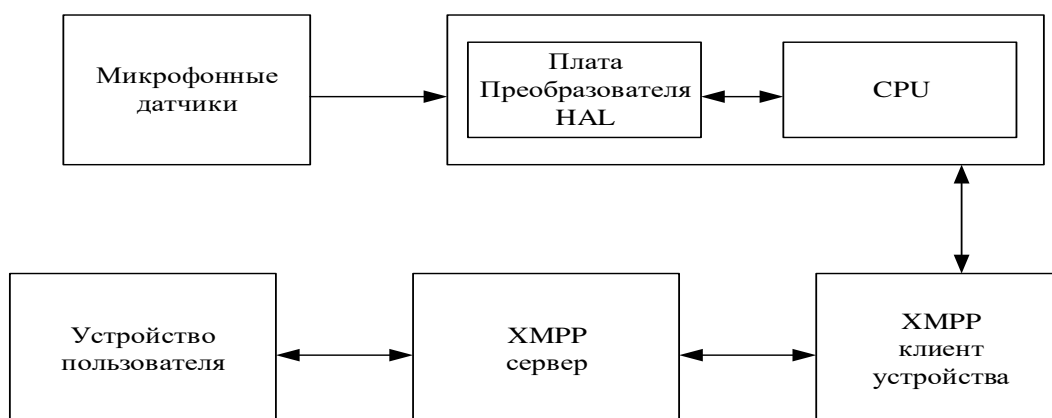


Рисунок 1 – Структурная схема системы идентификации звуков

Аппаратная часть разрабатываемого комплекса представлена микрофонным модулем, подключенным к микропроцессорной системе под управлением ОС Linux.

В основе модуля лежит микросхема WM8960, которая представляет собой аудиокодек с низким энергопотреблением

Чтобы обеспечить полный программный контроль над всеми функциями, WM8960 использует двухпроводной интерфейс управления. Он полностью совместим и является идеальным партнером для широкого спектра стандартных микропроцессоров, контроллеров и DSP. Неиспользуемые схемы можно отключить с помощью программного обеспечения для экономии энергии. В качестве микропроцессорного модуля был выбран Raspberry Pi 3 Model B – полноценный бесшумный компьютер размером с банковскую карту с 64-битным четырехядерным процессором ARM Cortex-A53 на однокристальном чипе Broadcom BCM2837.

Задачи, которые выполняет ПО, – это аппаратный захват аудиосигнала, предобработка, сопоставление с образцами, принятие решения, формирование уведомления, работа с пользователем. Разработка программного обеспечения выполнена на языке Python.

Программное обеспечение включает в себя управляющий модуль, написанный на языке Python, отвечающий за непрерывный захват и предобработку аудиопотока, полученного непосредственно с микрофонных датчиков. Также в состав ПО входит модуль цифровой обработки и распознавания, в его зону ответственности входит формирование цифровых отпечатков, передача их в нейронную сеть. За отправку уведомлений отвечает модуль обмена, на котором реализован клиент XMPP IoT.

Разрабатываемая система непрерывно фиксирует акустическое окружение посредством HAL-модуля, при этом ключевыми параметрами являются быстродействие и малая ресурсоемкость подсистемы захвата. Обработка через аудиострим непосредственно с HAL не должна вносить задержку в обработку, превышающую 100 мс, применение быстрого преобразования Фурье и анализа превышения порога звука может исключить подсистему предобработки в некоторых пороговых случаях, и сформировать уведомление непосредственно на этапе захвата. Предобработка включает в себя шумоподавление, спектральный анализ, формирование отпечатка аудиосигнала, который в дальнейшем будет сопоставлен с готовыми образцами, полученными на этапе обучения системы. Если аудиосигнал по отпечатку удалось идентифицировать, система формирует уведомление для пользователя, которое включает в себя временные отметки, место и характер сигнала. Сформированное уведомление высылается пользователю через IOT-XMPP клиент, сконфигурированный заранее.

В структуру модуля цифровой обработки и распознавания входят искусственная нейронная сеть (ANN), реализация поставленной задачи включает в себя формирование структуры ANN, обучение тестовыми последовательностями, а также последующую верификацию. Построение структуры ANN выполнено посредством библиотеки PyTorch, использование данной библиотеки обусловлено ее доступностью и большим объемом обучающего материала. При разработке мобильного приложения использовался готовый стандарт для передачи сообщений. В качестве транспорта для передачи данных был использован протокол XMPP. Данное решение обладает рядом преимуществ, в число которых входят: открытость программного кода для написания клиентов и серверных модулей, высокая масштабируемость, наличие плотной сети преднастроенных серверов. Клиентские XMPP приложения для Android и IOS также широко распространены, что позволяет значительно снизить стоимость разработки прототипа. В основе механизма обмена лежит XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) – расширяемый протокол обмена сообщениями и информацией о присутствии, основанный на XML, свободный для использования протокол для мгновенного обмена сообщениями и информацией о присутствии (см. список контактов) в режиме, близком к режиму реального времени. Изначально спроектированный легко расширяемым протокол помимо передачи текстовых сообщений поддерживает передачу голоса, видео и файлов по сети. Когда серверное и клиентское приложения запущены, пользователь имеет возможность конфигурации сервера через клиентскую часть простыми командами чата, это позволяет вручную конфигурировать интервалы уведомлений, приходящих со стороны программно-аппаратного комплекса, а также конфигурировать типы событий, которые могут активировать те или иные уведомления. Данный механизм основан на классе XMPP нотификатор и может быть промасштабирован при переходе от прототипа к разработке реального устройства.

## **МАСКИРОВКА ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ И ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ИХ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*С. Н. ТИМАШКОВ, И. А. БАГАРЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Перевозка вооружения и военной техники железнодорожным транспортом является важной и определяющей составляющей боевой готовности и способности войск выполнять задачи в мирное и военное время. В связи с этим, уязвимость средствами противника перевозимых войск железнодорожным транспортом способствует возникновению чрезвычайных ситуаций и угрозы транспортной безопасности.

Маскировка – комплекс мероприятий по введению противника в заблуждение относительно наличия и расположения войск (сил), военных объектов (целей), их состояния, боеготовности и действий, а также планов командования.

Маскировка достигается:

- сохранением сведений, составляющих государственную тайну;
- скрытым размещением и перемещением войск и объектов с использованием маскирующих свойств местности и условий ограниченной видимости;
- применением табельных средств маскировки, местных материалов, дымов и аэрозолей;
- маскировочным окрашиванием вооружения, техники, объектов;
- демонстративными действиями;
- созданием ложных районов расположения войск;
- применением других приёмов и средств маскировки от всех видов разведки противника; строжайшим выполнением требований маскировочной дисциплины.

Способами маскировки являются:крытие, имитация, демонстративные действия, дезинформация.

Маскировка должна быть активной, убедительной, непрерывной, разнообразной, комплексной.

### **Виды и способы маскировки военной техники и вооружения при их перевозке железнодорожным транспортом**

Основным требованием, предъявляемым к воинским перевозкам, является выполнение их в установленные сроки с обеспечением скрытности и безопасности.

Скрытность перевозок войск достигается посредством:

- сохранения в тайне подготовительных мероприятий и воинских перевозок;
- ограничения круга лиц, привлекаемых к организации и обеспечению воинских перевозок, ознакомления их только с теми сведениями, которые необходимы им для работы;
- соблюдения установленного порядка представления заявок, выполнения заданий на воинские перевозки и правил оформления воинских перевозочных документов, а также режима секретности при ведении переписки и переговоров должностных лиц по вопросам воинских перевозок;
- рассредоточения, укрытия и маскировки войск в районах погрузки (выгрузки, перегрузки), а также в пути следования;
- организации охраны войск при подготовке и выполнении воинских перевозок;
- запрещения личному составу, следующему в воинском эшелоне (транспорте, команде), вести разговоры о перевозке с посторонними лицами, упоминать о ней в личной переписке, а в необходимых случаях – и временного запрещения переписки;
- ограничения выхода личного состава из вагонов на станциях;
- пропуска воинских эшелонов (транспортов) по отдельным участкам с закрытыми дверями и люками вагонов без остановок на станциях.

Маскировка военной техники и вооружения при их перевозке железнодорожным транспортом достигается: маскировочным окрашиванием; применением табельных средств скрытия и имитации.

Маскировочное окрашивание – изменение цвета поверхности вооружения, техники, реальных и ложных сооружений, масок, участков местности и макетов с помощью красок и местных материалов.

К средствам имитации относятся: макеты вооружения, военной техники и местных предметов; табельные маскировочные комплекты; уголковые отражатели; тепловые имитаторы; имитационные патроны; дымовые шашки.

Маскировка перевозки вооружения, военной и специальной техники по железным дорогам достигается погрузкой и выгрузкой их в темное время суток или в других условиях ограниченной видимости, скрытием техники в районах сосредоточения и погрузки, а также на железнодорожных платформах.

Вооружение, военная и специальная техника, сосредоточенные в районах погрузки (выгрузки, перегрузки), располагаются в естественных масках. Погрузка производится с соблюдением требований маскировки.

Установленная на железнодорожном подвижном составе техника маскируется брезентами или табельными маскировочными комплектами, закрепленными на каркасах, искажающих размеры и внешний вид техники. В пути организуется постоянное наблюдение за состоянием маскировочных конструкций и своевременное устранение обнаруженных недостатков.

### **Маскировка объектов железнодорожного транспорта**

Железнодорожные ветки обнаруживаются визуальным наблюдением, фотографированием, телевизионными, радиолокационными и тепловыми средствами. Демаскирующими признаками железных дорог являются узкие светлые полосы рельсов, плавные закругления, телеграфные (контактные) линии.

Маскировка объектов на железной дороге может осуществляться различными приемами и способами в зависимости от наличия сил и средств маскировки: скрытием или искажением внешнего вида отдельных участков дорог, оборудованием ложных дорог.

Для маскировки железных дорог на открытой местности используются различные табельные маскировочные покрытия, убираемые на время движения поездов, срезанной растительностью, которая заменяется по мере увядания, или другими различными местными материалами, а в отдельных случаях и применение дымовых средств. При ликвидации разрушений, восстановленные участки маскируются вновь под разрушенные с помощью наброски «обломков» верхнего строения пути, устройства ложных воронок.

При сооружении железнодорожных обходов целесообразно сочетать сооружение обхода и строительство ложного железнодорожного пути. Специфической особенностью сооружения является непрерывность рабочих процессов, а также маскировка построенного. Строительство ложного объекта позволяет ввести противника в заблуждение.

При устройстве ложной железнодорожной ветки имитируют земляное полотно, балластный слой, шпалы, рельсы, телеграфные столбы. Балластный слой показывают присыпкой (толщиной 2–5 см) песком, опилками или наброской соломы, камыша и других местных материалов, более светлых, чем фон местности.

История знает немало примеров, когда правильно проведенные действия по маскировке решали исход битвы в ту или иную сторону. Безусловно, маскировка является очень важным мероприятием не только в условиях современного боя, успех в котором зависит от того, кто первым обнаружит противника, но и при подготовке и проведении военных операций, а также в повседневной деятельности Вооруженных Сил.

При современных средствах и возможностях вероятного противника по разведке транспортных объектов снижение вероятности их обнаружения может быть обеспечено только при комплексном использовании различных средств и способов маскировки.

УДК 656.2.08

## **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЕЙ**

*А. В. ТОКАРЕВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для развития автомобильного транспорта в современных условиях рыночной экономики и научно-технического процесса необходимо совершенствовать силовые установки автомобилей. Главное направление в улучшении показателей тепловых двигателей (двигателей внутреннего сгорания)

является повышение энергетических и экологических составляющих. Совершенствование рабочих циклов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в последние годы осуществляется применением различных средств, направленных, главным образом, на повышение экономичности и снижение токсичности отработавших газов (ОГ). Рассмотрим некоторые из этих средств:

1 Изменение конструкции. Большинство таких технологий находится все еще на стадии разработки, ожидая финансирования, или внедрены пока только в опытные образцы, для демонстрации своих возможностей. Не одно из данных решений не является панацеей, но каждое из них показывает, насколько меньше мы могли бы использовать топлива, делая автомобили намного эффективнее.

2 Применение альтернативного топлива.

Около трети, добываемой во всем мире нефти, потребляется транспортными ДВС. Стратегия снижения потребления нефти в двигателях предполагает два направления:

– применение бензинов и дизельных топлив с вовлечением новых компонентов и добавок, в том числе не нефтяного происхождения, и использование водородного топлива;

– постепенный переход к наибольшему использованию природных и попутных газов при переработке нефти.

3 Совершенствование системы подготовки горючей смеси. Основная задача для повышения энергоэффективности и мощности двигателя оставить рабочий объем двигателя прежним, но подавать в единицу времени больше топлива. Увеличить подачу топлива несложно, но при этом необходимо обеспечить нормативное соотношение воздуха и топлива в горючей смеси. Двигатель не имеет возможности самостоятельно всасывать воздух, поэтому не обойтись без специального устройства, повышающего давление. Эти устройства называют нагнетателями или компрессорами.

И все таки, постепенно на смену двигателям внутреннего сгорания приходят принципиально другие, экологически безвредные например электрические, но на данном этапе по потребительским качествам ДВС не утратили своей актуальности.

#### Список литературы

1 Гурвич, И. Б. Теория рабочих процессов / И. Б. Гурвич. – Н.-Новг. : Нижегородский политех. инст-т, 1992. – 142 с.

УДК 656.2.08

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ИЗНОШЕННОЙ ТЕХНИКИ

*В. В. ТОМАШОВ, С. В. КИРИК, Б. А. ЖОГОЛЬ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время в СНГ более 35 млн отечественных автомобилей имеют возраст старше трех лет, более 70 % военной автомобильной и специальной техники имеют срок эксплуатации свыше 15 лет и более, что вызывает физическое старение техники, значительный износ деталей в ее механизмах и узлах, и сопровождается большими материальными затратами, связанными с частым обращением в ремонтные предприятия. На данный момент износ является причиной отказов до 80 % узлов и агрегатов машин и оборудования. На сегодняшний день область достижения машиностроения и нефтехимии обеспечили высокую износостойкость узлов трения и оборудования, но возможности дальнейшего совершенствования техники и смазочных материалов требуют нерациональных затрат.

Эффективным приемом в повышении ресурса и износостойкости узлов и агрегатов машин является обеспечение на поверхностях трения деталей ремонтно-восстановительных антифрикционных покрытий триботехническими методами. Эти методы, апробированные многими десятилетиями при проведении технического обслуживания (ТО) машин, позволяют до 2–3 раз увеличить срок службы агрегатов, на 5–20 % уменьшить расход топлива самоходных машин и до 30 % – эксплуатационные затраты.

Введение в масла узлов и агрегатов автомобильной и специальной техники разнообразных химически активных веществ, суспензий частиц природных и искусственных минералов позволяет создать пленочные противоизносные покрытия деталей.

В этом направлении в СНГ и за рубежом возникла инновационная ветвь – «безразборный технический сервис» – повышение работоспособности и ресурса узлов и агрегатов, особенно самоход-

ных машин, введением в их смазку специальных веществ и электрических зарядов. Этот сервис, как часть общей системы ТО и ремонта самоходных машин, отвечает всем периодам их жизненного цикла и может включать: приработку, диагностирование, ввод профилактических трибосоставов, химмотологический тюнинг, очистку систем смазки, топливopодачи, охлаждения и самое главное, восстановления работоспособности изношенных узлов, не имеющих аварийных дефектов, ремонтно-восстановительными составами.

В условиях спада экономики такой сервис станет важной и необходимой потребностью, для удовлетворения которой имеются многие возможности. При незначительных суммарных затратах на трибообработку их регулярное и квалифицированное проведение повышает надежность, экономичность и безопасность эксплуатации изношенной техники. Поэтому безразборный сервис с экспресс-контролем масла «капельной пробе» должен стать регламентным.

Капельная проба для экспресс-оценки моторных масел особенно практична в эксплуатации машин всех отраслей. Это обусловлено, например, тем, что щелочное число, количество и активность присадок в маслах примерно соответствуют моющим свойствам, то есть размерам в нем частиц загрязнений. В «капельной пробе» как раз используются различные проникающей способности разных размер частиц в поры фильтровальной бумаги. Чем больше частицы – тем меньше их проникновение в бумагу, тем меньше размер масляного пятна. Если частицы много больше размера пор бумаги или они скоагулированы, то капля масла на бумаге не растекается вообще. Степень же загрязнения масла проявляется в степени почернения масляного пятна, аварийная обводненность – струйками воды из расплывающегося масляного пятна. Метод очень прост и заключается в следующем. На листок белой фильтрованной бумаги наносят каплю масла и ждут, пока она полностью не расплывется по бумаге. По образовавшемуся пятну характеризуют изменение рабочих свойств масла. Преимуществом данного метода является его высокая чувствительность к определению диспергирующе-стабилизирующих свойств моторного масла, в то время у любого аналитического метода существует ряд ограничений в однозначности постановки диагноза о состоянии служебных свойств.

Российскими ученым доказана трибоэффективность и электрического воздействия на масла на их присадки для повышения адгезии к металлам покачиванием масла в электрическом поле.

Нерегулируемым низковольтным источником тока – электронным регулятором трения (ЭТР), разработанным к.т.н. Любимовым Д. Н. в ИЦ «ЛИК» РФ и апробированным им на большом числе автомобильных ДВС и на других агрегатах, можно катализировать или ингибировать смазочное действие. Использование ЭТР через маслoмерный щуп агрегата.

По результатам испытаний ЭТР может в 1,5–2 раза увеличить ресурс узлов трения со снижением их износа на 25–30 %. В эксплуатации снижение расхода топлива бензиновых, дизельных, газовых ДВС с ЭРТ – 3–4 % достигает 10–12 % снижения выхода СО-СН – на 19 %, что положительно влияет на экологию окружающей среды.

Таким образом, достижения науки и практики позволит разработать эффективные методы повышения ресурса узлов трения изношенной автомобильной и специальной техники, которые увеличивают срок её эксплуатации.

#### Список литературы

1 Козлов, М. Г. Сравнительный обзор автокранов военного назначения Российской Федерации / М. Г. Козлов, С. В. Кирик // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 апреля 2014 г. В 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп., редкол. : А. А. Поддубный [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2014. – Ч. 1. – С. 351–355.

УДК 656.2

### ВОЗМОЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ШПАЛ *GREENRAIL* ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

*Н. А. ЧИРЕЦ, Е. Н. АГИЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожные шпалы, прямоугольные блоки, которые можно увидеть под железнодорожными путями, за многие годы не изменились. Но итальянская компания *Greenrail* стремится встряхнуть это сонное царство своей новой технологией.

Традиционно железнодорожные шпалы были сделаны из дерева или, позднее, из бетона. Оба решения не лишены недостатков. Они не только являются основным источником шума и вибраций, но также требуют дорогостоящего обслуживания. Балластное распыление, боковое смещение и продолжительность жизни – вот набор серьезных проблем, с которыми пришлось столкнуться *Greenrail* (*Greenrail* – это торговая марка, инновационные и устойчивые железнодорожные шпалы: более экологичное решение для железнодорожного сектора).

Решение *Greenrail*, запатентованное в более чем 55 странах, предлагает инновации с внутренним сердечником из предварительно напряженного бетона и наружным слоем, изготовленным из смеси из переработанного пластика и резины от шин с конечным сроком службы. Решение, которое объединяет различные датчики и может производить электричество или собирать солнечную энергию, уже привлекает клиентов по всему миру.

На сегодняшний день бетонные шпалы являются наиболее распространенными, но они обладают рядом технических недостатков, таких как высокие уровни шума и вибрации, связанные с железнодорожным движением, повышенные эксплуатационные расходы, высокая балластная пульверизация и значительное воздействие атмосферных агентов. Существует потребность в изменении, устойчивой инновации с тем, чтобы следовать круговым принципам экономики.

Поэтому шпалы *Greenrail* позволяют:

- повторно использовать пластмассовые и резиновые отходы, внося огромный вклад в решение проблемы обращения с отходами. Это также приводит к техническим улучшениям, таким как лучшая электрическая изоляция, снижение вибрации, шумовая и балластная пульверизация и более продолжительный срок службы. Все эти технические преимущества позволяют снизить затраты на техническое обслуживание примерно в 2–2,5 раза по сравнению с бетонными шпалами;

- интегрировать в свои элементы структуры, такие как пьезоэлектрические модули, солнечные панели и интеллектуальные датчики для сбора энергии и передачи диагностических данных. *Greenrail Piezo* способен производить электричество, в то время как *Greenrail Solar* способен производить и собирать солнечную энергию. Кроме того, благодаря интеграции интеллектуальных датчиков *Greenrail LinkBox* может передавать диагностические данные для повышения безопасности инфраструктуры. Все эти умные шпалы *Greenrail* позволяют перейти от пассивного к активной инфраструктуре;

- шпалы *Greenrail* состоят из внутреннего сердечника в предварительно напряженном железобетоне и внешней оболочке, полученной из смеси резины, собранной из шин с изношенным сроком службы и переработанных пластмасс. Такая уникальная композиция позволяет нам повторно использовать до 35 тонн этих материалов для каждого километра железнодорожной линии.

УДК 385.81

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОСТОВ В УГРОЖАЕМЫЙ ПЕРИОД

Д. В. ШАМКИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Восстановление мостов – комплекс технических и организационных мероприятий, проводимых на местности для возобновления движения и эксплуатации, прерванных разрушениями. В зависимости от технических требований, применяемых конструкций и срока службы восстановленных сооружений и устройств различают краткосрочное, временное и капитальное восстановление мостов. Краткосрочное восстановление рассчитано на эксплуатацию восстановленных сооружений в течение ограниченного времени. При этом используются в основном местные материалы, упрощенные и облегченные конструкции, инвентарное имущество.

Для налаживания краткосрочного водоснабжения применяют передвижные агрегаты, оборудование пунктов набора воды на разъездах, перегонах и мостах. При восстановлении линий связи используют полевые кабели, радиосредства. Линии прокладывают в каналах уменьшенных размеров с увеличением пролётов между опорами. Временное восстановление мостов рассчитывается на непрерывную и безопасную эксплуатацию в течение продолжительного времени и обеспечение необ-

ходимой пропускной способности в этот период. При восстановлении мостов используют сборно-разборные надстройки опор на свайных, лежневых, ряжевых фундаментах, уцелевшие части разрушенных сооружений, пакетные и сборно-разборные пролётные строения.

Для увеличения темпов восстановления работы развёртывают на широком фронте использованием средств механизации, блочных конструкций. Восстановление обычно ведут по типовым проектам и разработанным технологическим правилам и картам. При капитальном восстановлении применяют нормы и технические требования на строительство, принятые для мирного времени.

В комплекс работ входят: техническая разведка, разминирование (при необходимости дезактивация и дегазация), изыскания, заготовка материалов и конструкций, сосредоточение в местах восстановления необходимых средств, восстановление разрушенного земляного полотна, возведение искусственных сооружений, верхнего строения пути, прокладка линий связи, восстановление водоснабжения, обходов, а также охрана и оборона восстанавливаемых объектов. Малые мосты, как правило, восстанавливаются на прежней оси. Перед восстановлением мостов на прежней оси производят расчистку русла реки от разрушенных конструкций, затем восстанавливают опоры и сооружают новые, поднимают обрушенные пролётные строения и устанавливают новые, укладывают мостовое полотно. При восстановлении на обходе возводится новый мост с подходами. В разрушенных тоннелях расчищают завалы, а затем восстанавливают повреждённую часть или заменяют её обходом. На земляном полотне сначала также расчищают завалы, затем заделывают воронки и бреши, ликвидируют оборонительные сооружения.

При капитальном восстановлении моста и последующем введении его в эксплуатацию требуется ряд мероприятий по обследованию и испытаниям моста. Обследования и испытания мостов должны выполняться специализированными организациями в области мостостроения, оснащенными необходимой приборной базой и имеющими в своем составе квалифицированных и опытных специалистов. Обследования технического состояния больших мостов проводятся не реже 1 раза в 5 лет, остальных мостов и труб – не реже 1 раза в 10 лет. Обследования и испытания мостов и труб предназначены для выявления дефектов, оценки технического состояния сооружений и назначения режима их эксплуатации. Обследования могут проводиться как самостоятельный вид работ (без проведения испытаний). Испытания и обкатку сооружений допускается выполнять только после выполнения обследования и с учетом полученных результатов.

Для решения отдельных вопросов, возникающих при проведении обследований и испытаний, по предложению организации, выполняющей обследование, заказчик должен привлекать к совместной работе организации, осуществляющие специальные виды работ (водолазные станции, лаборатории и т. д.). Привлеченные организации должны работать под общим методическим руководством организаций, выполняющих обследования, а полученные в результате проведенных работ данные должны учитываться при принятии решений о техническом состоянии сооружений. Испытаниям при приемке в эксплуатацию, как правило, должны подвергаться мосты с опытными и впервые применяемыми конструкциями. Испытания других вводимых в эксплуатацию мостов (имеющих большие пролеты, а также большую повторяемость основных несущих элементов) могут проводиться по решениям приемочных комиссий, по требованиям проектных и эксплуатационных организаций, а также в связи с выполнением соответствующими организациями научно-исследовательских и опытных работ. Необходимость проведения испытаний в таких случаях должна быть обоснована. Вводимые в эксплуатацию и не подвергаемые испытаниям железнодорожные мосты и мосты под пути метрополитена, а также автодорожные мосты под нагрузки АБ (автомобили особо большой грузоподъемности) должны быть обкатаны. Испытания эксплуатируемых сооружений должны проводиться в случаях, когда решение вопросов, связанных с эксплуатацией сооружений, не может быть получено только расчетным путем по данным обследований. Необходимость проведения испытаний эксплуатируемых мостов обосновывается организациями, осуществляющими обследование сооружения. Решение о проведении испытаний принимает организация, на балансе которой находится сооружение. Подготовительные работы, связанные с проведением обследований и испытаний (устройство временных подмостей и смотровых приспособлений с выделением необходимых материалов и рабочей силы, предоставление испытательной нагрузки, регулирование движения по мосту и под мостом в период испытаний, заделка мест отбора проб, отрывка шурфов и др.), должны выполняться: на вводимых в эксплуатацию сооружениях – строительной организаци-



ей, возводившей объект; на эксплуатируемых сооружениях – организацией, на балансе которой находится объект.

При обследовании эксплуатируемых мостов работы должны выполняться при наличии технических средств организации дорожного движения в соответствии с ТКП. Средства испытаний, измерений и контроля, применяемые при обследованиях и испытаниях мостов, должны быть подвергнуты своевременной поверке в установленном порядке и соответствовать ТНПА по метрологическому обеспечению. Использование при обследованиях и испытаниях нестандартных приборов допускается, если по их применению имеются методические указания, утвержденные в установленном порядке. При выполнении работ по обследованиям и испытаниям мостов следует руководствоваться требованиями охраны труда по ТКП 45-1.03-40 и ТКП 45-3.03-60-2009. Обследования и испытания мостов и труб, как правило, следует проводить при благоприятных погодных условиях, когда имеются условия для осмотра всех частей сооружения, не нарушается работа устанавливаемых измерительных приборов, нет препятствий для безопасного передвижения испытательной нагрузки, при соблюдении правил и требований охраны труда. Запрещается проведение испытаний при температуре наружного воздуха ниже минус 20 °С и обследований – при температуре воздуха ниже минус 30 °С. При обследованиях и испытаниях не допускается выполнять работы на высоте при скорости ветра более 15 м/с, при гололедице, грозе или тумане, исключающем видимость в пределах фронта работ. При обнаружении во время производства работ повреждений и дефектов, которые могут привести к резкому снижению грузоподъемности моста или обрушению конструкций, следует немедленно сообщить об этом эксплуатирующей организации и заказчику работ.

#### Список литературы

- 1 ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. – Минск : Стройтехнорм, 2009. – 29 с.
- 2 **Этин, Е. М.** Испытания железнодорожных мостов / Е. М. Этин. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 32 с.

УДК 656.2.022.846.08

## БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

*А. С. ШИПИЛЁВ, В. И. ГУРИНОВИЧ, Я. В. ШУТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Аварии на высокоскоростных линиях происходят гораздо реже по сравнению с традиционными сетями, хотя два недавних крушения в Европе показывают, что они не являются безошибочными. Чему можно научиться из этих крушений и как глобальные операторы работают над тем, чтобы всегда быть на опережение, когда дело доходит до безопасности?

Авария на севере Италии в окрестностях города Лоди потерпел крушение высокоскоростной поезд Фречиаросса, следовавший из Милана в Солерно. При сходе с рельсов два вагона перевернулись. Погибли два машиниста, 28 пассажиров пострадали. Аварии 7 и 14 июля 2020 года в Чехии, унесшие жизни 5 человек и около 54 раненых. Египет, 26 марта, 18 апреля 2021 года – столкновение поездов, 27 человек погибли и около 285 получили травмы.

Аварии не являются новинкой для железнодорожной отрасли. За свою многовековую историю этот сектор часто становился свидетелем крушений поездов, аварий и несчастных случаев, которые иногда оказывались смертельными для его пассажиров. Сигнализация сбоев, экстремальные погодные условия и неисправные системы – это лишь некоторые из причин этих катастроф, которые часто даже не происходят с высокой скоростью.

По сравнению с традиционными системами относительно недавнее внедрение высокоскоростных железных дорог настолько хорошо защитило своих пассажиров, что, когда случается авария, это еще более примечательно из-за нехватки прецедентов.

### **Железнодорожная сеть никогда не может быть полностью безопасной**

В этом смысле, высокоскоростные поезда можно сравнить с компьютерными системами, которые постоянно обновляются на основе ошибок и других неисправностей. Но поскольку количество несчастных случаев со смертельным исходом, которые привели к сходу с рельсов или остановке поезда, существует много других уровней предотвратимых или предотвращенных и

менее трагичных несчастных случаев, которые на самом деле преподносят уроки, и именно так обновляется программное обеспечение.

В то время как расследования в Италии недавно были приостановлены в результате пандемии коронавируса, ранние выводы по аварии во Фречиаросса, похоже, указывают на то, что «человеческая ошибка» (якобы неправильное отображение следов некоторыми техниками) могла привести к сходу с рельсов.

#### **Человеческие ошибки и «ирония автоматизации»**

Таким образом, ключевым выводом из аварии является роль человеческого вмешательства и степень, в которой оно должно быть привлечено к ответственности, когда речь заходит о безопасности.

Более того, в то время как операторы-люди по-прежнему играют существенную роль в работе с традиционными системами, их занятость в системах высокоскоростных железных дорог Японии (далее – HSR) постепенно сокращается.

#### **Роль внешних факторов**

Хотя это и не имеет решающего значения для схода с рельсов Фречиаросса, внешние факторы, такие, как неблагоприятные погодные условия и стихийные бедствия, становятся все более серьезной проблемой для операторов высокоскоростных магистралей по мере того, как изменение климата усиливает свое влияние на мир.

В частности, ранее в марте 2020 года скоростной поезд сошел с рельсов на юге Франции в результате оползня, в результате чего более 20 человек получили ранения. Последняя, из постоянно растущего списка, авария во Франции является симптомом постоянного воздействия сетей на непредсказуемые природные события и более высокой степени риска.

Некоторые сети уже инвестируют значительные средства в развитие устойчивости и профилактических мер. Ярким примером является Япония, являющаяся лидером в этой области, из-за своего географического положения, где часто происходят землетрясения и с которыми трудно справиться.

Здесь меры по предотвращению несчастных случаев включают системы экстренного торможения и дорожные сигналы, которые могут обнаружить препятствие.

#### **Список литературы**

1 Safety on high-speed rail: preventing disaster at hundreds of miles per hour [Электронный ресурс] / Railway technology – Режим доступа : <https://www.railway-technology.com/features/safety-on-high-speed-rail/> – Дата доступа : 19.09.2021.

УДК 625.11

## **АНАЛИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ СТРАНАМИ НАТО**

*Н. И. ЮРАСЮК, В. В. ЗМИЕВСКИЙ, А. С. ШИПИЛЁВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Развитие железных дорог служит мощным импульсом прогресса соответствующих отраслей в экономике страны. Однако закрытие даже небольшого участка железнодорожной линии может привести к необратимым последствиям – убыткам в несколько миллиардов долларов. Причин может быть несколько и в рамках страны они приобретают характер чрезвычайных ситуаций. Рассмотрев за прошедшие десятилетия ряд чрезвычайных ситуаций – техногенных катастроф, природных явлений в странах Северо-Атлантического альянса, приведем некоторые случаи, которые доказали необходимость наличия специальных планов-алгоритмов, как при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций, так и при восстановлении путей сообщений.

Обрушение нового туннеля в Раштатте в августе 2017 года и последующее закрытие линии Карлсруэ – Базель привело к просадке дороги наверху, в результате чего работа на главной линии между Германией и Швейцарией резко остановилась.

Линия составляет неотъемлемую часть Европейского железнодорожного грузового коридора Рейн-Альпин, который проходит от портов Северного моря Роттердама, Зебрюгге, Антверпена, Ам-

стердама и Влссингена до промышленных центров Северной Италии и порта Генуя. Коридор является наиболее промышленно развитым маршрутом с севера на юг в Центральной Европе, соединяющим Нидерланды, Бельгию, Германию, Швейцарию и Италию.

Срыв движения в Раштатте подчеркивает необходимость наличия планов действий в чрезвычайных ситуациях, основанных на надежном управлении рисками. Для каждой основной железнодорожной магистрали должны быть заранее определены альтернативы, которые должны разрабатываться и постоянно обновляться вместе с железнодорожными предприятиями и мультимодальными партнерами, такими как операторы перевозочных железнодорожных компаний, железнодорожные автомобильные терминалы, частные подъездные пути, морские порты и службы внутреннего судоходства. Необходимо учитывать пропускную способность: железнодорожная линия с 200 грузовыми поездами в день должна предлагать альтернативные маршруты не менее 75 % от нормального объема.

Должны быть доступны альтернативные пути отклонения от маршрутов коридора на случай нарушения дорожного движения. Их необходимо указать заранее. Отводные маршруты должны иметь характеристики, особенно с точки зрения габаритов погрузки, осевой нагрузки, длины поездов и электрификации, которые позволяли бы отклонять поезда без отрицательного воздействия на качество железнодорожных услуг.

В то время как некоторые формы бедствий, такие как землетрясения, невозможно точно спрогнозировать, другие можно предсказать, наблюдать и подготовиться к ним. В июле 2018 года компания Швейцарские федеральные железные дороги (SBB) поручила компании Altametris, эксплуатирующей дроны, провести валидацию новых технологических методов обнаружения, моделирования и предотвращения стихийных бедствий, таких как оползни. Данный вид бедствия является характерным для большинства стран, входящих в блок НАТО.

Испытания проводились на склоне горы высотой 500 м и длиной 900 м с видом на город Бриенц в Швейцарских Альпах, который перемещается в среднем на 1–10 мм в день с регулярными каменными обрывами. Хотя SBB не имеет инфраструктуры, которой сразу угрожает неустойчивый склон, исключительная скорость движения сделала его идеальным местом для быстрой оценки и проверки новой технологии.

В июле прошлого года команда, состоящая из старшего пилота дронов с 15-летним опытом работы и специалиста по топографической геометрии, специализирующегося на 3D-технологиях, смогла параметризовать технологию LiDAR (обнаружение света и дальность) и проверить качество данных в полевых условиях. Исследование было проведено с использованием многороторного беспилотного летательного аппарата. Затем команда построила 3D-модель высокой плотности с почти 1000 точек на квадратный метр, в результате чего была проведена детальная съемка местности с записью 2D-модели склона с точностью до сантиметра.

По словам главы компании Altametris этот тип технологии позволит менеджерам инфраструктуры и другим лицам, ответственным за территорию вокруг железной дороги, анализировать малейшее движение и планировать конкретные корректирующие действия. Несмотря на прогресс в области технологий, планирования и политики, угроза бедствий сохранится. Тем не менее железные дороги будут и дальше искать новые и инновационные способы обеспечения максимально бесперебойной работы.

Также следует отметить опыт американской транспортной компании – Metropolitan Transit Authority (MTA), извлекающей уроки из прошлого опыта, чтобы создать систему, которая будет более надежной и устойчивой к бедствиям.

Когда в октябре 2012 года надвигался ураган Сэнди, МТА использовала на практике методы, применяемые при урагане Ирена годом ранее и рождественской метели 2010 года. Власти закрыли метро, пригородные железнодорожные линии, туннели и мосты, а также переместили оборудование на возвышенность. Компания New York City Transit (NYCT) также закрыла входы на станции и вентиляционные решетки, чтобы минимизировать затопление, обеспечила железнодорожные переезды и использовала 1200 листов фанеры и 15 000 мешков с песком для установки временных барьеров от наводнений по всей системе.

Масштабы наводнения по-прежнему были значительными: примерно 227 миллионов литров воды затопили туннель Хью Л. Кэри, 102 миллиона литров воды – тоннель Монтегю и 26 миллионов литров соленой воды заполнили тоннель метро 14th Street – Canarsie. Однако 80 % метро было восстановлено в течение пяти дней, а большая часть пригородных поездов к западу от Гудзона заработала в течение недели.

Вывод: следует создать структуру для повседневной координации между национальными управляющими инфраструктурой, железнодорожными предприятиями, терминалами, операторами и клиентами в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Необходимо разработать планы управления кризисными ситуациями на случай крупных сбоев в будущем, а в случае сбоев необходимо незамедлительно назначить группу по координации действий в чрезвычайных ситуациях. Также должна быть эффективная связь в режиме реального времени со всеми затронутыми пользователями, и должен быть создан чрезвычайный фонд.

УДК 624.21/.8''321/324''

## **ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ МОСТОВ И ПЕРЕПРАВ В РАЗЛИЧНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА**

*Д. В. ЯКУНИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Задачи, выполняемые при эксплуатационном содержании мостов в различные сезоны года, по своему характеру в основном такие же, как и для ВАД в целом, но имеют ряд особенностей. Содержание и объем мероприятий, выполняемых при эксплуатации мостов, зависят от вида и конструкции моста (переправы), времени года, погодно-климатических условий, воздействия противника, наличия времени, сил и средств. Наибольшей трудоемкостью отличается эксплуатационное содержание деревянных мостов и паромных переправ. Особенно осложняется содержание мостов в период паводков, ледоходов, а также в зимнее время.

В ходе эксплуатации табельных разборных автодорожных мостов производят поддержание в чистоте стальной проезжей части и ее ремонт, подбивку штырей и подтягивание болтов, содержание в исправном состоянии въездов. Ведут постоянное наблюдение за осадкой фундаментов опор и величиной их размыва.

Проезжую часть деревянных мостов очищают от грязи и снега вручную лопатами или скребками. Стальную проезжую часть разборных и понтонных мостов промывают водой (но не зимой!), используя поливочные машины или мотопомпы. Снег и наледь убирают с проезжей части вручную или с помощью навесного бульдозерного оборудования и щеток поливочных машин. Изношенный защитный настил деревянных мостов заменяют в перерывах движения. Материал для ремонта заготавливают заблаговременно в ходе постройки моста или его эксплуатации.

Последствия огневого воздействия противника по мостам ликвидируют, используя резерв конструкций. Если повреждения моста значительны, командир подразделения, назначенного для содержания или охраны моста, доносит об этом вышестоящему командованию, не прекращая выполнения мер по ремонту моста. Один-два раза в месяц (в зависимости от важности моста), а также после пропуска ледохода, паводка или огневого воздействия специально выделенный офицер проводит осмотр моста: проверяет выполнение мероприятий повседневного наблюдения, качество ремонта (усиления, восстановления), выявляет необходимость дополнительных ремонтных работ, а также инструктирует лиц, ведущих повседневное наблюдение.

Содержание мостов и переправ в периоды паводков и ледохода. Ледоход бывает осенний и весенний. Действие льда на мостовые сооружения проявляется по-разному. Так, осенью с понижением температуры воздуха на реках возникает тонкий ледяной покров, а также движущиеся по течению мелкие ледяные частицы, называемые шугой. Шуга вызывает истирание подводной части мостов, особенно деревянных и из табельных понтонных парков. Скопление шуги у мостов и в русле может вызвать подъем уровня воды, создавая так называемые зажоры. Прорыв зажоров приводит к подмыву опор и даже сносу моста. Удары отдельных льдин по опорам моста в период осеннего ледохода менее опасны, так как скорости движения льдин и их размеры меньше, чем при весеннем ледоходе.

При весеннем ледоходе наблюдаются пльвущие корчи, деревья и другие предметы. Кроме непосредственного разрушительного воздействия ледохода и образования заторов перед мостами происходит подмыв опор, ледорезов, насыпей подходов и дамб регуляционных сооружений.

Объем работ по эксплуатационному содержанию мостов в периоды ледохода и паводков зависит от интенсивности ледохода, уровня паводка, конструкции опор и пролетных строений военных мостов. Основу содержания мостов в этот период составляет защита мостов при пропуске ледохода и паводковых вод. В целях определения мероприятий по защите, потребных сил и средств за 20–30 дней до начала ледохода организуется дорожная разведка. Состав разведывательной группы зависит от длины моста, сроков разведки и включает обычно от отделения до взвода во главе с офицером.

План мероприятий по защите моста от ледохода и паводка обычно включает выполнение следующих задач: выделение подразделений для защиты моста от ледохода и паводка; подготовка района расположения подразделений; снабжение подразделений необходимыми средствами, материалами и ВВ, их хранение; ремонт и усиление опор и ледорезов, устройство на них площадок для работы личного состава команд, пропускающих лед и другие предметы под мостом; расчистка русла от предметов, способствующих образованию заторов; удаление или закрепление вмерзших в лед предметов, разработка ледяного покрова; организация дополнительных речных застав; работы, выполняемые в период ледохода.

Ледоходу предшествует подъем ледяного покрова, который создает опасность выдергивания свай. Чтобы избежать этого, а также воздействия на опоры первой подвижки льда, вокруг опор и ледорезов производят сколку льда и устраивают борозды шириной 0,5–1 м. Их располагают как можно ближе к элементам моста и до начала ледохода держат во вскрытом состоянии, предохраняя от замерзания слоем снега, опилок, торфа, хвороста и т. д. На реках с интенсивным ледоходом разрабатывают майны на ширину русла реки у моста и не менее  $1/3$ – $1/4$  ширины русла выше и ниже по течению. Под мостом лед разрабатывают бензиномоторными пилами или вручную, а вне моста – взрывным способом. Для подрывания льда заряды ВВ погружают.

Низководные мосты перед ледоходом, как правило, разбирают. Допускается эксплуатация низководных мостов в период ледохода при толщине льда менее 15 см, если уровень ледохода проходит ниже верха насадок не менее чем на 0,5 м. Для защиты опор в этих случаях устраивают плоские ледорезы или устанавливают с верховой стороны моста наклонные бревна («слизы»), одним концом упирающиеся в дно водотока, а другим присоединяемые к насадкам опор штырями и скобами и усиленные подкосом.

Для пропуска волн попуска от разрушенных гидротехнических сооружений необходимо разобрать пролетные строения и надстройки опор. При невозможности разборки следует закрепить пролетные строения тросовыми оттяжками за берега, укрепить насыпи подходов всеми имеющимися в наличии материалами. После пропуска волн попуска определяют повреждения моста и принимают меры к ремонту. Все эти мероприятия обеспечат надежную эксплуатацию военного моста в различные сезоны года.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кулаженко Ю. И.</i> Приветствие участникам конференции .....	3
<b>6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ</b>	
<i>Атрошко Е. К., Дралова И. П.</i> Геодезические работы при вертикальной планировке площадок и линейных объектов .....	4
<i>Беспалова М. В.</i> О долговечности отмотки .....	5
<i>Васильев А. А.</i> Оценка начальной карбонизации бетона защитного слоя железобетонных элементов и конструкций .....	7
<i>Васильев А. А., Кабышева Ю. К., Леонов Н. А., Седун Е. В.</i> Оценка времени карбонизации бетона защитного слоя железобетонных элементов для агрессивных условий эксплуатации .....	9
<i>Диулин Д. А., Кузнецова М. Г.</i> Анализ прочности вертикальных стволов шахт на основе конечноэлементного моделирования .....	11
<i>Доломанюк Р. Ю.</i> Прогнозируемые показатели степени карбонизации по предельным состояниям железобетонных элементов .....	13
<i>Евстратенко А. В.</i> Новый взгляд на интерьерные решения общественных пространств в условиях пандемии .....	14
<i>Игнатов С. В.</i> Влияние методологии лабораторного определения сопротивления пенетрации на получаемое значение несущей способности грунта .....	16
<i>Карамышев А. А.</i> Эстетические особенности формирования колористических решений визуальной городской среды (на примере г. Гомеля) .....	18
<i>Ковтун В. А., Пасовец В. Н., Лодня В. А.</i> Непрерывный мониторинг инженерных конструкций для предупреждения чрезвычайных ситуаций .....	20
<i>Коднянко Е. В., Черноус Д. А.</i> Расчет контактных напряжений в опорах качения .....	22
<i>Козунова О. В., Дудорга В. А.</i> Нелинейный расчет составных плит дорожного покрытия на основании Винклера .....	24
<i>Козунова О. В., Сирош К. А.</i> Статический нелинейный анализ регулярной системы перекрестных балок на упругом основании в объектах транспортного комплекса .....	26
<i>Котов Ю. Н.</i> Сравнительный расчет балочной плиты на разных моделях упругого основания при условии ограничения её осадок .....	28
<i>Кракова И. Е., Якубович О. И., Карабаев А. М.</i> Конечноэлементное моделирование строительных конструкций с учетом температурных деформаций .....	29
<i>Кумашов Р. В.</i> Нелинейный расчет железобетонных плит покрытия автомобильных дорог на упругом основании .....	31
<i>Невейков А. Н.</i> Необходимость и методы контроля сплошности буронабивных свай .....	33
<i>Ржевуцкая В. А., Москалькова Ю. Г.</i> Дисперсное армирование стальной фиброй керамзитобетона .....	35
<i>Руденкова И. В.</i> Архитектурное перепрофилирование общественных зданий .....	37
<i>Свирская М. В.</i> Керамзитобетон, армированный полипропиленовой фиброй .....	39
<i>Ташикинов А. Г.</i> Оптимизация составов легких крупнопористых бетонов .....	41
<i>Харлап А. С., Козунова О. В.</i> Обобщение метода перемещений для расчета балок на основании Винклера..	43
<i>Чернюк Н. В., Яшина Т. В.</i> Повышение долговечности бетонов и растворов в транспортном строительстве	44
<i>Чудинов С. А., Байц О. Н.</i> Повышение надежности лесовозных дорог в условиях изменения климата .....	46
<i>Шимановский А. О., Дьяков Д. В., Чирта П. П.</i> Разработка моделей проектируемых конструкций приводов эскалаторов метрополитена .....	48
<i>Щеглова А. В.</i> Актуальные проблемы при реконструкции учреждений дошкольного образования в Республике Беларусь .....	49
<i>Яньшина Е. Е., Прасол В. М.</i> Проблемы строительства высотных зданий в условиях плотной городской застройки .....	51
<b>7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК</b>	
<i>Белоус А. Н.</i> Особенности применения «интерьерной» навигации на железнодорожных вокзалах .....	53
<i>Белоус А. Н., Кулаженко А. Ю.</i> Особенности применения технических средств по обеспечению транспортной безопасности на железнодорожных вокзалах .....	56
<i>Ван Юйбянь.</i> Консолидация пассажиропотоков при организации высокоскоростного движения поездов....	58
<i>Васильев С. М., Мамрукова М. А.</i> Плацкартный вагон с модернизированным интерьером .....	60
<i>Власюк Т. А.</i> Ретроспективный анализ теорий и методов определения подвижности населения городов в начале XX века .....	61

<i>Власюк Т. А.</i> Сравнительный анализ методик по определению подвижности населения городов и их пригородных зон в середине XX века .....	62
<i>Власюк Т. А., Гончарова Л. А.</i> Особенности применения турникетов для обеспечения безопасности пассажиров на железнодорожных вокзалах в Российской Федерации .....	63
<i>Власюк Т. А., Цзэн Сяньфэн.</i> Особенности распределения пассажиропотоков на железнодорожных вокзалах Гуанчжоу .....	65
<i>Жукалов В. И.</i> Подготовка водителей пожарной аварийно-спасательной техники на урбанизированной территории .....	68
<i>Завьялова С. В., Завьялова А. А.</i> Проводник как гарант безопасности перевозки пассажиров .....	69
<i>Иванов С. В., Копытков В. В.</i> Особенности организации работы спецтранспорта на перроне и пассажирской платформе железнодорожного транспорта .....	71
<i>Капский Д. В., Кузьменко В. Н., Мозалевский Д. В., Коржова А. В., Красильникова А. С., Карасёва М. Г., Кустенко А. А.</i> Внедрение плана устойчивой мобильности для создания симбиотического города .....	72
<i>Капский Д. В., Кузьменко В. Н., Мозалевский Д. В., Красильникова А. С., Карасёва М. Г., Кустенко А. А.</i> Исследование подвижности населения симбиотического города .....	74
<i>Капский Д. В., Кузьменко В. Н., Мозалевский Д. В., Красильникова А. С., Карасёва М. Г.</i> Эффективность транспортной системы симбиотического города .....	76
<i>Капский Д. В., Кузьменко В. Н., Мозалевский Д. В., Красильникова А. С., Карасёва М. Г., Кустенко А. А.</i> Исследование мнения жителей городов Полоцка и Новополоцка по вопросам удовлетворенности от реализации транспортных мероприятий по устойчивой мобильности .....	77
<i>Капский Д. В., Кузьменко В. Н., Мозалевский Д. В., Коржова А. В., Красильникова А. С., Карасёва М. Г., Кустенко А. А.</i> Оценка транспортных передвижений в симбиотическом городе .....	80
<i>Капский Д. В., Скирковский С. В.</i> Методические подходы к построению сети городского маршрутного пассажирского транспорта .....	82
<i>Ковшар Д. М., Копытков В. В.</i> Обобщение опыта работы водителей спецтранспорта в городских условиях .....	85
<i>Кулаженко Ю. И., Власюк Т. А.</i> Особенности применения портфолио-анализа для оценки безопасности пассажирских перевозок на различных видах транспорта .....	86
<i>Мельник Т. С., Христофор О. В., Красноштан А. М.</i> Роль транспортно-пересадочных комплексов в повышении безопасности пассажиров .....	87
<i>Михальченко А. А.</i> Функциональные особенности железнодорожных пассажирских перевозок в XXI веке .....	89
<i>Михальченко А. А., Горяинова Т. В.</i> Современные аспекты получения доходов от выполнения железнодорожных пассажирских перевозок в Украине .....	91
<i>Михальченко А. А., Коцул В. С.</i> Особенности инновационного развития железнодорожных пассажирских перевозок .....	93
<i>Михальченко А. А., Яннис Н. Г.</i> Особенности обеспечения безопасности железнодорожных пассажирских перевозок .....	95
<i>Николаев К. Ю.</i> Подвижной состав в пассажирских бимодальных транспортных системах «трамвай-поезд»: требования безопасности .....	97
<i>Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Сидраков А. А.</i> Особенности прогнозирования пассажиропотоков на высокоскоростных магистралях .....	99
<i>Позднякова Л. А., Дейнека А. Г., Котик В. В., Котик В. А.</i> Экономическая безопасность транспортной инфраструктуры в условиях коронавирусной пандемии .....	100
<i>Сергеева Т. Г., Кизляк О. П.</i> Аутсорсинг управления рисками при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом .....	102
<i>Сергеева Т. Г., Кизляк О. П.</i> Эффективность применения аутсорсинга при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом .....	105
<i>Ходоскина О. А., Гусева Е. А.</i> Роль экономической составляющей в инновационном развитии железнодорожного транспорта .....	107
<i>Ходоскина О. А., Писарева А. С.</i> Современные тенденции в использовании технологического ресурса предприятий железнодорожного транспорта .....	109

## **8 ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

<i>Абдукадиров Ф. Э.</i> К расчету напряженно-деформированного состояния элементов инженерных конструкций – ригеля на ANSYS .....	111
<i>Абдусаттаров А., Рузиева Н. Б.</i> Модели деформирования магистральных трубопроводов типа цилиндрической оболочки .....	113
<i>Абросов Ю. Ю., Максимюк В. А., Чернищенко И. С.</i> О методике решения физически нелинейных задач статики длинных ортотропных цилиндрических оболочек эллиптического сечения .....	115

<i>Аксёнов В. А., Кокин С. М., Силина Е. К.</i> Практикум для обучения специалистов по контролю и надзору в сфере безопасности на транспорте и в промышленности.....	116
<i>Бабайцев А. В., Лопатин С. С.</i> Исследования пантографических материалов и конструкций на их основе. .	118
<i>Бабайцев А. В., Соляев Ю. О., Чан Куэт Тханг.</i> Исследование динамических свойств композиционных материалов на основе титана.....	119
<i>Бабайцев А. В., Фозилов Т. Т.</i> Исследование влияния эффекта модифицирования индием на силумины.....	119
<i>Бабайцев А. В., Зайцев А. А.</i> Исследование металлокомпозитных конструкций .....	120
<i>Бабайцев А. В., Добрянский В. Н., Кривень Г. И., Орехов А. А.</i> Подход к оценке демпфирующих свойств композитов с вискеризованными волокнами .....	121
<i>Барулина М. А., Галкина С. А., Кондратов Д. В., Изнаулов И. А., Сидорова М. А.</i> Построение модели чувствительного элемента нанодатчика на основе новой модифицированной теории парных напряжений .	121
<i>Большаков Р. С., Каргапольцев С. К., Елисеев С. В.</i> Настройка динамического состояния технических объектов при помощи составных элементов .....	123
<i>Вахтерова Я. А., Федотенков Г. В.</i> Обратная нестационарная задача по идентификации нагрузки, воздействующей на балку Бернулли конечной длины.....	125
<i>Горохова М. В.</i> Определение несущей способности тонкостенных панелей под действием поперечной нагрузки .....	126
<i>Данилин А. Н., Жаворонок С. И., Курбатов А. С.</i> Об одном подходе к решению задач о больших деформациях гибких неоднородных оболочек .....	127
<i>Дедова Д. В., Мартиросов М. И.</i> Поведение трехслойной панели с внутренними дефектами под действием динамической нагрузки .....	128
<i>Елистратова О. В., Кондратов Д. В., Плаксина И. В., Кондратова Ю. Н.</i> Параллельные вычисления в задачах гидроупругости соосных оболочек .....	129
<i>Жаворонок С. И.</i> Об уравнениях совместности деформаций и постановках задач в обобщенных усилиях теории оболочек с фазово-структурными переходами.....	130
<i>Жаворонок С. И., Курбатов А. С.</i> О различных формах уравнений движения и дисперсионных соотношениях в теории неоднородных оболочек $n$ -го порядка .....	132
<i>Захарчук Ю. В., Курчева К. А.</i> Анализ прочностных характеристик сэндвич-панелей при эксплуатационной нагрузке.....	133
<i>Зверев Н. А., Земсков А. В.</i> Метод эквивалентных граничных условий в моделировании механо-диффузионных процессов в цилиндрических телах .....	135
<i>Земсков А. В., Тарлаковский Д. В.</i> Нестационарные упругодиффузионные колебания пластины Тимошенко ..	137
<i>Земсков А. В., Хао Ле Ван.</i> Постановка задачи о нестационарных термоупругодиффузионных колебаниях балки Бернулли – Эйлера .....	139
<i>Каримов А. М.</i> Колебания упругого слоистого композита периодической структуры .....	141
<i>Козел А. Г.</i> Влияние температуры на изгиб упругой круговой трехслойной пластины на основании Пастернака.....	143
<i>Кочетков А. В., Модин И. А.</i> Численное моделирование внутреннего взрывного нагружения трехслойной цилиндрической оболочки с рулонированным пакетом металлических сеток .....	145
<i>Кузнецова Е. Л.</i> Численные решения обратных коэффициентных задач теплопереноса в анизотропных композиционных материалах с определением компонентов тензора теплопроводности .....	147
<i>Кулаженко Ю. И.</i> Полуабелевость, самосовмещения и родственные преобразования .....	148
<i>Куценкова Л. С.</i> Эффективность замены металлических изделий на пластмассовые .....	149
<i>Леоненко Д. В., Плескачевский Ю. М.</i> Локальное нагружение круговой сэндвич-пластины ступенчато-переменной толщины .....	151
<i>Локтева Н. А., Сердюк Д. О., Скопинцев П. Д.</i> Нестационарная динамика шарнирно опертой анизотропной цилиндрической оболочки Кирхгофа – Лява.....	152
<i>Маркова М. В.</i> Сравнение различных инерционных математическим моделям динамического деформирования круговых трёхслойных пластин .....	154
<i>Мартиросов М. И., Дедова Д. В.</i> Численное исследование деформирования и разрушения многослойной пластины из однонаправленного полимерного композиционного материала при наличии расслоений различной формы .....	155
<i>Медведский А. Л., Мартиросов М. И., Хомченко А. В.</i> Поведение элементов конструкций из полимерных композитов с отклонениями при нестационарных воздействиях .....	157
<i>Мейш В. Ф., Мейш Ю. А., Корниенко В. Ф.</i> К вопросам постановки и численного решения динамических задач конических оболочек некругового сечения .....	159
<i>Мир-Салим-заде М. В.</i> Обратная упругопластическая задача для пластины, усиленной регулярной системой стрингеров .....	161
<i>Михайлова Е. Ю., Тарлаковский Д. В., Федотенков Г. В.</i> Нестационарное поверхностное нагружение полупространства с покрытием типа пластины .....	163



<i>Могилевич Л. И., Евдокимова Е. В., Попова Е. В.</i> Исследование волновых явлений в цилиндрической оболочке с физической нелинейностью, заполненной вязкой жидкостью и окруженной упругой средой.....	165
<i>Можаровский В. В., Кузьменков Д. С., Киргинцева С. В.</i> Методика контактного взаимодействия зубьев зубчатых колес из различных материалов .....	167
<i>Мустафаев А. Б.</i> Оптимизация формы отверстия для остановки трещины продольного сдвига .....	169
<i>Нестерович А. В.</i> Воздействие неосесимметричной нагрузки на физически нелинейную трехслойную круглую пластину.....	171
<i>Орехов А. А., Рабинский Л. Н.</i> Аналитическое решение задачи о нагреве полупространства подвижным источником лазерного излучения .....	173
<i>Попов В. С., Попова А. А., Черненко А. В.</i> Колебания стенок плоского канала, образованного однослойной и трехслойной пластинами, установленного на упругом основании .....	174
<i>Пшеничников С. Г.</i> Задачи о свободных колебаниях элементов конструкций из линейно-вязкоупругого материала .....	176
<i>Пшеничников Ю. А.</i> Инструментальная оценка температурного режима фрикционной поверхности тормозной колодки.....	178
<i>Рабинский Л. Н., Рупецкий А. В., Тант Зин Хейн.</i> Исследование влияния стеклянных включений в матрице из эпоксидной смолы на физико-механические свойства .....	180
<i>Рабинский Л. Н., Царева У. С.</i> Исследование динамического поведения тонкостенных элементов конструкций при селективном лазерном спекании .....	180
<i>Рузиева Н. Б., Абдусаттаров А.</i> Нелинейное деформирование подземных трубопроводов при циклическом нагружении .....	181
<i>Сердюк А. О., Сердюк Д. О., Федотенков Г. В., Старовойтов Э. И., Леоненко Д. В.</i> Нестационарное напряженно-деформированное состояние шарнирно опертой анизотропной полосы .....	183
<i>Сердюк А. О., Сердюк Д. О., Федотенков Г. В., Старовойтов Э. И., Леоненко Д. В.</i> Функция влияния нормальных перемещений анизотропной пластины Тимошенко .....	185
<i>Скачѣк П. Д.</i> Расчет узлов опирания шарнирно-опертых балок и плит.....	187
<i>Сметанкина Н. В., Мисюра С. Ю., Меркулова А. И., Сычева Т. А., Сычев А. И.</i> Расчет прочности многослойного остекления специальной техники при ударном нагружении .....	189
<i>Собиоров Н. Х., Исомиддинов А. И., Абдусаттаров А.</i> Численный расчет тонкостенных стержней при пространственно-переменном нагружении с учетом повреждаемости.....	190
<i>Старовойтов Э. И.</i> Изгиб трехслойной пластины в нейтронном потоке .....	192
<i>Старовойтов Э. И., Тарлаковский Д. В., Федотенков Г. В.</i> Влияние температуры на собственные частоты колебания трехслойных пластин .....	194
<i>Сторожук Е. А.</i> Аналитическое решение геометрически нелинейной задачи для податливой на поперечный сдвиг цилиндрической панели при действии кусочно-равномерной нагрузки .....	196
<i>Трацевская Е. Ю.</i> Исследование механических характеристик грунтов по данным статического зондирования .....	198
<i>Тушавина О. В.</i> Исследование тепломассопереноса в химически реагирующих пограничных слоях на затупленных телах.....	199
<i>Формалев В. Ф., Колесник С. А., Кузнецова Е. Л.</i> Математическое моделирование температурных волн в ограниченных областях на основе аналитического решения.....	200
<i>Чернышева Л. В.</i> Педагогические условия формирования безопасности жизнедеятельности на железнодорожном транспорте как компетенции будущего специалиста посредством дисциплин химического блока .....	201
<i>Чжо Йе Ко, Соляев Ю. О., Бабайцев А. В.</i> Топологическая оптимизация оробренных панелей, нагруженных различными силами .....	203
<i>Шериф Аамер.</i> Экологически безопасная транспортировка с использованием пневмотрубок .....	204
<i>Яровая А. В.</i> Деформирование прямоугольной трехслойной пластины параболической нагрузкой с учетом неполного опирания на упругое основание .....	205

## 9 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

<i>Алифировец Н. Н., Корольков А. С., Заболотный О. Д.</i> Экономические перспективы использования полусинтетических моторных масел в легковых транспортных средствах .....	207
<i>Бойкачева Е. В.</i> Системы бюджетирования как технологии управления на железнодорожном транспорте ..	208
<i>Быченко О. В., Быченко О. Г.</i> Экономическая конъюнктура на транспорте как индикатор его экономической безопасности .....	210
<i>Еловой И. А., Подсосонный Д. М.</i> Исследование рынка транспортных услуг и оценка результативности функционирования терминалов железнодорожного транспорта.....	212

<i>Ермак О. К., Алифировец Н. Н.</i> Сравнительный анализ экономической эффективности использования различных марок полусинтетических моторных масел в автобусах, оборудованных дизельным двигателем. ....	214
<i>Ефремова Е. Н.</i> Таможенные аспекты логистического обслуживания внешнеторговых грузов .....	216
<i>Жигалов В. Л., Осипенко Л. В.</i> Особенности индексации тарифов железнодорожного транспорта с учетом структуры грузопотоков .....	217
<i>Закревский Д. С., Пильгун Т. В.</i> Конкуренция и конкурентоспособность как факторы существования авто-транспортного предприятия в условиях рыночной экономики . ....	219
<i>Кекиш Н. А., Скумина М. А.</i> Совершенствование системы распределения перевозочных ресурсов на железнодорожном транспорте в целях повышения качества предоставляемых услуг и расширения клиентской базы .....	221
<i>Колос М. М.</i> Обеспечение эффективности функционирования системы доставки калийных удобрений .....	223
<i>Королевич Ю. В.</i> Коммерческая деятельность лизинговых компаний в Республике Беларусь как один из путей повышения экономической безопасности на транспорте .....	225
<i>Кравченко А. В.</i> Справедливая стоимость активов как основа экономической безопасности транспорта.....	227
<i>Куренков П. В., Филиппченко С. А., Астафьева А. В., Левин Д. Ю.</i> Повышение безопасности функционирования железнодорожных станций при автоматизации, интеллектуализации, цифровизации и логистизации станционных процессов .....	229
<i>Липатова О. В.</i> Развитие методики аналитических исследований в системе управления затратами Белорусской железной дороги .....	232
<i>Митренкова А. В., Игнашевич Д. А.</i> Проектирование логистической системы доставки грузов .....	233
<i>Москвичев О. В., Васильев Д. В.</i> Роль повышения эффективности организации работы терминальных систем в обеспечении конкурентоспособности железнодорожных контейнерных перевозок .....	235
<i>Надирханов У. С., Сабирова Л. Ш.</i> Инвестиции как фактор развития дорожно-строительной отрасли Республики Узбекистан.....	237
<i>Пономаренко П. Г.</i> Валютное регулирование в системе обеспечения финансовой безопасности транспортных организаций.....	239
<i>Потемкина Т. Г., Чуясова Т. А.</i> Роль и значение материально-технического снабжения в организации работы отделения Белорусской железной дороги.....	241
<i>Потылкин Е. Н.</i> Процессный подход расчета платы за подачу и уборку вагонов .....	242
<i>Сидорова Л. Г.</i> Эффективное управление трудовыми ресурсами – залог повышения экономической безопасности на транспорте.....	243
<i>Соколов Ю. И., Корнишева О. В.</i> Анализ деятельности железнодорожной отрасли в период восстановления экономики от негативных последствий COVID-19 .....	246
<i>Фроленкова Е. О., Желудкович Т. И.</i> Проблемы реализации процессного подхода к управлению на Белорусской железной дороге.....	248
<i>Хмельёв С. В., Ираева А. А.</i> Разработка и экономическая эффективность комплексного транспортно-экспедиционного обслуживания, оказываемого Гомельским филиалом государственного предприятия «БТЛЦ» клиенту при перевозке массовых навалочных грузов с участием ТЭРДУП «Гомельжелдортранс» .	250
<i>Ходоскина О. А., Дитковская К. С., Старавойтова А. А.</i> Место современных технологий в развитии технологического оснащения предприятий железнодорожного транспорта .....	252
<i>Ходоскина О. А., Панченко Т. С., Курганова О. А.</i> Место инновационного подхода в развитии материально-технической базы железнодорожного транспорта.....	254
<i>Шатров С. Л., Даниленко А. В., Жигалов В. Л.</i> Функциональные составляющие экономической безопасности железнодорожного транспорта.....	256
<i>Шиболович В. В.</i> Цифровое предприятие и электронный контент как инструмент обеспечения экономической безопасности транспортных организаций .....	258
<i>Яшкова Н. В.</i> Кадровая безопасность предприятий железнодорожного транспорта как направление улучшения экономической безопасности отрасли .....	260

## **10 ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УГРОЗЕ И ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

<i>Бобрицкий С. М., Круковский К. Ю.</i> Автоматизированное построение схемы краткосрочного (временного) железнодорожного моста с применением современных программных продуктов ( <i>BLENDER, UNITY</i> ) .....	263
<i>Бобрицкий С. М., Печенев Е. В.</i> Анализ характера повреждений, состояния и положения основных элементов конструкций мостовых сооружений, вызванных при чрезвычайных ситуациях .....	265
<i>Вербицкий П. С.</i> Правила поведения при авариях на воздушном и водном транспорте.....	267
<i>Ворепов В. Н., Якунин Д. В.</i> Защита стальных мостов от коррозии .....	268
<i>Гарелик И. С., Багаревич И. А.</i> Вопросы транспортной безопасности при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций .....	270

<i>Доломанюк Р. Ю., Кацу́бо П. А., Печенев Е. В.</i> Анализ существующих конструкций пролетных строений пешеходных мостов .....	272
<i>Ефимчик К. В.</i> Правила поведения при авариях на железнодорожном и автомобильном транспорте .....	273
<i>Журавлёва Л. М., Левишунов В. В., Рыжков Д. А.</i> Система мониторинга технического состояния подвижного состава и железнодорожного полотна с помощью технологии беспроводной связи Wi-Fi .....	275
<i>Короткевич С. Г., Ковтун В. А., Плескачевский Ю. М.</i> Надежность цистерн пожарных автомобилей на шасси нового поколения при движении к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций .....	279
<i>Крупский А. А.</i> Новые способы укрепления откосов мостов .....	280
<i>Малашков Д. В.</i> Безопасность транспортных средств .....	282
<i>Марданов А. В.</i> Транспорт и его опасности. Правила безопасного поведения на транспорте .....	283
<i>Напреенко А. Н., Хрисов Н. А.</i> Использование железнодорожного транспорта для эвакуации пострадавших в чрезвычайных ситуациях .....	285
<i>Напреенко А. Н.</i> Современные конструкции дорожных покрытий .....	287
<i>Обухов А. Д., Семенов Д. А., Сорокин И. А.</i> Применение беспилотников для повышения эффективности проведения аварийно-восстановительных работ .....	288
<i>Парфенков А. А.</i> Повышение безопасности в чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте с использованием мобильных систем радиосвязи .....	290
<i>Пасовец В. Н., Ковтун В. А.</i> Анализ причин возникновения пожаров на самоходных сельскохозяйственных машинах .....	292
<i>Пасовец В. Н., Ковтун В. А.</i> Неисправности системы электроснабжения как причина возникновения пожара на самоходной сельскохозяйственной технике .....	294
<i>Петрусевич В. В.</i> Возможность применения беспилотных авиационных комплексов при проведении технической разведки последствий чрезвычайной ситуации на железной дороге .....	296
<i>Печенев Е. В., Кацу́бо П. А., Доломанюк Р. Ю.</i> Гидрологические и гидрометрические работы на мостовом переходе при чрезвычайных ситуациях .....	298
<i>Поддубный А. А., Гордон В. А.</i> Особенности применения малогабаритных сборно-разборных мостовых пролетов для обеспечения транспортной безопасности в Республике Беларусь .....	300
<i>Рытиков А. Ю., Бондаренко А. А.</i> Особенности в эксплуатации искусственных сооружений .....	302
<i>Рязанцева Н. В., Жидкова Е. А.</i> Нейросетевая система оповещения для людей с ограниченными возможностями по слуху .....	304
<i>Тимашков С. Н., Багаревич И. А.</i> Маскировка военной техники и вооружения при их перевозке железнодорожным транспортом .....	306
<i>Токаревский А. В.</i> Направления развития силовых установок автомобилей .....	307
<i>Томашов В. В., Кирик С. В., Жоголь Б. А.</i> Анализ методов повышения ресурса изношенной техники .....	308
<i>Чирец Н. А., Агиевич Е. Н.</i> Возможности железнодорожных шпал <i>GREENRAIL</i> для обеспечения безопасности движения .....	309
<i>Шамкин Д. В.</i> Восстановление мостов в угрожаемый период .....	310
<i>Шитилёв А. С., Гуринович В. И., Шутов Я. В.</i> Безопасность на высокоскоростных железных дорогах .....	312
<i>Юрасюк Н. И., Змиевский В. В., Шитилёв А. С.</i> Анализ опыта работы при чрезвычайных ситуациях на железных дорогах странами НАТО .....	313
<i>Якунин Д. В.</i> Особенности содержания мостов и переправ в различные сезоны года .....	315

Научно-практическое издание

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы XI Международной научно-практической конференции  
(Гомель, 25–26 ноября 2021 г.)

Часть 2

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректоры: *А. А. Павлюченкова, Т. А. Пугач, Т. М. Маруняк*  
Компьютерная верстка – *Е. И. Кудрявская, С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 18.11.2021 г. Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 37,66. Уч.-изд. л. 35,46. Тираж 50 экз.  
Зак. № 2762. Изд. № 64.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель

ISBN 978-985-891-053-2



9 789858 910532