

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

# ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

МАТЕРИАЛЫ  
VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ ГОДУ НАУКИ

Часть 2

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2017

УДК 656.2.08  
ББК 39.28  
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, Д. В. Леоненко,**  
**В. Я. Негрей, В. М. Овчинников, А. Г. Ташкинов**

Рецензенты:

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

**Проблемы безопасности на транспорте** : материалы VIII Междунар.  
П78 науч.-практ. конф., посвящ. Году науки : 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, 2017. – 230 с.  
ISBN 978-985-554-695-6 (ч. 2)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы обеспечения безопасности транспортных систем; пути повышения надежности подвижного состава железнодорожного транспорта; вопросы безопасности железнодорожного пути; систем автоматики, телемеханики, связи и информатики; экологической и энергетической безопасности на транспорте; надежности и безопасности конструкций, зданий и сооружений; безопасности пассажирских перевозок; физики, механики и математики в обеспечении безопасности транспортных систем.

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

**УДК 656.2.08**  
**ББК 39.28**

ISBN 978-985-554-695-6 (ч. 2)  
ISBN 978-985-554-690-1

© Оформление. БелГУТ, 2017

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

*От имени организационного комитета приветствую вас на VIII Международной научно-практической конференции «Проблемы 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, надежности подвижного состава, систем автоматики и связи, экологической и энергетической безопасности, строительного комплекса, фундаментальным научным исследованиям в области безопасности транспортных систем, что позволит найти комплексные, эффективные решения многих важных проблем.*

*Конференция – это не только возможность для ознакомления с передовыми разработками в области транспорта и строительства, но и хорошая площадка для формирования новых научно-производственных связей с учеными и специалистами из разных стран мира. Тем более, что 2017 год объявлен в Республике Беларусь Годом науки.*

*Данная конференция традиционно проводится при поддержке Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и Белорусской железной дороги. По нашему мнению, 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*

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

---

УДК 625.8

### О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА УЛИЦАХ ГОРОДОВ

*Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ, Ю. Н. ШВАЧИЧ, Е. Н. ШВАЧИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Основным дорожно-строительным материалом для верхнего слоя дорожного покрытия городских улиц на сегодняшний день являются плотные щебенистые и многощебенистые асфальтобетоны типов С, А, Б и В (в зависимости от категории улицы). Многощебенистые асфальтобетоны обладают рядом отличительных свойств (например, высокой сдвигоустойчивостью), которые позволяют использовать их на улицах с высокими транспортными нагрузками и интенсивностями движения. Однако даже высокощебенистые асфальтобетоны не всегда способны противостоять разрушающему воздействию транспортного потока и к тому же они являются самыми дорогими из всех асфальтобетонов. Для участков с особо тяжелыми условиями эксплуатации (остановки общественного транспорта, регулируемые перекрестки, пересечения городских улиц различных конфигураций, правые полосы магистральных улиц и т. д.) необходимо использовать дорожно-строительные материалы, которые позволят:

- устраивать слои покрытий, устойчивые к разрушению при многократном воздействии подвижной нагрузки, т. е. слои с повышенными показателями сдвигоустойчивости, истираемости, прочности и коррозионной стойкости;

- обеспечить безопасность дорожного движения, т. е. кроме высоких сцепных качеств необходимо использовать материал, цвет которого определяется расположением участка. Такие цветные покрытия совместно с дорожными знаками и разметкой будут являться важным элементом, обеспечивающим безопасность дорожного движения.

Многощебенистые асфальтобетоны достигли предельных значений физико-механических показателей, а изменить их цвет можно только за счет использования специальных добавок, которые в долгосрочной перспективе ухудшают качества битума. Поэтому реализация перечисленных условий возможна при использовании следующих материалов и технологий:

- устройство покрытий из асфальто-цементного композиционного материала;

- устройство цементобетонных покрытий с цветными микропокрытиями противоскольжения.

Технологический процесс устройства слоев из асфальтоцементного композиционного материала включает два этапа. На первом этапе устраивается слой из асфальтобетонной смеси специального состава толщиной 6 или 10 см. После остывания асфальтобетона до температуры окружающего воздуха по устроенному слою распределяется цементный раствор (со специальной пигментной добавкой) до полного его впитывания. Уже по истечении двух суток можно открывать движение на участке, что особенно важно при использовании этой технологии в городских условиях. Согласно данным Белавтодор применение асфальтобетона, пропитанного специальными гидравлическими вяжущими, позволяет увеличить срок службы дорожных покрытий в местах концентрации транспортной нагрузки с 1–2 до 5–7 лет, а также снизить вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Второй вариант предполагает устройство цементобетонного покрытия и последующее нанесение на его поверхность специального состава, позволяющего повысить сцепные качества и визуально выделить опасные зоны. Цементобетонное покрытие будет выполнять функции несущего слоя, в таком случае будут реализованы лучшие качества этого материала (высокая прочность), а защитный слой будет принимать на себя истирающее воздействие подвижной нагрузки и коррозионное воздействие, связанное с особенностями зимнего содержания автомобильных дорог. Матери-

алом для защитного слоя является многокомпонентный материал на основе полимерного вяжущего, отверждаемый в результате химической реакции и обеспечивающий адгезию слоя износа покрытий цементобетонному покрытию. Недостатком этого способа является использование полимерного вяжущего.

УДК 625.8.001.2

## **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОГ В ЗАБОЛОЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

*Г. В. АХРАМЕНКО, Н. А. АБЫХОДОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Строительство автомобильных дорог на слабых грунтах сопряжено со значительными техническими трудностями, заключающимися в обеспечении стабильности земляного полотна. Традиционный метод строительства, предусматривающий замену слабых грунтов устойчивыми минеральными (обычно песчаными), очень дорогой и трудоемкий. Поэтому на практике широко применяются методы строительства, при которых слабые грунты не удаляются, а с помощью различных конструктивных и технологических мероприятий улучшаются и используются в качестве несущего основания насыпи. Проектирование дорог в болотистых районах требует весьма внимательного предварительного изучения и исследования болота. Принимая проектные решения, необходимо учитывать местные особенности.

Характерным недостатком слабых грунтов является их активная неравномерная деформация под воздействием нагрузок. На первом этапе строительства дорог в болотистой местности происходит изучение почвы, потом земляное полотно хорошо уплотняют и уже на него по всей ширине осуществляют укладку геотекстиля. При использовании геотекстиля минимизируется расход материалов, потому что дорожное покрытие созданное таким способом примерно в полтора раза тоньше. Если существует возможность укладки асфальтобетона на армирующую геосетку, это будет способствовать дополнительному укреплению поверхности дороги.

Применение уже отработанных, опробованных технологий по применению в дорожном строительстве геотекстиля, позволяет и нашей стране воспользоваться этим опытом. Данная технология разработана для снижения затрат и ускорение строительства дорог в болотистой местности. Наша страна богата лесами и болотами. Именно в этих местах проводится разработка многих полезных ископаемых, поэтому обеспечение качественной автомобильной транспортировки – очень важный вопрос. Условия эксплуатации дороги в такой местности довольно высокие. Поэтому и качество геотекстиля должно быть соответствующим. Это должен быть нетканый материал, изготовленный из полипропилена термодинамическим способом. Жесткость и однородность такого текстиля обеспечит его упругость и высокое растяжение. Они гарантируют стойкость к повреждению при эксплуатации дороги в неблагоприятных климатических условиях.

Геотекстиль в роли стабилизатора почвы существенно уменьшает необходимость проведения земляных работ, минимизирует затраты на ремонт и обслуживание, плюс ко всему отпадает необходимость в использовании какой-то особой спецтехники. Это многослойное полимерное полотно, по сути дела, – высокопрочный фильтр. Он пропускает воду, но не позволяет слоям смешиваться. В то же время, обладая изрядной прочностью, он распределяет нагрузку между слоями. Перевозят такой материал в рулонах. Его можно резать специальными ножницами, даже можно разрезать целый рулон с помощью пилы. Геотекстиль не склеивается, не осыпается и совершенно одинаково себя ведёт в любых температурных условиях.

Актуальность данной темы заключается в том, что геосинтетические материалы сегодня пользуются огромной популярностью и востребованы не только в дорожном строительстве, но и во многих других сферах. Основные преимущества геотекстиля – это: высокая прочность, устойчивость к разрыву и сильной вибрации, к химическому воздействию, теплоизолирующие и фильтрующие свойства, способность хорошо переносить широкий диапазон температур, не подверженность гниению, экологическая безопасность, огнестойкость, простота монтажа и умеренная стоимость.

Геотекстиль для дорог используется как разделительный и армирующий слой между насыпным материалом и почвой. Это позволяет избежать заиливания насыпного материала частицами грунта и сохраняет его стабильность. Использование этого полотна дает возможность строить дороги даже на участках с мягкими, слабонесущими грунтами. Материал образует армирующий слой и препятствует разрушению откосов.

УДК 625.84.002.8

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНЫ В КАЧЕСТВЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ДОБАВКИ**

*Г. В. АХРАМЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. Л. КОВАЛЕВИЧ*

*ОАО СМТ № 8 Филиал ДСУ № 43, г. Минск, Республика Беларусь*

Развитие сельского хозяйства в Республике Беларусь невозможно без качественных дорог, способных воспринимать воздействие тяжелой сельскохозяйственной техники, особенно в осенний период, когда наблюдаются сложные дорожные условия вследствие обводненности конструктивных слоев при интенсивных осадках и перехода температуры покрытия через 0 °С при ночных заморозках. В таких условиях традиционные асфальтобетонные покрытия на местных дорогах интенсивно разрушаются. Опыт строительства местных цементобетонных дорог показывает, что они способны длительный срок работать в сложных дорожных условиях.

Цементобетоны широко используются в промышленности, транспортном и бытовом строительстве. С их помощью заливают долговечные фундаменты, изготавливают несущие стены и ответственные элементы крупных технических сооружений. Без бетонов не обходится строительство современных скоростных магистралей и аэродромных покрытий.

Для регулирования и улучшения свойств бетонной смеси (удобоукладываемости, схватывания, твердения (в том числе при отрицательных температурах), плотности и прочности) применяются различные вещества.

Каждая добавка несет в себе определенный эффект действия на бетонную смесь. В частности, глина является стабилизирующей и водоотталкивающей добавкой, т. е. предупреждает расслоение цементобетона и уменьшает водоотделение.

Помимо улучшения гидроизоляционных свойств бетоны с такими добавками обладают более плотной структурой, что положительно сказывается на прочности и долговечности сооружения.

Для повышения устойчивости бетона в сложных климатических и эксплуатационных условиях в ДСУ № 38 ОАО «ДСТ № 3» было построено более 20 км дорог с использованием глиносолевых отходов (ГСО) ОАО «Беларуськалий». Известно, что глины обычно используются в количестве 15–30 % в составе сырьевой смеси при получении цемента. В основном применяются каолинитовые, монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины. ГСО содержат оксиды, необходимые для образования клинкерных минералов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . При принятии решения об использовании ГСО в качестве добавки в дорожный бетон учитывается, что введение монтмориллонита и гидрослюда улучшает удобоукладываемость бетонной смеси и снижает водовязущее отношение. Мелкие глинистые частицы способны удерживать воду, постепенно отдавая ее цементу, что улучшает его равномерное твердение. Кроме того, наличие в составе ГСО хлоридов натрия и калия способствует ускорению процесса набора прочности бетона, что позволяет расширять строительный сезон за счет возможности зимнего бетонирования. Присутствие незамерзающего раствора солей (при температуре до  $-18...-21^\circ\text{C}$ ) в порах бетона увеличивает его морозостойкость при воздействии суточных перепадов температуры. Для получения максимального эффекта необходимо равномерно распределять ГСО в объеме бетона и обеспечивать высокую площадь его контакта с цементом, поскольку нарушение данного требования может привести к дефектообразованию в структуре цементного камня и снижению его прочности.

Для этого была разработана специальная технология введения ГСО в состав бетона. С помощью института «Белгорхимпром» была создана технологическая линия. Изготовленный по этой технологии бетон имел более высокую прочность в сравнении с обычно применяемым бетоном для дорожных покрытий. Результаты испытаний показали положительный эффект, что послужило основанием для практического применения бетона с ГСО для строительства местных дорог. В результате производственный опыт показал, что введение ГСО в количестве 4–12 % от массы вяжущего способствует увеличению скорости твердения бетона (за 14 суток бетон набирал стандартную прочность), обеспечивает повышение морозостойкости (потери прочности и массы после 150 циклов ниже, чем у обычного бетона), приводит к улучшению удобоукладываемости цементобетонной смеси. В результате наблюдения за построенными участками дорог с применением ГСО было установлено, что введение ГСО в состав бетона повышает устойчивость цементобетона к воздействию транспорта, погодно-климатических факторов, противогололедных реагентов (срок эксплуатации – более 25 лет).

Современные технологии позволяют выполнять эффективный ремонт таких покрытий, а применяемые материалы обеспечивают быстрое твердение отремонтированных участков и их введение в эксплуатацию. Так, быстротвердеющие высокопрочные бетоны, полученные с использованием добавок в виде микрокремнезема и зол уноса, имеют явное преимущество перед традиционным бетоном. Практика показывает, что затраты на ремонт старых бетонных покрытий не превышают 10–12 % от стоимости нового строительства.

УДК 625.7:625.12

## **СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Г. В. АХРАМЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. Ю. ЛОГВИНЕЦ*

*Дорожно-строительное управление № 7, г. Орша, Республика Беларусь*

Для того чтобы автомобильные магистрали были долговечными и могли обеспечивать высокие потребительские свойства в течение всего срока эксплуатации, прежде всего необходимо качественное основание. Для выполнения этого требования при строительстве и реконструкции дорог необходимо проводить мероприятия по укреплению и стабилизации грунтов основания. Процесс стабилизации грунта представляет собой введение в него различных добавок, которые улучшают механические свойства грунта. В зависимости от требуемого конечного результата стабилизация грунтов подразделяется на усиление и укрепление грунтов. При усилении грунтов повышаются показатели их уплотнения, особенно если они слишком увлажнены или грунт пучинистый.

Для укрепления и стабилизации существуют различные методы. Это может быть частичная или полная замена грунта, нагнетание или введение перемешиванием в основание различных вяжущих или химических веществ, повышающих либо изменяющих исходные физические свойства, а также термическая обработка, замораживание, электрохимическое воздействие. Каждый метод выбирается в зависимости от геологических условий и технических возможностей проведения данных работ. Например, для песчаных и крупнообломочных грунтов лучше всего подходит цементация или битумизация. Для глинистых – стабилизация с применением многокомпонентных композиций. Для укрепления переувлажненных грунтов разработаны методики применения карбамидных, фурфурол-анилиновых, фурфурол-мочевинных, резорцино-формальдегидных синтетических смол. В результате взаимодействия стабилизаторов и коллоидно-глинистой составляющей грунтов образуются материалы, обладающие повышенной прочностью, морозостойкостью и долговечностью. Современные ПАВ-стабилизаторы грунтов уже много лет успешно применяют в США, Германии, Голландии, ЮАР, Австралии, Канаде и ряде других стран. В последнее время на эту технологию обратили внимание и специалисты стран СНГ. Сотрудники ООО «Парагон групп» провели всесторонние исследования химического состава стабилизаторов, выпускаемых компанией Enviroseal Corporation (США), и сделали

подбор компонентов из отечественного сырья. Результатом научно-исследовательской работы, осуществленной совместно с рядом партнерских специализированных организаций, стало создание линейки отечественных стабилизаторов грунтов под названием «Парагон», которые являются продуктами нового поколения и производятся на территории России. Они выгодно отличаются не только по соотношению «цена – качество», но и своей технологичностью, безопасностью для окружающей среды и людей, возможностью эффективного применения при всех типах грунтов. Метод стабилизации грунта цементом с модифицирующими добавками дает многократную экономию. Во-первых, в отличие от традиционных технологий, не требуется снятия и утилизации грунта из выемки. Во-вторых, отпадает необходимость в завозе такого же количества инертных материалов. В-третьих, благодаря применению инновационных добавок, возможно дополнительно сократить затраты на строительство за счет увеличенной прочности, эластичности, морозо- и водостойкости. Это же касается и экологии: стабилизация минеральными вяжущими (цементом) с модифицирующими добавками натурального происхождения не только не наносит вреда окружающей среде, но и используется для нейтрализации токсичных веществ в почве при консервации полигонов захоронения опасных отходов, рекультивации загрязненных земель, ликвидации разливов нефтепродуктов и т. д.

Один из наиболее эффективных методов – армирование при помощи геокомпозитных материалов, что позволяет значительно ускорить процесс консолидации грунтов. Основными преимуществами структур с укрепленным геосинтетикой грунтом являются: экономия средств; повышение устойчивости; возможность строительства на плохих грунтах. Армирование основания земляного полотна на слабых грунтах позволяет повысить его устойчивость и стабильность. В качестве армирующих прослоек используются одно- и двуосноориентированные геоматериалы в виде георешеток, тканых геополотен и геокомпозитов. Стабилизация строительного основания обеспечивает надежным морозозащитным слоем и увеличивает его несущие способности. Во время укрепления грунтов существенно увеличиваются физико-механические характеристики местного грунта. Этот метод применяют для получения морозозащитных слоев и слоев несущих оснований.

Эффективность методов стабилизации и усиления грунтов определяется технико-экономическим сравнением нескольких вариантов, предлагаемых в каждом конкретном случае, зависящих от географического расположения места строительства, природно-климатических условий, гидро-геологических показателей. Наиболее экономичным и экологичным представляется применение местных строительных материалов совместно с геосинтетикой по причине экономии на привозимом грунте; в силу экологичности (инертности) геосинтетических материалов.

Также следует отметить, что стабилизация грунта дает возможность проведения строительства на болотистой местности, где раньше было невозможно ходить. Такие результаты достигаются путем добавления в грунт агентов, забиванием свай или заменой имеющегося грунта более твердыми породами.

УДК 625.7 : 628.517.2

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

*Г. В. АХРАМЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. А. ПАНТЕЛЕЕВА*

*ПКП «Гомельдорпроект», г. Гомель, Республика Беларусь*

Возросшая интенсивность движения на автомобильных дорогах в Европе за последние десятилетия привела к увеличению ДТП и шума на дорогах. Уровень шумов, вызванных взаимодействием колес автомобиля с поверхностью проезжей части, зависит от скорости движения, наличия воды на проезжей части, состояния шин, ровности и шероховатости покрытия. Известно, что сила шума возрастает с увеличением скорости движения и влажности покрытия. На основании исследований, выполненных во Франции в 2004 г., было установлено, что сила шума в зависимости от типа шин меняется незначительно, уровень шума повышается с увеличением скорости движения, на влажной проезжей части уровень шума повышается начиная с частоты 2000 Гц и что изменение уровня



транспортного шума на различных типах покрытия в зависимости от скорости движения постоянно. На покрытии из цементобетона со швами было установлено различие уровней шума в зависимости от вида швов (поперечные или продольные). Так, если для гладкого покрытия уровень шума равен 0, то для бетонного с поперечными швами – 5 дБ.

Типовыми средствами гашения транспортного шума являются различного рода противошумные экраны – заборы, живые изгороди, полосы древесной растительности, земляные валы, здания. К наиболее эффективным относятся заборы, земляные валы, здания (постройки). Преимуществом заборов являются их малая пространственность, недостатком – их эстетический вид. Земляные валы занимают значительное пространство, требуют большого количества грунта и не отличаются эстетичностью. Дешевым и эстетическим решением можно считать зеленые полосы. Однако только несколько полос зеленых насаждений, объединенных в систему, шириной несколько десятков метров, могут обеспечить заметное снижение уровня шума.

В результате этого возник интерес к строительству таких типов дорог, которые позволяют сократить шум от движущихся транспортных средств и увеличить безопасность дорожного движения без применения вышеуказанных мероприятий. В целом уровень шума от качения тем выше, чем больше неровность и шероховатость проезжей части. Снижение шероховатости способствует уменьшению шума от качения колес, но одновременно ухудшает устойчивость автомобиля и условия безопасности движения. Поэтому, рассматривая в комплексе вопрос безопасности движения и шумообразования, необходимо принимать комплексное решение в зависимости от расположения дороги в агломерации или вне ее пределов. В связи с этим большой интерес представляет поиск бесшумного покрытия с хорошим сцеплением. В этом контексте применение пористых цементобетонов для покрытий является интересной технологией. Такие покрытия поглощают шум и позволяют избежать присутствия воды на поверхности дороги, что улучшает шероховатость (сцепление колеса автомобиля с покрытием дороги), и как следствие, увеличивается безопасность движения. Измерения распространения шума в пористом цементобетоне показали, что значения имеют такой же порядок величин, как и в дренирующем асфальтобетоне.

Пористым цементобетоном является цементобетон с открытой структурой крупных (гроздеобразных) пор, который в качестве вяжущего материала содержит такое количество цементного теста или тонкого раствора, чтобы полностью заполнять пустоты между зернами заполнителя после уплотнения. Содержание пустот зависит от объемов растворной части, т. е. суммы объемов цемента, песка и воды. В предварительных исследованиях этот объем варьируется между 30 и 45 %, расчетный объем пустот принимается равным 25 %.

Важнейшей характеристикой пористого цементобетона является улучшение сцепления шин автомобиля с влажным покрытием, быстрый отвод ливневых вод с поверхности покрытия, уменьшение эффекта аквапланирования, снижение уровня шума и вибрации автомобиля. Покрытие из водопроницаемого пористого материала является альтернативным способом организации поверхностного водоотвода. Принцип работы таких покрытий заключается в свободном проникновении ливневых вод внутрь дренирующего материала покрытия с возможностью их дальнейшей фильтрации. Скорость фильтрации при этом зависит от дренирующей способности цементобетона и поперечных уклонов покрытия.

Одним из основных критериев применения пористого цементобетона является сочетание хорошей водопроницаемости и сопротивления механическим воздействиям, в том числе и окружающей среды. При использовании пористого цементобетона для устройства полос аварийных остановок или верхних слоев оснований указанные выше характеристики могут быть достигнуты путем относительно небольшой дозировки цемента (не превышающей  $200 \text{ кг/м}^3$ ). Если пористый цементобетон применяется для покрытий и подвергается непосредственному воздействию колес автомобилей, то следует повышать содержание цемента (до  $300\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ ) или вводить небольшое количество цемента, но с определенными добавками (в основном полимеров или микрокремнезема), которые улучшают прочность цементобетона, не уменьшая его пористость.

Обобщенные данные по составу и свойствам пористого цементобетона следующие: щебень с максимальным размером зерен от 7–8 до 12–18 мм; песок размером частиц 0–2 мм; расход цемента  $300\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ ; водоцементное отношение 0,25–0,32; добавки – пластификатор, полимер; открытая пористость (содержание пустот) – 20–25 % по объему, прочность при сжатии в возрасте 28 сут от 18 до 25 МПа, прочность на растяжение при изгибе – более 4,5 МПа; уровень

шума на покрытии – порядка 72 дБ (менее предельной нормы 78 дБ). Химические добавки являются главным ингредиентом любой применяемой в настоящее время пористой смеси. В основном используются суперразжижители и модификаторы гидратации. Кроме того, важной характеристикой такого цементобетона является достаточная сопротивляемость замораживанию-оттаиванию под действием солей.

УДК 625.7/.8

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

*Н. В. БАНДЮК, В. А. ПАНТЕЛЕЕВА, И. Н. ТЕЛЕНЧЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Автомобильные дороги представляют собой сложные инженерные сооружения. Они должны обеспечивать непрерывность и безопасность движения автомобилей с высокими скоростями, установленными нагрузками. Их проектируют и строят таким образом, чтобы автомобили могли реализовать свои динамические качества при нормальном режиме работы двигателя, чтобы на поворотах, подъемах и спусках автомобилю не грозил занос или опрокидывание. В течение всего года дорожная одежда должна быть прочной, противостоять как динамическим нагрузкам, передающимся на нее при движении автомобилей, так и погоднo-климатическим факторам.

Дороги подвержены активному воздействию многочисленных природных факторов (нагревание солнечными лучами, промерзание и оттаивание, увлажнение грунтовыми и поверхностными водами и т. п.). Особенности работы автомобильной дороги должны учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации, что позволит обеспечить стабильную работу дороги на протяжении всего межремонтного срока службы.

Дороги должны обеспечивать безопасность автомобильного движения. Проложенные с учетом психофизиологических особенностей восприятия водителями дорожных условий, они должны предоставлять водителям всю необходимую информацию, как бы подсказывая им правильные режимы движения, обеспечивая высокую пропускную способность и исключая возможность серьезных дорожно-транспортных происшествий.

Работы, выполняемые при строительстве автомобильных дорог, относятся к числу наиболее трудоемких. Рост их объемов требует комплексной механизации, обеспечивающей введение прогрессивных технологических процессов при широком использовании дорожных машин и механизмов. Рост грузоподъемности автомобилей требует устройства более прочных дорожных одежд, что всегда ведет к удорожанию комплекса в целом.

Снижения фактической стоимости строительства при должном качестве выполняемых работ можно добиться повышением прочности земляного полотна, использованием местных дорожно-строительных материалов для строительства дорожной одежды.

Одним из способов повышения прочности и устойчивости земляного полотна является его укрепление геосинтетическими материалами. Отечественный и зарубежный опыт дают основание считать, что использование геосинтетических материалов является инструментом для решения следующих задач: укрепления откосов, конусов, склонов для защиты от водной и ветровой эрозии; обеспечения общей устойчивости откосов повышенной крутизны; строительства армированных насыпей и грунтовых подпорных стен с учётом статистических и динамических воздействий; строительства дренажей нового поколения с минимальным применением природных инертных материалов; гидроизоляции, теплоизоляции, сепарации (разделения) конструктивных слоёв и элементов дорожных сооружений; армирования монолитных слоёв дорожных одежд и защиты от отражённых трещин.

Значительный эффект в дорожной практике, особенно в отечественной, достигается путём использования геосинтетиков и геопластиков при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах (болотах, грунтах повышенной влажности, переувлажнённых), а также в районах со сложными инженерно-геологическими и климатическими условиями. Во всём мире, в том числе и в Беларуси, наблюдается интенсивный рост использования материалов данной группы.

Отечественная практика дорожного строительства и другие отрасли обеспечены собственными типами нетканых материалов, объёмными георешётками, некоторыми видами геосеток для армирования дорожных конструкций. Появились и используются новые материалы, такие как композиты на основе геопластиков, полимерных сеток и нетканых геотекстилей, плоские объёмные георешётки, высокопрочные изделия для армогрунтовых сооружений.

Наметилась тенденция гармонизации норм с европейскими стандартами. Можно констатировать также, что в известной степени сформирован и рынок геосинтетических материалов, на котором широко представлена как отечественная, так и зарубежная продукция.

В целом можно констатировать, что геосинтетические материалы приобрели статус строительных материалов, и не только в дорожной отрасли, но и в смежных отраслях строительства.

УДК 656.0

## **РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ГОМЕЛЯ ЗА СЧЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА «ВОСТОЧНОГО ОБХОДА»**

*Н. В. БАНДЮК, В. А. ПАНТЕЛЕЕВА, И. Н. ТЕЛЕНЧЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Транспорт – важнейшая составная часть производственной инфраструктуры Республики Беларусь. Он играет важную роль в развитии нашего государства, обеспечивая социально-экономические связи между секторами экономики и другими государствами. Эффективное функционирование транспортной инфраструктуры является необходимым условием жизнедеятельности экономического комплекса и социальной сферы. Рассматривая экономический рост транспорта, следует не только выделять его как источник решения такой задачи, как доставка грузов и пассажиров, но и (в первую очередь) как межотраслевую систему, преобразующую условия жизнедеятельности. Устойчивость транспортной инфраструктуры является гарантией единства экономического пространства. Уровень развития транспорта в стране значительно определяет уровень развития ее цивилизации. С транспортом связано много отраслей экономики. На сегодняшний день транспорт для Беларуси – это ключ к разумному использованию национальных богатств, к эффективной интеграции с мировой экономической системой.

В экономике каждой страны значимое место занимают логистические услуги (около 12–13 % ВВП). В отдельных странах эта цифра достигает 20–25 % ВВП по причине того, что логистические операции не оптимизированы (ими занимается сам производитель, как в большинстве случаев происходит в Беларуси) или из-за того, что страна имеет важное транзитное положение, как Германия или Беларусь, и чистый экспорт транспортных услуг дает значительную прибавку ВВП. В экспорте услуг транспортные составляют в Германии 30 %, в Беларуси – около 70 %.

Республика Беларусь, имея выгодное географическое расположение в центре Европы, должна максимально использовать свои транзитные возможности. В связи с этим развитие сети автомобильных дорог становится важнейшей государственной задачей, решать которую необходимо с учетом перспектив значительного увеличения количества транспортных средств, грузонапряженности движения внутри страны, а также перспективы роста транзитного грузопотока.

Плотность сети автомобильных дорог общего пользования в нашей стране составляет 418 км на 1000 км<sup>2</sup> территории и является одной из самых высоких среди стран СНГ. Но далеко не все дороги способны воспринимать тяжелую транспортную нагрузку, так как за период эксплуатации транспортно-эксплуатационное состояние (ТЭС) отдельных участков дорог ухудшилось и требует ремонта.

Как следует из государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 годы, за последние двадцать лет автомобилизация населения увеличилась в 2,9 раза, протяженность дорог общего пользования возросла в 1,6 раза, а объем финансирования дорожных работ без учета кредитных средств для реконструкции и строительства автомобильных дорог уменьшился в 1,5 раза. Недостаточное финансирование ведет к ухудшению ТЭС АД, что оказывает непосредственное влияние на социально-экономические аспекты развития

экономики, валовой национальный продукт, уровень цен, доходы государственного бюджета и степень занятости населения.

Всё больше транспорта становится на городских улицах, особенно областных центров, где нередки заторы движения. В связи с этим необходимо с городских дорог убирать транзитный транспорт, особенно грузовой, который не только влияет на долговечность дорог и улиц, но и на экологическую обстановку городов. Так, в прошлом году завершено строительство МКАД-2 (трасса М14), которая помогает разгрузить МКАД (трасса М9), перенаправляя транзитные потоки в обход Минска.

Из-за недостаточности финансирования проект по строительству кольцевой автомобильной дороги в Гомеле является незавершенным. Однако социально-экономическое развитие Гомеля связано с расширением производственной зоны и совершенствованием сферы обслуживания. Строительство социально востребованного жилья будет продолжено на свободных территориях. Сегодня в городе над Сожем с населением более 500 тысяч жителей насчитывается свыше 122 тысяч единиц автомобилей, причём эта цифра увеличивается ежегодно на 5 %.

Прирост новых территорий влечет за собой увеличение интенсивности движения как следствие возросшей автомобилизации населения города Гомеля с прилегающими населенными пунктами, увеличивается поток и транзитного транспорта. Чтобы избежать в ближайшем будущем автомобильных пробок в Гомеле, а также обеспечить устойчивые связи между районами города, разделёнными рекой Сож (Волотова – Новобелица), необходимо разгрузить центральные улицы и два существующих автомобильных моста в центральной части и на юго-западном обходе.

Строительство восточного обхода г. Гомеля с мостом через р. Сож обеспечит от ул. Мазурова до ул. Добрушская не только устойчивые связи между отдельными районами города (Волотова – Новобелица), но и направление на Добруш и границу Российской Федерации. При этом смещение транспортного потока хорошо отразится и на экологической обстановке Гомеля. Улично-дорожная сеть, особенно в центрах городов, не в состоянии вместить весь поток автомобильного транспорта, происходит снижение скорости движения, возрастает шумовое и химическое загрязнение окружающей среды, растёт аварийность. Создание в городе сети магистралей скоростного движения позволяет существенно увеличить скорости общественного транспорта и легковых автомобилей, повысить её пропускную способность, сократить число дорожно-транспортных происшествий, изолировать жилые районы и общественные центры от концентрированных потоков транспортных средств.

Подходы к решению данных проблем, особенно в региональном разрезе, в Беларуси недостаточно разработаны и освещены, что определяет актуальность данной темы. Необходимо понимать, что основная задача развития транспортной инфраструктуры заключается в повышении надёжности и эффективности действующих транспортных сетей и сооружений на них для обеспечения благоприятных условий социально-экономического развития города. С этой целью необходимо определить оптимальную планировочную структуру и функциональное зонирование территорий, дальнейшее развитие системы инженерной и транспортной инфраструктуры, а также создать безопасную, безбарьерную и благоприятную среду для жизнедеятельности населения городов.

УДК 625.032.3

## **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ С ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ 25 ТС**

*А. Э. БАРАНКЕВИЧ*

*Испытательный центр железнодорожного транспорта «СЕКО», г. Гомель,  
Республика Беларусь*

*О. В. ХОЛОДИЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Сегодня Белорусская железная дорога (БЖД) – это современная транспортная система, протяженностью 5,5 тыс. км, из них 1300 километров электрифицировано. Протяженность однопутных участков составляет 3,9 тыс. км, двухпутных – 1,6 тыс. км. Грузовой парк БЖД насчитывает более 30 тыс. вагонов. Перевозки осуществляются поездами массой до 9 тыс. т и длиной до 1500 м.

В последнее десятилетие на территории Республики Беларусь сформирован ряд устойчивых железнодорожных направлений транзитных грузопотоков. Это, в первую очередь, перевозки российских внешнеторговых грузов в сообщении с Калининградской областью и Литвой (суммарно объем составляет 40 % от всего транзита), а также в порты Латвии по маршруту Заольша – Бигосово (объем – 36 %). Важное значение также имеют перевозки в континентальные страны Евросоюза и обратно по второму Общеввропейскому транспортному коридору, а также достаточно перспективные перевозки по девятому Общеввропейскому транспортному коридору между странами Балтийского и Черного морей.

Основой модельного ряда грузового подвижного состава белорусской железной дороги являются: крытый вагон модели 11-260, полувагон модели 12-9763, вагон-хоппер модели 19-9774, платформа модели 13-401М1 и вагон-цистерна модели 15-150-02 (весь модельный ряд сформирован из вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс).

По итогам работы за период январь – август 2017 г. Белорусской железной дорогой перевезено 94015,3 тыс. т грузов (20396,6 тыс. т – внутриреспубликанские, 12649,6 – ввоз, 35251,3 – вывоз, 25718 – транзит) [1].

С увеличением объема грузооборота на БЖД растет количество отправленных грузовых поездов, что увеличивает загруженность железнодорожных путей. Поэтому необходимо рассмотреть вопрос о развитии тяжеловесного движения, а именно о переходе на вагоны с осевой нагрузкой 25 тс. Это позволит значительно увеличить объемы перевозимых грузов.

Оценка воздействия тяжеловесных поездов, имеющих осевую нагрузки 25 тс, на железнодорожный путь показала, что:

1) максимальное вероятное значение вертикальной силы, действующей со стороны колеса на рельс у поездов, которые сформированы из вагонов на тележках с осевой нагрузкой 25 тс:

– больше на 2–3 %, чем вертикальное воздействие поездов, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс при скоростях движения менее 50 км/ч;

– меньше на 3–4 %, чем вертикальное воздействия поездов, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс при скоростях движения более 50 до 60 км/ч;

– больше на 5–7 %, чем вертикальное воздействия поездов, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс при скоростях движения более 60 км/ч [2];

2) кромочные напряжения в подошве рельса при прохождении всех опытных поездов с осевой нагрузкой 25 тс не превышали нормативного значения согласно ГОСТ Р 55050–2012 (240 МПа) [3].

Установлено, что уровни максимально вероятных и средних значений напряжений в кромках подошвы рельсов от вагонов с осевой нагрузкой 25 и от вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс идентичны. Таким образом, несмотря на большую осевую нагрузку, вагоны с усовершенствованной экипажной частью сохраняют показатели воздействия на путь;

3) среднее значение боковых сил, передаваемых от колеса на рельс, которое измерено по методике, изложенной в ГОСТ Р 55050–2012 [3], не превышали допустимых значений, установленных там же;

4) полученные значения напряжений на основной площадке земляного полотна (таблица 1) при прохождении всех опытных поездов не превышают нормативного значения согласно вышеуказанному ГОСТу, равное 0,08 МПа [3].

Таблица 1 – Напряжения на основной площадке земляного полотна

Параметр	Нагрузка на ось, т/ось	
	23,5	25,0
Среднее напряжение, кПа	71,2	77,4
Максимальное напряжение, кПа	110,7	124,3
Превышение критерия [ $\sigma$ ] = 80 кПа, % от общего количества осей	21,0	34,2

При всех режимах движения ухудшения состояния пути после проезда поездов с осевой нагрузкой 25 тс не происходит.

На основании имеющихся данных вождение поездов, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой 25 тс, обеспечивает достаточный уровень безопасности движения и заданный ресурс пути. Это способствует значительной экономии средств. На основании оценки объемов перевезенного

груза за период январь – август 2017 г. следует вывод, что при использовании вагонов с осевой нагрузкой 25 тс, с отправкой грузовых поездов с тем же графиком, можно было перевезти грузов на 8 млн т больше, чем с вагонами с осевой нагрузкой 23,5 тс.

#### Список литературы

1 Статистика перевезенного груза и грузооборота Белорусской железной дорогой. – Режим доступа : [http://www.rw.by/corporate/belarusian\\_railway/statistics](http://www.rw.by/corporate/belarusian_railway/statistics). – Дата доступа : 20.09.2017.

2 Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса : пер. с англ. / У. Дж. Харрис [и др.]. – М. : Интекст, 2002. – 408 с.

3 ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 22 с.

УДК 658.7/.8.004.67

## ИННОВАЦИИ В ДВУХСЛОЙНОЙ УКЛАДКЕ БЕТОНА С ОБНАЖЕННЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

*К. В. БОЖИК, Н. А. КОЛИВОШКО, В. С. ПЕТРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время для восстановления автострад в Германии широко используется двухслойная укладка бетона. Она позволяет с минимальными затратами получить малошумное покрытие из бетона с обнаженным заполнителем. Суть метода заключается в том, что на основание укладывается нижний слой бетона, толщиной 20–24 см, затем верхний, толщиной от 5 до 8 см.

Бетоноукладчик автоматически по принципу «мокрое на мокрое» укладывает два сорта бетона. Как для нижнего, так и для верхнего слоя бетона предъявляются одинаковые требования по прочности на растяжение, сжатие и изгиб. В свою очередь, состав бетона значительно отличается в зависимости от размера зерна, требований, предъявляемых к заполнителю и содержанию цемента. Необходимое содержание цемента в нижнем слое – более 350 кг/м<sup>3</sup>, а в верхнем (с обнаженным заполнителем) – не менее 420 кг/м<sup>3</sup>.

Максимальный размер зерен (> 2 мм) является основной составляющей частью бетона с обнаженным заполнителем. Для изготовления бетона применяют высокосортный щебень, к которому предъявляются высокие требования к форме зерен и неразрушению в процессе полирования.

По окончании укладки бетона на профилированную поверхность финишер распределяет замедлитель. Спустя некоторое время после укладки зернистый наполнитель обнажается при помощи щеток на поверхности бетона. Таким образом, создается шероховатость на покрытии, также на поверхности имеется большое количество выступов, благодаря которым удерживается шум от контакта шин с покрытием.

По этой технологии были созданы четыре проекта, в них были замечены все достоинства технологии укладки, которые привели к достижению успеха. Один из проектов был направлен на восстановление участка автострады на земле Саксония-Анхальт, который в результате щелочно-силикатной реакции был разрушен. Последующие три проекта были направлены на восстановление цементобетонных дорог в возрасте от 30 до 40 лет.

В трех проектах были использованы датчики, которые регулируют высоту передней стенки. Этими датчиками измеряли уровень заполнения бетоном, в результате всегда подавалось необходимое количество бетонной смеси.

Окончательная обработка бетона является немаловажным процессом. Финишер оборудуется щетками, благодаря которым бетон приобретает определенную текстуру. Текстуру бетону с обнаженным заполнителем не придают. В этом случае на поверхность наносится отведенное количество составляющего средства, в состав которого входит замедлитель и финишная дисперсная смесь. Замедлитель избавляет от схватывания и затвердевания бетона за определенное время, в свою очередь дисперсионная смесь замедляет высыхание бетона, из-за чего образовывались бы трещины на поверхности. Когда бетон схватится и возможно осуществление движения, то покрытие подвергается обработке щетками, для освобождения структуры зернистого заполнителя. И заключительным

этапом на покрытие наносят окончательную дисперсионную смесь. Освобождение структуры зернистого заполнителя добавляет цементобетонному покрытию необходимую шероховатость, в результате получается безопасным дорожное движение.

Таким образом, основными достоинствами данной технологии являются: возможность использования дешевого бетона для нижнего слоя покрытия; экологическое и безопасное верхнее покрытие; высокие показатели ровности покрытия; высокая безопасность движения. В Беларуси хорошо развита сырьевая база по производству цемента и применение технологии устройства двухслойного бетона с обнаженным заполнителем является необходимым и целесообразным.

УДК 625.142.45

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ СРЕДЫ СИСТЕМЫ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПУТЬ»

*Д. И. БОЧКАРЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Традиционные конструкции шпал, применяемые в верхнем строении железнодорожного пути, имеют ряд недостатков, которые заключаются в их невысокой долговечности, а также невозможности демпфировать поездную нагрузку, в частности преобразуя ее в электрическую энергию.

Одним из способов преодоления указанных недостатков является разработка шпалы, преобразующей механическую (поездную) нагрузку в электрическую энергию на основе использования прямого пьезоэффекта.

Поставленная задача достигается тем, что шпала, включающая железобетонное тело, имеющее опорные площадки со сформированными в зоне последних пустотными каналами под закладные болты крепления, снабжена демпфирующими элементами, для размещения которых в теле шпалы со стороны опорных площадок выполнены пазы. В качестве демпфирующих элементов наиболее эффективно использовать пьезоэлектрические преобразователи, соединенные электродами с электрической цепью.

При приложении силы (поездной нагрузки, передаваемой колесами подвижного состава через рельсы) вдоль вертикальной оси пьезоэлектрического преобразователя на его гранях, перпендикулярных оси действия силы, появляется электрический заряд, пропорциональный действующей силе, поступающий в электрическую цепь посредством электродов. Изготовленный из пьезоэлектрического материала (пьезокомпозита или пьезокерамики, например цирконата-титаната-свинца PZT-5Н) пьезоэлектрический преобразователь имеет высокую прочность (допустимые напряжения могут достигать до  $(0,7 \dots 1,0) \cdot 10^8$  Па), что позволяет прикладывать к нему большие силы. Кроме того, данный материал имеет большой модуль упругости  $0,57 \cdot 10^{11}$  Па, что обуславливает высокую жесткость и очень малое собственное внутреннее трение. Электрические и механические свойства данных пьезоэлектрических материалов имеют высокую стабильность. За 10 лет изменение характеристик не превосходит 0,05 %, что позволяет прогнозировать высокий срок службы шпалы.

Напряжение, возникающее на электродах одного тензометрического преобразователя при однократном приложении нагрузки, можно определить по формуле

$$U_1 = \frac{dF}{C},$$

где  $d$  – пьезоэлектрический модуль, для цирконата-титаната-свинца PZT-5Н  $d = 760 \cdot 10^{-12}$  К/Н [1];  $F$  – сила, передаваемая одним колесом подвижного состава вдоль вертикальной оси пьезоэлектрического преобразователя, для четырехосного вагона грузоподъемностью 60 т, имеющего собственную массу 23 т,  $F = 101778$  Н;  $C$  – электрическая емкость пьезоэлектрического преобразователя,

$$C = \frac{e\epsilon_0 S}{l},$$

$e$  – диэлектрическая проницаемость материала пьезоэлектрического преобразователя, для цирконата-титаната-свинца PZT-5Н  $e = 5000$ ;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $S$  – площадь пьезоэлектрического преобразователя,  $S = 0,01$  м<sup>2</sup>;  $l$  – толщина пьезоэлектрического преобразователя,  $l = 0,01$  м.

Тогда

$$C = \frac{5000 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01}{0,01} = 4,427 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.}$$

Следовательно

$$U_1 = \frac{760 \cdot 10^{-12} \cdot 101778}{4,427 \cdot 10^{-8}} = 1747 \text{ В.}$$

Кроме того, напряжение  $U_1$  может быть увеличено посредством усилителя мощности.

Сила тока, возникающая на электродах одного тензометрического преобразователя при однократном приложении нагрузки, составляет 0,01 А.

Тогда при движении состава, имеющего 100 осей, одна шпала с двумя параллельно соединенными пьезоэлектрическими преобразователями согласно [2–4] может вырабатывать без учета потерь электрическую энергию мощностью

$$P = U I n \cdot 100 = 1747 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 100 = 3494 \text{ Вт.}$$

При эпюре шпал, составляющей 1840 шпал/км [5], участок железнодорожного пути протяженностью 1 км может вырабатывать электрическую энергию мощностью 6428960 Вт без учета потерь.

Одновременно с этим электрическую цепь, которая соединяет пьезоэлектрические преобразователи, можно использовать в качестве линии СЦБ, позволяющей при соответствующем программном обеспечении получать информацию о различных параметрах движения подвижного состава (высокоточном расположении поезда на перегоне, его скорости движения, состоянии поверхностей катания колес, нагрузки на каждую колесную пару, и т. д.), а также о состоянии пути (износе поверхности катания рельсов и положении рельсов в плане и по уровню).

Таким образом, реализация в конструкции верхнего строения пути технических решений по преобразованию поездной нагрузки в электрическую энергию и использования данной цепи в качестве линии СЦБ нового типа позволяет внедрить на железной дороге систему «интеллектуальный путь».

Внедрение данной системы позволяет осуществлять генерацию «зеленой» электроэнергии, достичь определенной энергонезависимости железной дороги, повысить безопасность движения поездов (в том числе реализовать интеграцию данной системы с системами автоматического ведения и управления движением) и уменьшить износ элементов верхнего строения пути.

#### Список литературы

- 1 Пьезоэлектрические материалы на основе гибрида матричных нано- и микропьезоэлектрических композитов / М. К. Керимов [и др.] // Институт физики НАН Азербайджана. Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81. Вып. 8. – С. 127–134.
- 2 **Зубцов, В. И.** Организация и планирование испытаний пьезопреобразователей механических напряжений / В. И. Зубцов // Приборы и средства автоматизации. – 2002. – № 12. – С. 61–67.
- 3 **Зубцов, В. И.** Методы определения физических свойств деформируемых материалов с применением пьезо- и электрических систем : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Зубцов. – М., 2005. – 32 с.
- 4 **Зубцов, В. И.** Методика градуировки и метрологических исследований пьезодатчиков механических напряжений / В. И. Зубцов // Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – 2002. – № 12. – С. 38–40.
- 5 **Шахунянц, Г. М.** Железнодорожный путь / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1969. – С. 232–246.

УДК 625.142.1

### КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

*Д. И. БОЧКАРЕВ, А. С. ЛАПУШКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Со времен первых железных дорог используется классическая конструкция пути: рельсы, шпалы и песчаное или щебеночное основание. Такая конструкция предельно проста и универсальна. С повышением скоростей движения и ужесточением требований к качеству пути появи-



лась новая конструкция – путь без балласта с опорой рельсов на сплошное монолитное основание. В настоящее время известно более 20 таких типов пути, эксплуатирующихся в различных странах мира, но по-прежнему остается открытым вопрос: что лучше, путь на балласте или безбалластный. Если отдать предпочтение безбалластному пути, то встает вопрос о выборе его конструкции, при осуществлении которого необходимо учитывать такие критерии, как защита от шума и вибрации, возможность регулировки пути в плане и по уровню, стоимость строительства и эксплуатации и т. д.

Например, развитие конструкций верхнего строения пути метрополитена в Республике Беларусь и за рубежом осуществляется главным образом за счет строительства новых линий способом мелкого заложения, который имеет существенный недостаток: в прилегающих к ним зданиях уровень шума и вибраций от обращающихся поездов часто превышает санитарные нормы. Решение этой проблемы осуществляется по нескольким направлениям: совершенствование ходовых частей подвижного состава; улучшение виброзащитных свойств железнодорожного пути; применение виброизоляционных обделок и экранов, устанавливаемых между тоннелем и зданиями; разработка виброзащитных конструкций зданий. При этом улучшение виброизоляционных свойств железнодорожного пути включает в себя как модернизацию эксплуатируемых участков, так и разработку принципиально новых конструкций для строящихся линий.

Основную роль в данном направлении будут играть промежуточные скрепления, обеспечивающие в течение длительного времени проектное положение рельсовой колеи, предотвращающие угон пути, износ элементов рельсошпальной решетки и обладающие необходимой упругостью для снижения уровня вибраций и шума.

Рельсовые промежуточные скрепления могут быть классифицированы в зависимости от выполняемых функций, материала составных частей и по другим признакам.

Так, по назначению, можно выделить промежуточные скрепления, применяемые на железнодорожных линиях, трамвайных линиях и в тоннелях метрополитенов. Исходя из этого по воздействию внешней среды можно выделить скрепления, подверженные атмосферным осадкам и эксплуатируемые при переходе температур воздуха через 0 °С в зимнее время, а также скрепления, подверженные воздействию повышенной влажности и эксплуатирующиеся при положительных температурах вблизи токопроводящих элементов (в метрополитенах).

В свою очередь все промежуточные рельсовые скрепления по типу подрельсового основания подразделяются на шпальные и скрепления на безбалластном основании.

Промежуточные скрепления на современном этапе их развития выполняют обязательную функцию прочного соединения рельсов с подрельсовым основанием, но в дополнение к этому в ряде типов заложено конструктивно или посредством материалов, выполнение одной из задач, определяемой условиями места постановки промежуточного скрепления.

По выполняемой задаче современные промежуточные рельсовые скрепления можно разделить:

- а) на повышающие надежность прикрепления рельсов к шпале;
- б) облегчающие выполнение работ по монтажу;
- в) ограничивающие перемещение подошвы рельса;
- г) позволяющие регулировать уровень при выполнении работ по выправке пути;
- д) обеспечивающие вибрационную защиту внешней среды;
- е) обеспечивающие высокие значения упругого прогиба рельса;
- ж) обеспечивающие природу прогиба рельса на стрелочном переводе, аналогичную природе прогиба рельса в прямолинейном участке пути;
- з) обеспечивающие повышенную работоспособность анкера в составе конструкции;
- и) распределяющие функции упругих элементов в процессе работы;
- к) обеспечивающие продолжительное прижимное усилие на протяжении эксплуатации;
- л) обеспечивающие надежное конструктивное положение изолирующего элемента;
- м) обеспечивающие разгрузку подкладки от воздействий колес подвижного состава;
- н) обеспечивающие водоотвод от узла промежуточного скрепления.

Классификация современных промежуточных рельсовых скреплений по выполняемой задаче представлена на рисунке 1.

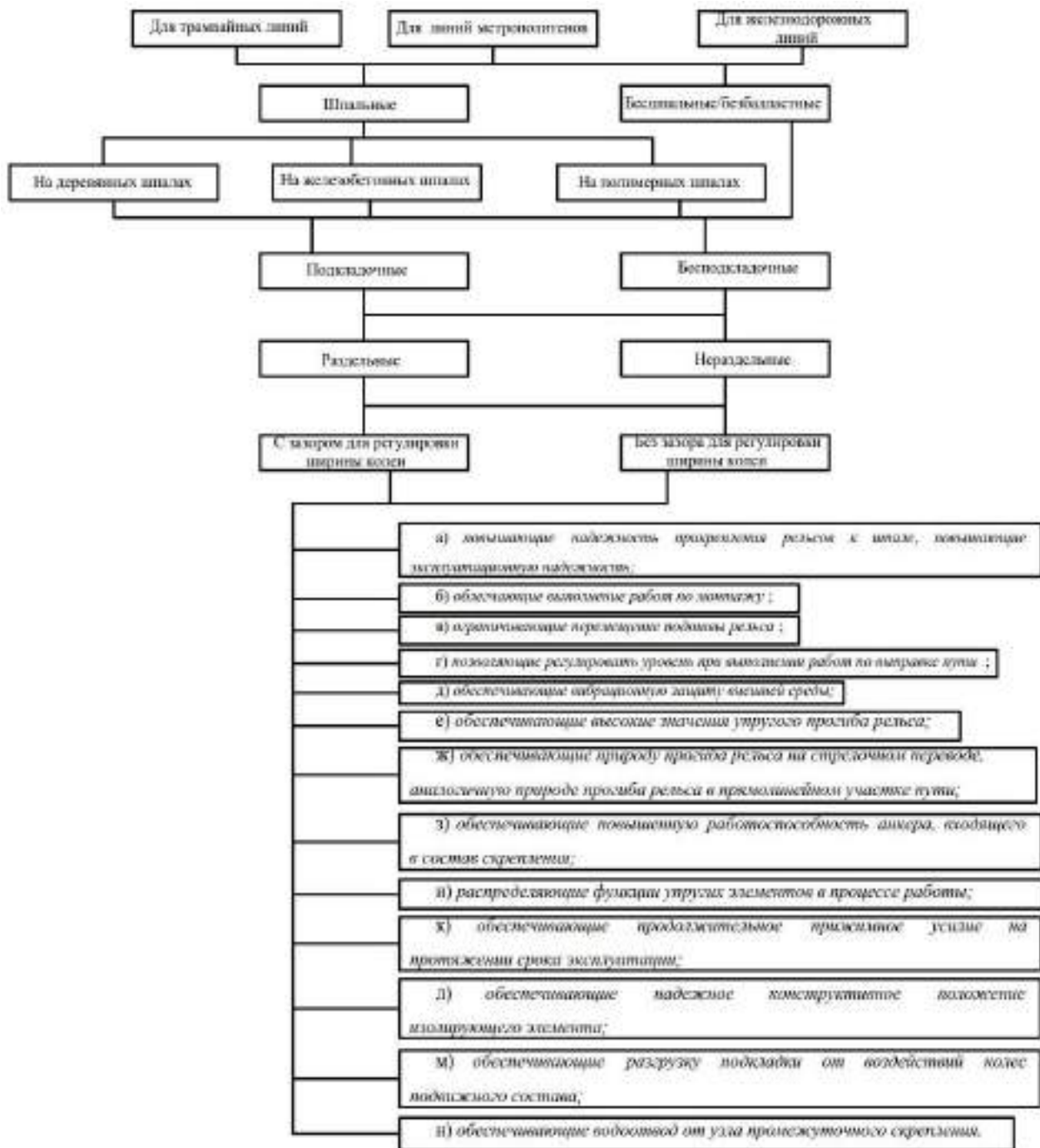


Рисунок 1 – Классификация промежуточных рельсовых креплений

По материалу шпалы, на которую устанавливается крепление, шпальные крепления подразделяются на крепления на железобетонных, деревянных и полимерных шпалах. Соответственно по способу прикрепления к шпале крепления, используемые в пути на железобетонных шпалах, подразделяются на клеммно-болтовые с использованием жестких клемм и анкерные с использованием пружинных клемм. Также рельсовые крепления по наличию подкладки подразделяются на бесподкладочные и подкладочные. Вторые в свою очередь делятся на подкладки с плоской подошвой и с v-образными углублениями.

Предлагаемая на рисунке 1 классификация в совокупности с опытом эксплуатации существующих конструкций верхнего строения пути может позволить осуществить комплексный подход к работе по созданию принципиально новых промежуточных креплений. Данный подход необходимо реализовывать с учетом исследований физико-механических свойств материалов, применяемых

в конструкциях пути, совершенствовании методов расчета пути, которые должны базироваться на математическом моделировании взаимодействия пути и подвижного состава, а также выбором наиболее рациональной технологии его строительства, ремонта и содержания. Таким образом, реализуется комплексный подход к исследованию системы «материал – конструкция – технология» верхнего строения пути.

УДК 625.032.3 : 62-578.004.15

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ «ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ – КОЛЕСО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА»

*Д. И. БОЧКАРЕВ, В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Безопасность движения транспортного средства в значительной степени определяется его тормозными характеристиками, которые зависят от коэффициента сцепления колес с дорожным покрытием.

Дорожные условия оказывают значительное влияние на коэффициент сцепления покрытий автомобильных дорог и, как следствие, безопасность движения отдельных автомобилей и всего потока транспортных средств в целом [1].

Из работ [4–7], посвященных исследованию взаимодействия колеса с дорожным покрытием, можно сделать вывод о его зависимости от большого количества факторов, классификация которых приведена на рисунке 1.

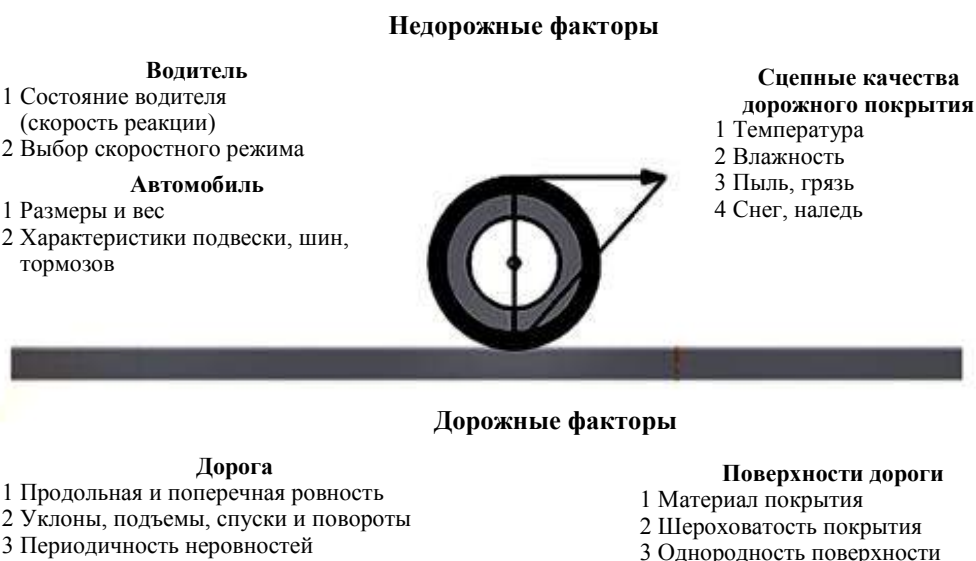


Рисунок 1 – Схема взаимодействия колеса с дорожным покрытием

Такие факторы, как шероховатость, влажность и загрязненность материала покрытия оказывают основное влияние на сцепные свойства в системе «дорожное покрытие – колесо транспортного средства», поэтому коэффициент трения скольжения (коэффициент сцепления) можно считать интегральной характеристикой для оценки их взаимодействия.

Основными документами, регламентирующими в Республике Беларусь методические и технические средства для определения сцепных качеств дорожного покрытия, являются СТБ 1291–2007 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения [2] и СТБ 1566–2005 Автомобильные дороги. Методы испытаний [3].

Согласно [2] и [3] в качестве испытательного оборудования следует использовать автомобильную установку типа ПКРС-2, состоящую из автомобиля-тягача, прицепного одноколесного прибора, оборудованного датчиками ровности и коэффициента сцепления, а также установленных в автомобиле систем увлажнения покрытия, управления и регистрации (рисунок 2).

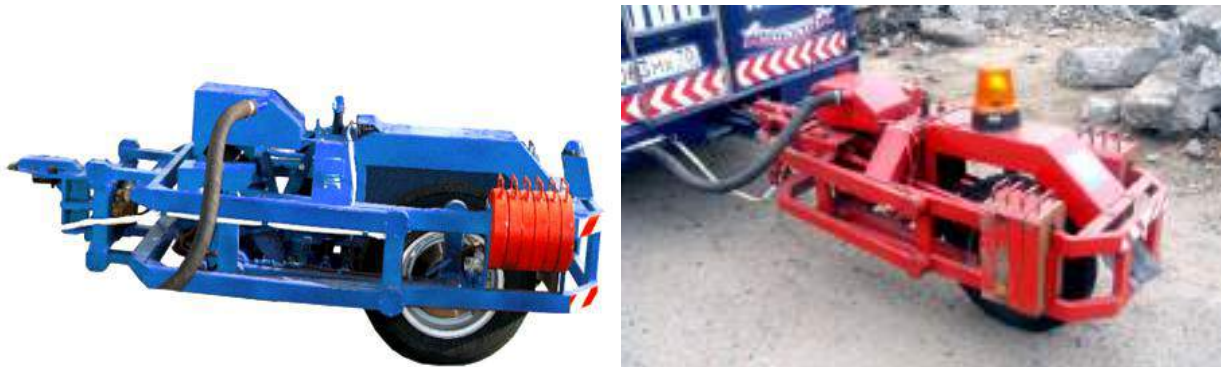


Рисунок 2 – Прицепная установка ПКРС-2

В то же время установка типа ПКРС-2 отличается большими габаритами и массой, на проводимые измерения может оказывать влияние динамика движения тягача. Кроме того, при выполнении замеров отсутствует возможность оперативно изменять факторы (см. рисунок 1) для исследовательских целей.

Одновременно с этим согласно [3] может использоваться прибор-деселерометр «Эффект-02», конструктивно состоящий из электронного блока обработки и отображения информации с органами управления, прикрепляемого на стекло автомобиля, а также датчика усилия, монтируемого на педаль тормоза (рисунок 3).



Рисунок 3 – Прибор-деселерометр «Эффект-02»

Данный прибор отличается удобством использования, однако на получаемые результаты измерений оказывает влияние техническое состояние автомобиля. Кроме того, отсутствует возможность оперативно изменять факторы (см. рисунок 1) для исследовательских целей.

При диагностике и контроле качества автомобильных дорог коэффициент сцепления можно определять прибором ударного действия типа ППК конструкции Ю. В. Кузнецова (рисунок 4).

Принцип работы прибора основан на имитации процесса скольжения заблокированного колеса автомобиля по дорожному покрытию при нормированных условиях их взаимодействия: при нагрузке на колесо  $2942 \pm 49$  Н, скорости движения  $60 \pm 3$  км/ч на мокром дорожном покрытии (подача воды должна обеспечивать расчётную толщину плёнки 1 мм) с использованием шины с гладким рисунком протектора, размером:  $6,45 \times 13''$  с внутренним давлением воздуха 0,17–0,01 МПа и положительных температурах окружающей среды. При достоверной имитации взаимодействия в системе «дорожное покрытие – колесо транспортного средства» величина коэффициента сцепления, определяемого прибором, зависит от материала и состояния поверхности резиновых имитаторов.



Рисунок 4 – Портативный прибор ППК для измерения коэффициента сцепления

Кроме того, на практике для определения сцепных качеств дорожного покрытия используются метод определения фактического коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием согласно приложению Б [2]. При этом используют легковой автомобиль без антиблокировочной системы в приводе тормозов, техническое состояние которого соответствует требованиям правил дорожного движения. При проведении испытаний выполняются следующие условия: тип протектора шин – с рисунком при глубине его не менее, установленного правилами дорожного движения; давление воздуха в шине –  $180 \pm 20$  кПа, или  $1,8 \pm 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>; скорость движения – 40 км/ч; погрешность измерения длины тормозного пути –  $\pm 10$  %. На участке автомобильной дороги автомобиль разгоняется до фиксированной скорости 40 км/ч и резким нажатием на педаль тормозится до блокирования колес, после чего измеряется длина тормозного пути. Коэффициент сцепления вычисляется математически по результатам замеров тормозного пути. Недостаток данной методики определения коэффициента сцепления заключается в погрешности измерений тормозного пути.

На основании вышеизложенного определение коэффициента сцепления в системе «дорожное покрытие – колесо транспортного средства» возможно различными способами, выбор наиболее эффективного из которых осуществляется исходя из требований к точности измерений и учета факторов, влияющих на коэффициент сцепления. Кроме того, определение коэффициента сцепления возможно в лабораторных условиях на специально изготовленных модельных образцах дорожных покрытий и автомобильных шин различной жесткости. Обработка поверхностей образцов и шин позволит моделировать различные дорожные условия. Сравнение результатов определения коэффициента сцепления в лабораторных условиях и на реальном дорожном покрытии позволит оценить адекватность применяемого метода и определить факторы, влияющие как на погрешность измерений, так и на коэффициент сцепления, что позволит предложить решения по его повышению в конкретных условиях.

#### Список литературы

- 1 Кочетков, А. В. Коэффициент сцепления: новая и старая реальность / А. В. Кочетков, М. Л. Ермаков, А. А. Шестопалов // Безопасность на транспорте. – 2010. – № 1. – С. 22–27.
- 2 СТБ 1291–2007. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. – Введ. 01.07.11. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 24 с.
- 3 СТБ 1566–2005 Автомобильные дороги. Методы испытаний. – Введ. 01.09.11. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 19 с.
- 4 Чистяков, Е. Г. Разработка методов повышения эксплуатационно-прочностных характеристик автомобильных дорог с учетом циклического воздействия нагрузок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Е. Г. Чистяков. – Волгоград, 2010. – 23 с.

5 **Бочкарев, Д. И.** Оценка влияния эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий на безопасность дорожного движения / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – № 1 (10). – С. 40–45.

6 **Леонович, И. И.** Диагностика и управление качеством автомобильных дорог : учеб. пособие / И. И. Леонович, С. Б. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск : Новое знание, 2011. – 350 с.

7 Содержание и ремонт автомобильных дорог: пособие начальнику линейной дорожной дистанции и дорожному мастеру по ремонту и содержанию автомобильных дорог / С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – 239 с.

УДК 621.331

## **УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, А. Н. СЫЧЁВА, С. А. ЩЕРБАКОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Первым электрифицированным участкам на Белорусской железной дороге (БЖД) уже более 50 лет. Существенный прорыв в направлении электрификации БЖД сделала именно в последние годы. Беларусь – транзитная страна, поэтому электрификация железнодорожных линий будет способствовать повышению конкурентоспособности магистрали как на внутреннем, так и на международном рынке транспортных услуг. По подсчетам специалистов, на Беларусь приходится около 40 % железнодорожного транзита в направлении Европа – Россия – Восток.

Электрификация железных дорог имеет следующие преимущества:

- повышение эффективности перевозок грузов по железной дороге будет происходить за счет снижения эксплуатационных расходов путем уменьшения использования горюче-смазочных материалов и оптимизации тяги вследствие удлинения плеч обслуживания подвижного состава;
- увеличение пропускной способности железных дорог за счет повышения массы поездов и увеличения скорости движения поездов, а также повышения показателей использования подвижного состава;
- улучшение экологической безопасности и уменьшение уровня экологических платежей через снижение расходов на экологические сборы и рисков применения штрафных санкций за загрязнение окружающей среды.

В условиях постоянно растущих цен на нефтепродукты и значительной внешнеэкономической зависимости Беларуси от поставщиков нефтепродуктов электрификация железных дорог приобретает особенную актуальность для страны. В результате реализации принятых программ по электрификации участков БЖД: во-первых, на электрифицированных участках снизились ресурсные затраты железной дороги; во-вторых, уменьшилась сумма экологического налога ввиду снижения выбросов загрязняющих веществ; в-третьих, модернизация контактной сети позволила повысить пропускную способность за счет повышения скорости движения, в том числе до 140 км/ч. Однако это потребовало значительных капиталовложений в обновление парка локомотивов, переподготовку локомотивных бригад и строительство тяговых подстанций.

Основные выгоды, которые получит страна от введения электрификации железных дорог:

- 1) усиление энергетической независимости государства и оптимизация топливно-энергетического баланса страны за счет уменьшения импорта горюче-смазочных материалов путем их замещения энергоносителем собственного производства (электроэнергией);
- 2) энерго- и ресурсосбережение – за счет внедрения прогрессивных технологий, которые направлены на снижение расходов энергоносителей и экономию полезных ископаемых;
- 3) улучшение экологического состояния в стране – за счет уменьшения негативного влияния транспорта на окружающую среду, уменьшения выбросов вредных газов, уменьшения загрязнения почвы и водоемов;
- 4) поддержка развития отдельных отраслей национальной экономики (строительной, электротехнической, металлургической, машиностроительной) за счет создания новых рабочих мест и повышения уровня поступлений в бюджет;

5) улучшение имиджа государства и обеспечение выполнения международных обязательств: уменьшения выбросов парниковых газов; развитие современной транспортной системы – повышение скорости и уровня комфорта;

6) содействие развитию национальной экономики: уменьшение расходов предприятий за счет повышения экономической эффективности функционирования сектора грузовых перевозок и обеспечения стабильности структуры расходов; увеличение транзитных возможностей транспортной системы государства.

Внедрение электрификации имеет и социальные аспекты.

1 Обеспечение внедрения скоростного пассажирского движения. Выведение пассажирских перевозок на качественно новый уровень и создание технической базы безубыточного функционирования сектора пассажирских перевозок: повышение конкурентоспособности железнодорожных перевозок, как в настоящее время, так и на перспективу; уменьшение убыточности пассажирских перевозок за счет внедрения дневных поездов и интенсификации использования подвижного состава; экономия времени на осуществление поездок; повышение деловой активности населения во всех сферах.

2 Улучшение среды жизнедеятельности для людей, которые проживают в непосредственной близости от объектов железнодорожной инфраструктуры: снижение уровня шума; уменьшение экологической нагрузки; экономическое развитие прилегающих территорий.

3 Улучшение условий труда железнодорожников: уменьшение шумовых нагрузок для локомотивных бригад; уменьшение контактов железнодорожников с горюче-смазочными материалами при их хранении и использовании.

С учетом всех технико-экономических факторов себестоимость перевозок электротягой существенно ниже, чем тепловозной. Экономическая эффективность электрификации в каждом конкретном случае разная и зависит от объемов движения и массы поездов, возможности увеличения участковой скорости движения, удельных норм тепловозной тяги и электротяги в зависимости от типов подвижного состава; видов движения при проведении разграничения грузового и пассажирского движения.

Без электрификации и внедрения электротяги обеспечить реализацию проектов скоростного движения поездов невозможно. Скоростное движение требует большой единичной мощности локомотивов, что, как показывает мировой опыт, экономически и конструктивно возможно лишь при применении электротяги.

УДК 621.33

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЯГИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

*Н. В. ДОВГЕЛЮК, С. А. ЩЕРБАКОВ, А. Н. СЫЧЕВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Тепловоз сложнее электровоза и стоит дороже, но он не требует контактной сети и тяговых подстанций. Тепловоз можно использовать везде, где только уложены железнодорожные пути. Электрификация железных дорог имеет большое значение для страны. Это высокоэффективный технологический процесс при транспортировке грузов.

На выполняемые электрической тягой почти три четверти объема перевозок затрачивается около 5 % потребляемой в стране электроэнергии, в то время как тепловозной тягой на 25 % объема перевозок потребляется около 13 % дизельного топлива. На перемещение одной тонны груза на расстояние 100 км электрической тягой затрачивается около 1 кВт·ч электроэнергии.

Электрификация железных дорог способствует: повышению пропускной и провозной способности железных дорог; росту производительности труда не только в локомотивном хозяйстве, но и по другим службам, что позволило снизить себестоимость перевозок на 30–40 %; быстрой окупаемости капитальных затрат на электрификацию (3–4 года); повышению устойчивости работы железных дорог, особенно в районах с тяжёлыми климатическими условиями; сокращению потребления топливно-энергетических ресурсов; снижению загрязнения окружающей среды.

Электрификация железных дорог сопровождается совершенствованием локомотивов, улучшением их технико-экономических характеристик. В результате повышения массы и скорости движения поездов при электрической тяге существенно увеличивается производительность электровозов по сравнению с тепловозами. Она растет еще и потому, что электровозы могут работать на длинных тяговых плечах, совершая большие безостановочные рейсы, при которых значительно увеличивается время их полезной работы. Наибольший прирост производительности электровозов достигается в условиях трудного профиля пути, так как скорость движения электровоза на руководящем подъеме почти вдвое превышает скорость движения тепловоза.

Особенно эффективно применение электрической (моторвагонной) тяги в пригородном пассажирском сообщении и в метро. Раздельные пункты на линиях размещены часто, при движении происходит много остановок, разгонов и торможений. Экономится значительное время при быстром наборе и снижении скорости при работе электродвигателей моторвагонных секций. Участковая скорость движения пригородных электропоездов на 15–20 % выше, чем пригородных дизельпоездов. Электрическая тяга позволяет использовать низкосортное дешевое топливо (уголь, сланцы и др.) при сжигании его на ТЭС и дешевую электроэнергию ГЭС. При тепловозной же тяге используется в основном дорогостоящее дизельное топливо.

Одним из решающих технико-экономических преимуществ электрической и тепловозной тяги является высокий коэффициент использования энергоресурсов, т. е. коэффициент полезного действия (КПД) электровозов и тепловозов. КПД электровоза и КПД электрической тяги различны. КПД электрической тяги зависит от источника электроэнергии: чем выше КПД электростанции, тем выше КПД электрической тяги. На конденсационной электростанции (КЭС) используется твердое топливо, уголь разных сортов в пылевидном состоянии, газ, мазут и т. п.

С учетом энергетической эффективности процесса производства и передачи энергии КПД электрической тяги представляется произведением КПД электростанции, линий электропередач, тяговых подстанций, контактной сети, эксплуатационного КПД электровоза и составляет 0,17.

Среднеэксплуатационный КПД тепловозной тяги зависит от КПД двигателя, электрической передачи величины затрат на собственные нужды тепловоза и составляет 0,26.

Сравнительный анализ экономических показателей электро- и тепло-тягового подвижного состава, показывает, что электрификация привлекательна с экологической точки зрения, меньше удельные расходы топлива и расходы на содержание эксплуатационного парка электровозов, однако 100%-ная электрификация потребует вложения значительных средств.

УДК 656.2.022.846

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ВЕЛИЧИН РАДИУСОВ КРИВЫХ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Т. А. ДУБРОВСКАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Введение скоростного движения пассажирских поездов на существующих магистралях со смешанным грузовым и пассажирским движением предполагает реконструкцию постоянных устройств, в том числе увеличения радиусов круговых кривых в плане. Для снижения объемов переустройства плана в последние годы внедрены в эксплуатацию вагоны с наклоном кузова в кривых участках пути.

Нормативные требования к величинам радиуса имеют общий характер, а для случая использования вагонов с наклоном кузова отсутствуют вообще. В исследовании предложена методика определения необходимого радиуса на каждой кривой с учетом ее расположения.

Наиболее благоприятные условия эксплуатации будут реализованы при выполнении условий равномерного давления колес вагона на рельсы обеих нитей и необходимой комфортабельности езды пассажиров. Величина радиуса при этом соответствует точке пересечения кривых зависимостей  $R_{из}(h)$  и  $R_{ром}(h)$ . Для аналитического выражения этого радиуса необходимо приравнять правые



части формул для радиуса кривой по одинаковому износу и комфортабельности езды пассажиров и выразить  $R$  из полученного уравнения

$$R = \frac{12,5(v_{\text{пас}}^2 - v_{\text{ср}}^2 K)}{163,1a_{\text{нп}}} \quad (1)$$

Однако при некотором соотношении скоростей движения значениях  $K$  и  $a_{\text{нп}}$  этот радиус соответствует неприемлемым значениям возвышения (за рамками 0–150 мм). Предложена методика расчета рекомендуемой величины радиуса  $R_{\text{рек}}$ , показанная в виде блок-схемы алгоритма (рисунок 1).

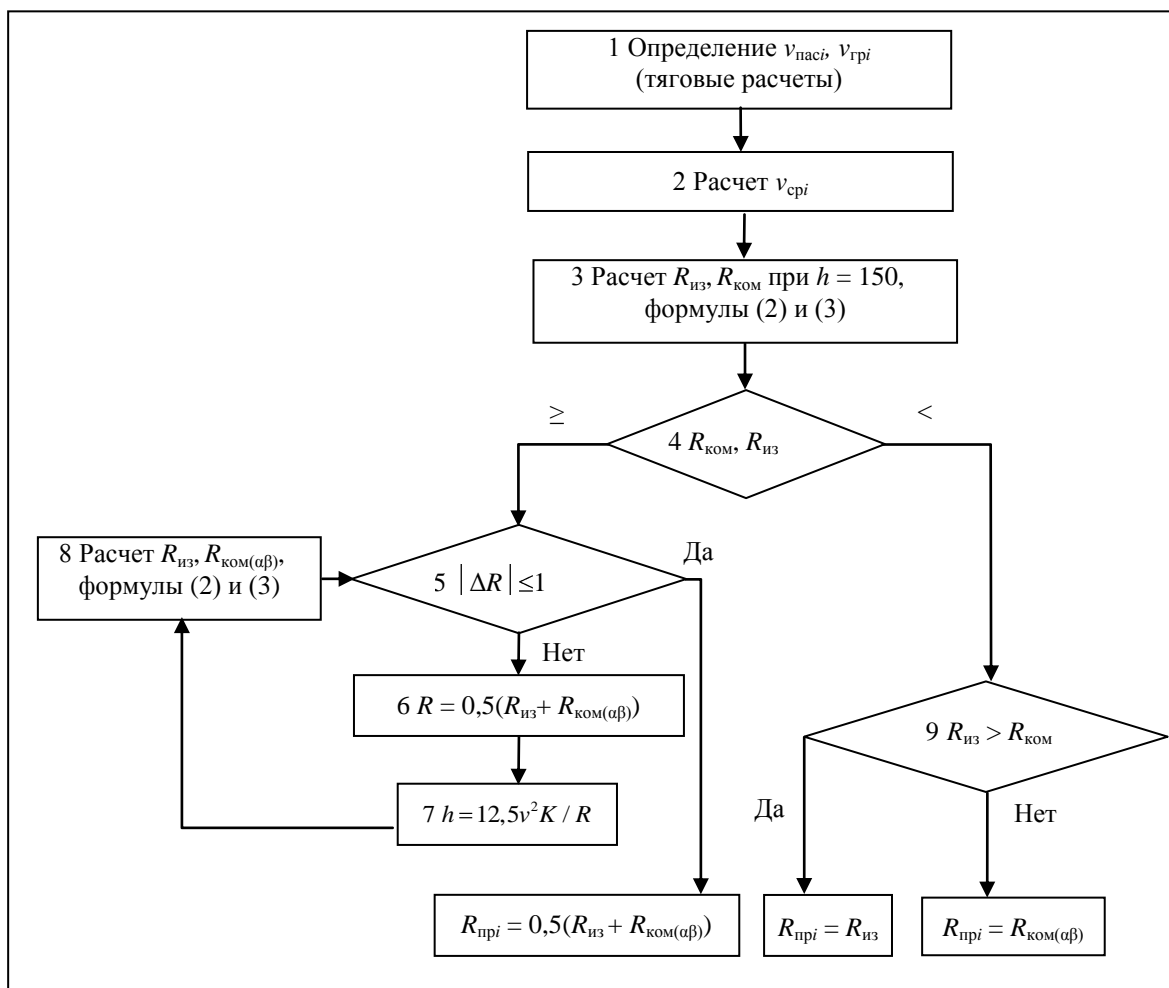


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма определения нормативных радиусов кривых

Определение нормативных величин радиусов кривых выполняется для каждой  $i$ -й кривой проектируемого участка с учетом скоростей проследования её поездами разных категорий.

Предварительно необходимо выполнить тяговые расчеты для всех категорий поездов и установить скорости движения по каждой из кривых (блок 1, см. рисунок 1). Для наиболее быстрых поездов – надо принять максимальную скорость, а для других поездов – среднюю при проследовании кривой.

С использованием данных тяговых расчетов и заданных на 10-й год размеров перевозок определяется средневзвешенная скорость потока поездов  $v_{\text{ср}}$  (блок 2, см. рисунок 1).

В блоке 3 (см. рисунок 1) выполняется расчет радиуса кривой по условию одинакового износу условию комфортабельной езды при максимально-возможном возвышении 150 мм.

В блоке 4 (см. рисунок 1) выполняется сравнение радиусов, полученных по равномерному износу и по комфортабельности:

$$R_{из} = \frac{12,58 \cos \beta \cdot v_{cp}^2 K}{h \pm 1600e / a}; \quad (2)$$

$$R_{ком} = \frac{0,0772v^2}{a_{ин} + 9,81 \operatorname{tg}(\pi\alpha^\circ / 180 + \arcsin(h / S))}, \quad (3)$$

где  $v_{cp}$  – средневзвешенная скорость потока, км/ч;  $h$  – возвышение наружного рельса в кривых, мм;  $e$  – смещение центра тяжести вагона из-за наклона кузова, м;  $\alpha$  – угол наклона кузова вагона при движении по кривой, град.

При  $R_{ком} \geq R_{из}$  необходимо установить положение точки пересечения кривых  $R_{ком}(h)$  и  $R_{из}(h)$ . Для этого используется циклическая операция расчета до тех пор, пока разность между  $R_{ком}$  и  $R_{из}$  не будет меньше 1 м (блоки 5–8, см. рисунок 1).

При  $R_{ком} < R_{из}$  установление радиуса производится в блоке 9 (см. рисунок 1).

В этом случае необходимо принимать больший из радиусов  $R_{из}(h)$  и  $R_{ком}(h)$  при  $h = 150$  мм. При этом, если  $R_{из} > R_{ком}$ , то, приняв проектное значение радиуса равным  $R_{из}$ , мы обеспечиваем равномерное давление на рельсы и непогашенное ускорение меньше нормативного значения.

Если  $R_{ком} > R_{из}$ , то будут обеспечены комфортабельные условия, а давление на внутренний рельс и его износ будут большими.

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет определять величины радиуса кривой с учетом условий её эксплуатации – скоростей движения и размеров перевозок.

Эта методика универсальна: может быть использована как для обычного подвижного состава, так и для подвижного состава с наклоном кузова.

УДК 625.144

## ПРОГРЕССИВНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПУТИ НА СПЛОШНОМ БЕТОННОМ ОСНОВАНИИ

А. Г. ЖУКОВЕЦ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Скоростному и высокоскоростному движению на железных дорогах уделяется большое внимание. В настоящее время распространено смешанное движение, когда по одному и тому же пути следуют скоростные, пассажирские, а зачастую и грузовые поезда. Современные системы диагностики и сигнализации позволяют обеспечить требуемый уровень, но при такой нагрузке существенно повышаются требования и к самому пути. В связи с этим оправдан интерес к принципиально новой разработке, представленной компанией Balfour Beatty, конструкция которой отличается от традиционной, а ряд элементов просто отсутствует, хотя раньше они считались основными.

Это конструкция пути на сплошном подрельсовом бетонном основании, от внедрения которого ожидают получения существенного экономического эффекта. Традиционные рельсы Т-образного профиля были заменены на сплошной металлический брус прямоугольной формы, вмонтированный в сплошное бетонное основание, что обеспечивает стабильное положение рельса и исключает потребность в промежуточных скреплениях.

На основании испытаний были определены следующие основные достоинства: более меньший объем работ на текущем содержании, увеличение продолжительности срока службы, снижение относительной высоты верхнего строения, высокий коэффициент сопротивления боковым усилиям, отсутствие угрозы вылета из-под подвижного состава частиц балласта при движении на высокой скорости.

Под рельсом находится прокладка из эластомера которая помещена в пластмассовую коробку, армированную волокном и жестко закрепленную в выемке бетонной плиты с помощью цементного раствора. Такая конструкция позволяет точно выдержать установленную ширину колеи. Рельс находится на опоре целиком, а не опирается на нее отдельными точками, что позволяет повысить плавность хода, снизить износ колес и продлить срок службы рельсов.

Поскольку каждый рельс жестко закреплен с трех сторон, возможность его сдвига под воздействием сил, возникающих при прохождении поезда, практически исключается. Повышенная устойчивость рельсов способствует безопасной эксплуатации подвижного состава большого габарита и то, что значительная часть рельса практически закрыта, способствует снижению шума, который является большой проблемой для некоторых типов пути на сплошном подрельсовом основании. Основным преимуществом данной конструкции является значительно меньшее количество деталей. Один метр пути на балласте включает около пятидесяти деталей, а данная конструкция состоит всего из пяти элементов. Данная конструкция имеет ряд преимуществ перед другими конструкциями пути на плитном основании, которые требуют исключительно точной укладки рельсов. Здесь использован иной подход. Бетонную плиту с выемкой изготавливают в соответствии со стандартными допусками строительной промышленности, а рельсы фиксируются при установке. Рельсы и изолирующие прокладки могут меняться без разрушения или повреждения плиты или выемки в ней. Плита имеет постоянную толщину, что исключает искажение профиля пути. Сплошное опирание рельса не позволяет ему сдвигаться в продольном и поперечном направлениях, а его четкая фиксация обеспечивает стабильность пятна в зоне контакта колеса и рельса. Конструкция отлично воспринимает статические и динамические нагрузки. Стоимость укладки пути на плитном основании превышает стоимость нового балласта примерно на 30 %, но если учесть продолжительность службы балластного слоя, проведения дренажных работ, различия в производительности, то разница окажется значительно меньше.

УДК 625.14

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПО СТРЕЛОЧНЫМ ПЕРЕВОДАМ**

*В. И. ИНЮТИН, В. Е. МИРОШНИКОВ, А. Ф. ХАРЬКОВ, А. А. КИРЬЯНОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Бесперебойное и безопасное движение поездов на Белорусской железной дороге зависит от прочности и надежности подрельсового основания. На главных и станционных путях Белорусской железной дороги эксплуатируется значительное количество стрелочных переводов с деревянными брусьями. Одной из главных причин выхода из строя деревянных брусьев стрелочных переводов является их механический износ. Путьевые прокладки предотвращают износ деревянных брусьев стрелочных переводов, способствуя продлению срока их службы. Для изготовления прокладок используется резина и композиционные материалы. Включение в состав прокладок каучука приводит к повышению их стоимости. Кроме того, как показывают эксплуатационные испытания резиновых прокладок, вследствие повышенной гибкости они не могут распределять динамическое давление на площадь, большую площади металлических подкладок. Прокладки из композиционных материалов, имеющие повышенную жесткость, передают давление от поездной нагрузки на площадь, на 10 % большую, чем площадь металлических подкладок, что способствует уменьшению давления на шпалу и снижению износа древесины. С целью защиты стрелочных брусьев от механического износа используются комплекты прокладок, для изготовления которых создаются композиционные материалы на основе промышленных отходов.

Известно, что на обувных предприятиях Республики Беларусь образуется большое количество промышленных отходов, значительная часть которых не используется, а сжигается на свалке, что приводит к загрязнению окружающей среды.

Для разработки композиционного материала в качестве связующего использовали вторичный полиэтилен (в виде измельченных тарных мешков, пленки и ленты), а наполнителями служили измельченные отходы обувного производства. Увеличение прочности полимерной матрицы и стабильности свойств материала получали путем введения в связующее минерально-органического наполнителя. При этом в объеме полимерной матрицы формируется трехмерная минерально-органическая сетка, которая образует прочный армирующий каркас в объеме материала, снижающий деформации и увеличивающий прочность и износостойкость прокладок.

Оптимизацию состава композиционного материала производили с применением метода центрального композиционного рототабельного планирования второго порядка. Полученные уравнения регрессии представляли адекватные математические модели прочности и износостойкости композита. При использовании уравнения регрессии разработаны составы композиционных материалов для изготовления комплектов прокладок на деревянные и железобетонные брусья стрелочных переводов, а также нащпальных прокладок для железобетонных шпал.

Комплект прокладок из разработанного материала для стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 состоит из 217 прокладок 6 типоразмеров общим весом 170 кг: I типа размером 370×175 мм – 120 шт., II – 510×200 мм – 21, III – 600×200 мм – 10, IV – 660×200 мм – 20, V – 740×200 мм – 42, VI – 900×200 мм – 10.

Выпущенные комплекты прокладок уложены более чем на 2200 стрелочных переводах во всех дистанциях пути Белорусской железной дороги. Амортизирующие прокладки способствуют стабилизации ширины колеи уровня рельсовых нитей, что позволяет снизить затраты на текущее содержание стрелочных переводов. Кроме того, укладка прокладок из предложенного материала на деревянные брусья стрелочных переводов повышает надежность и долговечность металлических частей стрелочных переводов и, соответственно, безопасность движения поездов по стрелочным переводам.

УДК 625.17

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ**

*П. В. КОВТУН, О. В. ОСИПОВА, П. В. КЛЕПАЦКИЙ, А. Ю. ТАРАКАНОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Путевое развитие отдельных пунктов характеризуется большим количеством стрелочных переводов. По типу и марке стрелочные переводы имеют очень широкий спектр конструкции. Современные тенденции в конструкции стрелочных переводов – это стрелочные переводы на железобетонном основании с применением инновационных технических достижений для обеспечения высоких скоростей движения. Тем не менее в пути продолжают лежать сложные конструкции стрелочных переводов и пересечений, такие как двойные перекрестные стрелочные переводы, прямоугольные и косоугольные пересечения, значительно ограничивающие скорость движения. Кроме того, опыт эксплуатации таких конструкций выявил ряд негативных особенностей:

- они конструктивно являются источником потенциальной опасности, так как возможен сход подвижного состава с рельсов во вредном пространстве тупой крестовины;

- в результате длительного срока эксплуатации, как правило, металлические элементы имеют повышенный износ;

- необходимость частых перешивок (5–6 раз в год) приводит к дополнительным затратам труда и материалов верхнего строения пути – срок эксплуатации деревянных шпал и брусьев значительно сокращается. Как результат – нередко подрельсовое основание может состоять из нетиповых деревянных брусьев и сшитых между собой шпал;

- поставка двойных перекрестных стрелочных переводов и глухих пересечений на Белорусскую железную дорогу ограничена. Кроме того, следует иметь в виду, что двойные перекрестные стрелочные переводы – очень дорогостоящая продукция;

- в связи с уменьшением объемов перевозок, повлекших за собой изменения технологической работы станций, острой необходимости в сложной конструкции стрелочной продукции нет.

В современных экономических условиях уменьшения грузонапряженности и ввиду сложности обслуживания таких конструкций необходимость в замене не утрачивает актуальности и возникает достаточно часто. Замену двойных перекрестных конструкций обыкновенными целесообразно рассматривать с учетом путевого развития станции и, в частности, полезной длины отдельных присоединяющихся путей, которая должна оставаться без изменений.

Такая задача возникает на многих отдельных пунктах Белорусской железной дороги. Например, на станции Рось Волковысской дистанции пути движение пассажирских поездов с первого главного пути на приемоотправочные № 3 и 5 и обратно осуществляется по двойному перекрестному стрелочному переводу № 30/34. В четной горловине станции Речица ПЧ-17 соединение I и II главных путей осуществляется с помощью перекрестного съезда, в основе которого лежат косоугольное глухое пересечение марки 2/9 типа Р65 и четыре одиночных обыкновенных стрелочных переводов № 24, 26, 28, 30 марки 1/11 типа Р65. И в первом и во втором случае данные конструкции снижают общий уровень безопасности, ограничивают скорость, а также требуют повышенного внимания и трудоемкого обслуживания. Их замена приведет к сокращению непроизводительных расходов и оптимизации безопасной работы.

Разработка вариантов переустройства путевого развития станций с целью замены двойных перекрестных конструкций на обыкновенные выполнялась сотрудниками кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» БелГУТа совместно с сотрудниками технических отделов дистанций. Предлагаемые решения позволят при минимуме капитальных затрат сократить расходы на текущее содержание пути, повысить уровень безопасности движения, не нарушая технологической работы станций.

УДК 625.11

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ**

*П. В. КОВТУН, В. В. РОМАНЕНКО, А. С. ЛАПУШКИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*М. А. ХОМИЧ*  
*Могилевская дистанция пути, Республика Беларусь*

Как известно, пути необщего пользования играют значительную роль в развитии отраслей промышленности, предоставляя такую услугу, как перевозка грузов. Скорости движения по таким путям незначительные, но тем не менее очень часто имеют место транспортные происшествия и события, связанные с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. Причиной таких происшествий и событий служит эксплуатация путей с отступлениями от требований Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь и СТП 09150.56.010–2005 «Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ», а также дефицит железнодорожной путевой продукции.

Более того, в путевом хозяйстве Белорусской железной дороги не предусмотрена градация нормативной базы в зависимости от назначения и класса путей, как в некоторых зарубежных странах. При расследовании таких случаев приходится сталкиваться с двусмысленной трактовкой некоторых положений нормативных документов, что, в свою очередь, затрудняет установление причин возникновения расстройств пути и разработку мероприятий по их предотвращению.

За последние годы кафедра «Строительство и эксплуатация дорог» БелГУТа принимала участие в обследовании путей необщего пользования, принадлежащих различным предприятиям (т. е. не состоящим на балансе Белорусской железной дороги) с целью проверки соответствия геометрических параметров пути установленным нормам и правилам. В процессе обследования производился контроль таких основных геометрических параметров, как ширина рельсовой колеи, уровень расположения рельсовых нитей относительно друг друга, износ рельсов и металлических частей стрелочных переводов, а также состояние пути в плане. В ходе обследований путей необщего пользования на соответствие их фактических параметров нормативным значениям возникают сложности, связанные с применением конкретных положений нормативной базы. Так, в Правилах технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь и СТП 09150.56.010–2005 «Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ» не достаточно раскрыты критерии оценки технического состояния и теку-

щего содержания криволинейных участков пути, которые уложены на железобетонных и деревянных шпалах в пределах одной кривой. Некоторые фактические параметры при проверках сравниваются с более жесткими требованиями для путей общего пользования, хотя можно предположить, что нормы содержания путей необщего пользования должны быть более мягкими. При этом условия текущего содержания путей необщего пользования должны гарантированно обеспечивать безопасность движения поездов и не должны ухудшать состояние ходовых частей экипажей и приводить к их повреждениям. С другой стороны, ходовые части локомотивов должны находиться в исправном состоянии, без повреждений, чтобы при выходе экипажей с путей промышленных предприятий на пути необщего пользования не происходило повреждений и расстройств элементов верхнего строения путей и конструкции в целом.

На основании проведенного мониторинга можно предположить, что необходим отдельный пакет нормативных (возможно, ведомственных) документов, устанавливающих технические требования к текущему содержанию и ремонтам путей необщего пользования, позволяющих повысить уровень безопасности движения поездов. Кроме того, это даст возможность также производить комплексную оценку фактического состояния пути и на этой основе планировать виды и объемы путеремонтных работ.

УДК 625.1:624.19/8

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*П. В. КОВТУН, В. В. РОМАНЕНКО, С. В. СКРЕБЕЦ, А. Ю. ТАРАКАНОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Текущее содержание пути – это комплекс организационно-технических мероприятий, осуществляемых в течение всего года на всём протяжении пути для обеспечения его постоянной исправности и длительных сроков службы в периоды между очередными плановыми ремонтами пути.

Главная задача текущего содержания пути состоит в создании условий для обеспечения бесперебойного движения поездов с установленными скоростями, а также длительных сроков службы всех элементов пути.

Механизированные работы текущего содержания пути планируются в соответствии с годовыми, квартальными и полумесячными планами и, как правило, выполняются без нарушения графика движения поездов в интервалы между поездами 20 минут и более. На линиях с большой интенсивностью движения поездов для работ текущего содержания в графике движения выделяют технологические «окна» продолжительностью 1–2 ч.

Организация работ по текущему содержанию пути должна обеспечить их комплексную механизацию и механизацию, высокое качество, ликвидацию причин, вызвавших неисправности пути, т. е. такую последовательность работ, при которой исключается их повторность, повышается устойчивость пути, увеличиваются сроки службы элементов верхнего строения, используются внутренние ресурсы.

Текущее содержание искусственных сооружений включает организацию надзора на протяжении всего периода эксплуатации и выполнение определенных работ. Текущие осмотры искусственных сооружений проводят бригады пути, дорожные и мостовые мастера в сроки, определяемые СТП 09150.56.010–2005 «Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ». При каждом осмотре пути также проверяют соблюдение правил и технологии работ по текущему содержанию пути непосредственно на местах работы бригад, качество выполненных работ и соблюдение требований безопасности движения и личной безопасности. Два раза в год по графику, утвержденному начальником дистанции пути, проводятся весенний и осенний сплошные осмотры пути, сооружений, земляного полотна, путевых устройств дистанции с участием дорожных и мостовых мастеров.

Современное управление организацией и самими работами по текущему содержанию пути возможно без автоматизации производственных процессов. Автоматизированные системы управле-

ния «АСУ-Путь» позволяют проигрывать альтернативные варианты решений, вести учет и контроль производственных показателей и в целом оптимизировать систему управления путевым хозяйством вообще и текущим содержанием в частности.

В настоящее время на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» БелГУТа ведутся исследования по разработке и внедрению разделов «АСУ-Путь» в производственную деятельность путевых организаций. Например, усовершенствована программа «Составление графика по текущему содержанию пути и путевых устройств (форма ПУ-74)». Данный график составляется согласно штатному расписанию укомплектованности кадрами дистанции пути.

В современных условиях успех предприятия во многом определяется способностью быстро решать задачу сбора, обработки, анализа информации и на этой основе принимать решение. Эти свойства полностью присущи программе «Составление графика по текущему содержанию пути и путевых устройств (форма ПУ-74)».

УДК 625.17

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ОСНОВ ВЕДЕНИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА**

*П. В. КОВТУН, С. В. СКРЕБЕЦ, М. С. СНЕЖКОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. А. АЛЬХОВСКАЯ*  
*Могилевское отделение Белорусской железной дороги, Республика Беларусь*

В путевом хозяйстве в настоящее время существует околоточная структурно-организационная форма текущего содержания пути. Недостатками данной схемы является то, что многообразие путевых, ремонтных работ на рабочем отделении выполняет в основном одна небольшая группа монтеров пути, которые зачастую не имеют соответствующего производственного опыта данного вида работ. Не всегда положительно сказываются на выполнении плановых работ неотложные работы, которые возникают в процессе эксплуатации пути и требуют к себе первоочередного внимания. Они зачастую выполняются в авральном порядке, что сказывается на их качестве. А плановые работы в это время уходят на второй план, хотя они также немаловажны. С повышением требований к скоростям движения, к дорожной инфраструктуре недостатки, которыми обладает данная схема, будут еще больше негативно влиять на состояние пути.

На ряде дорог ОАО «РЖД» произошел отказ от устаревшего околоточного метода ведения путевого хозяйства и переход на более современный «участковый метод». Дистанция пути остается основным подразделением по содержанию пути. При этом за ней остается проведение надзора за состоянием пути и сооружений, выполнение неотложных и первоочередных работ по текущему содержанию. Опыт большинства зарубежных железных дорог свидетельствует о том, что функции проверки пути и устранения обнаруженных неисправностей целесообразно разделить. Для этого необходимо ввести на эксплуатационном участке бригадиров по проверке пути, освободив от постоянного выполнения этих функций дорожных мастеров и бригадиров пути, что позволит усилить контроль над состоянием пути. Расчеты по укрупненным нормам содержания пути ОАО «РЖД», показали, что низовое подразделение дистанции пути, осуществляющее текущее содержание, может быть увеличено до размеров эксплуатационного участка без деления его на околотки и рабочие отделения. При наличии участковых или других крупных станций для их обслуживания в зависимости от местных условий могут быть сохранены околотки с рабочими отделениями либо только рабочие отделения или созданы специализированные бригады.

Также опыт эксплуатации зарубежных, высокоскоростных магистралей, указывает на целесообразность совместного обслуживания устройств пути, электроснабжения, сигнализации, централизации и автоблокировки. Создание объединенных подразделений или предприятий для выполнения этих работ позволяет уменьшить аппарат управления, эффективнее использовать производственные базы для осуществления планово-предупредительных и ремонтных работ и

время окон, выделяемых в расписании, когда прекращается движение поездов. Такие объединенные предприятия также в перспективе могут быть организованы на базе ПЧ. При этом появляется возможность организации единого автоматизированного центра управления производством, создания диагностических передвижных лабораторий для комплексной проверки состояния объектов различных служб.

УДК 656.2.088:629.4.017

## **ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СПЕЦИФИКИ РАБОТЫ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОЕЗДА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*Д. В. КОЗИЙ*

*РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги»*

*А. Б. НЕВЗОРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На Белорусской железной дороге на высоком уровне обеспечивается безопасность движения поездов. Однако человеческий фактор или форс-мажорные обстоятельства нельзя предусмотреть в полной мере, и тогда возможно возникновение аварийной ситуации, связанной, например, со сходом подвижного состава. Одним из первых прибывает на место происшествия восстановительный поезд. Его руководитель должен в кратчайшие сроки обеспечить решение вопросов ликвидации последствий столкновений, сходов с рельсов железнодорожного подвижного состава.

Цель данной статьи – определить общий алгоритм проводимых организационно-технических мероприятий начальником восстановительного поезда, формализовать наиболее важные из этих мероприятий и предложить различные сценарии имитационного моделирования происшествий на железной дороге для решения управленческих и технологических задач по их устранению.

Методика оценки фактической обстановки заключается в установке руководителем исходных данных, систематизации и постановке задач для оперативного плана аварийно-восстановительных работ, в котором можно выделить четыре уровня:

1 – подготовительный – установление масштаба происшествия, количественных и качественных показателей; например, площадь территории в пределах которой необходимо проводить расчистку и восстановительные работы; количество единиц железнодорожного подвижного состава и его удаленность от пути; состояние пути; наличие контактной сети и линии электропередач в зоне работ и т. д.;

2 – оперативный – составляется план действий в части расстановки персонала и использования конкретного типа техники для подъема сошедшего с рельсов подвижного состава и определяется первоочередность использования тяговых и технических средств для восстановления движения; определяется место расстановки и выгрузки тяговой техники и оборудования;

3 – аналитический – анализ наиболее целесообразных вариантов действий и их последовательность, которые обеспечивают минимальные потери при условии выполнения поставленных задач;

4 – рабочий – реализация плана с делегированием полномочий для решения конкретных задач.

Таким образом, изменяя набор исходных данных по различным вариантам аварийных ситуаций, у начальника будут сформированы навыки принятия управленческих решений в условиях специфики работы восстановительного поезда, а действия работников будут доведены до автоматизма.

На основе моделирования ситуаций в зависимости от полученных результатов может корректироваться методическая база занятий, сценарии развития событий с использованием реальных данных, разрабатываться конкретный алгоритм принятия решений. Это позволит подготовить руководителей восстановительных поездов более эффективно принимать управленческие решения в сложных ситуациях неопределенности, повысить необходимый уровень качества организационных решений, снизить роль субъективных факторов.



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ

*Н. Е. ЛЫСЕНКО, Н. Н. ПАШКОВ, И. Н. ШАПКИН*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

На безопасность движения поездов влияет множество факторов:

- техническое состояние подвижного состава, пути, устройств железнодорожной автоматики и телемеханики;
- исполнительская дисциплина работников железнодорожного транспорта;
- качество применяемых технологических процессов организации движения;
- недостаточность автоматизации технологических процессов и др.

Основным направлением улучшения безопасности на железнодорожном транспорте является объединение отдельных подсистем обеспечения безопасности в единую многоуровневую систему вокруг основного элемента системы безопасности – поезда. Поэтому безопасность перевозочного процесса должна рассматриваться, прежде всего, как безопасность внутреннего управления тяговым подвижным составом и ведением поезда в целом с учетом информации о конфликтных ситуациях в движении поездов и о состоянии инфраструктуры на полигоне.

Современные системы управления движением поездов (рисунок 1) предполагают включение в контур управления локомотивом блока «Система безопасности», связанного по цифровому технологическому радиоканалу с «интеллектуальной» системой управления безопасностью (ИСУБ) [1].

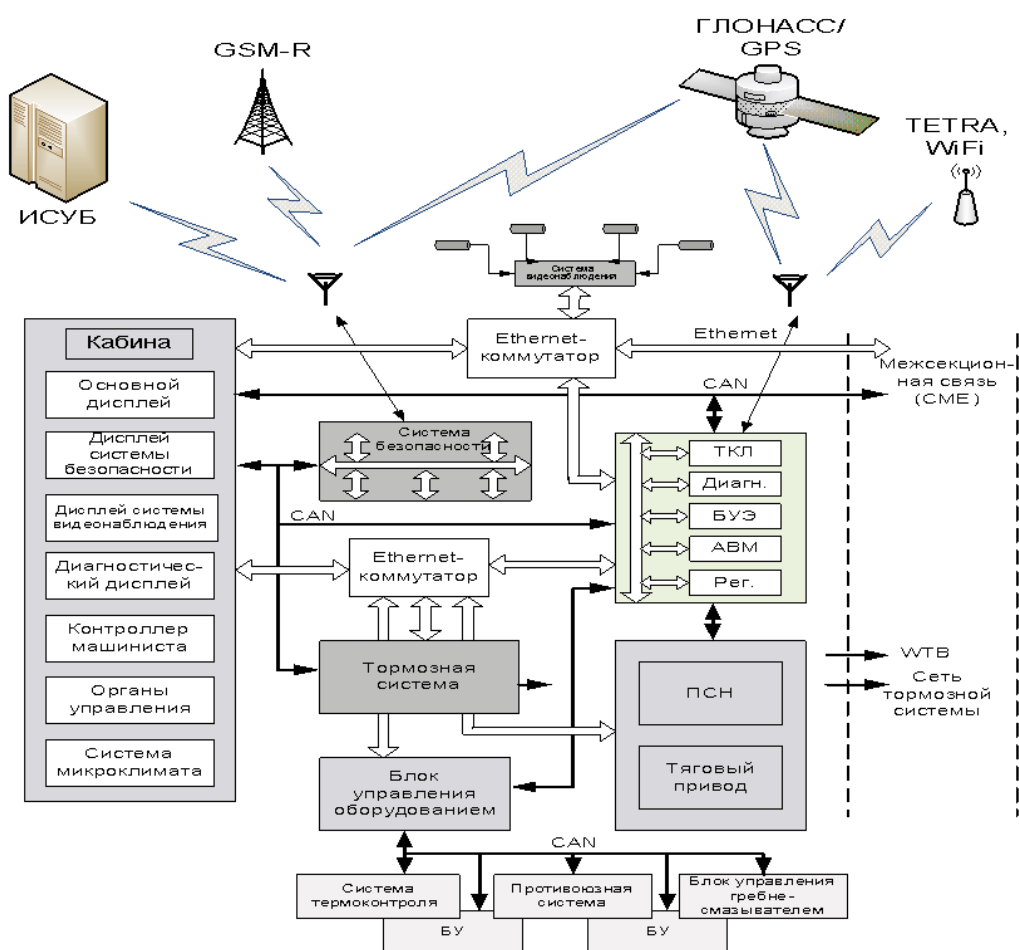


Рисунок 1 – Архитектура интеллектуальной системы управления поездом

Блок ИСУБ реализует функцию принятия решений в конфликтных ситуациях, угрожающих безопасности движения поезда, только под управлением диспетчера. ИСУБ входит в состав блока принятия решений «Интеллект» (рисунок 2) верхнего уровня управления комплексного проекта ОАО «РЖД» и ОАО НИИАС «Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте» (ИСУЖТ) [2]). Блок «Интеллект» предназначен для дистанционного интервального регулирования движения группы поездов на участке, электрической и диспетчерской централизации, передачи в цифровом коде данных и управляющих команд [3–5].

Однако интеллектуальная функция автоматического принятия решений в конфликтных ситуациях, опасных для движения поездов, не реализована ни в блоке ИСУБ, ни в блоке «Интеллект», поскольку требует вмешательства диспетчера.

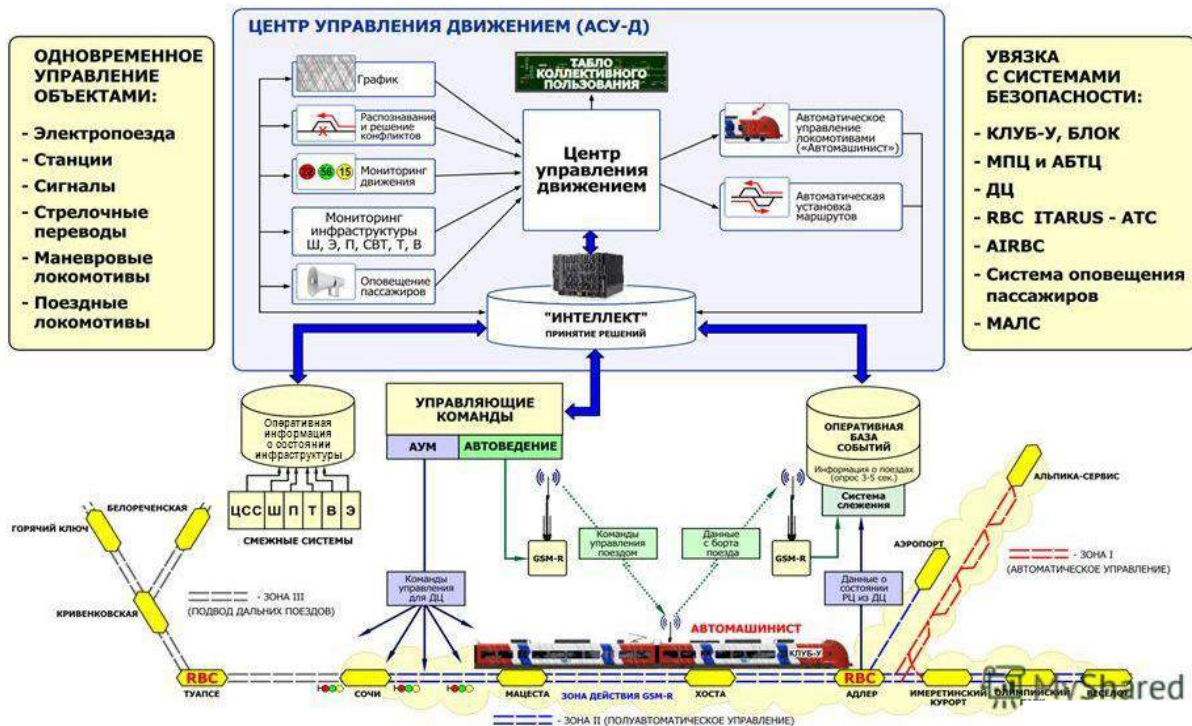


Рисунок 2 – Схема организации интервального регулирования движения поездов по системе «Сочи-2014»

Наиболее тяжелые конфликтные ситуации наряду с техническими и организационными факторами, создающими опасные условия движения поездов, возникают на пересечениях железнодорожных путей с другими коммуникациями.

На пересечениях в одном уровне железных дорог с другими дорогами для пропуска через железнодорожные пути городского и автомобильного транспорта, сельскохозяйственных, строительно-дорожных и других самоходных машин, прогона скота, а также для прохода пешеходов сооружаются железнодорожные переезды. Железнодорожные переезды являются наиболее сложными элементами дорожной сети. Это прежде всего место повышенной опасности, которое требует особого внимания и неукоснительного соблюдения ПДД.

В настоящее время при строительстве новых железнодорожных и автомобильных дорог запрещено их пересечение на одном уровне [6]. Временно сохраняемые в одном уровне переезды «должны быть охраняемыми и оборудованными средствами, обеспечивающими безопасность движения автотранспорта, в том числе для принудительного освобождения переезда от остановившихся на переезде подвижных транспортных единиц» [6, п. 9.2].

Оборудование железнодорожных переездов настилами, средствами сигнализации и оповещения, шлагбаумами, заградительными и противотаранными устройствами существенно снижает вероятность столкновения поезда с препятствиями.

На рисунке 3 представлена схема обустройства двухпутного 9, железнодорожного переезда с четырехполосной автомобильной дорогой – настилами 6, 8, знаками и разметкой ПДД 3, 4, 17, 18, 19, 20, 21–25, светофорами 10, 11, 15, автоматическими шлагбаумами 16, заградительными устройствами 7.

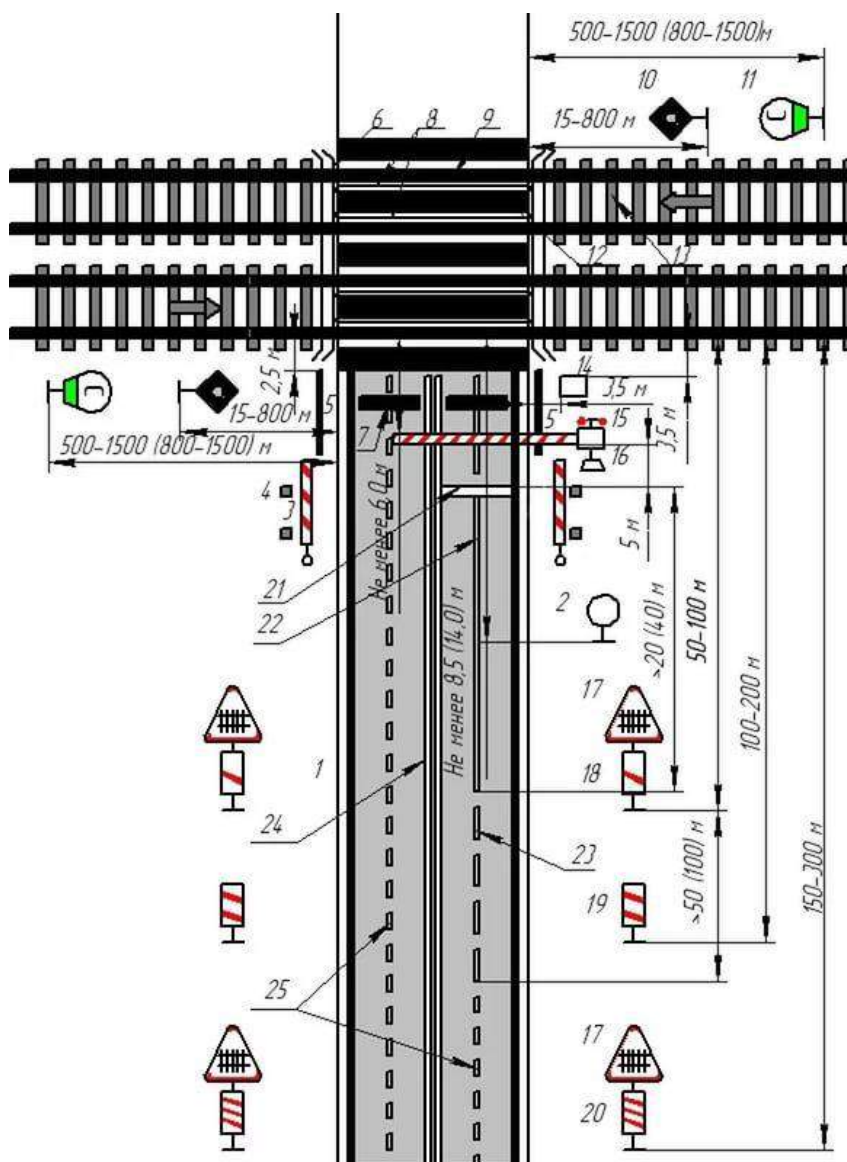


Рисунок 3 – Схема оборудования железнодорожного переезда

Такое обустройство переезда полностью удовлетворяет требованиям «Инструкции ЦП 566 по эксплуатации железнодорожных переездов», «СП 119.13330.2012 Железные дороги колеи 1520 мм» и «Своду правил проектирования железнодорожной автоматики и телемеханики» Минтранса России.

Однако такого обустройства неохранных железнодорожных переездов, оказывается недостаточно. Наиболее частым нарушением безопасности железнодорожных переездов, обустроенных по всем правилам, является столкновение поезда с автомобилем на железнодорожных путях. К сожалению, некоторые водители пренебрегают ПДД и не понимают, что при большой массе поезда даже на малой скорости его тормозной путь составляет сотни метров, в отличие от тормозного пути большегрузного автомобиля, не превышающего десятки метров.

По этой причине кроме обязательных устройств обеспечения безопасности железнодорожные переезды этой категории необходимо дополнительно оборудовать системой контроля опасных зон переезда (рисунки 4 и 5).

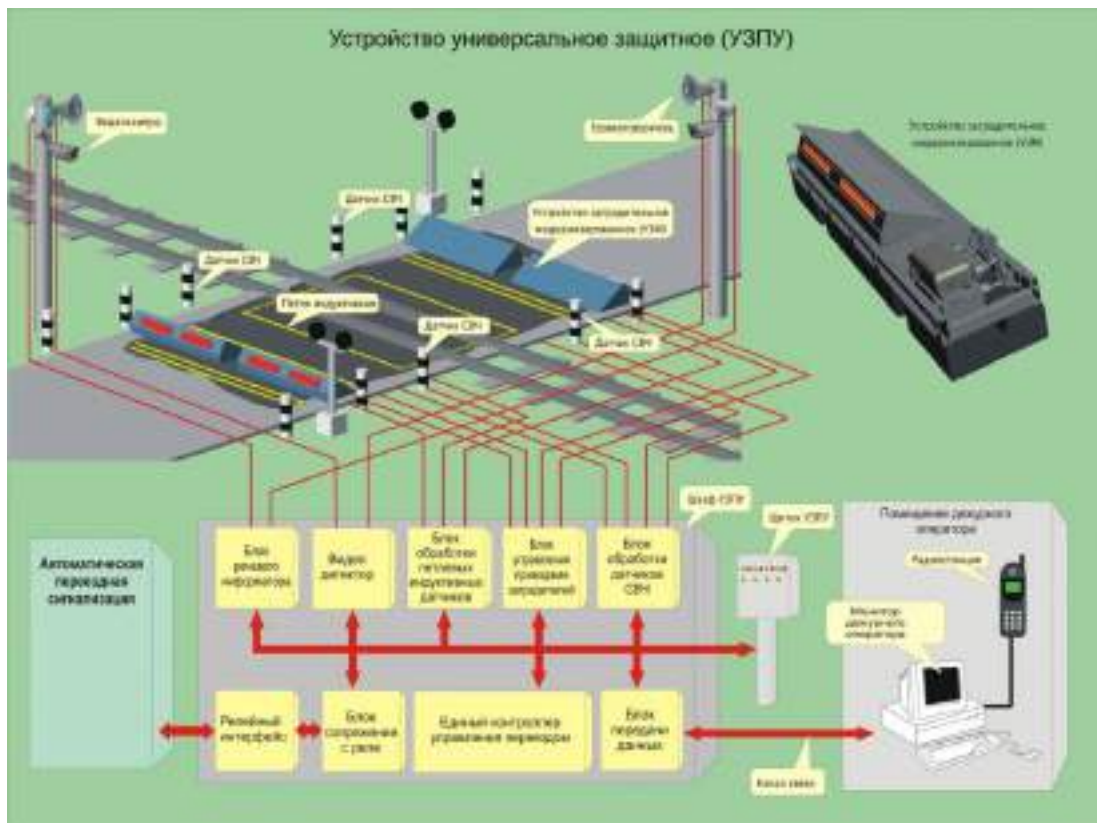


Рисунок 4 – Система железнодорожной автоматики и управления переездной сигнализацией, звуковым оповещением, приводами заградителей и видеонаблюдением

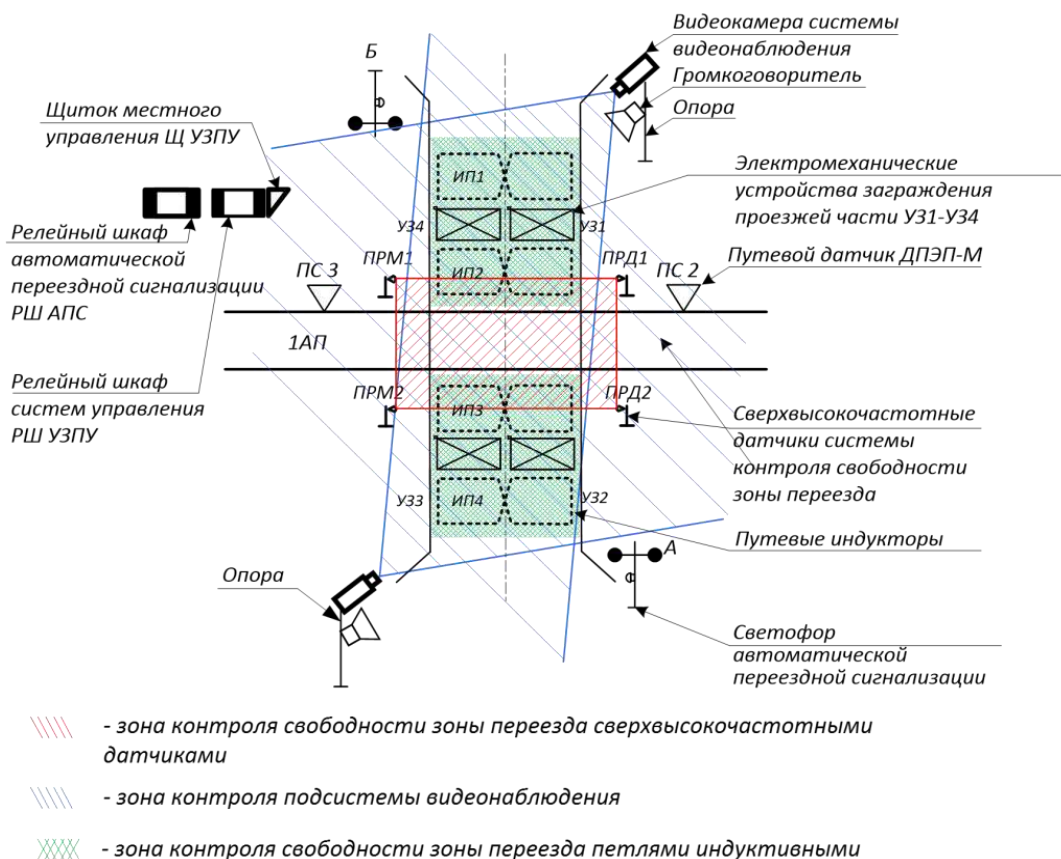


Рисунок 5 – Контроль опасных зон железнодорожного переезда

Тем не менее, несмотря на такие меры, ежегодно на железнодорожных переездах происходят столкновения железнодорожного подвижного состава с автотранспортом.

Еще одно направление повышения безопасности железнодорожных переездов с большой интенсивностью пересечения потоков поездов и автомобилей предлагает ВНТЦ «УРАЛЖЕЛДОРАВТОМАТИЗАЦИЯ»: системы ситуационного контроля на основе видеонаблюдения зон приближения автотранспортных средств (рисунок 6).

Здесь также уместно заметить, что система ситуационного контроля не содержит интеллектуальную функцию автоматического принятия решений при возникновении опасной ситуации и требует непрерывного визуального наблюдения и контроля. Очевидно, арсенал методов и средств контроля опасных ситуаций на железнодорожных переездах достаточно большой, но недостаточный. Вопрос обеспечения безопасности движения поездов остается актуальным.

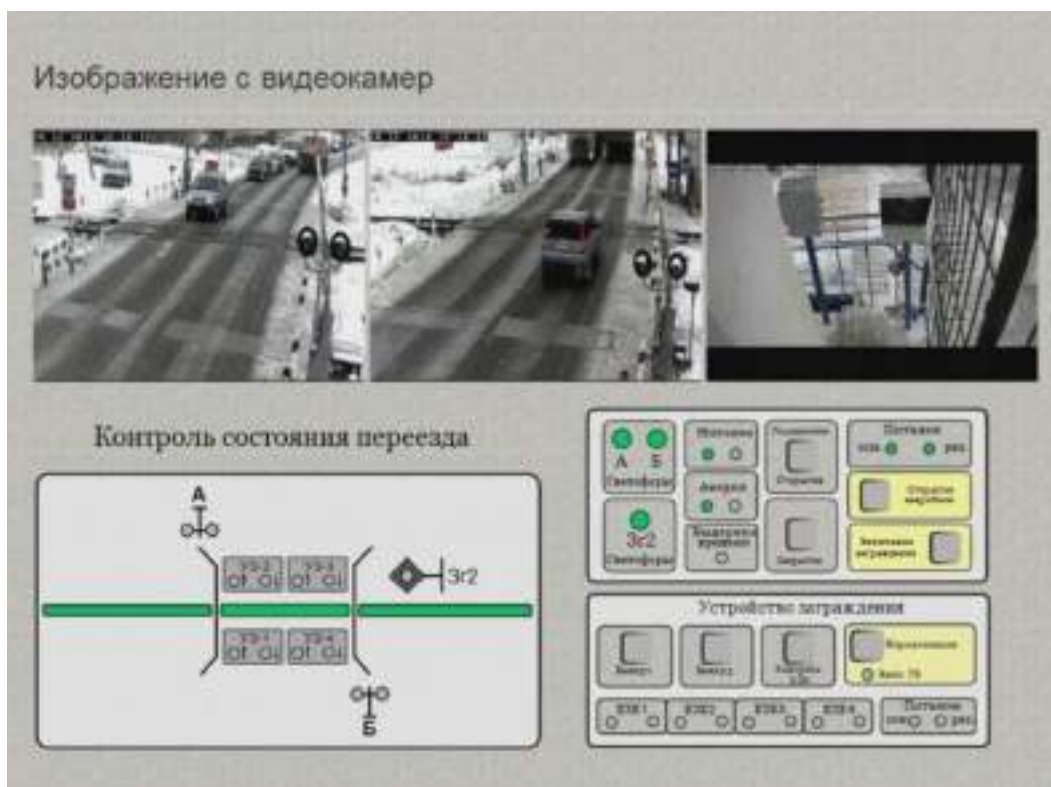


Рисунок 6 – Система ситуационного видеоконтроля зоны приближения автотранспорта

Одним из кардинальных способов повышения безопасности железнодорожных переездов является оснащение комплексной системы управления движением поездов интеллектуальным блоком автоматического принятия решений.

Интеллектуальный блок автоматического принятия решений (рисунок 7) для многоуровневой системы децентрализованного управления множеством распределенных в пространстве подвижных и стационарных объектов и обеспечения безопасности движения поездов предлагается строить на основе ассоциативного автомата адаптивного управления [7], который способен реализовать в режиме «жесткого реального времени» интеллектуальную функцию автоматического принятия решений в опасных ситуациях.

Основные причины столкновения поездов с автомобильным транспортом на железнодорожных переездах с автоматическим регулированием:

- нарушение водителями правил проезда железнодорожных переездов: игнорирование указаний или сигналов дежурного по переезду, положения шлагбаума, звуковых и световых сигналов, дорожных знаков;

- неудовлетворительное состояние настила железнодорожного переезда в опасных зонах, приводящее к значительному снижению скорости пересечения автотранспортом железнодорожных путей, и, в экстремальных случаях, к остановке на железнодорожных путях.

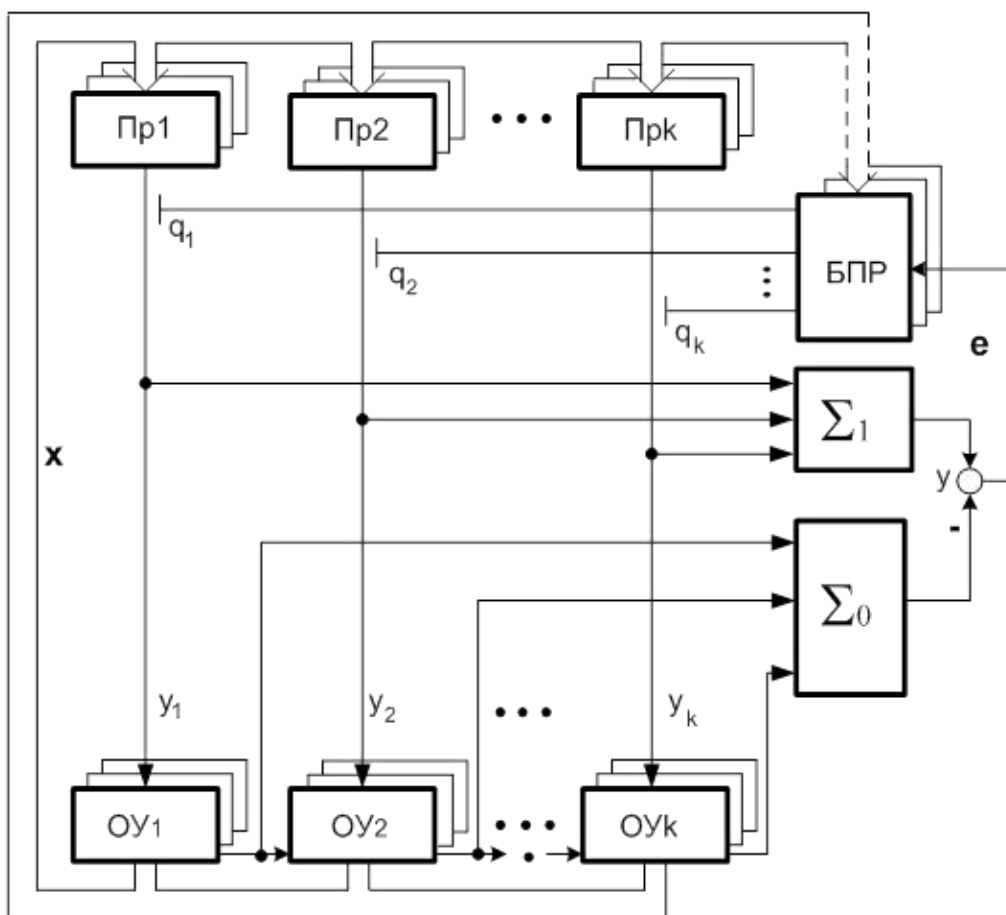


Рисунок 7 – Структура интеллектуального автомата принятия решений:  
 ОУ – объект управления, Пр – локальный процессор, БПР – блок автоматического принятия решений

Тем не менее с целью формирования достоверной и полной спецификации требуемых интеллектуальных функций блока принятия решений, управляющих безопасностью движения, необходимо полномасштабное комплексное исследование официальной статистической отчетности ОАО РЖД, Федерального дорожного агентства «Росавтодор», ГИБДД МВД и Минтранса России о случаях нарушения условий безопасности движения.

#### Список литературы

- 1 Юрченко, К. И. Эволюция бортовых систем управления подвижного состава железных дорог [Электронный ресурс] / К. И. Юрченко, Е.И. Фандеев, А. Н. Сапунков. – Режим доступа : [http://www.rusnauka.com/34\\_VPEK\\_2012/Tecnic/4\\_121828.doc.htm](http://www.rusnauka.com/34_VPEK_2012/Tecnic/4_121828.doc.htm). – Дата доступа : 22.08.2017.
- 2 Интервальное регулирование движения поездов на участке Сочи – Адлер – Красная поляна [Электронный ресурс] / Е. Е. Шухина [и др.]. – Режим доступа : <http://scbist.com/xx3/34475-02-2014-intervalnoe-regulirovanie-dvizheniya-poezdov-na-uchastke-sochi-adler-krasnaya-polyana.html>. – Дата доступа : 22.08.2017.
- 3 Указание МПС России от 29 ноября 2002 г. № 191у «О создании и внедрении многоуровневой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов».
- 4 Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) [Электронный ресурс] / ОАО РЖД, ОАО НИИАС. – Режим доступа : <http://www.myshared.ru/slide/80638/>. – Дата доступа : 22.08.2017.
- 5 Розенберг, Е. Н. Разработка и внедрение электротехнических и интеллектуальных систем управления для обеспечения безопасности движения [Электронный ресурс] / Е. Н. Розенберг. – М. : ОАО НИИАС. – Режим доступа : <http://www.myshared.ru/slide/305840/>. – Дата доступа : 22.08.2017.
- 6 СП 119.13330.2012 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95. – М. : Минрегион России, 2012.
- 7 Пашков, Н. Н. Ассоциативный автомат децентрализованного адаптивного управления системой автономных вычислительных процессов / Н. Н. Пашков, Ю. Ф. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов // Научный вестник НГТУ. – Новосибирск : НГТУ. – 2009. – № 2(35). – С. 201–206.

## ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ – ОДИН ИЗ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*М. А. МАСЛОВСКАЯ, А. Н. СЫЧЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

По абсолютной протяженности электрифицированных железных дорог среди стран мира лидирует Россия (40,3 тыс. км, или 9 % от общей протяженности железных дорог мира). К 2016 г. электрифицированные железные дороги России составляли 46,8 % общей протяженности сети железных дорог страны и выполняли 77,7 % общего объема железнодорожных перевозок, что в 4 раза больше выполняемого тепловозной тягой.

В XXI веке в России продолжается развитие сети электрифицированных стальных магистралей. Этот процесс может быть значительно интенсифицирован дефицитом органических жидких энергоносителей, который будет нарастать в перспективе. Железнодорожники представили обществу цифры основных показателей, которые надеются получить к концу 2030 года. По грузообороту по программе-минимум предполагается получить результат, превышающий 3 трлн т/км, тогда как пассажирооборот прогнозируется до цифры 202 млрд пас./км. Согласно стратегии существует также программа-максимум и здесь прогнозируемые цифры еще более внушительны.

На 2030 год интенсивность перевозок на БАМе увеличится практически в десять раз, что в цифровом эквиваленте будет соответствовать 70 млн т/км. Причина такого существенного увеличения – разработка и освоение новых месторождений полезных ископаемых на территории Якутии, а также на других территориях Дальнего Востока. Прогнозируется увеличение количества поездок пассажиров. Связывается данный прогноз с такими показателями, как повышение уровня качества обслуживания на РЖД, усиление деловой активности граждан, рост финансовых доходов.

В Республике Беларусь в настоящее время эксплуатационная длина электрифицированных участков дороги – 1128,3 км, что составляет 20,5 % от общей протяженности дороги, в том числе на переменном токе – 1101,9 км, на постоянном – 26,4 км. Участки работают на переменном токе напряжением 27,5 кВ, 2×25 кВ и на постоянном токе напряжением 3,3 кВ.

Главное преимущество электрификации заключается в сокращении эксплуатационных расходов дороги, затрат на оплату энергоресурсов для тяги поездов. По оценке специалистов, стоимость перевозок при электрификации снижается в 1,5 раза, а потребление топливно-энергетических ресурсов – на 15 %. Очевидным преимуществом электрической тяги над тепловой является ее экономичность. Электрификация способствует увеличению технической и маршрутной скорости движения грузовых и пассажирских поездов, повышению весовых норм перевозки грузов.

С переводом железной дороги на электрическую тягу существует возможность развивать высокоскоростное движение поездов. Республику Беларусь затронули вопросы развития и углубления международного сотрудничества (формирование международных транспортных коридоров), обеспечивающего возможность унификации параметров транспортной инфраструктуры и применения единой технологии перевозок.

Два транспортных коридора проходит по территории Республики Беларусь. Коридор № 2 Минск – Москва – Нижний Новгород проходит по территории Республики Беларусь в рамках двухпутной электрифицированной железнодорожной линии протяженностью 615 км. Преимуществом использования белорусского участка данного коридора является сокращение на 30–35 % расстояния перевозок. Другой важной составляющей транспортной системы Республики Беларусь является участок коридора № 9 (граница Украины – Гомель – Могилев – Орша – Витебск – граница Российской Федерации) и № 9В (Гомель – Минск – Вильнюс – Клайпеда). Благодаря наличию этого коридора через Беларусь организована устойчивая транспортная связь между северными и южными морями Европы. В конце 2016 года окончена электрификация двух участков: Жлобин – Осиповичи (107,2 км) и Гомель – Жлобин (86 км).

В перспективе до 2030 года планируется проработать вопросы электрификации участков Жлобин – Могилев – Орша – Витебск, Заольша – Витебск–Полоцк – Бигосово, Гомель – Терюха – госграница (на Чернигов) и Калинковичи – Барбаров – Словечно – госграница (на Коростень). Общая

протяженность данных участков составляет более 630 км. БЖД ведет переговоры с железнодорожными администрациями Латвии, Украины и России об электрификации приграничных участков.

Основными электроустановками при электрификации железных дорог являются тяговые подстанции, которые располагаются на расстоянии 40–50 км друг от друга при переменном токе. Тяговые подстанции размещаются на отдельных пунктах с путевым развитием. Так как Республика Беларусь характеризуется относительно равнинной местностью и большой плотностью размещения отдельных пунктов, то условия размещения тяговых подстанций соблюдаются. В других странах (Великобритания, Франция, Испания, Швеция, Норвегия, Германия, восточная часть России и др.) обстановка другая: необходимо размещать тяговые станции в районах тяжелых подъёмов, у вершин перевалов на горных линиях, на узловых и участковых станциях для того, чтобы облегчить условия их обслуживания, снизить капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

В настоящее время Республика Беларусь входит в Единую энергетическую систему БРЭЛЛ (Беларусь, Россия, Эстония, Литва, Латвия) и может обмениваться электроэнергией с другими странами с помощью протянутых между ними линий электропередач. Все эти страны связывают особые надежды с введением в эксплуатацию в Республике Беларуси АЭС, вырабатываемая электроэнергия которой, будет дешевле производимой в настоящее время в 1,5–2 раза по сравнению с тепловыми станциями. Электрифицированные железные дороги являются гарантированным и постоянным потребителем электрической энергии.

По данным Белорусской железной дороги при электрификации потребление топливно-энергетических ресурсов снизится на 39 %, на 19 % повысится весовая норма грузовых поездов, на 24 % увеличится техническая и маршрутная скорость движения грузовых и пассажирских поездов.

УДК 621.874.62-192

## **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ**

*Е. М. МАСЛОВСКАЯ, А. А. ТИТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Мостовые краны являются наиболее массовыми средствами механизации погрузочно-разгрузочных работ на производстве, поэтому их надежная и длительная работа имеет большое значение, так как выход из строя может вызвать значительное сокращение или полную остановку всего технологического процесса.

Наиболее важными с точки зрения безопасной эксплуатации кранов с быстроизнашивающимися деталями являются ходовые колеса мостов и тележек кранов, тормозные шкивы механизмов и блоки крюковых подвесок, повысить надежность которых возможно, увеличив их износостойкость с помощью различных технологических методов.

Из большого числа известных технологических методов упрочнения металлических поверхностей значительный интерес представляют современные прогрессивные методы, нашедшие применение на практике как методы эффективной борьбы с наиболее распространенными видами усталостного разрушения и изнашивания, обладающие рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами объемного и поверхностного упрочнения.

Требуемые поверхностные свойства обеспечиваются как нанесением защитного покрытия, так и преобразованием поверхностного слоя металла с помощью химических, физических, механических методов, диффузионного насыщения, химико-термической обработкой.

Химико-термические методы упрочнения поверхности трения (цементация, азотирование, цианирование, борирование и т. п.) весьма эффективно повышают сопротивление абразивному изнашиванию благодаря увеличению твердости. Для улучшения противозадирных свойств посредством сульфидирования, сульфоцианирования, селенирования, карбонитрации, азотирования создаются тонкие поверхностные слои, обогащенные химическими соединениями, которые предотвращают схватывание и задир.



Значительная часть технологических задач, связанных с необходимостью восстановительного ремонта и повышения износостойкости, решается с использованием методов металлизации напылением (газопламенная, электродуговая, плазменная, высокочастотная индукционная металлизация, детонационное напыление).

При восстановлении деталей со значительными износами применяют главным образом наплавку: ручную электродуговую и газовую, автоматическую и полуавтоматическую под слоем флюса и порошковыми проволоками, вибродуговую в жидкости, в среде защитных газов, электрошлаковую и плазменную.

Создание на трущихся поверхностях прочных износостойких слоев позволяет существенно повысить прочность, коррозионную стойкость и износостойкость материалов. Толщина наносимого покрытия или упрочняемого слоя зависит от режимов работы детали, преобладающего вида повреждения и допустимого износа.

Эффективность применяемого метода упрочнения зависит от соответствия физико-химических и физико-механических свойств получаемого покрытия требованиям, определяемым условиями работы изнашиваемой детали и преобладающим видом механизма изнашивания.

Быстроизнашивающиеся детали мостовых кранов отличаются высоким уровнем износа рабочих поверхностей, поэтому технология повышения их надежности должна обладать определенной гибкостью и маневренностью для каждого частного случая ввиду многочисленных факторов, определяющих вид, интенсивность и градиент износа.

УДК 621.874.62-192

## УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХАРАКТЕРА ПРОТЕКАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ ХОДОВЫХ КОЛЕС КРАНОВ

*Е. М. МАСЛОВСКАЯ, А. А. ТИТОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Характер протекания изнашивания в различных случаях имеет разные закономерности. Поэтому зависимость изнашивания во времени материалов, механизмов и узлов устанавливают экспериментально.

В большинстве случаев выбраковка ходовых колес происходит из-за износа реборд, так как они подвергаются воздействию контактных напряжений и сопротивлению скольжения, в то время как поверхность качения подвержена воздействию контактных напряжений и сопротивлению качения.

Установлена зависимость износа реборд ходовых колес от перемещения крана (рисунок 1, а).

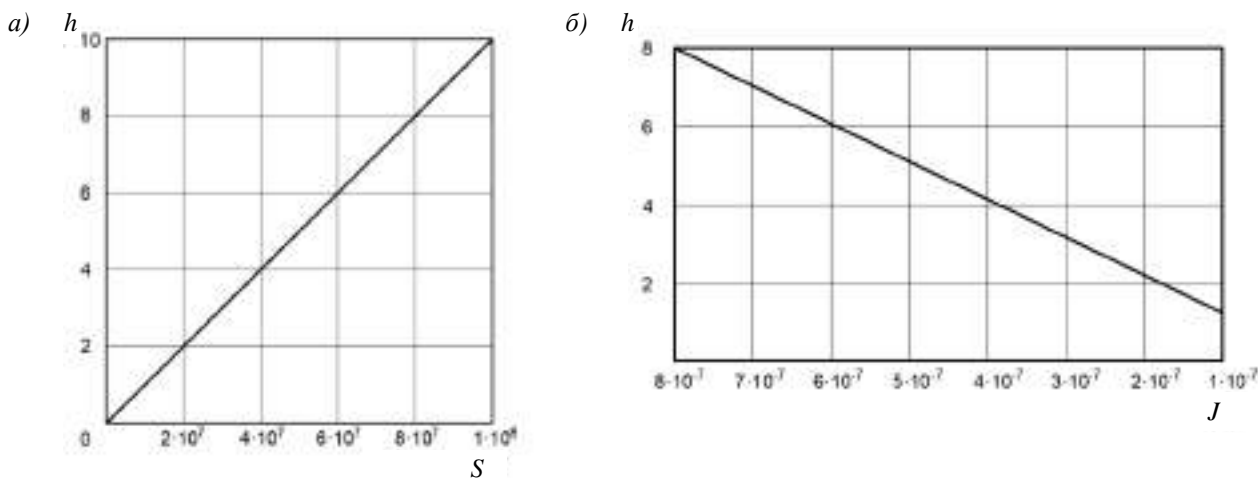


Рисунок 1 – Графики зависимости:

а – износа реборд ходовых колес от перемещения крана; б – величины износа от интенсивности изнашивания

Как видно из графика, нарастание дефектной части реборды происходит практически пропорционально.

Аналогично установлена зависимость величины износа от интенсивности изнашивания (рисунок 1, б).

На графике также просматривается линейность обратной характеристики «интенсивность износа – износ».

Таким образом, добиться повышения продолжительности работы ходовых колес возможно путем получения на их поверхностях слоев с меньшей интенсивностью изнашивания, и, учитывая линейность протекания процесса изнашивания, технология восстановления работоспособности не требует коррекции конструкторско-технологическими мероприятиями, например, создания на поверхности многослойного градиентного поверхностного покрытия.

Увеличения износостойкости можно добиться с помощью получения на рабочих поверхностях быстроизнашивающихся деталей износостойких слоев с повышенной твердостью, пределом усталости материала, а также низким коэффициентом трения, при достаточно высоком качестве функциональных поверхностей (низкой шероховатости).

УДК 625.143.3

## **О КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ**

*К. И. МАТВЕЦОВ*

*Центр диагностики объектов инфраструктуры  
государственного объединения «Белорусская железная дорога», г. Минск*

На Белорусской железной дороге, развернутая длина пути которой составляет 11738,3 км (в том числе главных – 7214,1 км и станционных 3568 км), лежат российские, украинские, австрийские и польские рельсы термообработанные и нетермообработанные разных типов. На главных путях в основном лежат российские рельсы типа Р65, средний погонный вес которых составляет 64,4 кг. Протяженность бесстыкового пути на дороге по состоянию на 01.01.2017 год достигла 4605,2 км, что составляет 63 % от общей протяженности главных путей дороги. На большинстве дистанций пути эксплуатируются сварные рельсовые плети сверхнормативной длины до 15–20 км. В пути по разным причинам эксплуатируются инвентарные рельсы на 185,5 км. На остальной протяженности главных путей дороги эксплуатируется звеньевой путь, где наряду с 25-метровыми рельсами встречаются рельсы и рубки меньшей длины, что затрудняет контроль за их состоянием. Контроль за состоянием рельсов на главных путях осуществляют три вагона-дефектоскопа. В их числе один вагон-дефектоскоп НПП РДМ и два вагона-дефектоскопа АО «Фирма Твема». Аппаратно-программный комплекс РДМ-15К и ЭХО-КОМПЛЕКС-2 для дефектоскопии рельсов типа Р50, Р65, Р75, уложенных в путь, осуществляют неразрушающий контроль ультразвуковым и магнитными методами контроля со скоростью до 60 км/ч. Внедрение программы автоматизированной расшифровки «АСТРА» позволяет проводить автоматическую оценку результатов неразрушающего контроля в соответствии с требованиями национальных и международных стандартов, а также автоматически формировать протоколы контроля, повышать качество обнаружения дефектов и безопасность движения поездов.

Кроме вагонов-дефектоскопов на каждой дистанции пути работает ежедневно от 10 до 15 двухниточных тележек и переносных тележек для вторичного контроля мест, по данным вагонов-дефектоскопов и операторов дефектоскопных тележек. На этой работе занято около 480 операторов дефектоскопной тележки. Каждую дефектоскопную тележку должны сопровождать два сигналиста и бригадир пути, то есть дополнительно от 400 до 600 человек. На дороге 111 бригад с численностью до трех человек и 182 бригады с численностью до четырех человек, которые не могут обеспечить безопасную работу операторов дефектоскопной тележки. Выходит, что около 1000 человек находятся на пути в опасной зоне.

Классификации дефектов рельсов почти четверть века. За указанный период появилось много разъяснений и поправок, которые затрудняют определение кода дефектных рельсов. В настоящее

время необходимо свести существующую классификацию и поправку и разработать единую классификацию дефектов рельсов.

В докладе приводятся сведения о структуре дефектных и острodefектных рельсов по каждой дистанции пути, по отделениям и по дороге в целом за последние годы. Наиболее распространенные и массовые – дефекты рельсов контактно усталостного происхождения.

УДК 625.14

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

*К. И. МАТВЕЦОВ*

*Центр диагностики объектов инфраструктуры  
государственного объединения «Белорусская железная дорога», г. Минск*

*В. И. ИНИУТИН, В. Е. МИРОШНИКОВ, А. Ф. ХАРЬКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В соответствии с приказом от 05.01.2012 № 4Н «О совершенствовании работы по обеспечению безопасности движения на Белорусской железной дороге» произведена оценка состояния безопасности движения поездов. Количество нарушений безопасности движения на Белорусской железной дороге в 2016 году сократилось в сравнении с 2015 годом с 68 до 61 случая. Общее сокращение количества нарушений безопасности движения достигнуто во втором полугодии 2016 года (с 32 до 22 случаев), в I и III кварталах (с 19 до 13 случаев и с 19 до 7 случаев соответственно). Наименьшее количество нарушений допущено в июле и августе 2016 г. (соответственно 2 и 1 случай, против 5 и 8 случаев за аналогичный период 2015 года). Рост количества нарушений безопасности движения поездов произошел в 1-м полугодии 2016 года (с 36 до 39 случаев), во II и IV кварталах (с 17 до 26 случаев и с 13 до 15 случаев соответственно). Наибольшее количество нарушений безопасности движения поездов допущено в июне 2016 г. (13 против 9 случаев в 2015 году) и мае 2016 г. (8 против 5 случаев в 2015 году). Количество событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, составило 60 случаев против 67 в 2015 году.

Допущено 9 случаев столкновения и сходов железнодорожного подвижного состава при маневрах и других передвижениях, против 17 в 2015 году (–8), 2 случая проезда запрещающего сигнала, против 5 (–3), 2 перекрытия разрешающего показания сигнала на запрещающее, вызвавшего проезд запрещающего сигнала на железнодорожной станции, против 3 (–1).

В 2016 году возросло количество событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, в хозяйствах: локомотивном (с 36 до 37), вагонном (с 3 до 4) и электрификации и электроснабжения (с 1 до 4). В 2015 и 2016 годах не допущены нарушения безопасности движения в хозяйствах служб пассажирской и грузовой работы и внешнеэкономической деятельности. Наибольшее количество нарушений безопасности допущено в локомотивном хозяйстве (37 случаев, или 61 % от общего количества, в 2015 году – 36 случаев, или 57 %). Количество отказов технических средств сократилось в сравнении с 2015 годом с 1403 до 1257 случаев. Количество сбоя устройств АЛСН и КЛУБ возросло по хозяйству пути с 313 до 356 случаев, в том числе по Минскому отделению со 168 до 194 случаев, Барановичскому – с 50 до 75 случаев. Количество ограничений скорости движения поездов, выданных по заявкам начальников вагонов-путеизмерителей из-за наличия отступлений в текущем содержании главных железнодорожных путей, сократилось с 396 до 223 случаев. В Минском отделении выявлено 76 отступлений, требующих ограничения скорости движения поездов (в 2015 году 141), Барановичском – 66 (130), Брестском – 7 (25), Гомельском – 6 (10), Могилевском – 59 (72), Витебском – 9 (18). Допущено 16 случаев наложений посторонних предметов на железнодорожный путь против 24 за аналогичный период 2015 года (8 случаев допущено в Минской дистанции пути, 4 случая – в Витебской дистанции пути, по 3 случая – в Борисовской, Барановичской, Гомельской дистанциях пути, по 1 случаю – в Молодечненской, Жабинковской и Бобруйской дистанциях пути. В 2016 году не допущено изломов рельсов (в 2015 году – 1).

Реализация мероприятий по организации планово-предупредительной системы обеспечения безопасности движения поездов и ремонтных программ в хозяйствах Белорусской железной дороги позволила удовлетворить потребности в пассажирских и грузовых перевозках и сохранить материальную базу организаций Белорусской железной дороги в состоянии, удовлетворяющем условиям безопасности движения поездов.

УДК 658.7/.8.004.67

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Д. В. МИХАЛКО, И. А. ЧУДОВА, И. А. МАСЛОВСКАЯ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Дорожное строительство является весьма дорогостоящей отраслью, поэтому важно рассматривать любые варианты, при которых возможна экономия средств и различных видов ресурсов, особенно энергетических, при сохранении требуемого уровня качества получаемой продукции. Традиционно при устройстве нежесткого типа дорожной одежды автомобильных дорог используются горячие асфальтобетонные смеси. Их достойной альтернативой могут быть теплые смеси – при выборе оптимального (для конкретных условий) способа приготовления. Из-за более низкой температуры данных смесей на выходе энергозатраты, необходимые для их приготовления, значительно ниже, чем для традиционных горячих асфальтобетонных смесей. В связи с этим актуальным является сравнение методов приготовления и особенностей применения теплых асфальтобетонных смесей разного типа на основе анализа как отечественного, так и зарубежного опыта, и выявление среди них оптимального для условий Республики Беларусь.

Теплые асфальтобетонные смеси – отнюдь не новый материал в дорожной отрасли. Тем не менее полученного отечественного опыта и исследований данного вопроса недостаточно для массового производства и применения данных смесей. Возможной причиной может быть факт того, что лидеры в этом направлении (США и Германия) продвинулись слишком далеко, и не предоставляется возможным разработать собственную достойную альтернативу, а использование добавок и оборудования импортного производства сопряжено с немалыми начальными затратами при отсутствии гарантий на успех. Поэтому необходимо произвести анализ, используя результаты наблюдений за участками дорог из теплых смесей, в различных странах и условиях, а также расчет как по единовременным затратам, так и на долгосрочную перспективу при использовании того или иного метода производства.

Затраты энергии на технологические операции по приготовлению асфальтобетонной смеси на асфальтобетонном заводе (АБЗ) складываются из затрат на подготовительные операции, нагрев и перемешивание материалов. Нагрев производится для всех компонентов смеси: мелкого и крупного заполнителя, минерального порошка и добавок, а также битума. Поскольку большинство АБЗ в настоящее время работают «с колес», затратами энергии на разогрев битума при сливе и извлечении из битумохранилища можно пренебречь. Непосредственно на нагрев и сушку мелкого и крупного заполнителей расходуется более 70 % общих энергозатрат при оптимальной влажности материала. Таким образом, в климатических условиях с повышенной влажностью, в снег или дождь энергозатраты на нагрев и сушку материала будут еще выше.

Однако нельзя просто так нагреть материал до меньших температур и приготовить асфальтобетон: это скажется на вязкости битума, и, как следствие, на его адгезии, старении. Чтобы этого избежать, существует два основных способа производства теплого асфальтобетона: с применением технологий, при которых не меняется состав вяжущего; с изменением состава вяжущего.

Оба способа предполагают либо использование специальных добавок, позволяющих воздействовать на битум, разжижая его, либо особые термические процедуры при приготовлении смеси, например, использование холодного влажного песка, который добавляется непосредственно в смеситель, минуя сушку и нагрев. Испарившаяся влага разжижает битум, вспенивая его и повышая качество обволакивания материала. А сам песок нагревается за счет контакта с горячим крупным заполнителем. В зависимости от используемого метода приготовления теплой смеси может

потребоваться переоборудование АБЗ: установка дополнительных дозаторов, конвейеров, что сопряжено с дополнительными затратами.

Использование данных отечественных и зарубежных исследователей, а также проведенная интерполяция и экономический расчет позволили определить, что, несмотря на высокие расходы при использовании существующих методов производства теплых смесей и необходимых для этого добавок, экономия энергоресурсов при производстве теплых смесей по сравнению с горячими является существенной.

УДК 625,1:614.876

## **ПРОГРАММА РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА И МАСС МАТЕРИАЛОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ДЛЯ СБОРКИ ЗВЕНЬЕВ РЕЛЬСОШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ**

*В. Л. МОИСЕЕНКО, В. И. ЖИГАР, Н. В. МОИСЕЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Применение мобильного комплекса для сборки рельсошпальной решетки повышает уровень механизации процесса сборки в сравнении со стационарными звеносборочными базами путевых машинных станций. Это достигается путем применения специализированных станков для сборки. Станки позволяют повысить производительность работ, снизить уровень ручного труда, уменьшить нормы времени на сборку звеньев. Повышение уровня механизации также означает, что для сборки необходимо задействовать меньшее число работников и, следовательно, снизить затраты на оплату труда.

Рельсошпальная решетка железнодорожного пути на бетонных шпалах собирается из различных материалов верхнего строения пути. В зависимости от типа скрепления (СБ-3 или КБ) число таких элементов пути различно. Предприятия Белорусской железной дороги, осуществляющие сборку рельсошпальной решетки, ведут строгий учет расходуемых материалов верхнего строения пути, идущих на сборку звеньев. Расчет количества этих материалов выполняется техниками предприятия вручную. В зависимости от длины собираемого участка (количества звеньев) работники выполняют расчет количества необходимых материалов, их массы и стоимости для заполнения отчетной документации. Данный расчет занимает много времени. Также при прогнозировании закупок материалов или оценке производственных мощностей звеносборочной базы данный расчет необходимо повторять для различных условий. Это приводит к неоправданно большим затратам времени.

Поэтому была разработана специализированная программа для расчета количества и масс материалов верхнего строения пути, используемых для сборки звеньев рельсошпальной решетки железнодорожного полотна.

Применение этой программы позволяет существенно сократить время на математические расчеты, ранее выполнявшиеся вручную, что повышает производительность труда. Из расчетов исключается человеческий фактор, т. е. вероятность ошибки в расчетах резко снижается. В современных условиях работы, согласно системе менеджмента качества, предприятие должно оценивать риски, способные повлиять на производственный процесс. Для звеносборочных баз одним из таких рисков является недостаток материалов верхнего строения пути для сборки рельсошпальной решетки, что может привести к невыполнению плана по ремонту железнодорожных путей. Программа позволяет быстро и точно рассчитать количество необходимых материалов исходя из различных условий (длина собираемого участка, тип скрепления, эпюра шпал, длина и тип рельсов) оценить производственные мощности звеносборочной базы, сделать вывод о целесообразности закупок тех или иных материалов верхнего строения пути.

В результате использования предлагаемой программы повышается производительность труда за счет существенного ускорения математических расчетов, также из расчетов исключается человеческий фактор. Программа позволяет точно спрогнозировать затраты материалов на сборку рельсошпальной решетки, оценить риски и мощности производственной базы, упростить труд работников при составлении отчетной документации по расходуемым материалам верхнего строения пути.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОКРЫТИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ БЕЗОПАСНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДОРОГ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из путей повышения безопасности дорожного движения является улучшение эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий. В частности необходимо замедлять процессы трещинообразования в зимний период эксплуатации.

Одним из способов реализации данного решения является модифицирование состава асфальтобетонных смесей, а также обработка существующих дорожных покрытий химическими реагентами, защищающими материал от проникновения воды и повышающими коэффициент сцепления с колесами транспортных средств.

Защитные слои в зависимости от способа устройства подразделяются на следующие виды:

- поверхностная обработка;
- укладка холодной литой асфальтобетонной смеси [1];
- устройство тонкослойного асфальтобетонного покрытия [2].

Приготовление асфальтобетонных смесей осуществляется в соответствии с требованиями [2] и [3]. Температурный режим окружающего воздуха, при котором устраиваются покрытие и основание из асфальтобетонных смесей, должен соответствовать требованиям [3].

Защитные слои устраиваются в сухую погоду. В зависимости от вида защитного слоя и используемого вяжущего среднесуточная температура устройства таких слоев должна быть не ниже: 10 °С – при устройстве поверхностной обработки с использованием битума и битумной эмульсии; 15 °С – при устройстве поверхностной обработки с использованием модифицированного битума; 10 °С – при устройстве защитных слоев из холодных литых асфальтобетонных смесей; 5 °С – при устройстве защитных слоев из горячей асфальтобетонной смеси.

Конструкции защитных слоев приведены на рисунке 1.

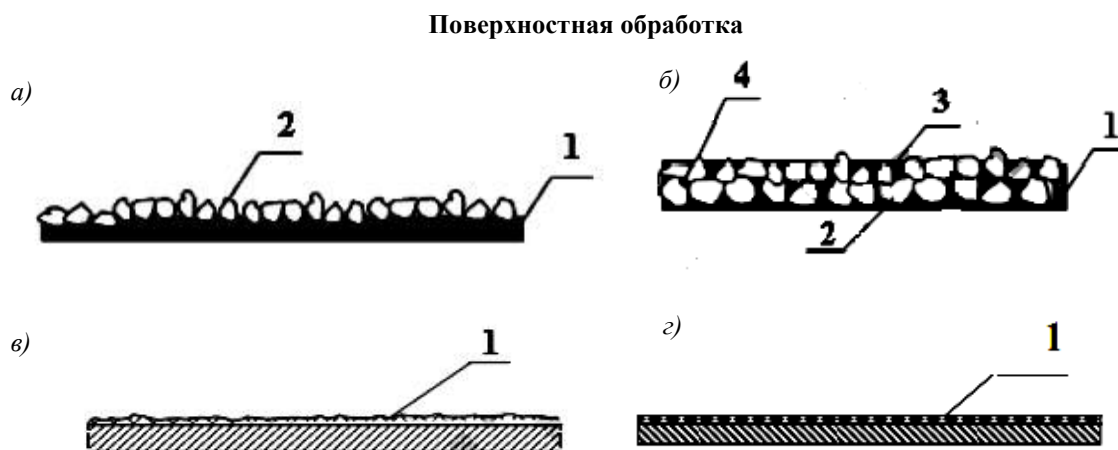


Рисунок 1 – Конструкции защитных слоев:

- а – одиночная поверхностная обработка: 1 – вяжущее; 2 – щебень;  
 б – двойная поверхностная обработка: 1 – вяжущее первого розлива; 2 – щебень первой россыпи;  
 3 – вяжущее второго розлива; 4 – щебень второй россыпи;  
 в – укладка холодной литой асфальтобетонной смеси: 1 – литая холодная асфальтобетонная смесь видов А, Б, В;  
 г – укладка тонкослойного асфальтобетона: 1 – асфальтобетон типов Б, В, Г и С.

Двойную поверхностную обработку устраивают при наличии дефектов верхнего слоя дорожно-го покрытия (глубокое шелушение, сетка трещин, нарушение водонепроницаемости, наличие выбоин). В остальных случаях устраивают одиночную поверхностную обработку.

При наличии на участке существующего покрытия трех и более слоев поверхностной обработки устройство новой допускается только после фрезерования существующих.

Допускается сочетание приведенных конструкций поверхностной обработки для устранения поперечной неровности покрытия в виде колеи глубиной до 2 см (двойная – по колее, одиночная – по остальному покрытию).

Календарные сроки устройства поверхностной обработки с учетом погодных-климатических условий Республики Беларусь – с 5 мая по 10 августа включительно. При ремонте поверхностной обработкой срок может быть продлен до 1 сентября.

Степень твердости асфальтобетонного покрытия (Т – твердое, Н – нормальное, М – мягкое, ОМ – очень мягкое) определяют при помощи твердомера ИП-18. Для покрытий из многощебенистых асфальтобетонов определение степени твердости покрытия не производят.

Органические вяжущие материалы, применяемые для устройства поверхностной обработки, должны обеспечивать требуемую адгезию к щебню. Адгезия вяжущего материала к щебню должна быть не менее 75 %. При неудовлетворительном показателе адгезии вяжущего к щебню следует использовать адгезионные присадки к битумам по [4]. Вид, нормы расхода и технологию введения вяжущего, активаторов и других веществ назначают индивидуально по результатам сравнительных лабораторных испытаний показателей адгезии.

Технология устройства слоев по способу поверхностной обработки включает в себя следующие операции:

- подготовительные работы (осуществить входной контроль качества применяемых материалов; назначить введение в битум пластифицирующих добавок; определить конструкцию поверхностной обработки и определить требуемую фракцию щебня, норму расхода органического вяжущего для основного розлива; устранить имеющиеся повреждения и деформации асфальтобетонного покрытия; удалить ранее устроенную разметку; определить технологические режимы имеющихся машин и механизмов);

- устройство поверхностной обработки (очистка ремонтируемой поверхности, распределение вяжущего и щебня по колее, уплотнение уложенного слоя, уборка незакрепившегося щебня);

- контроль качества сформированных слоев;

- уход за поверхностной обработкой.

Холодные литые асфальтобетонные смеси должны соответствовать требованиям [1] и предназначены для устройства защитных слоев асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог общего пользования в соответствии с требованиями, указанными в таблице 3.4 [4], а также для реабилитации асфальтобетонных покрытий, имеющих второй уровень дефектности в соответствии с требованиями [4].

Холодные литые асфальтобетонные смеси применяются также для исправления микропрофиля поверхности покрытия при заполнении колеи до 40 мм. Смеси видов Б и В укладывают толщиной до 15 мм, а при заполнении колеи – до 25 мм в один слой.

Холодные асфальтобетонные смеси не применяются для ликвидации колеиности асфальтобетонных покрытий, на которых:

- образование колеи на покрытии вызвано пластическими деформациями в земляном полотне или основании;

- образование колеи на покрытии сопровождается мелкой частой сеткой трещин и наличием ямочности.

Полностью пригодными для процесса ликвидации колеи путем заполнения холодными литыми асфальтобетонными смесями являются асфальтобетонные покрытия, на которых за срок службы 10 лет и более глубина образовавшейся колеи не превысила 20–25 мм.

Защитные слои в виде тонкослойных асфальтобетонных покрытий устраиваются в сухую погоду при средней температуре окружающего воздуха не ниже 10 °С.

Для обеспечения требуемых значений ровности на ремонтируемом покрытии перед устройством защитного слоя следует произвести фрезерование существующего покрытия.

Для устройства тонкослойных защитных слоев используется горячая асфальтобетонная смесь типов Б, В, Г и С по [2].

Технология устройства данного защитного слоя включает устранение дефектов в виде выбоин, очистку от пыли и грязи. Для обеспечения сцепления слоев за 1–6 часов до начала работ по укладке защитного слоя необходимо произвести обработку основания битумной эмульсией марки ЭБКД-Б-60 по [4]. Укладку асфальтобетонных смесей следует осуществлять асфальтоукладчиком на всю ширину ремонтируемого участка. Уплотнение смеси производят после ее укладки.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что при устройстве защитных слоев, которые существуют в настоящее время, автомобильная дорога содержится недостаточно эффективно, поскольку позволяет ликвидировать только визуально определяемые поверхностные дефекты (трещины, выбоины и т. д.).

В рассмотренных выше защитных слоях в качестве вяжущего используются битумы и битумные эмульсии, применение которых требует выполнения технологических режимов распределения (в частности поддержания требуемой температуры розлива). В связи с этим актуален поиск альтернативного материала, имеющего невысокую стоимость (предпочтительно получаемого из отходов нефтехимического производства), который при нанесении на покрытие не снижает своей вязкости и имеет возможность проникать в объем материала, заполняя микротрещины и дефекты, что может приводить к снижению водонасыщения и, как следствие, – долговечности покрытия, а также повышению коэффициента сцепления с колесами транспортных средств.

#### Список литературы

- 1 СТБ 2036–2010. Смесей асфальтобетонные литые холодные для устройства защитных слоев. Технические условия. – Введ. 01.07.2007. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 25 с.
- 2 СТБ 1033–2004. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Введ. 01.07.2007. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 19 с.
- 3 СТБ 1291–2007. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. – Введ. 01.07.2007. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 23 с.
- 4 СТБ 1464–2004. Материалы для ремонта бетонных и железобетонных конструкций автомобильных дорог. Технические условия. – Введ. 01.07.2007. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2011. – 29 с.
- 5 **Бочкарев, Д. И.** Оценка влияния эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий на безопасность дорожного движения / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич // *Международ. науч.-практ. журнал. Чрезвычайные ситуации: образование и наука.* – 2015. – № 1. – С. 40–45.
- 6 **Бочкарев, Д. И.** Использование метода ИК-спектроскопии для идентификации отходов нефтехимического производства / Д. И. Бочкарев, В. В. Петрусевич, А. М. Валенков // *Науч.-техн. журнал. Горная механика и машиностроение.* – 2017. – № 2. – С. 84–89.

УДК 69.002.5 : 625.7 / 8

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОГУДРОНАТОРА АРБ-8 НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ШАССИ

*В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, П. А. КАЦУБО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В технологических процессах строительства и ремонта автомобильных дорог широко применяются автогудронаторы. Данные дорожно-строительные машины предназначены для транспортирования жидких битумных материалов в горячем и холодном состоянии с мест производства или хранения и равномерного распределения их при строительстве и ремонте автомобильных дорог и аэродромов [1–3].

Конструкция автогудронаторов обеспечивает выполнение следующих операций:

- наполнение и опорожнение цистерны;
- перекачивание из посторонней емкости в постороннюю емкость, минуя цистерну;
- циркуляция битума в цистерне;
- подогрев битума в цистерне до рабочей температуры;



- розлив битума на подготовленную поверхность дороги;
- розлив битума через ручной распределитель при ямочном ремонте и заливке трещин.

В данном докладе рассмотрено навесное оборудование на автогудронаторе марки АРБ-8, которое смонтировано на базе отечественного шасси МАЗ-5336. Данные специализированные дорожные машины в Республике Беларусь производит опытно-механический завод ОАО «Дориндустрия», находящийся в г. Фаниполе.

Автогудронатор АРБ-8 (рисунок 1) предназначен для перевозки нефтяных битумов (имеющих температуру вспышки не ниже 220 °С) в жидком состоянии с температурой 160–200 °С и битумных эмульсий (имеющих температуру вскипания 96 °С) и распределения их по ширине дорожного покрытия при строительстве и ремонте автомобильных дорог и аэродромов при атмосферной температуре воздуха 4–50 °С. Область применения автогудронатора – дорожные хозяйства по строительству и ремонту автомобильных дорог [4].

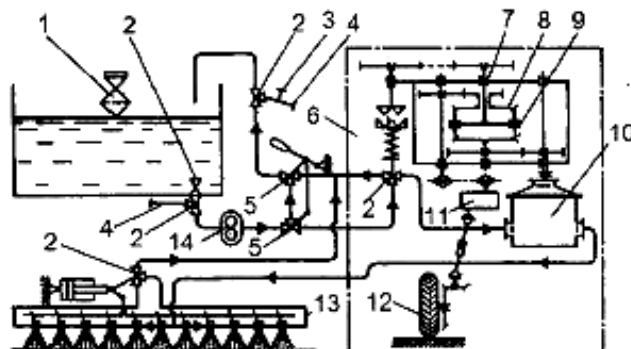


Рисунок 1 – Автогудронатор АРБ-8

К основным агрегатам самоходного автогудронатора АРБ-8 относится распределительная система (рисунок 2)

Рисунок 2 – Дозировочно-распределительная система автогудронатора:

- 1 – люк цистерны, 2 – кран, 3 – штуцер,
- 4 – трубопроводы для выдачи и приема вяжущего,
- 5 – циркуляционный кран, 6 – система ОПП,
- 7 – выходной вал, 8 – солнечная шестерня,
- 9 – ось сателлитов, 10 – расходомер,
- 11 – вариатор, 12 – опорное колесо,
- 13 – распределительная рампа, 14 – битумный насос для перекачки вяжущего



Приведенная схема дозирования и распределения вяжущего обеспечивает его циркуляцию по различным трубопроводам. Дозировочное устройство, включающее расходомер 10, имеет механический привод, который регулирует количество вяжущего с учетом угловой скорости опорного колеса 12 и, как следствие, со скоростью передвижения машины. Данная зависимость не позволяет качественно наносить на дорожную поверхность битум и экономно его расходовать.

Решить данные проблемы позволяет дорожная машина, смонтированная на шасси МАЗ-5336А3 и изготовленная на опытно-механическом заводе ОАО «Дориндустрия» (таблица 1) по лицензии Massenza International S.R.O. В кабине данной машины расположен пульт дистанционного управления, а также компьютер, регулирующий параметры установки: расход битума, рабочую скорость движения, скорость нагрева материалов и давления распыления.

Таблица 1 – Основные технические характеристики навесного оборудования автогудронаторов АРБ-8, произведенных на опытно-механическом заводе ОАО «Дориндустрия»

Параметр	Значение	
	Навесное оборудование, смонтированное на шасси МАЗ-5336	Навесное оборудование, смонтированное по лицензии Massenza International S.R.O. на шасси МАЗ-5336А3
Система распределения битума	Автоматическая (привод насоса подачи битума от шасси через коробку отбора мощности)	Автоматическая (заднерасположенная с принудительной подачей битума к распределительной рампе битумным насосом от дизельного двигателя Lombardini 9LD625.2)
Скорость движения при розливе, км/ч:		
– транспортная;	80	80
– транспортная (при перевозке материалов);	60	60
– рабочая (при розливе)	До 60	6–20
Ширина распределения, м	0,2–4,3	0,2–4,3
Норма розлива битума, л/м <sup>2</sup>	0,5–3	0,2–2

Анализируя значения, приведенные в таблице 1, можно сделать вывод, что на автогудронаторе АРБ-8, где навесное оборудование смонтировано по лицензии Massenza International S.R.O., автоматическая система распределения битума, не зависящая от скорости движения машины, позволяет выбрать оптимальную рабочую скорость автогудронатора, при которой достигается экономное использование материала. Также данный анализ показывает направление для реализации импортозамещения.

#### Список литературы

- 1 Государственная программа по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2015–2019 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 31 декабря 2014 г., № 1296 / Нац. центр правовой информации Респ. Беларусь. – Минск, 2015.
- 2 Содержание и ремонт автомобильных дорог / С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – 293 с.
- 3 Продление эксплуатационного ресурса покрытий автомобильных дорог и аэродромов / А. П. Виноградов [и др.]. – М.: Ирмаст-Холдинг, 2001. – 170 с.
- 4 Опытнo-механический завод ОАО «Дориндустрия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fomz.by>. – Дата доступа : 22.09.2017.

УДК 625.144.1

## ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

А. С. ПОСТНИКОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Путь без балласта или на балласте. Что же лучше, какая конструкция железнодорожного пути соответствует наилучшим условиям эксплуатации, обеспечивает максимально безопасное движение поездов при высоких скоростях?

Классическая конструкция пути используется со времени появления железных дорог. Данная конструкция относительно проста и универсальна. Широко используется во всех странах мира. До некоторого времени считалась единственной при устройстве железнодорожного пути.

Однако с повышением скоростей движения и ужесточением требований к содержанию пути появились новые конструкции на безбалластном основании, с опиранием рельсов на жесткое сплошное монолитное основание.

В настоящее время известно более 25 конструкций железнодорожного пути на безбалластном основании, эксплуатирующихся в разных странах мира, но вопрос, какая конструкция лучше, остается открытым.

Достоинства классического пути заключаются в простоте ремонта, возможной текущей замене его отдельных элементов, утративших свои эксплуатационные характеристики, большом сроке

службы элементов верхнего строения пути, высоких показателях шумоподавления, применении высокопроизводительных машин и механизмов для восстановления положения пути в плане и профиле, низких капитальных затратах на строительство – доминирующем параметре при выборе конструкции пути на балласте.

Использование основания на щебеночном балласте является основным недостатком при реализации высоких скоростей движения поездов. При прохождении участка линии на балластном основании железнодорожным составом на высокой скорости под воздействием аэродинамических сил происходит разбрасывание частиц щебня, которые представляют большую опасность для объектов, находящихся в пределах полосы отвода железнодорожного полотна, подвагонного оборудования и колесных пар.

В тоннелях и на мостах балластное основание работает в особо тяжелых условиях. Кроме сжимающих сил, на балласт действует вибрация, усиливающаяся с увеличением скорости движения.

Особое внимание уделяется борьбе с растительностью на пути. Применение гербицидов не только сказывается на увеличении затрат на текущее содержание, но и оказывает негативное влияние на экологию.

Рассматривая достоинства и недостатки безбалластного пути, следует отметить низкие затраты на текущее содержание (в среднем на 38 % меньше, чем при использовании пути на балласте). Срок службы безбалластного пути в среднем составляет 55 лет, а по отдельным конструкциям – 80 лет.

Выделим основные преимущества безбалластного пути:

- меньшая ширина отвода трассы;
- компактные геометрические размеры поперечного сечения пути;
- большая устойчивость и сопротивление поперечным силам, благодаря собственной высокой массе конструкции;
- отсутствие вылетающих частиц балласта под воздействием аэродинамических сил;
- устойчивое положение пути, снижающее динамические силы;
- удобство укладки на мостах, эстакадах и тоннелях;
- возможность перемещения автотранспорта в экстренных ситуациях;
- более продолжительная эксплуатация пути;
- меньшие эксплуатационные затраты;
- высокая устойчивость бесстыкового пути к температурному выбросу.

В то же время безбалластный путь имеет и свои недостатки:

- высокую стоимость строительства;
- низкую скорость строительных и монтажных работ;
- высокий уровень шума;
- невозможность исправления плана и профиля после строительства;
- высокие требования к соблюдению технологии строительства и выбору материалов;
- низкую ремонтпригодность после механических разрушений;
- необходимость специализированной техники при строительстве.

Сравнивая преимущества и недостатки классической и безбалластной конструкции пути, а также изучая дисконтированную стоимость жизненного цикла, полученную из стоимости строительства и затрат на текущее содержание и капитальный ремонт, можно сделать следующий вывод: более экономически эффективной и перспективной для реализации высоких скоростей движения поездов является безбалластная конструкция железнодорожного пути.

УДК 625.111

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*А. С. ПОСТНИКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В геополитическом аспекте Беларусь является страной, находящейся на стратегическом перекрестке: на пересечении транспортных путей «север – юг – запад – восток». По оси «север – юг» Беларусь является «соединительным мостом» между Черноморским и Прибалтийским регионами,

а по восточно-западной оси – жизненно важным коридором для России и стран Центральной Азии, активно развивающих экономические связи с Европейским союзом.

Стоит обратить внимание на перспективы развития высокоскоростных магистралей для создания особого климата для конструктивного взаимодействия между соседствующими государствами. Прежде всего, акцент следует делать на соединении экономических центров России и Евросоюза, стран Азии, лидеров мировой экономики.

Создание на территории Беларуси высокоскоростной транспортной магистрали обозначит стратегические перспективы в развитии экономики и обеспечит приток иностранных инвестиций в государство.

Развитие высокоскоростных магистралей обусловлено постановкой государственно важных целей:

- стимулирование экономической активности и развитие трудовой миграции с повышением уровня заработной платы в прилегающих к высокоскоростной магистрали регионах на 25–45 %;
- повышение связанности территорий, регионов и областей, туристической и трудовой мобильности населения;
- упрощенное сообщение, по состоянию скорости и стоимости перемещения конкурирующее даже с авиационным;
- создание новых рабочих мест, привлечение иностранных инвесторов, освоение производства элементов верхнего строения пути и иных материалов;
- включение высокоскоростной магистрали Республики Беларусь в систему высокоскоростного движения Западной Европы, через развивающую сеть ВСМ Российской Федерации с Восточной Азией;
- освоение нового уровня техники и технологий, сопровождающееся развитием транспортного машиностроения, разработка и производство материалов, подготовка научных и инженерных кадров.

Высокоскоростное железнодорожное сообщение необходимо организовать с целями привлечения дополнительного пассажиропотока на железнодорожный транспорт за счет создания для пассажиров более привлекательных условий перевозок:

- сокращение времени в пути;
- повышение комфортабельности и безопасности поездов;
- развитие конкурентной среды в перевозках пассажиров на рынке транспортных услуг;
- повышение уровня технической оснащенности железнодорожного транспорта средствами нового поколения;
- улучшение транспортных связей между центрами сосредоточения валютных потоков;
- обеспечение повышения уровня мобильности населения;
- снижение экологической нагрузки от железнодорожного транспорта на среду обитания.

Сравнивая между собой существующие способы перевозок пассажиров и грузов, альтернативных железнодорожному транспорту, основные из которых – автомобильные и авиационные перевозки, можно сделать вывод, что при прочих равных автомобильные перевозки экономически выгодны на относительно короткие расстояния, в то время как авиaperезвозки оправдывают себя на длинных дистанциях.

Практика показывает, что высокоскоростной железнодорожный транспорт экономически эффективен и привлекателен для пассажиров по соотношению «цена/скорость» при перемещениях на расстояния примерно от 400 до 1200 км при скоростях от 200 до 400 км/ч, соответственно.

В последние годы особое внимание уделено проектированию и строительству высокоскоростного железнодорожного транспорта в соседних для нашей республики государствах Польше и России. Поэтому логичным и экономически перспективным направлением будет создание высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Минск – Варшава.

Протяженность высокоскоростной магистрали примерно составит 1260 км, что по своей эффективной составляющей «цена/скорость» будет находиться в оптимальном соотношении.

Проектирование и строительство высокоскоростной магистрали, а также внедрение инновационных разработок в области электроники, транспортного машиностроения, разработки и производства новых материалов повернет инвестиционные потоки в Республику Беларусь, что само по себе провоцирует положительную динамику в научной, промышленной, экономической и внешнеполитической деятельности нашей страны.

## БЕССТЫКОВОМУ ПУТИ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ 60 ЛЕТ

*С. Ф. СИЗИН, О. В. МЕНЬШИКОВ*  
*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*В. Д. КАЙМОВИЧ*  
*Белорусская железная дорога, г. Гомель*

*В. И. МАТВЕЦОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Началом укладки бесстыкового пути в условиях нормальной эксплуатации в СССР следует считать 1949 г., когда на Томской дороге по предложению инженера М. С. Бочёнкова (в последствии доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники СССР) был уложен бесстыковой путь особой конструкции, названный впоследствии путем с саморазрядкой температурных напряжений. Такая свобода перемещений обеспечивалась специальными промежуточными скреплениями и уравнительными приборами на концах плетей длиной до 2 км. Для возвращения переместившейся плети на месте в средней ее части сооружалось пружинное возвращающее устройство. В 1954–1955 гг. бесстыковой путь конструкции М.С. Бочёнкова был уложен на бывшей Московско-Курско-Донбасской дороге, где эксплуатировался до 1961 г., а на некоторых станциях до 1971–1973 гг.

Конструкция пути на первом участке была усилена укладкой на прямой 2000 шпал на 1 км, уширением балластной призмы и присыпкой на концах шпал валиков щебня высотой 10 см. Плетей соединялись уравнительными приборами.

Опыт первого же года эксплуатации бесстыкового пути оказался успешным. Состояние пути было хорошим. Осложнений в текущем содержании не возникало. Оказалось возможным несколько упростить конструкцию пути: применить стандартную эпюру шпал, не делать валики щебня.

В 1957 г. опыт был расширен – началась укладка бесстыкового пути на Белорусской железной дороге. Для укладки бесстыкового пути на дороге к этому времени создались благоприятные условия в связи с внедрением в 1956 г. железобетонных шпал. На перегоне Молодечно – Сморгонь Молодечненской дистанции пути первые 19 км бесстыкового температурно-напряженного пути с периодической разрядкой напряжений были уложены в 1957 г. под руководством М. С. Бочёнкова. Некоторые плети в опытный порядок укладывали не с уравнительными приборами, а с комплектами из трех уравнительных рельсов.

Дальнейшее развитие бесстыкового пути шло более быстрыми темпами. В 1958 г. появились длинные плети на Юго-Западной, в 1959–1960 гг. – на Октябрьской, Львовской и других дорогах. Укладывались рельсы типа Р50 на железобетонных шпалах с раздельным скреплением.

Первый участок бесстыкового пути без разрядки температурных напряжений уложен в 1959 г. на Донецкой дороге. К этому времени уже были выпущены раздельные скрепления для рельсов типа Р65 и машин, пригодные для сварки этих рельсов. Конструкция пути была усилена применением специальных стыков. Участок на Донецкой дороге характеризовался большой грузонапряженностью, скоростями, осевыми нагрузками и находился в районе зарождения угольных маршрутов. Было выяснено, что применять бесстыковой путь в таких тяжелых условиях эксплуатации особенно целесообразно.

Опыт эксплуатации бесстыкового пути, накопленный на Белорусской, Октябрьской, Юго-Западной, Донецкой дорогах, а также результаты многочисленных исследований в СССР и за рубежом позволили ЦНИИ МПС дать в 1960 г. рекомендации о широком внедрении бесстыкового пути на дорогах СССР.

Однако до 1963 года бесстыковой путь укладывался, в основном, в районах с годовыми температурными амплитудами менее 100 °С. Препятствием для расширения зон укладки рельсовых плетей являлись большие амплитуды температур и утверждение многих специалистов о появлении впереди тормозящего поезда значительных дополнительных продольных сил 100–120 тс. По инициативе специалистов НИИЖТа под руководством М. С. Бочёнкова главное управление МПС дало

согласие на укладку опытного участка, температурно-напряженного бесстыкового пути на Западной-Сибирской железной дороге, где годовая температурная амплитуда рельсов составляла 110 °С, а грузонапряженность – 120 млн т·км брутто/км в год. После разработки проекта и проведения подготовительных работ 23 октября 1963 г. на перегоне Чик-Коченево Западно-Сибирской дороги был уложен бесстыковой путь с рельсовыми плетями длиной 800–900 м на деревянных шпалах с раздельным скреплением. В результате проведенных экспериментальных работ дополнительных продольных сил впереди тормозящего поезда не обнаружено, тем самым впервые была доказана возможность укладки бесстыкового пути на всей территории бывшего СССР.

В докладе приводится информация об увеличении длины рельсовых плетей и динамике внедрения бесстыкового пути. На российских, украинских и белорусских железных дорогах долгое время длина рельсовых плетей не превышала 800 м, и только с 1975 года начали укладывать рельсовые плети длиной на блок-участок от 1700 до 2500 м, а затем и до 10000 м.

Эффективность сокращения числа уравнильных пролетов и увеличения длины рельсовых плетей очевидна. Поэтому еще до развала СССР наибольшая длина рельсовых плетей на Донецкой дороге достигала 17500 м. В настоящее время уложены рельсовые плети на Бел. ж. д. длиной до 20 км, а на РЖД – до 87 км.

В настоящее время на Белорусской железной дороге по состоянию на 01.01.2017 г. уложено 4605,2 км, или 63 % от протяженности главных путей дороги. Протяженность бесстыкового пути на Минском отделении – 1360 км, Барановичском – 802,7 км, Брестском – 598,2 км, Гомельском – 772,7 км, Могилевском – 444,8 км, Витебском – 626,8 км. По плану в 2017 году должно быть уложено 250 км.

УДК 658.7/.8.004.67

## **ВЛИЯНИЕ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

*А. П. ФЕЩЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Дорожные условия оказывают значительное влияние на режим и безопасность движения как отдельных автомобилей, так и потока транспортных средств в целом. Большая роль в обеспечении безопасности движения принадлежит основным технико-эксплуатационным показателям автомобильных дорог. К числу таких показателей в частности относятся ровность и шероховатость дорожного покрытия.

Климатические и метеорологические воздействия на дорогу, разрушающее действие транспортных средств, временной фактор – всё это ухудшает свойства автомобильной дороги как инженерного сооружения, снижая тем самым эффективность и безопасность дорожного движения.

Погодно-климатические факторы длительного воздействия (снежный покров, низкие температуры) значительно влияют на пропускную способность дороги, среднюю скорость движения. Факторы кратковременного действия (осадки, туман, гололед) распространяются, как правило, на отдельные участки дорог, приводя к локальному снижению скоростей движения и увеличению дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Серьезной и важной задачей повышения безопасности движения является устранение скользкости покрытия. Шероховатость покрытия в процессе эксплуатации снижается в результате истирания каменных материалов под действием шин транспортных средств. Растет тормозной путь, увеличивается вероятность ДТП.

Снижение коэффициента сцепления происходит также в результате действия атмосферных осадков, загрязнения, температурного размягчения асфальтобетонного покрытия.

В соответствии с ТКП 45-3.03-19–2006 наибольшая возможная по условиям удобства и безопасности скорость движения одиночного автомобиля при благоприятных погодных условиях и состоянии покрытия, обеспечивающих коэффициент сцепления 0,6, составляет 60 км/ч.

Значительное число ДТП в темное время суток объясняется резким ухудшением условий зрительного восприятия объектов информации.

Также значительное число ДТП происходит в результате съездов транспортных средств с дороги, наездов на опоры путепроводов, мачты освещения и различные объекты на придорожной полосе. Для снижения тяжести последствий подобных ДТП и предотвращения съездов с дороги осуществляют мероприятия, повышающие пассивную безопасность дорожного движения. Так, конструкция ограждений должна обеспечивать высокое энергопоглощение кинетической энергии транспортного средства при плавном снижении скорости наезда на ограждение; исключать возможность возникновения значительных замедлений и деформаций транспортного средства; не допускать попадания транспортного средства в опасную зону в результате деформаций и разрушений ограждений; исключать опрокидывание или отбрасывание транспортного средства в транспортный поток; зрительно предупреждать водителя о границах и характере опасной зоны.

Неровность покрытия, по данным ГАИ, является причиной 13–18 % ДТП, связанных с неблагоприятными дорожными условиями. Характер возникновения ДТП заключается в необходимости неожиданного изменения скоростного режима (экстренное торможение), маневра в плане или одновременного совершения этих двух действий. При наличии попутного и встречного транспортных потоков вероятность столкновения в этих случаях резко возрастает. Кроме того, неровности вызывают колебания подвески, что может привести к потере управляемости. Колебания прицепов и полуприцепов автопоездов приводят к увеличению динамического коридора движения, что также увеличивает вероятность столкновения и возможность потери боковой устойчивости. Наличие неровностей на дорогах повышает утомляемость водителей, отвлекает их внимание от восприятия других объектов на дороге, снижает пропускную способность дороги и в конечном итоге снижает производительность подвижного состава. Методы организации движения в этих случаях носят характер предупреждения участников движения. Единственным эффективным методом борьбы с неровностями покрытия является, кроме качественного строительства, своевременный ремонт. Однако хочется отметить, что ремонтные работы проезжей части улиц и дорог также создают зоны повышенной опасности и значительно снижают эффективность транспортного процесса в результате образования предзаторных и заторных условий движения.

Плавность хода и минимальные затраты мощности на сопротивление качению автомобиля, особенно при движении с высокими скоростями, достигаются на идеально ровной и гладкой дороге. Сила удара колес о неровности дороги возрастает пропорционально квадрату скорости. Поэтому, например, при движении со скоростью 50 км/ч отдельные неровности высотой до 10 мм практически не сказываются на плавности хода автомобиля, при скорости же 90 км/ч они вызывают ощутимое подбрасывание колес. Конечно, покрытие дороги не может быть идеальным, оно всегда имеет неровности. Но с точки зрения водителей эти неровности должны быть такими, чтобы толчки от них полностью поглощались благодаря деформации шин. С другой стороны, идеально гладкое покрытие – серьезный недостаток дороги, так как при этом резко снижается коэффициент сцепления колес с дорогой. Поэтому покрытие автомобильных дорог должно иметь шероховатость с выступами и углублениями в 3–5 мм. С такой шероховатостью покрытия дорога зрительно воспринимается как совершенно ровная, и ее можно считать в наибольшей степени отвечающей требованиям безопасности и достаточно высокой комфортабельности движения.

Дорожное покрытие приобретает иногда излишнюю гладкость вследствие износа. В результате длительной эксплуатации шероховатости срезается трением шин о поверхность дороги, и коэффициент сцепления шин с дорогой на таком покрытии резко уменьшается. Для восстановления прежнего качества покрытие посыпают мелкодробленными каменными материалами – клинцом, поливают гудроном и слегка укатывают дорожными катками.

Сразу же после такого восстановительного ремонта покрытие доставляет немало неприятностей: плохо укатанный клинец вырывается из-под колес и часто наносит удары по лобовым стеклам и фарами обгоняемых и встречных автомобилей. Поэтому на подобных участках необходимо уменьшать скорость, выдерживать большую безопасную дистанцию и воздерживаться от обгона. После достаточной укатки клинца такая поверхность покрытия обеспечивает наилучшее сцепление колес с дорогой.

Снижение коэффициента сцепления ведет к опасному скольжению на дорогах с новым покрытием из-за выделения масляной пленки из асфальта.

Участки с изношенным и отремонтированным покрытием меняются довольно часто, и водитель должен постоянно наблюдать за изменением дороги. Отличить их издали нетрудно по цвету: более темные отремонтированные участки летом хорошо выделяются на общем фоне, а старые гладкие участки выглядят более светлыми и дают при ярком солнечном освещении резкие отблески.

При проведении работ по улучшению состояния дорожного покрытия должны устраняться крупные неровности с тем, чтобы опасность потери контроля над транспортным средством снижалась. Другая цель такой меры – уменьшение износа транспортного средства и повышение комфортабельности поездки.

УДК 658.7/.8.004.67

## **УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*И. М. ЦАРЕНКОВА, Н. А. КОЛИВОШКО, В. С. ПЕТРЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При развитии проекта по строительству и реконструкции нового объекта в дорожно-строительной отрасли возникает вопрос об оптимизации расходов на всех стадиях проекта.

Для минимизации издержек при строительстве и реконструкции автомобильных дорог наиболее рациональным решением является развитие кластеров, представляющих собой хозяйства дорожно-строительной отрасли, имеющие различную структуру и форму собственности, интегрированные в единую систему в рамках реализации инвестиционного проекта. Существующая система управления дорожным строительством страны построена на принципах распределения полномочий между хозяйствующими субъектами в рамках основных видов их деятельности. Так, функции заказчика при строительстве и реконструкции республиканских автомобильных дорог выполняют организации республиканской формы собственности, входящие в структуру Министерства транспорта и коммуникаций. Исполнителями строительно-монтажных работ при реализации дорожно-строительных проектов являются подрядные организации, входящие в холдинговую структуру. В последнее время в связи с активным внедрением логистических принципов в различных отраслях народного хозяйства стало необходимо развивать управление транспортно-логистической системой на уровне холдинга.

Это развитие заключается в интеграции отдельных звеньев материально-производственной цепи предприятий холдинга в единую логистическую систему, способную минимизировать транспортно-логистические издержки при продвижении материального потока в процессе строительства и реконструкции автомобильных дорог за счет объединения технических ресурсов, информационных потоков, сопутствующих реализации технологий; применения экономических методов управления потоковыми процессами. Причем отдельные звенья могут представлять собой функционально обособленные логистические подсистемы, имеющие свои цели и локальные критерии оптимизации функционирования.

Основными причинами для усиления интеграции в рамках холдинговой структуры дорожного строительства являются: неравномерное распределение спроса на реализацию конкретной деятельности в связи с территориальной разбросанностью объектов производства работ; различный уровень автотранспортных мощностей организаций; повышение требований к качеству перевозки материалов (грузов) и срокам поставки; неравномерный уровень применения новых методов строительства и реконструкции дорог структурными подразделениями холдинга; рост конкуренции между хозяйствующими субъектами (внутри страны и за рубежом); наличие разнообразных способов доставки материалов в каждой организации и т. д.

Особое внимание стоит уделить формированию эффективной системы управления логистической деятельностью при данном объединении. Сложной хозяйственной задачей является создание механизма управления транспортно-логистической системой на уровне холдинговой структуры,



а также переориентирование направлений поддержки партнерских отношений между дорожно-строительными организациями и другими звеньями цепей поставок материалов.

На начальном уровне необходимо создание или выделение в рамках действующей структуры фокусной компании как центра, обеспечивающего реализацию между участниками логистической системы единого подхода к организации дорожно-строительного производства и связанной с ним транспортно-логистической деятельности. Данная компания должна служить связующим звеном при решении общих проблем, возникающих при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Ее главной функцией является увязка основных принципов функционирующих субъектов, имеющих различную экономическую инфраструктуру (финансы, страхование и т. п.).

Главными задачами связующего центра будут являться: развитие гармоничных взаимоотношений путем доверительных процедур; создание партнерских отношений между организациями путем максимально учета интересов всех лиц в цепи поставок дорожно-строительных материалов; регулирование всех производственных запасов организаций; оптимизация планирования, контроля и регулирования уровней запасов в каналах снабжения; объединение транспортной инфраструктуры; создание центральной базы по обслуживанию автотранспортных мощностей; формирование общих методов поставки материалов; построение эффективной системы координации между всеми участниками; единый расчет и минимизация логистических издержек; координация работы всех сотрудников; контроль качества транспортного и строительного процесса.

Эффективность функционирования крупной фокусной компании достигается в основном за счет значительного снижения сметной стоимости строительства по статьям материальных и транспортных затрат и повышения надежности и качества поставок.

Таким образом, система дорожно-строительного хозяйства будет представлять собой специфическое кластерное образование, сочетающее в себе совокупность всех звеньев цепей поставок, транспортно-логистической инфраструктуры, предприятий холдинга, связанных транспортно-коммуникационными сетями в рамках обеспечения движения материального потока. Возникающая новая структура достигает максимального положительного эффекта путем получения результата от объединения систем, превышающего сумму получаемых результатов предприятий в отдельности. В связи с этим представляется целесообразным построение и развитие транспортно-логистических систем при создании фокусной компании в дорожной отрасли.

УДК 658.7/8.004.67

## **ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*И. М. ЦАРЕНКОВА, А. В. СВИРИДОВ, И. А. МАСЛОВСКАЯ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время с появлением дорожных фрезерных машин становится более актуальным применение способа «переукладки» асфальтобетонных слоев методом регенерации. Удаление старых потерявших прочность слоев дорожной одежды и последующее устройство новых монолитных слоев дает возможность получить дорожную одежду, аналогичную по качеству получаемой при строительстве новой дороги, сводя к минимуму затраты на ресурсы и ущерб окружающей среде. Регенерация асфальтобетона позволяет довести транспортно-эксплуатационные и технические характеристики автомобильных дорог до требуемого уровня путем переработки бывшего в эксплуатации материала дорожной одежды.

Первый опыт повторного использования материалов существующей дорожной одежды за рубежом можно отнести к 70–80-м годам XX века, когда сначала в Западной Европе, а потом и в США старую дорожную одежду разламывали на куски ввиду отсутствия специальной техники, экскаваторами. Кусковой материал измельчали, добавляли катионную эмульсию нефтяных масел, перемешивали, полученную смесь раскладывали автогрейдером и уплотняли. В России первый опыт использования датируется 1991 годом, когда при использовании дорожной фрезы были

проведены работы по ремонту участка автомобильной дороги IV технической категории с введением цемента в регенерируемую смесь.

В Республике Беларусь в настоящее время действуют нормативные документы, устанавливающие технические нормативы при производстве работ по технологии холодного ресайклинга ДМД 02191.2.017–2008 «Рекомендации по применению технологии холодного ресайклинга при усилении нежестких дорожных одежд», ТКП 110–2007 «Восстановление дорожных одежд улиц населенных пунктов способами холодной регенерации на месте».

Опыт использования показывает, что применение регенерации покрытий допустимо как при ремонтах дорожной одежды, так и при капитальном ремонте автомобильных дорог. Существуют различные способы регенерации асфальтобетона. Их можно классифицировать в зависимости от дефектов существующего покрытия, применяемых комплектов машин, толщины фрезерования, технических требований к применяемой конструкции и условий ремонта, организации производства работ, проектируемого состава регенерированной смеси, по виду применяемых вяжущих.

Особенности технологии холодной регенерации дорожных одежд заключаются в приготовлении и укладке смесей, состоящих из измельченного асфальтобетона существующей дорожной одежды и вяжущих веществ без разогрева исходного материала с использованием ресайклеров. Следует отметить, что применение различных вяжущих обеспечивает широкий выбор вариантов подбора при проектировании состава таких смесей в зависимости от технических требований к новым слоям дорожной одежды и технологических возможностей организаций-подрядчиков. В качестве одного или нескольких вяжущих могут использоваться как органические – жидкий и вспененный битум и битумная эмульсия, так и гидравлические – цемент, известь. При этом проектирование новой конструкции дорожной одежды рекомендуется вести отдельно для каждого участка производства работ, учитывая зависимость свойств регенерированного материала от параметров существующей конструкции и свойств материалов старых конструктивных слоев. Длина захватки ресайклера должна быть рассчитана с учетом предельно допустимых значений использования вяжущих веществ, что отразится на интервале времени между соседними проходами ресайклера и сроками открытия движения транспорта и строительной техники по регенерированному слою.

Трудности применения технологии холодной регенерации на месте связаны с несоответствием нормативным требованиям зернового состава дробимого материала, что требует улучшения его гранулометрии. Установлено, что степень дробления материала зависит от скорости движения ресайклера. При этом улучшение гранулометрического состава регенерированного материала может быть достигнуто также путем предварительного добавления несвязного каменного материала, распределением слоев определенной толщины перед проходом ресайклера.

В настоящее время технология холодной регенерации имеет несколько направлений развития в областях расширения видов используемых вяжущих материалов и модернизации существующих средств механизации. Так, при распределении цемента по поверхности дороги важно добиться внесения определенного количества вяжущего. *Использование распределителя с дозатором обеспечивает равномерное и корректное внесение, что является гарантом соблюдения рецептуры уплотняемой смеси.* При регенерации покрытия на полную глубину важно добиться равномерного перемешивания вяжущих.

Особенности технологии требуют качественного уплотнения на всю глубину для исключения проблем разуплотнения из-за истечения времени схватывания или слишком большого количества проходов, что становится возможным только при правильном подборе комплекта катков и режима их работы. Уплотнение регенерированного материала должно производиться тяжелым гладковальцевым виброкатком с высокой амплитудой вибрационного воздействия для достижения высокой плотности материала в нижней части регенерированного слоя. Последние проходы катка рекомендуется производить с малой амплитудой вибрации для уменьшения риска образования усадочных трещин.

Таким образом, установленные особенности регенерации дорожных одежд при ремонте автомобильных дорог требуют дальнейшего развития технологии с учетом транспортных и климатических условий дорожных объектов, особенностей регенерированного материала с целью повышения надежности и долговечности дорожных одежд.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

И. М. ЦАРЕНКОВА, И. А. ЧУДОВА, И. А. МАСЛОВСКАЯ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Автомобильные дороги являются стратегически неотъемлемой частью нашего государства. Интенсивное развитие народного хозяйства Беларуси невозможно без развитой сети современных автомобильных дорог и эффективного использования автомобильного транспорта. Кроме необходимости расширения объёмов дорожного строительства всё большее значение приобретает вопрос обеспечения безопасности движения, повышения транспортно-эксплуатационных качеств дорог, их пропускной способности. Из-за увеличения интенсивности движения, автомобильные дороги изнашиваются и приходят в негодность. В связи с этим существует необходимость поддержания и улучшения состояния дорог с использованием различных технологий. Организация любого производства подразумевает не только использование методов и мер, направленных на рациональное сочетание процессов труда с вещественными элементами производства в пространстве и во времени, но и повышение эффективности самого производства. Цель организации – эффективное функционирование с использованием информационных технологий для собственного развития и для прогресса общества.

Организация строительных работ представляет собой установление и обеспечение общего порядка, очередности и сроков работ по строительству и реконструкции автомобильной дороги, обеспечение необходимыми материалами, оборудованием, машинами, трудовыми и денежными ресурсами с целью сооружения дороги в установленные сроки при минимальных затратах материальных ресурсов. Всё это производится при разработке проекта выполнения строительно-монтажных работ. За рубежом при организации работ используют новые технологии, включенные в соответствующие программы, которые улучшают качество, сокращают сроки выполнения работ, позволяют производить контроль, анализ и корректировку выполняемых работ. Одним из примеров, является программа *Microsoft Project*. Данная программа позволяет рассмотреть проект в любой перспективе и быстро перейти от одного расчета к другому. Специальные инструменты программы помогают быстро и четко сравнить альтернативы «что если», чтобы оперативно отреагировать на изменения и вернуть проект в нормальное русло.

Управление проектом заключается в отслеживании состояния работ и определении, выполняются ли они в соответствии с планом. Если выполнение отстает от плана, то следует либо изменить план, либо принять меры для ликвидации задержки. *Microsoft Project* автоматически корректирует план в соответствии с внесенными изменениями. Программа также предоставляет информацию о том, какие ресурсы перегружены и какие работы не могут быть выполнены в срок. С помощью различных режимов просмотра информации и отчетов быстро определяются виды работ, выполнение которых задерживается или стоимость которых превышает бюджет.

С помощью метода критического пути можно также прогнозировать и оптимизировать трудовые затраты. Анализ *Microsoft Project* выполняется быстро и при необходимости позволяет ежедневно контролировать развитие событий и получение ответа на все «а что, если». Использование вышеназванной программы было апробировано при организации строительства группы водопропускных труб на объекте реконструкции магистральной автомобильной дороги. Были выполнены расчеты по трудоемкости, механоёмкости, продолжительности работ. На основании продолжительности была построена исходная сетевая модель, которая является вводной частью программы. После ввода программа автоматически определила критический путь и обусловила ресурс с превышением доступности. Это означает, что данный ресурс не может справиться с выполнением работы в срок. После выполнения функции автоматического планирования программа за счет свободных резервов выровняла и привела к тому, что срок выполнения по строительству водопропускных труб сократился на 8 %. Программа позволяет не только производить постоянный контроль, но также и отображает необходимые показатели о ресурсах, вещественных или денежных затратах, о ходе выполнения работ.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ НА КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

*Ю. Н. ШВАЧИЧ, Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ, Е. Н. ШВАЧИЧ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проектирование и строительство кольцевых пересечений в условиях сложившейся плотной городской застройки сопряжено с различными трудностями. Чем больше интенсивность на пересекающихся улицах, тем больший радиус центрального островка необходимо проектировать. С другой стороны, размер центрального островка, а затем и всего пересечения чаще всего определяется плотностью застройки и расстоянием от границ проезжей части до различных зданий и сооружений. Кольцевые пересечения с небольшими радиусами центрального островка (1–10 м) создают затруднения для движения автопоездов, сочлененных автобусов и грузовиков. Переустройство традиционных регулируемых пересечений на ул. Кирова в г. Гомеле в кольцевые, с одной стороны, позволило улучшить режим движения транспортных средств, а с другой – привело к тому, что проезд крупногабаритных транспортных средств (которые ранее проезжали по этой улице) стал невозможен или небезопасен для других участников дорожного движения. Габаритная полоса движения сочлененных автобусов, автопоездов и грузовиков значительно больше полосы движения, выделяемой для легковых автомобилей. В странах Западной Европы, США, Канаде и других на кольцевых пересечениях с малыми радиусами центральный островок обозначается разметкой на покрытии (рисунок 1, а), однако он не возвышается над ним и не ограждается различными элементами (рисунок 1, б). Таким образом, легковые автомобили двигаются по кольцу, а крупногабаритные транспортные средства имеют возможность двигаться через островок, не создавая аварийных ситуаций. К сожалению, «культура вождения» на белорусских дорогах не позволяет реализовать такой вариант на практике.

В Республике Беларусь отсутствуют нормативные документы, регламентирующие правила и нормы проектирования кольцевых пересечений городских улиц, а существующий нормативный документ по проектированию пересечений на автомобильных дорогах общего пользования не предусматривает четких требований. Поэтому при проектировании кольцевых пересечений с малыми радиусами центрального островка необходимо на этапе проектирования оценивать возможность безопасного проезда по нему крупногабаритных транспортных средств или проводить соответствующие расчеты для запроектированного. Исходными данными для определения габаритной полосы движения являются интенсивность и состав движения, параметры транспортных средств, геометрические параметры элементов пересечения.

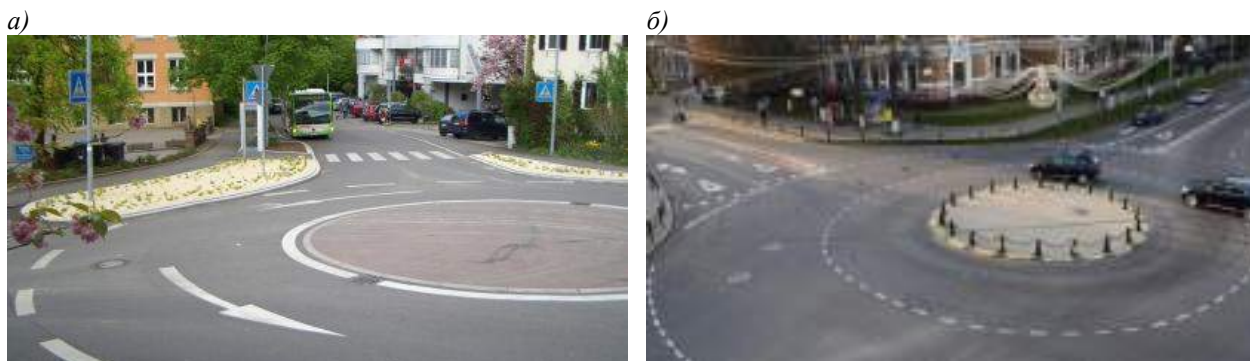


Рисунок 1 – Варианты организации движения через пересечение с малым радиусом центрального островка:

*а* – мини-кольцевое пересечение (Minikreisel) в Германии;  
*б* – пересечение ул. Кирова и Красноармейской в г. Гомеле

Расчет габаритной ширины полосы движения на кольцевом пересечении можно производить вручную, но наилучшим вариантом является использование автоматизированных систем проектирования. При ручном расчете необходимо учитывать большое число различных факторов и

производить многочисленные одинаковые расчеты для различных транспортных средств. Однако не все автоматизированные системы проектирования (САПР) позволяют определить параметры габаритной полосы движения. Для этой цели необходимо использовать САПР IndorCAD Road 9 (см. рисунок 1).

Достоинством этой программы является возможность управления параметрами транспортных средств и создания различных траекторий движения.

УДК 625.712

## **О НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ УЛИЦ ОГОРЕНКО И КАМЕНЩИКОВА В ГОРОДЕ ГОМЕЛЕ**

*Ю. Н. ШВАЧИЧ, Е. Н. ШВАЧИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Улично-дорожная сеть многих городов на постсоветском пространстве проектировалась исходя из прогнозируемых показателей уровня автомобилизации населения. К сожалению, реальные темпы автомобилизации для некоторых городов на порядок превысили прогнозные показатели, что объясняется большим числом факторов, влияющих на значение показателя и невозможностью их полного учета. В связи с этим увеличение числа автомобилей на улицах города приводит к ухудшению условий движения, увеличению числа дорожно-транспортных происшествий, возрастанию потерь времени, снижению эффективности работы дороги. В таких условиях особую актуальность приобретает вопрос совершенствования улично-дорожной сети.

Пересечение улиц Огоренко (Мазурова) и Каменщикова находится в северо-восточной части Гомеля. Особенностью этих улиц является высокая интенсивность движения автомобилей, а также наличие ярко выраженных пиков движения автомобилей и пешеходов в течение дня. Жилая зона микрорайона, в котором расположено пресечение, включает в себя всё необходимое для обеспечения бытовых нужд населения: жилые дома, службы быта, детские сады, школы, магазины. Рядом с пересечением улиц находится Прудковский рынок, который ежедневно посещает большое количество людей. В настоящее время микрорайон точно застраивается, что, соответственно, приводит к увеличению количества населения. По данным на 2016 г., население Гомеля – более 520 тыс. человек, что составляет 37 % от жителей области (в 2010 году, когда население города составляло 484 тыс. человек). По численности населения Гомель занимает второе место в республике после Минска.

Улицы Огоренко (Мазурова) и Каменщикова пересекаются под углом 69 градусов, а центр пересечения является наивысшей точкой осей пересекающихся дорог, что приводит к большой аварийности на пересечении. По данным ГАИ, за период с 2006 по 2017 год на пересечении произошло 18 дорожно-транспортных происшествий. Многолетняя статистика показывает, что пик аварийности приходится на период суток с 17 до 19 часов. Самой высокой тяжестью последствий отмечаются происшествия в ночные часы в промежутке с 22 до 6 часов, несмотря на то, что интенсивность движения уменьшается в десятки раз.

Расчет степени опасности пересечения, выполненный согласно требованиям технического нормативно-правового акта, показал, что данное пересечение является очень опасным и нуждается в переустройстве. Среди всех возможных вариантов переустройства можно выделить преобразование существующего регулируемого пересечения в кольцевое. Благоприятные условия (отсутствие плотной застройки) позволяют разместить кольцевое пересечение с радиусом центрального островка 30–40 м. Кольцевые пересечения имеют следующие преимущества:

- имеется возможность рациональной организации движения при пересечении в одной точке более четырех дорог;
- отсутствуют затраты на регулирование движения;
- разделение конфликтных точек, низкая относительная скорость движения и острые углы слияния (переплетения) на кольцевом пересечении способствуют большей степени безопасности движения;

- потери времени автомобилями значительно меньше, чем на обычных пересечениях в одном уровне;
- схема движения на пересечении проста и понятна водителям;
- обеспечиваются лучшие условия для выполнения левоповоротного маневра по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне.

УДК 625.7

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ – ВАЖНЫЙ ЭТАП В ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*А. В. ШИЛОВИЧ*

*Гомельский филиал Международного университета (МИТСО), Республика Беларусь*

Важным моментом в проектировании автомобильных дорог является учет взаимодействия процессов износа и восстановления дороги. Качество дороги во многом зависит от ее конструкции и строительного исполнения, а также от процессов ее износа и восстановления. Обеспечить высокое качество дороги возможно лишь тогда, когда процесс восстановления осуществляется не менее активно, чем процесс износа. Рассматриваемый вопрос является фрагментом модели, обеспечивающей связь между затратами на строительство дороги, издержками по ее содержанию и стоимостью эксплуатации на ней транспортных средств. Создание и использование этой модели является важным этапом в решении проблемы развития и содержания дорожного и автотранспортного хозяйств с минимальными издержками. Модель позволяет учитывать комплексное воздействие размера движения, окружающей среды и старения дорожного покрытия на технико-экономические характеристики транспортирования на всём сроке эксплуатации. Для отыскания зависимостей влияния таких факторов необходимо определиться в показателях оценки качества дороги. Величина средних неровностей и динамически устойчивое состояние поверхности дороги являются функциями размера движения, условий окружающей среды, свойств материала дороги, временных интервалов между техническими обслуживаниями и глубины восстановления. Обеспечение динамически устойчивого состояния при различных качественных уровнях дороги коррелируется с соответствующими затратами по ее содержанию и издержками по эксплуатации на ней транспортных средств.

Износ поверхности дороги может быть охарактеризован двумя фазами: начальная – период, предшествующий появлению элементов поверхностного износа, и фаза развития, в течение которой площадь и глубина процесса разрушения увеличиваются. Неровности, которые являются результатом сложного разрушения, возрастают медленно в течение начального периода, но затем развиваются достаточно быстро. При отсутствии технического обслуживания они могут достигать высокого уровня и приводить к значительным затратам на восстановление дороги. Разнообразие вариантов технического обслуживания имеет довольно широкий спектр: от обычного восстановления дренажа, боковых откосов и обочин, требующих незначительных средств, до крупных восстановительных работ в виде реконструкции или новой укладки дорожного покрытия, связанных с большими расходами материальных и трудовых ресурсов. Периодическое техническое обслуживание может сохранять и усиливать структурную прочность покрытия и уменьшать темпы износа и разрушения дороги. Оно является необходимым мероприятием в течение периода быстрого развития повреждений, так как в его отсутствии нарастание процесса разрушения ведет к существенным структурным повреждениям. После этого стоимость восстановления дороги и обеспечение ее дальнейшей ремонтпригодности может быть значительно дороже, чем стоимость предотвращения сложившейся ситуации. Политика технического обслуживания дороги может осуществляться на базе двух идеологий. В первом варианте предусматривается вполне определенная периодичность восстановления и ремонтов с указанием объемов этих работ, а во втором – выполнение очередного восстановления дороги реализуется при достижении некоторым контрольным параметром (или их совокупностью) своего порогового значения. В практике восстановительных работ существуют четыре основных типа технического обслуживания для дорог с твердым покрытием: латание дыр, включая заделку трещин, потертостей и выбоин; перезаливка тонкого поверхностного слоя, включая изолирующие

перемычки, выравнивание поверхности, в том числе с корректировкой формы (эти два типа ремонта приводят к небольшому выравниванию дороги и структурному усилению покрытия, а перезаливка с корректировкой формы позволяет существенно уменьшить неровности на обширной площади); укладка дополнительного слоя поверх оригинального покрытия (такое мероприятие усиливает покрытие и уменьшает неровности, а новый слой служит как водозащитная мембрана, затрудняющая дальнейшее разрушение оригинального покрытия); реконструкция верхнего слоя, усиливающая его многослойным покрытием (это уменьшает неровности и исключает разрушение оригинального покрытия).

На основании описанных выше процессов разрушения и восстановления дороги создана расчетная модель дороги, способная предсказывать стоимость создания и технического обслуживания при различных комбинациях строительства и восстановления. Параметры восстановления и разрушения дороги предсказываются по мере её старения с расчетами по каждому году. В качестве входной информации для этой модели используются размеры движения транспорта, конструкция покрытия, критерий для выполнения технического обслуживания. Работа модели начинается с расчета времени, проходящего от начала эксплуатации дороги до момента первых повреждений по всем их видам. Затем через установленные промежутки времени определяются параметры поверхностных разрушений и неровностей, которые сверяются с их пороговыми значениями. В случае выхода расчетных показателей за пределы пороговых модель рассчитывает объем технического обслуживания, его стоимость, качественные характеристики покрытия после восстановления (величину неровностей, прочность) и готовит эту информацию для ее запуска в модель расчета стоимости эксплуатации транспортных средств. Общие виды функций и уравнений, используемые в прогнозировании повреждений и разрушений дороги, как и ее восстановления, заимствованы из исследований Мирового Банка. Адаптация указанных функций к местным условиям осуществлялась на базе статистической информации, собранной на территории Республики Беларусь.

## 6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ

---

УДК 696.48-67

### МОДИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*А. А. АЛЕКСЕЕВА, Т. В. ЯШИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В транспортном строительстве реализуются десятки сложных и ответственных строительных проектов; возросли требования к качеству зданий, сооружений, коммуникаций, дорог, дорожных покрытий, а значит, и к бетонам и к железобетонным конструкциям транспортного назначения. В связи с этим выдвигаются дополнительные требования к производству и совершенствованию строительных материалов; в первую очередь это относится к традиционному бетону. Наиболее часто встречающиеся искусственные сооружения – это мосты и водопропускные трубы, подпорные стены, тоннели, селеспуски, галереи, лотки и т. п. Трубы устраивают при пересечении железной дорогой небольших водотоков или суходолов. Материалами для укрепления водопропускных труб служит бетон, сборный железобетон. Возрастающая потребность в надежных инженерных сооружениях привела к массовому применению в мировой строительной практике бетонов с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами. Появились бетоны нового поколения, отличающиеся от обычных наличием в своем составе высокоэффективных многокомпонентных добавок, способных модифицировать цементную систему.

Высококачественные бетоны, как правило, отличаются высокой прочностью, большой морозостойкостью, низкой водонепроницаемостью. Всё это обеспечивает повышенную долговечность инженерных конструкций в сложных эксплуатационных условиях. Все эти показатели практически нереализуемы без использования высококачественных, специально синтезированных химических модификаторов. Введение в бетоны и растворы добавок создало реальную предпосылку для получения высококачественных бетонов и растворов повышенной долговечности.

На сегодняшний день химические добавки – самый эффективный способ совершенствования структуры и регулирования свойств бетона. Современная тенденция в строительстве – применение более пластичных бетонных и растворных смесей. Высокая пластичность достигается путем введения в состав смеси сильнопластифицирующих добавок-гиперпластификаторов. Они снижают водоцементное отношение, способствуют повышению прочности при высокой удобоукладываемости. При добавлении в бетонную смесь они «разжижают» её, увеличивая растекаемость до 63 см и более, без добавления лишней воды, стабилизируют процесс гидратации цемента, тем самым улучшая технологические параметры бетонной смеси и повышая эксплуатационные свойства бетона.

Исследовались композиционные строительные материалы-бетоны, растворы, модифицированные новыми химическими добавками комплексного действия и тонкодисперсными наполнителями, и железобетонные конструкции из них, применяемые для инженерных сооружений на транспорте. Обеспечить улучшение строительно-технических свойств могут лишь те добавки, которые обладают одновременно пластифицирующим действием (повышающим качество бетонной смеси), свойством значительно ускорить твердение (что экономит затраты на опалубку, на пропарку заводских изделий) и, соответственно, сроки строительства, а также являются ингибиторами коррозии, что в общем, способствует долговечности и экономичности бетонов. Таким требованиям отвечают современные добавки-модификаторы комплексного действия нового поколения с повышенным пластифицирующим эффектом. Наибольшее распространение получили супер- и гиперпластификаторы (например, серии Хидетал – ГП-9 модификации альфа, бета, гамма, эpsilon), многократно улучшающие подвижность бетонной смеси без увеличения водосодержания. Существенное снижение расхода воды без ухудшения удобоукладываемости бетонных смесей позволяет улучшить такие свойства, как прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, а следовательно, долговечность и надежность конструкций инженерных сооружений.



Применение современных модификаторов, также ускоряющих твердение, позволяет осуществить набор прочности бетоном (50–70 %) через 36–72 часа, намного раньше распалубить забетонированную конструкцию, что существенно ускоряет процесс бетонирования, проведение ремонтно-восстановительных работ и строительства инженерных сооружений в целом.

Особенности зимнего бетонирования требуют введения противоморозных добавок. Именно использование эффективных противоморозных добавок нового поколения (например, Зимняя-П-3) позволяет производить бетонные работы при отрицательных температурах (ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что актуально для возведения сооружений в наших климатических условиях.

Применение тонкодисперсных минеральных наполнителей в комплексе с современными химическими модификаторами дает существенное уменьшение расхода вяжущих (до 30 %) одновременно с повышением качества и долговечности бетона. Введение наполнителей оптимальной дисперсности (кварцевых, доломитовых, бинарных и др.) по интенсивной раздельной технологии, взамен непрогидратировавших зерен цемента, в сочетании с гиперпластификаторами существенно повышает эффективность их введения. Чем выше эффект гиперпластификации, тем пластичнее бетонные смеси, однороднее и качественнее бетон, тем более высокой степени наполнения, экономии вяжущих и удешевления конструкций мы можем достичь.

Эффективность применения новых химических добавок комплексного действия в комплексе с тонкодисперсными наполнителями в бетонах и растворах заключается не только в улучшении строительно-технических свойств (повышении удобоукладываемости бетонной и растворной смесей, значительном ускорении их твердения, повышении плотности, однородности, водонепроницаемости, морозостойкости бетона), но и в уменьшении дефектности конструкций, а следовательно, повышении качества и долговечности искусственных сооружений и надежности объектов транспортного назначения.

УДК 691.32

## **УЛУЧШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*А. А. АЛЕКСЕЕВА, Т. В. ЯШИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Получение бетонов нового поколения, обладающих специальными свойствами, невозможно без применения качественного, высокопрочного, однородного по свойствам вяжущего, без внедрения эффективных технологических решений, использования специальных добавок для модификации портландцемента и бетонных смесей. Добавки (модификаторы химические, минеральные, искусственные и натуральные) вводят в исходный шлам при обжиге клинкера, добавляют при помоле обожженного клинкера, вводят в бетонные и растворные смеси.

Добавки для бетонов применяются для снижения затрат на строительство (в том числе экономии цемента), модификации качественных и функциональных характеристик бетонов, сохранения его свойств при подготовке бетонной смеси, ее укладке, вибрировании, твердении.

Помимо основного эффекта воздействия (по которому добавку относят к той или иной группе) для большинства групп добавок вообще и конкретных типов в частности характерны дополнительные эффекты, которые могут быть не менее сильны и не менее значимы, чем основной. Побочные эффекты могут быть как положительными, так и отрицательными. При расходах добавки в рамках установленных интервалов побочные эффекты не привносят, как правило, резко выраженных отрицательных свойств.

В инженерной практике принимается, что прочность бетона определенного возраста, выдержанного при данной температуре, зависит прежде всего от двух факторов: водоцементного отношения и степени уплотнения. Рассматривался только уплотненный бетон, т. к. на практике твердеющий бетон содержит менее 1 % воздушных пустот. Зависимость прочности от общего объема пустот не является характерной только для бетона; она сохраняется также и у других хрупких материалов, в которых вода оставляет после себя пустоты.

Были исследованы и проанализированы современные комплексные химические добавки, сертифицированные в Республике Беларусь.

«Стахемент-2010» – добавка-пластификатор I группы на основе поликарбоксилатов, замедлитель схватывания, ускоритель. Добавка белорусского производства применяется для изготовления самоуплотняющихся бетонов, сборного и монолитного железобетона, предварительно напряженного бетона, литья полов транспортных цехов, транспортбетона, при изготовлении густоармированных железобетонных изделий и изделий сложной конфигурации при возведении несущих конструкций в транспортных сооружениях. Рекомендуемая дозировка добавки «Стахемент-2010» составляет 0,8–1,5 кг в жидком состоянии на 100 кг цемента.

«Хидетал-ГП-9β» – гиперпластификатор, замедлитель схватывания, ингибитор, изготавливается на основе поликарбоксилатов с рекомендуемой дозировкой от 0,6 до 1,2 % к массе цемента по жидкому веществу добавки.

«Реламикс» – сильнопластифицирующая добавка, ускоритель твердения. Она представляет собой смесь полимерных соединений с различными распределениями – средней молекулярной массой и широкой молекулярной массой, получаемые при конденсации сульфатокислот натрия и полиитионидов (дозируется до 1,5 % от массы цемента).

При оптимизации составов пластифицированных бетонов в основу были приняты два типа цементов, цементных заводов: ЦЕМ I 42,5Н-ГОСТ31108–2003 Белорусского цементного завода, г. Костюковичи Могилевской области и Кричевского цементно-шиферного завода, г. Кричев Могилевской области; ЦЕМ I 42,5Н-ГОСТ31108–2003 Красносельского цементного завода, г. Гродно и Ивано-Франковского цементного завода, Тисменицкий район Ивано-Франковской области, Украина.

При проведении лабораторных испытаний по исследованию влияния химических добавок на свойства бетона были приготовлены замесы бетонной смеси на Кричевском и Ивано-Франковском цементах, а именно: на Кричевском цементе – один контрольный замес (бездобавочный) с В/Ц = 0,52, по два замеса с каждой добавкой (первый с В/Ц = 0,52, второй – с пониженным В/Ц = 0,41...0,44); на Ивано-Франковском – один контрольный замес с В/Ц = 0,54, по два замеса с каждой добавкой (первый с В/Ц = 0,54, второй с В/Ц = 0,37...0,42).

В результате анализа данных испытаний получены следующие выводы:

1) при использовании Ивано-Франковского цемента при приготовлении бетонной смеси использование химических добавок позволяет понизить В/Ц до 0,37 без потери пластичности (ОК = 3,5 см – без добавки и ОК = 4,5 см – с добавкой и пониженным В/Ц);

2) при использовании Кричевского цемента использование химических добавок позволяет понизить В/Ц до 0,41 также без потери пластичности (ОК = 3 см и ОК = 6 см);

3) при использовании химических добавок без понижения В/Ц сохранение подвижности бетонной смеси увеличивается в 4–8 раз (с 30 мин до 4 ч);

4) понижение В/Ц благоприятно сказывается как в экономическом плане (понижение потребления воды затворения), так и в дальнейшем процессе твердения и набора прочности, оказывает положительное влияние на свойства бетона;

5) увеличение пластичности способствует увеличению плотности бетонной смеси при виброуплотнении, в результате повышается однородность, прочность, что способствует увеличению долговечности бетонов, используемых в ответственных зданиях и сооружениях на транспорте.

УДК 528. 624. 21/8

## **ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗМЕРОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА**

*Е. К. АТРОШКО, В. Б. МАРЕНДИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

К сооружениям башенного типа относятся такие инженерные сооружения, как дымовые трубы, домны, корпуса атомных реакторов, силосные башни элеваторов и другие подобные объекты. Основной особенностью таких сооружений является то, что ввиду своей конструктивной жесткости они под действием силы тяжести оседают как одно пространственное целое равномерно или, при неравномерных осадках, наклоняются относительно вертикального положения сооружения. Такой вид деформации называется креном, или наклоном сооружения. С целью выявления недопустимых величин деформаций и своевременного принятия мер по их устранению выполняют соответствующие геодезические наблюдения.

Для определения осадки сооружения в его характерных местах закрепляют осадочные марки. Периодически, с помощью нивелира, определяют высоты этих марок относительно исходного репера, расположенного в стороне от сооружения и принимаемого за неподвижный. Осадку ( $\delta$ ) марки сооружения определяют по формуле

$$\delta = H_{\text{посл}} - H_{\text{пред}},$$

где  $H_{\text{посл}}$ ,  $H_{\text{пред}}$  – высота точки сооружения на текущий момент времени (цикл) и в предыдущем цикле.

Средняя осадка сооружения определяется как среднее арифметическое из осадок всех марок на сооружении. Неравномерность осадки можно определить по разности осадок двух точек на сооружении, т. е.  $\Delta\delta_{1,2} = \delta_2 - \delta_1$ .

Разность осадок двух точек, расположенных на противоположных краях сооружения, называют наклоном. Наклон сооружения можно определить с помощью оптического теодолита или электронного тахеометра. При определении наклона сооружения башенного типа оптическим теодолитом наводят трубу теодолита последовательно на левую и правую наружные грани верха сооружения и снимают отсчеты по горизонтальному кругу. По этим отсчетам вычисляют среднее арифметическое и устанавливают его на лимбе теодолита, определяя таким образом положение оси симметрии верха сооружения. Затем вертикально проектируют эту ось на низ сооружения и отмечают ее положение внизу. Аналогично с помощью теодолита определяют средний отсчет на левую и правую грани низа сооружения и отмечают среднее положение второй меткой. Измерив рулеткой расстояние между двумя метками, определяющими положение оси в верхней и нижней частях сооружения, получают линейную величину наклона с первой стоянки теодолита. Затем теодолит переставляют на вторую стоянку, расположенную под углом  $90^\circ$  к направлению с первой стоянки и определяют аналогично уклонение верха сооружения со второй стоянки.

Общую линейную величину наклона сооружения вычисляют по теореме Пифагора. Для определения направления наклона относительно частей света на каждой стоянке теодолита с помощью ориентир-буссоли измеряют магнитные азимуты, по которым строят чертеж наклона оси сооружения в заданном масштабе относительно северного направления магнитного меридиана. Отношение общей линейной величины наклона сооружения к его высоте называют относительным креном сооружения. Для инженерных сооружений башенного типа высотой до 100 метров относительный крен не должен превышать 0,003–0,005. Если полученные величины крена сооружения больше допустимых значений, то необходимо принять соответствующие меры для уменьшения полученной деформации. При этом максимальная допустимая осадка для жестких сооружений башенного типа высотой до 100 метров не должна превышать 30–40 см.

Иногда в процессе геодезических наблюдений за деформациями сооружений башенного типа необходимо определить размеры данного сооружения, к которым относятся высота сооружения, радиусы верхнего и нижнего сечений. Для определения высоты сооружения оптическим теодолитом наводят трубу теодолита на верх и низ сооружения и при каждом наведении измеряют вертикальные углы ( $\nu_1$ ) и ( $\nu_2$ ) на верх и низ сооружения соответственно. Затем измеряют расстояние от теодолита до сооружения ( $d$ ) и по формуле тригонометрического нивелирования вычисляют высоту сооружения:  $H = d \operatorname{tg}\nu_1 + d \operatorname{tg}\nu_2$

Для определения радиусов нижнего сечения по отсчетам горизонтального круга на левый и правый край основания вычисляют горизонтальный угол ( $\beta_1$ ) как разность отсчетов на правый и левый край основания. Затем, зная расстояние ( $d$ ) от теодолита до сооружения, определяют радиус нижнего сечения основания сооружения по формуле  $R_1 = d \operatorname{tg}(\beta_1/2)$ . Радиус верхнего сечения определяют через наклонное расстояние до верха трубы от теодолита по формуле  $D = d/\cos\nu_1$ . Затем определяют горизонтальный угол ( $\beta_2$ ) как разность отсчетов на правый и левый край верха трубы и по формуле  $R_2 = D \operatorname{tg}(\beta_2/2)$  вычисляют радиус верхнего сечения.

Аналогичные измерения для сооружений башенного типа можно выполнить с помощью электронного тахеометра – применяют встроенное программное обеспечение. В электронном тахеометре Leica TS06 этим обеспечением является FlexField, используемое для решения широкого круга задач. Определение размеров и крена сооружений башенного типа, имеющих цилиндрическую форму, можно выполнить, используя подпрограмму ЦИЛИНДР. Вход в подпрограмму выполняется через окно ВВОД ЭЛЕМЕНТОВ РАЗБИВКИ. Выполняем измерения горизонтального угла между точками на левом и правом краях такого объекта, а также расстояния до него. После выполнения измерений получаем величину угла наведения ( $\Delta H_z$ ). Для наведения на центральную точку объекта

надо повернуть тахеометр вокруг его оси до получения  $\Delta H_z$ , равного нулю. Как только  $\Delta H_z$  станет равным нулю, нажатием на ALL завершаем измерения. Результатом будут координаты центра объекта и радиус. Выполнение измерений на нижнее и верхнее основания дает их координаты, а знает, и крен сооружения.

УДК 691.32:624.193

## ПРИМЕНЕНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Н. И. АШУРКО, М. Н. ДОЛГАЧЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Самоуплотняющийся бетон (СУБ) – это инновационный бетон, который приготовлен из рационально подобранной высокопластичной бетонной смеси, не требующей виброуплотнения при укладке и способной уплотняться под действием силы тяжести, заполняя форму и достигая необходимого уплотнения даже в густоармированных конструкциях.

Самоуплотняющаяся бетонная смесь имеет ряд преимуществ: легкая перекачиваемость; равномерное качество бетона по всему поперечному сечению; облегчение работ по бетонированию; сокращение сроков строительства, а при наличии «густого» армирования является единственно возможным вариантом для обеспечения требуемого качества бетона.

История возникновения самоуплотняющегося бетона началась ещё в 80-х годах XX века, когда в Японии при строительстве большепролётных железобетонных подвесных мостов впервые был применён новый вид бетона, позволивший без особого труда забетонировать сложные участки межопорных пролётов без проведения дополнительного виброуплотнения.

Благодаря уникальным свойствам и преимуществам самоуплотняющийся бетон достаточно быстро получил широкое распространение в странах Западной Европы. Сначала он использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон начинает активно применяться в качестве так называемого транспортного бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке. Подобная технология была достаточно массово апробирована в Швеции в середине 90-х годов прошлого века при строительстве транспортных сетей Стокгольма.

В России на протяжении последнего десятилетия рядом строительных организаций предприняты успешные попытки применения самоуплотняющегося бетона в гражданском строительстве, в частности при возведении башен-небоскрёбов Международного делового центра «Москва-сити» в российской столице.

В Республике Беларусь разработка и апробирование самоуплотняющегося высокопрочного бетона в промышленных масштабах было начато в апреле 2014 года на Белорусской АЭС, где была доказана возможность его дальнейшего массового применения. В настоящее время в Беларуси введены в действие ТКП 45-5.03-266–2012 «Бетонные и железобетонные изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления», а также стандарты на методы испытания самоуплотняющихся бетонных смесей СТБ EN 12350-8–2014, СТБ EN 12350-9–2014, СТБ EN 12350-10–2014, СТБ EN 12350-11–2014, СТБ EN 12350-12–2014 (идентичные европейским стандартам).

В транспортном строительстве, которое имеет ряд принципиальных отличий от гражданского, применение самоуплотняющихся бетонов по сей день фактически не велось или носило больше частный и малообъёмный характер. Причиной тому является отсутствие необходимых исследований, направленных на обеспечение повышенных требований к качеству, надёжности и долговечности сооружаемых конструкций.

Одной из причин незначительных ограничений, возникающих при конструктивном исполнении некоторых строительных элементов, стал несколько повышенный (в допустимых пределах), по сравнению с обычным бетоном, коэффициент ползучести. Поэтому особое внимание при исследовании самоуплотняющегося бетона уделяется особенностям усадки, ползучести и другим его физико-механическим свойствам в процессе гидратации цемента, так как эти показатели могут со временем привести к негативным последствиям в процессе эксплуатации сооружений.

Стоимость самоуплотняющегося тяжелого бетона может варьироваться в больших пределах, поскольку для каждой конкретной цели требуются особые технологические характеристики строительных смесей и при их изготовлении могут применяться различные компоненты в неодинаковых соотношениях.

После проведения ряда исследований впервые в России самоуплотняющийся бетон при возведении подземного сооружения тоннельного типа был применён при строительстве вестибюлей и перрона станции метро «Горьковская» Нижегородского метрополитена. Другим примером успешного и своевременного применения самоуплотняющейся бетонной смеси можно считать прокладку открытым и закрытым способами секций 14–17 Алабяно-Балтийского тоннеля в районе станции метро «Сокол», которые сооружались под действующими автомобильными тоннелями, а также Запорожской линией Московского метрополитена.

Применение самоуплотняющегося бетона в транспортном строительстве обладает рядом неоспоримых достоинств, главными из которых являются достаточно надёжное заполнение узких полостей и труднопроходимых пустот, образование хорошей гладкой поверхности после снятия опалубки, сокращение временных и финансовых затрат на виброуплотнение бетона. Эти факторы ведут к повышению всей культуры производства, что, в свою очередь, позволяет ускорить строительство объекта и, как следствие, снизить затраты. Но наряду с этим потребуется провести ещё достаточно большое количество исследований, направленных на устранение ряда недостатков, которые могут возникнуть на протяжении всего этапа производства, начиная от подбора состава бетонной смеси, применения подходящего наполнителя и добавок, заканчивая непосредственно процессом твердения уложенного бетона, чтобы применение самоуплотняющегося бетона в нашей стране стало повсеместным и обыденным во всех областях строительной индустрии.

УКД 624.012.45/46

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Г. Н. БЕЛОУСОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железобетонные конструкции городских очистных сооружений в процессе эксплуатации подвергаются сложным и опасным физическим и химическим воздействиям агрессивных компонентов сточных вод и реагентов, а также механическим воздействиям от технологического оборудования. Это приводит к тому, что после 7–10 лет эксплуатации бетон и железобетон конструкций в подводной зоне и периодического смачивания имеет существенные повреждения поверхностного слоя.

Сегодня при возведении очистных сооружений используются самые разные строительные материалы, но основным, конечно же, является сборный и монолитный бетон и железобетон, долговечность которого зачастую зависит от двух мероприятий: вторичной защиты и гидроизоляции. Правильный выбор технологии защиты и гидроизоляции конструкций зависит от множества факторов: вид воздействия, тип и материал конструкции, условия эксплуатации, эстетические требования и др. При ремонте конструкций очистных сооружений должно обеспечиваться получение ремонтного слоя с сочетанием таких необходимых свойств, как прочность сцепления с поверхностью ремонтируемой конструкции, коррозионная стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость.

Обследование многих канализационных очистных сооружений, а также анализ состояния их бетонных и железобетонных конструкций выявил их моральный и физический износ. Поэтому совершенствование технологии строительства новых и ремонта существующих конструкций очистных сооружений представляет практический интерес и является актуальной темой исследования, направленной на увеличение срока службы очистных сооружений, защиты от воздействия агрессивных сред и увеличения коррозионной стойкости их элементов.

На бетонные и железобетонные конструкции, эксплуатируемые в очистных сооружениях, действуют агрессивные среды. Долговечность конструкции определяется стойкостью как бетона, так и арматуры к воздействию на них агрессивной среды.

Для ремонта очистных сооружений необходимо использовать составы, исключаяющие усадку, сходные по своей природе с материалом основы, стойкие к карбонизации, обладающие высокой водонепроницаемостью, стойкие к проникновению хлоридов, обладающие требуемой укладываемостью. К таким составам относятся материалы химического концерна BASF (ООО «БАСФ – Строительные Системы»), производящего ремонтные смеси серии MasterEmaco, MasterSeal, MasterFlow.

ЗАО «ЭМАКОМ» является официальным дилером в Республике Беларусь предприятия BASF и было создано с целью распространения на территории Республики Беларусь ремонтно-строительных технологий на базе сухих смесей MasterEmaco, MasterSeal и MasterFlow, предназначенных для восстановления, защиты и усиления бетонных и железобетонных сооружений. Мировой опыт применения ремонтных смесей MasterEmaco насчитывает более 30 лет, что подтверждает высокую надежность материала.

При новом строительстве ответственных сооружений всё чаще находят применение технологии, позволяющие повысить долговечность, темпы работ и безопасность. В рамках этих задач химический концерн BASF предлагает следующие технологии: добавки для бетонов; пропитки; герметизирующие ленты для конструкционных швов и холодных стыков; защитные покрытия для защиты стенок и опорных элементов и для защиты дна; ремонтные составы для быстрого устранения дефектов при бетонировании и другие.

Таким образом, в зависимости от вида выполняемой гидроизоляции и защиты можно выбирать соответствующие полимерные материалы и технологии их использования.

Композитобетон является одним из перспективных стройматериалов, по многим параметрам превосходящим прекрасно известный всем железобетон. В конце XX века композиционные материалы начали внедрять и в железобетон, где вместо стальной арматуры стала использоваться неметаллическая композитная (из стекловолокна или базальтоволокна). В настоящее время активную позицию по продолжению его исследования и внедрения занимают такие ведомства и научные институты, как БНТУ, БелНИИС, Полоцкий государственный университет, РУП «Стройтехнорм», БелГИМ, а также Министерство жилищно-коммунального хозяйства и ряд других организаций.

Композитная арматура – это не просто альтернатива металлической, это совершенно новый материал, разработанный с применением нанотехнологий, экологичный и экономичный.

Базальтопластиковая и стеклопластиковая арматура выполняется в виде стержня, имеющего непрерывную спиральную рельефность, любой строительной длины с диаметром от 4 мм до 14 мм. Экономическая эффективность применения композитной арматуры – следствие ее низкой плотности (в 4 раза легче стальной арматуры) и высокой прочности. Это позволяет увеличить выход армированного бетона из одной тонны такой арматуры в 4–5 раз по сравнению с использованием арматуры стальной. Вес 1 км композитной арматуры диаметром 8 мм составляет всего 65 кг, а металлической арматуры – 400 кг. Относительное удлинение при растяжении – 5,6 %.

Использование при строительстве очистных сооружений современной бесшовной технологии бетонирования со специальной опалубкой и композитной арматурой, позволит обеспечить идеальную герметичность в процессе эксплуатации, увеличить скорость строительства, исключить коррозию армирующих элементов, что позволит значительно экономить денежные средства при реконструкции очистных сооружений.

Надежность работы очистных сооружений целесообразно рассматривать по комплексным показателям, что в целом регулирует режимы очистки и повысит надежность их работы.

УДК 666.965:691,54

## **ВЛИЯНИЕ КАРБОНИЗАЦИИ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕТОНА**

*Е. В. БЕЛЯЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Все железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК), эксплуатирующиеся в воздушной среде, подвержены влиянию кислых газов. Поскольку концентрация углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в воздухе в  $10\text{--}10^4$  раз выше концентрации других кислых газов (а в связи с индустриализацией, ростом

населения и потреблением ископаемых видов топлива она будет только увеличиваться), основным процессом нейтрализации бетона, т. е. потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре, является карбонизация.

Поровая жидкость бетона характеризуется стабильным высоким значением pH, что соответствует насыщенному щелочесодержащему раствору гидроксида кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Будучи пористым, бетон хорошо поглощает углекислый газ, кислород и воду, присутствующие в атмосфере, что приводит к нейтрализации этой высокощелочной среды. Тем самым ослабляется ее защитное действие на арматуру, т. к. при воздействии влаги и кислорода находящаяся в бетоне сталь начинает интенсивно корродировать. При этом взаимодействие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с  $\text{CO}_2$  приводит к образованию карбонатов и других продуктов реакции, вследствие чего изменяется структура самого цементного камня.

Процесс коррозионного разрушения бетона конструкции начинается с ее поверхности. В первую очередь теряет свои эксплуатационные свойства бетон защитного слоя. Изменение его структуры происходит без видимых повреждений, коррозия арматуры начинается внутри бетона. Образующиеся продукты коррозии стали занимают в 2–2,5 раза больший объем, чем слой прородировавшего металла, и вызывают развитие растягивающих напряжений в бетоне, превышающих его прочность. В дальнейшем развитие коррозии арматуры приводит к отслаиванию и разрушению защитного слоя, нарушению сцепления арматуры с бетоном и потере несущей способности конструкции (при практически сохранившемся бетоне в более глубоких слоях).

При этом необходимо понимать, что карбонизация бетона, несмотря на вышеописанные негативные последствия, – процесс неизбежный. А также не оставлять без внимания тот факт, что на начальных этапах и при минимально интенсивном последующем развитии, эта реакция может оказывать и положительное воздействие на структурные и эксплуатационные характеристики бетона. К ним можно отнести:

- увеличение плотности структуры бетона в результате увеличения объема за счет вновь образовавшегося карбоната кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3$  дает увеличение объема на 11 %);
- повышение водо- и газонепроницаемости за счет уменьшения общего объема пор на 20–28 %;
- повышение прочности бетона на 20–50 % в зависимости от марки использованного при изготовлении цемента.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что карбонизация как таковая есть именно химическое старение бетона и для неармированного бетона не имеет существенного значения. Этой химической реакции следует уделять внимание в случае применения армирования при помощи стали.

В связи с тем, что в последнее время проблемы разрушения ЖБЭ и ЖБК приобретают достаточно массовый характер, проблема карбонизации выходит на лидирующие позиции. Для регулирования ее возможных последствий в первую очередь необходимо усовершенствовать и строго соблюдать рецептуру и технологию изготовления бетона и железобетона, т. к. высокое водоцементное отношение повышает пористость бетона, который в результате становится более проницаемым и менее прочным, а недостаточная толщина бетона защитного слоя приводит к более скорому воздействию агрессивной среды на стальную арматуру.

УДК 692.65

## **ФОРМИРОВАНИЕ БЕЗБАРЬЕРНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

*В. В. БЛИНШЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Важнейшим условием и средством обеспечения инвалидам равных с другими гражданами возможностей для участия в жизни общества является формирование безбарьерной среды. Создание и обеспечение безбарьерной среды предусматривает:

- беспрепятственный доступ к объектам социальной инфраструктуры;
- беспрепятственное пользование транспортом и транспортными коммуникациями;
- беспрепятственный доступ к средствам связи и информации;
- беспрепятственное получение инвалидами социальных услуг;
- формирование «безбарьерной» психологической среды в обществе.

Доступная среда для инвалидов и других маломобильных групп населения – это, прежде всего, сочетание требований и условий к городскому дизайну, инфраструктуре объектов и транспорта, которые позволят людям с ограниченными возможностями свободно передвигаться в пространстве и получать необходимую информацию для комфортной жизни.

Создание безбарьерной среды является первостепенной задачей любого развитого общества, а также актуальным направлением социальной политики государства.

«Доступная среда» – это комплексная программа для инвалидов и возможности их реабилитации. Недостаточно только сделать пандус для колясочников. Необходимо оснащать объекты всеми видами доступности для всех категорий: для слабовидящих и слепых, для слабослышащих и глухих, для людей с нарушениями опорно-двигательных функций. Существует инновационная система «Доступный город», которая помогает получить жизненно важную информацию для инвалида. В эту систему входит «Система говорящий город». Особенностью данной системы является то, что для людей с ограничениями по зрению это возможность самостоятельно передвигаться в городских условиях и ориентироваться в них. Традиционно незрячие люди двигаются лишь по знакомым маршрутам, разученным раз и навсегда. Им трудно воспользоваться общественным транспортом, заметить нужный автобус, трамвай, определить его номер, зайти в него без посторонней помощи. На остановках общественного транспорта необходимо устанавливать радиоинформаторы остановочные, которые дают голосовую информацию: о наименовании остановки, об останавливающихся на ней транспортных средствах, о направлениях движения и дополнительные сообщения об ожидаемом времени прибытия транспорта. Во многих случаях из-за отсутствия «доступной среды» люди с ограничениями по зрению подвергаются серьёзной опасности на улицах городов. Для облегчения их передвижения, прежде всего, необходимо, чтобы на тротуарах, дорогах, в подземных переходах и в зданиях были специальные рельефные направляющие, которые могли бы указывать направление движения, это существенно облегчит ориентировку незрячего человека в городе и даст ему возможность не потерять направление движения. Такие направляющие должны быть выкрашены в яркие, контрастные цвета. На регулируемых пешеходных переходах устанавливаются триоли, которые широковещательно, через динамик, воспроизводят речевые сообщения о разрешённом направлении перехода и предупреждает об окончании зелёного сигнала. Так же, как и для людей с ограничениями по зрению, для инвалидов по слуху основной проблемой является информативность, то есть необходимые условия, обеспечивающие удобство, безопасность и способность самостоятельно ориентироваться. К визуальным устройствам и средствам информации, используемым для вспомогательного управления движением и поведением инвалидов по слуху относятся:

- указатели и знаки, в том числе световые;
- разметка и цвет элементов оборудования;
- световые маяки.

УДК 347.214.2

## **МЕТОДОЛОГИЯ МАССОВОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ**

*М. Н. БРАЙЦЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассмотрение и подбор наиболее точных подходов и методов в массовой оценке объектов недвижимости становится всё более востребованным в связи с важностью формирования рыночной стоимости. В Республике Беларусь методы массовой (кадастровой) оценки были разработаны в 1988 году. Принцип массовой оценки заключается в том, что кадастровая стоимость должна определяться на основе рыночной стоимости. Рыночная стоимость – наиболее вероятная цена, по которой объект оценки может быть отчужден на открытом рынке в условиях конкуренции, когда стороны сделки действуют разумно, располагая всей необходимой информацией, а на величине стоимости сделки не отражаются какие-либо чрезвычайные обстоятельства. Актуальность проведения массовой оценки по сравнению с индивидуальной заключается в сокращении времени оценки и сокращении затрат на проведение оценки.



На сегодняшний день существует три подхода в осуществлении массовой оценки объектов недвижимости:

- сравнительный – совокупность методов оценки стоимости объектов недвижимости, основанных на сравнении объектов с аналогами с известными ценами сделок;
- затратный – совокупность методов оценки недвижимости, основанных на определении стоимости затрат, необходимых для восстановления (износа) или замещения объекта;
- доходный – совокупность методов оценки стоимости объекта недвижимости, основанных на определении ожидаемых доходов от объектов оценки.

Каждый подход предназначен для оценки определенного вида объектов недвижимости. Так, доходный подход предпочтительнее для оценки коммерческой и инвестиционной собственности, например, офисных зданий. Затратный подход более точен для определения страховой стоимости, а сравнительный подход – для определения стоимости жилой недвижимости или стоимости земельного участка.

В разных странах существуют свои методики расчета массовой оценки объектов недвижимости основанных на приведенных подходах. Например, массовая оценка в Великобритании разделена на пять методов:

- 1) сравнительный, который используется для большинства типов собственности, где есть хорошие сведения предыдущих продаж. Он очень похож на сравнительный подход;
- 2) метод инвестиций, который используется для будущих денежных потоков посредством сдачи объекта в аренду. Данный метод связан с доходным подходом;
- 3) остаточный, который используется для развития и реконструкции или только для земель. В данном случае остаточный метод является эквивалентом затратному подходу;
- 4) метод прибыли, который используется для торговых объектов, где прибыль незначительна, например, отели, рестораны. Средневзвешенный трехлетний операционный доход (полученный от прибыли и убытка) капитализируется с использованием соответствующей доходности. Схож с доходным подходом, отличается тем, что учитывается реальный доход за последние годы;
- 5) метод стоимости, который используется для земельных участков и зданий особого характера, для которых невозможно получить прибыль, или земли и зданий, для которых нет рынка, из-за их характеристик государственной службы или наследия.

Также очень интересная классификация методов разработана в Нидерландах. Для оценки стоимости жилья используются следующие методы:

- сравнение с ценами последних сделок купли-продажи на аналогичную собственность;
- сравнение с собственностью, относящейся к аналогичной группе.

Для оценки других видов недвижимости в Нидерландах используются следующие методы:

- капитализация валовой ренты;
- сравнение с аналогичными объектами собственности;
- оценка дисконтированных значений потока наличности.

Данные методы незначительно отличаются от подходов в оценке недвижимости. На данный момент очень важную роль в массовой оценке играют автоматизированные модели оценки (АВМ). Они построены на статических моделях, например географическая информационная система, множественный регрессионный анализ. Но, несмотря на то, что АВМ дает очень точные результаты при рассмотрении однородных областей, может не быть таким точным при отдаленности и когда объект недвижимости плохо соответствует окружающей среде.

Объектом массовой оценки недвижимости в Республике Беларусь является, как и в Нидерландах, единый объект (земельный участок с объектами капитального строительства). Период проведения массовой оценки в Республике Беларусь составляет один раз в пять лет. Для сравнения в Нидерландах этот период составляет один раз в четыре года. Но во многих странах данный период составляет от восьми до двадцати лет.

Таким образом, нельзя сказать, что можно подобрать единственно точный метод или подход для оценки стоимости объекта недвижимости, так как для каждого типа недвижимости может больше подходить тот или иной подход или метод для оценки объектов недвижимости. Но наиболее используемым считается сравнительный подход, так как он используется для массовой оценки стоимости земли. Также методы массовой оценки объектов недвижимости, используемые в Великобритании и Нидерландах, очень схожи с тремя подходами. В некоторых случаях необходим расчет несколькими методами оценки недвижимости для лучшего сравнения и оценки результатов.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ОКАВА»

А. А. ВАСИЛЬЕВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Карбонизация бетона является основным фактором, определяющим коррозионные повреждения ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях и, как следствие, их техническое состояние и долговечность.

По результатам многолетних исследований развития карбонизации [1–3] на основании полученных систем расчетно-экспериментальных зависимостей изменения параметров карбонизации во времени по сечению бетонов различных классов по прочности, назначенных критериев оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК), разработан комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях, с учетом карбонизации [4]. Он позволяет по назначенным критериям оценки влияния карбонизации на коррозионное состояние бетона и стальной арматуры и критериям оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК) с учетом карбонизации бетона, разработанным регрессионным расчетно-экспериментальным зависимостям изменения во времени по сечению бетона показателей карбонизации оценивать и прогнозировать карбонизацию бетона (карбонатную составляющую, степень карбонизации бетона), состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре по сечению ЖБЭ и ЖБК и техническое состояние ЖБЭ (ЖБК), эксплуатирующихся в различных атмосферных средах.

Для облегчения работы, повышения точности расчетов, улучшения наглядности полученных результатов при реализации предложенных оценочных и прогнозных показателей разработан программный комплекс «ОКАВА». Его структурная схема представлена на рисунке 1.

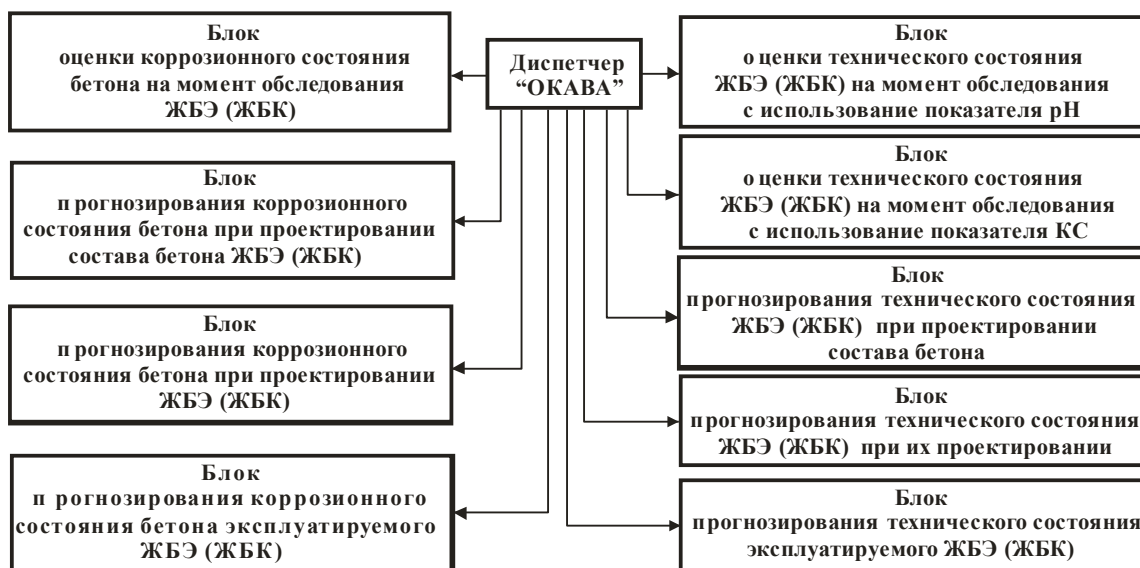


Рисунок 1 – Структурная схема вычислительного комплекса «ОКАВА»

Программный комплекс «ОКАВА» позволяет оперативно оценивать и прогнозировать для предполагаемых условий эксплуатации состояние бетона, его защитных свойств по отношению к стальной арматуре, состояние стальной арматуры и техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) в целом как на стадии проектирования, так и для эксплуатируемых в различных атмосферных условиях ЖБЭ и ЖБК.

Он может использоваться специалистами проектных организаций и организаций, занимающихся обследованием зданий и сооружений, а также студентами высших учебных заведений при изучении дисциплин, связанных с долговечностью бетона и железобетона.

## Список литературы

- 1 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [моногр.] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [моногр.] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 304 с.
- 3 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [моногр.] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.
- 4 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона / А. А. Васильев // Инновационные процессы в науке и образовании: [моногр.] / под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : Наука и просвещение. – 2017. – 204 с.

УДК 624.01/.04

## ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БЕТОНА – ОСНОВА ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

*А. А. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*С. В. ДАШКЕВИЧ*

*«Дойче Бан Инженеринг & Консалтинг GmbH филиал Вильнюс», Литва*

Доля искусственных сооружений (ИССО) по протяженности, в среднем, менее 1,5 % общей длины железнодорожных путей, однако их доля в стоимости железной дороги составляет почти 10 %, поэтому они рассчитываются на длительные сроки службы. Земляное полотно и искусственные сооружения являются единым целым при рассмотрении их как надежного основания для бесперебойного и безопасного движения поездов. Таким образом, повсеместное использование железобетонных элементов и конструкций (до 90 %) при устройстве ИССО в значительной степени определяет долговечность пути и его безопасную эксплуатацию.

Несмотря на значительное количество работ в области исследования долговечности бетона (железобетона), на сегодняшний день сформулированы только общие принципы определения срока службы сооружений (ISO 15686-1) и не существует единой методики оценки и прогнозирования долговечности железобетона.

Поскольку ИССО эксплуатируются в условиях открытой атмосферы, основными агрессивными факторами, определяющими их повреждаемость, и, как следствие, долговечность, являются карбонизация бетона (снижающая защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре и обуславливающая появление и развитие коррозионных процессов в стальной арматуре различной степени интенсивности) и морозная деструкция бетона, приводящие к разрушению защитного слоя бетона и развитию коррозионных процессов в стальной арматуре, основой для разработки методик оценки долговечности должен стать химический анализ бетона.

Сегодня в Республике Беларусь химический анализ бетона выполняется на основе СТБ 1481. В соответствии с ним степень карбонизации определяется содержанием химически связанного цементным камнем диоксида углерода в виде карбоната кальция с точностью до  $\pm 0,2$  %. Непонятен смысл проведения анализа, поскольку отсутствуют критерии оценки полученного результата, нет возможности оценить коррозионное состояние бетона, состояние его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Кроме того, необходимо отметить, что анализ достаточно сложен и занимает довольно продолжительный отрезок времени. Как следствие, результаты такого анализа не могут быть положены в основу оценки долговечности ИССО.

На основе многолетних исследований карбонизации бетона и ее влияния на коррозионное состояние стальной арматуры разработан химический анализ бетона [1], основанный на экспериментальном определении карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона в любом сечении элемента. Он позволяет на базе назначенных критериев оценки параметров карбонизации оценивать состояние бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре, таким образом, значительно повысить качество оценки технического состояния ИССО.

Результаты химического анализа бетона в зоне расположения стальной арматуры были исполь-

зованы при оценке состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре при исследовании защитного слоя бетона водопропускных труб и малых мостов, что позволило при разработке проектов реконструкции участков железной дороги Вильнюс – Кайшядорис и Клайпеда – Пагегяй более объективно выбирать способы ремонта и восстановления ИССО.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что химический анализ бетона, основанный на определении содержания карбонатов, должен быть положен в основу разработки методик оценки долговечности бетона и железобетона и, как следствие, большинства ИССО на транспорте.

#### Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [моногр.] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.

УДК 711.001.2

### ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭТИКО-НООСФЕРНОГО ПОДХОДА К ВЕДЕНИЮ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

*А. И. ВЕРЕМЕЮК*

*Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь*

Интенсивные процессы глобализации конца XX – начала XXI века приводят к новым и углубляют существующие противоречия между различными отраслями глобальной экономики, что составляет суть явления, называемого *глобальным системным кризисом человечества* [1].

Это находит своё отражение в области градостроительной деятельности. **Основные проблемы градостроительства** [2] в этой связи можно разделить на три категории:

1) *поляризация размещения населения* – чрезмерная плотность размещения населения в городской среде и опустение сельских населенных пунктов;

2) *низкое качество городской среды* – обширные монофункциональные зоны и монотонные пространства (транзитные, коммунально-складские и т. д.), лишённые здоровой и активной городской жизни;

3) *инерционность развития теории строительства городов* – из-за сверхбыстрого обновления знаний социологического, экономического и мировоззренческого характера происходит запаздывание развития узкоспециализированной теории градостроительства. Во многом современная градостроительная теория решает проблемы вчерашнего дня или самоустраняется от решения текущих проблем.

В особо острой форме эти комплексы проблем проявляются в стихийном разрастании крупных агломераций Азии, Африки и Латинской Америки: Дхарави (Мумбаи, Индия); Беленн, Сан-Паулу, Рио-де-Жанейро (Бразилия); Могадишо (Сомали) и многих других. Несмотря на огромную разницу в благосостоянии и уровне жизни населения, города всего мира в той или иной степени охвачены этими проблемами.

Разрешение этих проблем ложится бременем на развитие психологии, социологической и экономической. Современное понимание человеческой природы, основ коллективного поведения и закономерностей функционирования биосферы формируют особый **этико-ноосферный подход** [3–5], суть которого выражается в методах, основанных на всесторонней заботе о природе и человеке, их взаимном развитии в процессе хозяйственной деятельности человечества.

Описанный выше подход требует от градостроительной теории в первую очередь расширения и модернизации определения объекта градостроительного проектирования. Параллельно современным процессам в социологии и экономике, в теории строительства городов осуществляется *синтез градостроительства и территориального планирования*, направленный на ослабление поляризации размещения населения. Развитие представлений об этом можно проследить с начала XIX в. в трудах социалистов-утопистов (Сен-Симон, Оуэн, Фурье и др.); далее эта идея нашла своё отражение в концепции «города-сада» Э. Говарда; позже (в середине XX в.) вопросом эйкуменополиса (непрерывного города-территории) занимался К. Доксиадис. Также эти представления

нашли своё отражение в советской градостроительной теории и оформились в виде представлений о **групповых системах населенных мест** (ГСНМ) как о *целенаправленно формируемых группах «городских и сельских поселений»* различной величины и народнохозяйственного профиля. Они были объединены развитыми территориально-производственными связями, общей инженерной инфраструктурой, единой сетью общественных центров социально-культурного обслуживания и мест отдыха населения в **территориально-производственные комплексы** (ТПК) – полицентричные разукрупненные структуры размещения производственных площадок – вплоть до современной теории **интегрального урбанизма**, предлагаемого американскими теоретиками градостроительства. Тенденция к изменению понимания объекта проектирования в градостроительстве находит отражение в Государственной схеме комплексной территориальной организации Республики Беларусь:

«Оценивая позицию республики в реалиях новых мегапространств, можно представить всю ее территорию в качестве крупной урбанизированной зоны – некоего мегаполиса, расположенного на стыке двух цивилизаций.

*При таком взгляде, в области территориальной организации страны уместно использование общих подходов, применяемых для планирования развития крупнейших городов. Сама же схема территориальной организации республики в стратегическом отношении становится генеральным планом страны – города».*

Согласно текущей трактовке уравнения баланса городского населения [6] *проектная численность населения* (Н), принятая за 100 %, складывается из трех групп: занятой в промышленном производстве градообразующей группы (А), обслуживающей (Б) и несамодеятельной (В):

$$H = \frac{100 \cdot A}{100 - (B + V)}$$

Для того чтобы наглядно продемонстрировать место стыка градостроительства и территориального планирования, необходимо в градообразующую группу (А) к группе населения, занятой в промышленном производстве (А<sub>1</sub>), добавить группу населения, занятую на производстве сельскохозяйственной продукции (А<sub>2</sub>). А к обслуживающей группе (Б), помимо людей, занятых в образовании и обслуживании населения (Б<sub>1</sub>), присоединить группу населения, занятую в обслуживании природных объектов (Б<sub>2</sub>). Согласно этому **уравнение трудового баланса городского населения** для городов структуры *ноосферной экономики* будет выглядеть следующим образом:

$$H = \frac{100 \cdot (A_1 + A_2)}{100 - (B_1 + B_2) + V}$$

Таким образом, складывается совсем иная территориальная структура хозяйственной деятельности, при которой территории осваиваются равномерно. Этот подход даёт возможность регулировать плотность размещения городского населения с целью сохранения баланса биосферы и организации жилой и рабочей среды максимально высокого качества.

В современной практике градостроительства (ТКП 45-3.01-116–2008 п. 6.2.4) принято оценивать эффективность городской застройки по показателю плотности: чем выше плотность, тем выше эффективность. На наш взгляд, текущим задачам развития человечества соответствует определение **норматива плотности размещения населения**, который будет являться *ключевым показателем качества* биосферы и городской среды, и в итоге – качества жизни каждого горожанина.

Подводя итог, мы можем сформировать представление о **ноополисе** – *непрерывном полицентрическом городе-территории*, объединяющем промышленные и сельскохозяйственные комплексы, крупные природные объекты и функционирующем согласно биосферно обоснованному регулировании плотности размещения населения и обеспечении максимальной доступности образования высочайшего класса для самых широких слоёв населения.

#### Список литературы

1 **Леона, А. В.** Глобальный системный кризис: особенности и причины / А. В. Леона // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. – 2012. – № 1. – С. 15–18.

2 **Потаев, Г. А.** Современные тенденции развития архитектуры, градостроительства и дизайна : учеб.-метод. комплекс [Электронный ресурс] / Г. А. Потаев. – Минск : БНТУ, 2015.

3 **Величко, М. В.** Экономика и ноосфера. Научно-методологические основы государственного управления социально-экономическим развитием в условиях глобализации. Ноосферный (этико-экологический) подход / М. В. Величко, В. А. Ефимов, Г. М. Иманов. – СПб. : МФИН, 2012. – 168 с.

4 **Величко, М. В.** Экономика инновационного развития. Управленческие основы экономической теории : [моногр.] / М. В. Величко, В. А. Ефимов, В. М. Зазнобин. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Концептуал, 2017. – 584 с.

5 **Никитенко, П. Г.** Ноосферная экономика и социальная политика: стратегия инновационного развития / П. Г. Никитенко. – Минск : Белорусская наука, 2006. – 478 с.

6 **Сосновский, В. А.** Прикладные методы градостроительных исследований : учеб. пособие / В. А. Сосновский, Н. С. Русакова. – М. : Архитектура-С, 2006. – 112 с.

УДК 691.175.5/8:678.046.52/54

## ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТОВ И КОМБИНИРОВАННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

*А. Н. ВОЕВОДИНА, О. Е. ПАНТЮХОВ, В. М. ШАПОВАЛОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Древесно-полимерные композиционные материалы, представляют собой отдельный класс древесных конструкционных материалов, в которых частицы измельченной древесины соединены между собой при помощи полимерной матрицы, что позволяет удачно сочетать технологические свойства полимеров со структурно-механическими характеристиками древесины и одновременно решать ряд экономических и экологических вопросов.

Использование комбинированных наполнителей, которые обладают различными свойствами, при получении древопластиков позволяет создавать принципиально новые композиционные материалы, обладающие высокими физико-механическими характеристиками, которые в ряде случаев могут с успехом использоваться как заменители металлов, ценных пород древесины и дефицитных пластмасс.

Для получения композитов с высокими физико-механическими характеристиками без ухудшения их перерабатываемости применяется наполнение полимеров комбинациями различных наполнителей. Вместе с тем вопросы зависимости физико-механических характеристик композитов от состава и свойств компонентов наполнителя изучены мало, особенно применительно к древопластикам. Поэтому изучение композиций с комбинированными наполнителями, определение их преимуществ и недостатков по сравнению с композициями с мононаполнителем – актуальная задача.

Установлено, что наиболее рациональным соотношением древесных частиц и золы-уноса в композите является соотношение 1:0,25 соответственно (таблица 1). При этом оптимальный размер древесных частиц – 3–5 мм.

Таблица 1 – Зависимость прочности при изгибе от фракции древесных частиц и соотношения древесных частиц и золы-уноса в древопластике

Фракция древесных частиц, мм	Соотношение древесных частиц и золы-уноса			
	1:1	1:0,5	1:0,25	1:0,1
1–2	30,3/29,8	32,1/30,6	33,0/32,5	30,8/30,4
3–5	34,0/32,1	35,6/32,8	37,6/34,9	30,2/29,2
6–10	28,6/29,5	29,1/31,4	30,2/32,6	29,6/28,0
11–15	28,4/27,1	28,7/28,4	28,9/30,1	29,4/26,2

*Примечание* – Содержание гибридного наполнителя в ЭДПК – 10 мас. %. В числителе  $\sigma_{изг}$  для ЭДПК на основе ПВХ, в знаменателе – для ЭДПК на основе ПП+ПЭ (85:15).

Механизм повышения прочностных характеристик композитов обусловлен, с одной стороны, армирующим действием крупнодисперсных частиц в макрообъемах композита и, с другой стороны, более плотной и упорядоченной упаковкой частиц мелкодисперсного наполнителя в композите, о чем свидетельствует изменение плотности исследуемых композитов (таблица 2). При этом такой подход способствует также, по-видимому, структурному модифицированию полимера мелкодис-

персным наполнителем в локальных микрообъемах полимерной прослойки, что обеспечивает увеличение скорости кристаллизации связующего в зоне межчастичного взаимодействия.

Таблица 2 – Плотность композитов с комбинированными наполнителями

Композиты	С измельченной древесиной (ИД) с ПВХ и ПП	ИД+ЗУ(ПП)	ИД+ФГ(ПВХ)	ИД+ГЛ(ПВХ)	ИД+МР(ПВХ)
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100 / 990	1240	1300	1240	1150
<i>Примечание – ИД – измельченная древесина; ГЛ – гидролизный лигнин; ФГ – фосфогипс; ЗУ – зола-унос; МР – мелкодисперсная резина.</i>					

Показана эффективность введения в древопластик частиц гидролизного лигнина, обеспечивающего улучшение его прочностных свойств на 18–23 %. Применение фосфогипса повышает огнестойкость древопластика. Его введение в композит в количестве 15–25 мас. % обеспечивает возрастание показателей огнестойкости на 20–25 %. Такое обстоятельство связано с возможностью дополнительного выделения из фосфогипса при температурах более 400 °С кристаллизационной влаги.

Таким образом, применение комбинированных наполнителей в экструзионных древеснополимерных композитах позволяет получать изделия с заданным комплексом физико-механических и эксплуатационных характеристик.

УДК 69.003

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ 10-ЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

*А. В. ГОЛОВАЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Наиболее распространенными несущими конструкциями многоэтажных жилых зданий является кирпич и железобетон. Каждый из материалов имеет свои преимущества и недостатки. Выбор материала, из которого возводится основной каркас здания, влияет и на стоимость жилья. Поэтому рассмотрим технико-экономические показатели 10-этажных жилых зданий из различных строительных материалов.

В данной работе рассмотрено два здания одной высотности (10-этажные), но выполненные из двух различных материалов: одно – из керамического кирпича с использованием железобетона (жилой дом в г. Гомеле по ул. Пионерская), другое – из сборного железобетона (жилой КПД № 22 в микрорайоне № 59 г. Гомеля), а также определены достоинства одного и другого.

Преимущества здания *из кирпича*: прочность материала, долговечность, эстетичность, экологичность, морозостойкость, пожаробезопасность.

Преимущества здание *из сборного железобетона*: экономичность, морозостойкость, прочность, малые сроки строительства.

Вес здания уменьшается, объем работ сокращается, сроки строительства также становятся меньше.

Преимущества панельного домостроения определяются переносом большей части производственных процессов под крыши заводских цехов, что гарантирует высокую производительность труда, эффективный контроль качества. Это всё сказывается на экономичности жилья.

Сравним средние цены метра квадратного за 2017 по Гомелю жилых 10-этажных зданий из различных строительных материалов:

Крупнопанельное здание (серия 152М-1.10) – 850 бел. руб./1 м<sup>2</sup>.

Кирпичное здание (проект разработан коммунальным унитарным проектно-изыскательским предприятием «Институт Полесьепроект») – 875 бел. руб./1 м<sup>2</sup>.

Также к недостаткам жилья из сборного железобетона можно отнести: невозможность устройства больших открытых (без перегородок) пространств, не всегда выразительные архитектурные решения.

Таблица 1 – Сравнения основных конструктивных материалов

Сравнительные качества	Кирпич	Сборный железобетон
Прочность (на сжатие), кгс/см <sup>2</sup>	До 300	До 1047,7
Теплопроводность (без утеплителей), Вт/(м·°С)	0,2–0,82	1,69
Морозостойкость, цикл	100 и более	До 1000
Нормативная долговечность материала (Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения), лет	143	143

Таблица 2 – Сравнений технико-экономических показателей 10-этажных жилых зданий

Сравнительные качества	Здание из кирпича	Здание из сборного железобетона
Количество секций	1	2
Общая площадь, м <sup>2</sup>	2 700	6500
Объем здания, м <sup>3</sup>	14 500	18 850
Высота этажа, м	2,8	2,7
Нормативная долговечность (Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения), лет	До 150	До 150
Максимальный нормативный срок строительства по ТКП 45-1.03-122–2008, мес.	11, в т. ч. 1,5–2 на отделку	7,5, в т. ч. 1–2,5 на отделку
Архитектурные качества	Наличие большого количества вариантов объемно-планировочных решений	Недостаток типовых застроек и ограниченность объемно-планировочных решений

Таким образом, мы видим, что сроки строительства и низкие цены являются основным достоинством сборного железобетонного домостроения в городе Гомеле.

УДК 692.47

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ВАНТОВЫХ ПОКРЫТИЙ

*А. В. ГОЛОВАЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном строительстве сталь остается одним из основных строительных материалов. Стремление перекрывать большие пространства часто встречается в строительстве. Значительное место в строительстве многопролетных зданий занимают так называемые «висячие сооружения».

В данной работе были рассмотрены некоторые уже построенные здания с вантовым покрытием, такие как: ангар в аэропорту Франкфурт-на-Майне, стадион в городе Браги, зрелищно-спортивное сооружение «Madison Square Garden» в Нью-Йорке, выставочный комплекс «Белэкспо» в Минске, летний амфитеатр в парке, Днепропетровска (Украина), тросовая башня градирни с центральным пилоном (Германия), Хан-Шатыр в Астане, купол Millenium Dome в Лондоне, олимпийский стадион в Мюнхене. Исследованы способы возведения таких конструкций с выбором наилучшего.

В современной мировой практике максимальный пролет составляет 1991 м. На данный момент построено не много зданий с вантовыми покрытиями, но с точки зрения их экономичности и эстетики они представляют большой интерес.

Строительство зданий и сооружений с вантовыми покрытиями достаточно традиционно за исключением технологии работ, связанных с возведением вантовой системы, которая относится к сложным строительным процессам. Любая технология монтажа висячей конструкции требует разработки подробного индивидуального проекта ее возведения и профессиональной подготовки кадров строительных подразделений, привлекаемых к работам по монтажу вантовых систем, требует их специальной подготовки по программам, учитывающим специфику организации и технологии работ при монтаже вантовых покрытий.



Монтаж висячих покрытий состоит из следующих операций:

- 1) монтаж опорного контура;
- 2) устройство «прототипа» вант;
- 3) изготовление рабочих и стабилизирующих вант согласно данным, полученным в результате устройства «прототипа»;
- 4) монтаж вантовой сети из рабочих и стабилизирующих вант;
- 5) преднапряжение вант;
- 6) монтаж плит покрытия вантовой оболочки, преднапряжение вантовой системы и замоничивание армированных швов между плитами;
- 7) раскручивание вантовой оболочки и устройство покрытия.

Вантовое покрытие подвергается значительному растяжению, поэтому в ней могут возникнуть трещины. Чтобы избежать появления трещин, вантовую систему обычно предварительно напрягают следующими способами:

– натяжением домкратами на затвердевший бетон оболочки; в этом случае ванты располагают в каналах, и после натяжения каналы заполняют раствором под давлением;

– натяжением пригрузкой с передачей усилий на опорную конструкцию; груз укладывают на незамоноленные плиты или подвешивают снизу. После достижения бетоном необходимой прочности груз снимают и, таким образом, оболочка сжимается.

Метод натяжения пригрузкой лучше, так как при нем можно регулировать напряжения обжатия, также при нем легче использовать поэтапный ввод объекта в эксплуатацию. В этом случае на первом этапе выявляют и устраняют существующие дефекты, анализируют всю документацию, а также оценивают полноту выполнения технологических операций. После выполнения первого этапа, если все его условия выполнены, начинается второй этап, на котором здание принимается в эксплуатацию. На втором этапе требуется соответствующий уход за возведенной конструкцией.

При поэтапном вводе объекта в эксплуатацию не обязательно использование высоких технологий или дорогостоящего оборудования. Необходимо лишь придерживаться концепции рационального использования имеющихся ресурсов и профессионально решать возникающие проблемы.

УДК 620.1.08

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*А. С. ДАВИДОВИЧ, М. А. ШИМОВОЛОС*

*Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь*

Ценность тепловизионного обследования заключается в том, что оно помогает обнаружить и решить проблемы, устранить дефекты на ранней стадии до того, как они нанесли существенный ущерб зданию или сооружению.

При правильном использовании тепловизионная съемка помогает выявлять проблемы, проверять эффективность эксплуатации здания и принимать правильные, документально обоснованные решения.

В большинстве случаев тепловизионное обследование здания осуществляется в несколько стадий.

1 Тепловизионное сканирование внутри объекта. На этом этапе осуществляется как общее обследование внутренних систем здания, так и подробное изучение каждой из стен отдельно. Этот этап тепловизионного обследования является наиболее значимым, ведь подобное сканирование помогает выявить порядка 85–90 % существующих дефектов здания. Эффективно обнаруживаются и проблемы в элементах здания (системе вентиляции, системе отопления, дверных и оконных блоках и др.), причем как в доступных, так и в скрытых. В процессе внутреннего тепловизионного сканирования также определяются существующие зоны перегрева в системе электросети. Это помогает в дальнейшем избегать пожароопасных ситуаций.

2 Внешнее тепловизионное обследование. На этой стадии тепловизионного мониторинга объекта можно обнаружить существующие зоны протекания кровли, а также другие недочеты и повреждения в конструкциях крыши и внешней поверхности здания.

3 Анализ и обработка результатов тепловизионной съемки. Специалистами на основе полученных материалов обследования составляются так называемые термограммы, благодаря которым

в дальнейшем возможно классифицировать обнаруженные дефекты, определить их характер, местонахождение и степень опасности для объекта.

4 Разработка указаний по устранению недочетов и изъянов. Опираясь на составленные теплограммы, определяют вероятные причины появления дефектов и предлагают комплекс мер для их устранения.

5 Завершающим этапом тепловизионного обследования объекта является составление детального отчета. В данный отчет включаются итоги исследования, подробный перечень найденных изъянов, выводы экспертов и указания по устранению дефектов.

Основные потери тепла в зданиях (до 50 % энергопотребления здания) приходится на сквозняки и утечки тепла. С помощью тепловизионного обследования найти места утечек тепла достаточно просто. Их можно не только найти, но и отразить на тепловизионных снимках. Обследование тепловизором помогает выявить все скрытые дефекты зданий, домов, электрооборудования и квартир. Как правило, проблемы в зданиях возникают из-за неправильного проектирования, строительства или обслуживания.

Также с помощью тепловизионного обследования можно быстро обнаружить места конденсации и протечки крыши. Обследование кровли имеет смысл проводить сразу после дождя как внутри помещения, так и снаружи – в предполагаемом месте протечки. Выборочное обследование мест протечек предоставит достаточно информации для того, чтобы понять техническое состояние кровли и причины протечек.

Помимо этого, с помощью тепловизора выявляют дефекты теплоизоляции наружных стен, некачественную кладку кирпича или блоков, брак стеновых панелей. Очень часто выявляются дефекты в углах, в местах примыкания кирпичной кладки к монолитным несущим стенам. Подобные дефекты приводят к промерзанию и к образованию конденсата на стенах.

Тепловизионное обследование установленных окон и дверей позволяет определить не только, как выполнен монтаж, но и качество самих окон, дверей и их уплотнителей. При проведении съемки в инфракрасном диапазоне фиксируется, как выполнено утепление швов, откосов, подоконников, уплотнение открывающихся створок и их регулировка.

При проверке системы отопления с помощью тепловизора на термограммах хорошо видно, как работают радиаторы отопления, равномерно ли они прогреваются, а также нет ли засоров в радиаторах, батареях или в трубопроводах. Проверить систему работы теплого пола без тепловизора вообще сложно. Эти системы скрыты под бетонной стяжкой. Проверке подлежат и жидкостные и электрические системы.

Тепловизионное обследование применяют для оценки технического состояния и выявления скрытых дефектов дымовых труб без остановки объекта. Тепловизионное обследование помогает выявить следующие проблемы: выкрашивание материала стволочной части трубы, разрушение швов, появление трещин, разрушение футировочного слоя, разрушение влагопарозащитного слоя. Регулярное обследование с помощью тепловизора позволит избежать аварийного выхода из строя дымовой трубы и экстренных восстановительных работ.

Таким образом, можно сказать, что методика проведения тепловизионных обследований достаточно проста и продуктивна. Такого рода обследования проводятся достаточно быстро и требуют лишь наличия тепловизора и штатива. А результаты обследования позволяют сделать выводы о состоянии теплозащиты здания без нарушения целостности его элементов.

УДК 620.11

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

*А. С. ДАВИДОВИЧ, М. А. ШИМОВОЛОС*

*Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь*

Тепловизионное обследование дает возможность получения прецизионной, то есть, максимальной подробной и достоверной, информации о функционировании как объекта в целом, так и конкретных его систем. С помощью тепловизионной съемки можно обнаружить дефекты и недочеты

в строительных работах, причем полученная информация будет исчерпывающей и максимально объективной. Такой контроль – самое современное средство для текущего обследования объектов при помощи высокоточного тепловизионного оборудования.

Тепловизионный контроль качества теплозащиты многоэтажных жилых зданий зарекомендовал себя как один из основных способов контроля состояния ограждающих конструкций ввиду удобства, оперативности и наглядности обследования.

Метод позволяет выявить нарушения теплозащитных ограждающих конструкций, возникшие в результате ряда нарушений на различных этапах строительства:

- нарушения технологии изготовления строительных материалов и условий их перевозки и складирования;
- замена строительных материалов;
- ошибок при проектировании здания;
- ошибок и нарушений при строительстве зданий;
- неправильного режима эксплуатации;
- естественного старения материалов под воздействием погодных условий.

Перечисленные факторы приводят к преждевременному снижению теплозащитных свойств в отдельных участках ограждающих конструкций в результате воздействия погодных (ветер, атмосферные осадки) и естественно-климатических условий (циклы замораживания-размораживания конструкций, влажность). Это, в свою очередь, приводит к ухудшению микроклимата внутри зданий и перерасходу топлива на обогрев вследствие увеличения теплотерь.

Тепловизионному обследованию подвергают наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. На наружных ограждающих конструкциях регистрируют отток теплого воздуха из здания, на внутренних ограждающих конструкциях – проникновение холодного, влажного воздуха в здание.

Тепловизионное обследование позволяет выявить наличие или отсутствие дефектов ограждающих конструкций зданий:

- недостаточное утепление строительных конструкций;
- дефекты кладки стен;
- нарушения в швах и стыках между сборными конструкциями;
- дефекты перекрытий;
- утечки тепла через окна и остекленные участки зданий в результате плохого монтажа или производственных дефектов;
- брак монтажа окон и дверей;
- утечки тепла через системы вентиляции;
- участки зданий с повышенным содержанием влаги.

На основе этой информации получают достоверную и объективную информацию о тепловом состоянии объекта, принимаются эффективные меры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию объекта, заранее планируются ремонтно-восстановительные работы.

Основные достоинства тепловизионной съемки по сравнению с другими способами обследования объектов:

- возможность применения на всех этапах (строительство и сдача объекта, а в дальнейшем – весь срок эксплуатации здания);
- гарантированное выявление недостатков и дефектов конструкций, благодаря которому можно вовремя остановить протекающие негативные процессы и предупредить нежелательные последствия;
- обнаружение скрытых дефектов без вмешательства в структуру здания;
- универсальность – тепловизионные обследования можно проводить в отношении наружных и внутренних систем здания;
- неприхотливость – тепловизионная съемка применяется вне зависимости от времени года и климатических и метеорологических условий (для объективного результата при обследовании летом активизируется отопительная система здания) ;
- удобство – тепловизионное обследование можно проводить без нарушения рабочего режима эксплуатации объекта;
- полная безопасность процедуры (в отличие от обследований ультразвуком или рентгеновскими лучами);

– бесконтактный характер обследования: оно пройдет незамеченным для жителей дома и не нарушит их спокойствие.

Таким образом, в целом о тепловизионном обследовании можно сказать, что при правильном использовании оно помогает найти и устранить большинство скрытых проблем и дефектов зданий, сооружений и оборудования. Тепловизионное обследование поможет решить сложные задачи, которые, если оставить их без внимания, могут привести к разрушению дорогостоящего оборудования, зданий, строительных конструкций, высоким затратам на обслуживание и ремонт.

УДК 625.731

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВИДА СЪЕМОК С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ И БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ**

*И. П. ДРАЛОВА, Н. С. СЫРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожные станции занимают особое место в осуществлении перевозочного процесса. Это говорит о необходимости обеспечения безопасной эксплуатации всех устройств и сооружений инфраструктуры и дальнейшего переустройства для освоения потребных объемов перевозок.

При переустройстве железнодорожных станций важным этапом являются инженерно-геодезические изыскания. С повышением требований к производству работ возникает вопрос о рациональности использования более современных приборов. Как правило, такие приборы имеют существенную стоимость, их закупка должна быть обоснована.

В качестве альтернативы используемому тахеометру предложен роботизированный тахеометр с функцией сканирования.

Роботизированные тахеометры в определенной комплектации имеют следующие возможности.

1 *Функция сканирования:* дает возможность получать насыщенные информацией сканы в любой момент выполнения работ, причем для этого необходимо устанавливать специальную сканирующую систему или использовать специализированное полевое программное обеспечение. Отсканированные данные легко объединяются с измерениями отдельных точек. Благодаря быстрому вращению инструмента сокращается интервал между отдельными измерениями и обеспечивается возможность выполнения лазерного сканирования.

2 *Обработка данных в программном обеспечении:* применяя данные, можно создавать наглядные 3D-модели и 3D-поверхности, дополненные изображениями, получить наглядные электронные абрисы, из которых могут извлечь всю необходимую информацию об объекте съемки.

3 *Функция визуализации* специально разработана для сохранения изображений объектов, получаемых со встроенной видеокамеры. Она позволяет видеть все, что находится в поле зрения инструмента, а также в реальном времени видеть и контролировать координатные данные выполненных измерений, наложенные на видеоизображение объекта.

Съемка железнодорожных станций имеет определенную специфику. Помимо линейных объектов (главные и боковые пути) съемке подлежат инфраструктура станции и ряд точечных объектов (различные светофоры, изостыки, элементы стрелочных переводов и т. д.). Кроме того, необходимо учесть условия производства работ, в частности, движение поездов. Всё это приводит к осложнению технологии выполнения тахеометрической съемки, что делает ее достаточно трудоемким процессом.

В результате возможность применения лазерного сканирования является актуальным вопросом при внедрении геоинформационных технологий в изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию железных дорог.

Применение лазерного сканирования при съемке железнодорожных станций показало безусловное преимущество данного метода над тахеометрической съемкой. Об этом говорит, прежде всего, значительная экономия трудозатрат на выполнение работ. Кроме того, отмечена сложность камеральной обработки результатов тахеометрической съемки ввиду большого количества точек и многообразия станционных элементов. Построение цифровой модели железнодорожной станции по данным лазерного сканирования максимально автоматизировано, а количество полученных точек позволяет получить более полный графический отчет о проделанной работе.

Несмотря на выявленные преимущества, лазерное сканирование имеет и некоторые недостатки. Отдельно хочется отметить сложность применения данного вида работ в условиях, не обеспечивающих видимость, позволяющую реализовать заявленный паспортном сканера обзор в 200 метров. Учитывая требования к проектированию железнодорожных станций, можно предположить, что расположение станции не подразумевает наличия каких-либо естественных препятствий, затрудняющих видимость. Однако существуют некоторые виды работ, которые подразумевают не только съемку существующих станционных объектов, но и получение сведений о прилегающей территории. В качестве примера можно привести работы, связанные с увеличением количества приемоотправочных путей, а также проектирование снегозащитных устройств. Очевидно, что основную часть работ всё же составляет съемка существующей станции, для которой практически обосновано применение технологии лазерного сканирования. При этом наличие недоступных для сканирования объектов говорит о необходимости применения иного средства съемки, например, тахеометра.

В результате оптимальным выбором явилось применение комбинированной съемки роботизированным тахеометром с функцией сканирования, который позволяет выполнить не только лазерное сканирование станции, но и съемку объектов, сканированию не подлежащих. Следует подчеркнуть, что возможность работы в режиме слежения (самонаведение на отражатель) позволяет сократить потребное количество работников, а также время производства работ. Таким образом, данный прибор сочетает в себе два качественных электронных средства геодезических измерений, тем самым позволяя комбинировать методики выполнения съемок.

Для геодезических предприятий недостатком данного прибора, безусловно, является его стоимость. Однако прогнозируется достаточное быстрая окупаемость данного прибора за счет сокращения сроков и трудозатрат на выполнение всех видов работ. Кроме того, значительно повышается качество съемки и представления графических результатов, а методика производства геодезических работ выходит на новый уровень.

УДК 728.5:625

## **АРХИТЕКТУРА ОБЪЕКТОВ ПРИДОРОЖНОГО СЕРВИСА БЕЛАРУСИ: ТРАДИЦИИ И СОВРЕМЕННОСТЬ**

*А. В. ЕВСТРАТЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Автомобильная дорога давно не ограничивается лишь коммуникационной и транзитной ролью, а является вместе с тем важнейшим градостроительным объектом с характерным формообразованием и архитектурно-художественным оформлением. В совокупности с транспортной инфраструктурой современная автодорога – результат длительной эволюции, движимой техническими, политическими, экономическими и социокультурными факторами. Достижение таких важнейших характеристик, как безопасность, информативность, комфортное перемещение и эстетическая привлекательность, возможно при создании качественной сети объектов придорожного сервиса. Способствует этому в том числе переосмысление имеющегося опыта и возрождение некоторых ушедших, однако вновь актуальных идей. На формирование современной сети заведений придорожного обслуживания оказали влияние задачи и принципы возведения предшествующих объектов – корчем и почтовых станций.

Корчмы в качестве придорожных заведений активно возводились для сдачи в аренду в XV–XVIII вв. и принадлежали преимущественно шляхетскому сословию. В архитектуре построек данного типа явно прослеживались черты местного народного жилища: в отношении используемых материалов, организации функционального процесса и, как следствие, объемно-планировочного решения. Корчмы были двух типов: без заезда (функционирующие как шинок) и «с заездом» (выполняющие роль постоянного двора). Конфигурация постройки зависела от наличия и расположения конюшни: прямоугольная, Т- или П-образная. Размещение вдоль дороги с некоторым выступом вперед главного фасада создавало развернутую фронтальную композицию и выделяло здание из рядовой застройки деревни.

В конце XVIII в. политические события привели к тому, что на смену придорожной корчме пришла почтовая станция – элемент почтово-курьерского сообщения в Российской империи.

В настоящее время в Беларуси насчитывается 37 почтовых станций, построенных в середине XIX в. Исследование ряда сохранившихся объектов позволило определить основные приемы возведения зданий данного типа. Почтовые станции являются яркими образцами типового дорожного строительства. Использовались центричная и центрично-осевая композиционные схемы. Прямоугольный в плане каменный станционный дом обрамлялся ограждением, за которым размещался обширный четырехугольный двор с хозяйственными постройками по периметру и колодцем в центре. Номенклатура помещений, подобно корчме, была минимальна. Станционные дома выполнялись в популярных на рассматриваемом этапе стилях: неоготике, неоклассицизме, реже – псевдорусском. В настоящее время является целесообразным использование сохранившихся памятников истории и архитектуры, которыми являются почтовые станции, в качестве объектов придорожного сервиса и в составе туристических маршрутов.

Со сменой вида транспорта и скоростей перемещения произошли серьезные изменения, касающиеся как типа дорог, так и транспортной инфраструктуры. Придорожные заведения дифференцированы по назначению и категории, значительно усложнены функциональные связи. Процесс расширения и совершенствования сети объектов придорожного сервиса в Беларуси продолжается, чему способствуют действующие государственные программы и интеграционные процессы. Придорожные заведения в нашей стране принадлежат главным образом частному капиталу. При этом практически отсутствует государственное регулирование как наполнения объекта помещениями, так и решения интерьера и экстерьера, что влечет за собой многообразие функциональных, технических и эстетических свойств. Архитектура рассматриваемых объектов весьма разнообразна и не подчинена конкретному направлению. Реализуются различные средства художественной выразительности: от схематичной интерпретации классических образов и традиционных решений до универсально минималистичных, порой даже футуристичных построек. Можно отметить возврат к идее создания многофункциональных и комплексных объектов.

Исследование объектов придорожного сервиса вдоль белорусских трасс М-5 (Минск – Гомель), М-8 (граница Российской Федерации (Езерище) – Витебск – Гомель – граница Украины (Новая Гута)) и М-10 (граница Российской Федерации (Селище) – Гомель – Кобрин) позволило выявить большое число планировочных решений. Очевидно, что предприятия обслуживания размещены недостаточно равномерно и в ряде случаев не отвечают современным требованиям и представлениям пользователей о качественном придорожном сервисе. Зачастую речь идет именно об отсутствии как такового архитектурного оформления, некачественном функциональном зонировании и недостаточном наполнении услугами. Необходима регламентация набора услуг, состава помещений для объектов различного назначения и категории, требований к архитектуре фасадов и информированию участников дорожного движения.

Опрос пользователей автомобильных дорог Беларуси показал, что архитектуре принадлежит одна из важнейших ролей в определении степени развития придорожного обслуживания и комфортности перемещения по основным магистралям. В свою очередь качество объектов сети придорожного сервиса во все времена являлось одновременно индикатором научно-технического прогресса и рычагом экономического и культурного развития государства.

УДК 624.19/.8.001.2

## **МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ КАК ПЕРВОСТЕПЕННАЯ МЕРА ИХ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Е. В. ЕВТУХОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В последние годы наблюдается интенсивное развитие транспортных систем городов, незапланированный выход из строя элементов которых может привести к «транспортному коллапсу». Мостовые сооружения как элементы транспортной системы относятся к сооружениям первого уровня ответственности, безопасность которых должна быть обеспечена на протяжении всего срока службы. Безопасность мостовых сооружений складывается из комплекса таких факторов, как долговечность конструкций, качественная техническая эксплуатация, своевременное проведение текущих и капитальных ремонтов.

Создание и применение инструментального мониторинга мостовых сооружений обусловлено тем, что на строительных объектах с массовым пребыванием людей участились случаи возникновения аварийных ситуаций. Повышение эксплуатационной надежности и безопасности объектов строительства является основной целью мониторинга. Задачами мониторинга становится обнаружение на ранней стадии деструктивных процессов, развитие которых может привести к возникновению аварийной ситуации.

Сотрудниками НИЛ «СКОиФ» им. д-ра техн. наук, профессора Кудрявцева И. А. весной 2017 года было выполнено обследование строительных конструкций путепровода по улице Хатаевича в городе Гомеле. В результате обследования выявлены многочисленные значительные и малозначительные дефекты и повреждения:

- оголение и коррозия стальных стержней рабочей и конструктивной арматуры по полкам пролетных строений, продольным и поперечным балкам, опорам, навесным элементам тротуарных блоков (экранам), бордюрным камням различной степени интенсивности (от неравномерной (толщина продуктов коррозии составляет до 0,1 мм) до сплошной (толщина продуктов коррозии составляет до 0,5 мм));
- отслаивание бетона защитного слоя по полкам пролетных строений, продольным и поперечным балками, опорам, навесным элементам тротуарных блоков (экранам), бордюрным камням;
- продольные и поперечные трещины по продольным и поперечным балкам, по полкам пролетных строений, по навесным элементам тротуарных блоков (экранам), бордюрным камням шириной раскрытия от 0,1 до 4,0 мм;
- вертикальные трещины по опорам шириной раскрытия до 1,5 мм;
- размораживание бетона полок пролетных строений, навесных элементов тротуарных блоков (экранов), бордюрных камней на глубину до 15 мм на отдельных участках;
- высолы на поверхности полок пролетных строений, продольных и поперечных ребер, навесных элементов тротуарных блоков (экранов);
- сталактиты на поверхности полок пролетных строений, продольных и поперечных ребер, навесных элементов тротуарных блоков (экранов) на отдельных участках;
- следы увлажнения и биоповреждения по всем строительным конструкциям на многочисленных участках;
- недоуплотнение бетона («раковины») полок пролетных строений, продольных и поперечных балок, опор, навесных элементов тротуарных блоков (экранов), бордюрных камней на величину до 7,0 мм;
- сколы бетона опор, бордюрных камней на глубину до 50 мм;
- разрушение резинового компенсатора деформационных швов на отдельных участках;
- наплыв асфальтобетонного покрытия на деформационные швы на отдельных участках;
- выбоины и просадки покрытия в зоне деформационных швов на отдельных участках;
- неравномерно поверхностная коррозия стальных элементов секционных перильных ограждений на отдельных участках;
- прогибы стальных элементов секционных перильных ограждений (стоек, поперечин, поручней) на величину 5–20 мм на многочисленных участках;
- искривление стальных элементов секционных перильных ограждений (стоек, поперечин, поручней) на величину 30–50 мм на многочисленных участках;
- отслаивание и разрушение окрасочного слоя стальных элементов секционных перильных ограждений на многочисленных участках;
- просадка грунта в устье укрепления подмостового конуса на величину до 400 мм на отдельных участках;
- разрушение бетона на участках заполнения железобетонных решеток откосов земляного полотна на отдельных участках;
- разрушение (трещины, сколы) и отклонение в горизонтальной плоскости железобетонных решеток откосов земляного полотна;
- смещение элементов укрепления подмостового конуса на отдельных участках;
- прорастание растений по укреплению подмостового конуса на многочисленных участках;
- биоповреждения (мох) по укреплению подмостового конуса на многочисленных участках.

Причинами возникновения вышеперечисленных повреждений являются постоянные воздействия внешних факторов, приведших к постепенному износу сооружения. В комплексе с нагрузка-

ми, превышающими, расчетные и нормативные значения, это может вызвать ускоренный износ, необратимые деформации и разрушение элементов конструкции.

Постоянный инструментальный мониторинг технического состояния позволяет установить фактические параметры визуально выявленных повреждений, наличие скрытых повреждений, снижение эксплуатационных качеств и спрогнозировать динамику изменения долговечности конструкций, сроков проведения ремонтов и конечного срока службы сооружения, а также предупредить возникновение аварийных ситуаций.

УДК 728.1

## **ВОПРОСЫ КОЛОРИСТИКИ МАССОВОЙ ЗАСТРОЙКИ**

*А. А. КАРАМЫШЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В массовом жилом и гражданском строительстве по типовым проектам роль цвета сегодня осознается как никогда. Цветовому оформлению типовых жилых массивов и микрорайонов в советское время не придавали значения. И даже сегодня, когда покупка жилья стала явлением частным, а требования к нему возросли многократно, этому вопросу, к сожалению (возможно, что и по привычке), не уделяется должного внимания. Хотя понятно, что разработка цветовых решений без удорожания стоимости квартир способна разнообразить одинаковые дома, детали зданий, не только сообщить им привлекательный вид, повысив тем самым и товарную значимость объекта, но и изменить дом до неузнаваемости, создать уникальные, индивидуальные ансамбли, «разукрасив» облик микрорайонов. Индивидуальный подход при оформлении цветовых решений многоэтажной типовой застройки, на наш взгляд, – важнейшая из задач современной отечественной архитектуры. Сегодня каждому жильцу, который платит свои собственные значительные средства, хочется жить в оригинальном доме, отличающемся хоть чем-нибудь. И помочь в этом может как раз работа с цветом при оформлении фасадов. Таким образом, сегодняшним архитекторам необходимо приложить дополнительные усилия в вопросе разработки индивидуальных цветовых решений при строительстве новых микрорайонов, нужно изучить вопросы цвета не только комплексно, но и индивидуально для каждого дома, с упором на качественные отличия от соседних.

Сегодня, в большинстве случаев, при разработке цветового оформления архитекторы стремятся вводить некий общий тон для всего микрорайона, выполнять его цветовое решение в общем наборе композиционно значимых тонов, где присутствуют один-два ведущих оттенка и два-три дополнительных, поддерживающих. Тем не менее наблюдается проблема «затирания» эмоциональной обрзанности общей застройки и не раскрывается индивидуальность отдельных жилых домов.

Совершенно понятно, что подход к поиску цветовых решений в оформлении зданий и сооружений – это искусство, а не ремесло. Именно здесь талант современного архитектора способен выразиться в полной мере. Подытоживая вышесказанное, можно сделать следующие выводы: современные люди должны жить в произведениях искусства и не менее того! К настоящему моменту как в европейской, так и в отечественной архитектуре накоплена достаточная база знаний по данному вопросу, подготовлены и работают специалисты, способные решить эти задачи хорошо. Проблема в выработке методологии, новых подходов и способов решения проблемы цвета.

Таким образом, при специфических особенностях использования цвета в разных стилях выявляется преемственность принципов, лежащих в основе цветоорганизации социальной среды. Несмотря на самобытность цветового языка модерна, лаконичность цветопередачи конструктивизма, в целом мы можем представить себе поступательное развитие цвета в архитектуре, убедиться в развитии его формообразующего действия и констатировать необходимость дальнейшего развития в этом направлении, поисков новых подходов, выработке методологии и дополнительных исследований в вопросах цвета в архитектуре. Сегодня в отечественной архитектуре мы стоим на пороге новой эпохи. Подъем экономики и развитие науки, с одной стороны, и актуально назревшая необходимость разработки методологии новых, направленных на индивидуализацию жилища подходов в архитектуре современных городов, с другой стороны, закономерно приведут в ближайшем будущем к значительным изменениям облика наших домов и улиц, усложнив и персонализировав строительство.



**НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ  
СИСТЕМЫ «БАЛОЧНАЯ ПЛИТА – СЛОИСТОЕ ОСНОВАНИЕ»  
С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПУАССОНА**

О. В. КОЗУНОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для решения контактной задачи «балочная плита – слоистое основание» используется вариационно-разностный метод (ВРМ) – симбиоз метода Ритца-Тимошенко в нелинейной постановке и метода конечных разностей (МКР) в численной реализации. В силу нелинейности рассматриваемая задача решается методом упругих решений Ильюшина [1, 2]. Неоднородная среда моделируется как слоистое основание с переменными параметрами упругости: модулем деформации и коэффициентом Пуассона послойно. Закон нелинейно-упругого деформирования аппроксимируется функцией гиперболический тангенс [3–6].

**Постановка задачи.** В работе решается контактная задача нелинейной теории упругости (плоская деформация): *линейно-упругая* плита (ширина  $2l$ , изгибная жесткость  $EJ$ ) на *нелинейно-упругом* слоистом основании с торфяной линзой в несущем слое. Плита находится под действием симметричной нагрузки. Параметры упругости переменные.

При постановке формулируемой задачи используются гипотезы и допущения теории упругости [3, 6]. При расчете неоднородное основание заменяется прямоугольной расчетной областью.

**Алгоритм нелинейного расчета.** Для  $k$ -го слоя упругого основания выбирается модель упругого слоя конечной толщины с переменными параметрами упругости. Модуль деформации упругого слоя принимается касательным. Коэффициент Пуассона  $\nu_k$  изменяется функционально [1, 2] в соответствии с формулами (1), (2).

Соотношения теории малых упругопластических деформаций между интенсивностями напряжений и деформаций представляются из обобщенного закона Гука

$$\varepsilon_{i(x)}^{(k)} = \frac{1}{E_i^{(k)}} \sigma_x - \nu_i^{(k)} (\sigma_y - \sigma_z) \quad (1)$$

Тогда коэффициент Пуассона можно вычислить по формуле

$$\nu_i^{(n)} = \left( 0,5 - \frac{1 - 2\nu_{0k}}{3E_{0k}} \cdot \frac{\sigma_i^k}{\varepsilon_i^k} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1 - 2\nu_{0k}}{3E_{0k}} \cdot \frac{\sigma_i^k}{\varepsilon_i^k} \right)^{-1} \quad (2)$$

Появление пластических деформаций учитывается изменением модуля упругости и коэффициента Пуассона, которые являются в каждом приближении функциями пространственных координат.

Хотелось бы отметить, что ранее в работах [3–6] коэффициент Пуассона учитывался постоянным в силу малости изменения своего значения [7].

Сформулированная задача решается минимизацией функционала полной энергии расчетной модели «балочная плита – слоистое основание», который получается суммированием функционала энергии деформаций упругого основания  $U_f$ , функционала энергии изгиба плиты  $\Omega_b$  и потенциала внешней нагрузки  $\Pi$ :

$$\mathcal{E} = U_f + \Omega_b + \Pi \quad (3)$$

Каждое из слагаемых в формуле (3) определяется соотношениями из работ [3–6].

**Численные результаты.** В первом приближении сформулированная задача нелинейного расчета решается в линейной постановке (нулевая итерация). По вычисленным значениям перемещений  $i$ -й узловой точки  $u_i(x)$ ,  $v_i(y)$  определяются интенсивность деформаций и интенсивность напряжений в узлах ячеек.

По имеющимся значениям напряжений и перемещений, полученных в результате решения задачи в первом приближении, определяется касательный модуль деформации и переменный коэффициент Пуассона (1, 2) для каждой ячейки разбивочной сетки и задача решается во втором и после-

дующих приближениях (первая и вторая итерация соответственно). Итерационный процесс заканчивается по достижению соответствия критерия сходимости требуемой точности решения задачи.

При числовой апробации алгоритма нелинейного расчета использовались следующие параметры системы «балочная плита – слоистое основание»: 1-й слой основания (песок средней плотности) –  $\sigma_{y1} = 0,2$  МПа;  $\nu_1 = 0,3$ ;  $E_{01} = 25$  МПа; 2-й слой основания (суглинок) –  $\sigma_{y2} = 0,25$  МПа,  $\nu_2 = 0,33$   $\nu_2 = 0,33$ ;  $E_{02} = 30$  МПа; торфяная линза –  $\sigma_{yv} = 0,05$  МПа;  $\nu_v = 0,35$ ;  $E_{0v} = 6$  МПа; железобетонная плита (бетон марки С20/25) –  $E_6 = 2,35 \cdot 10^{10}$  Па;  $P = 90\,000$  Н;  $l = 1,2$  м;  $h = 0,5$  м.

На рисунке 1 приведены эпюры осадок основания и балочной плиты (3-я итерация) при моделировании закона нелинейно-упругого деформирования основания гиперболическим тангенсом с переменными параметрами упругости: касательный модуль упругости и переменный коэффициент Пуассона.

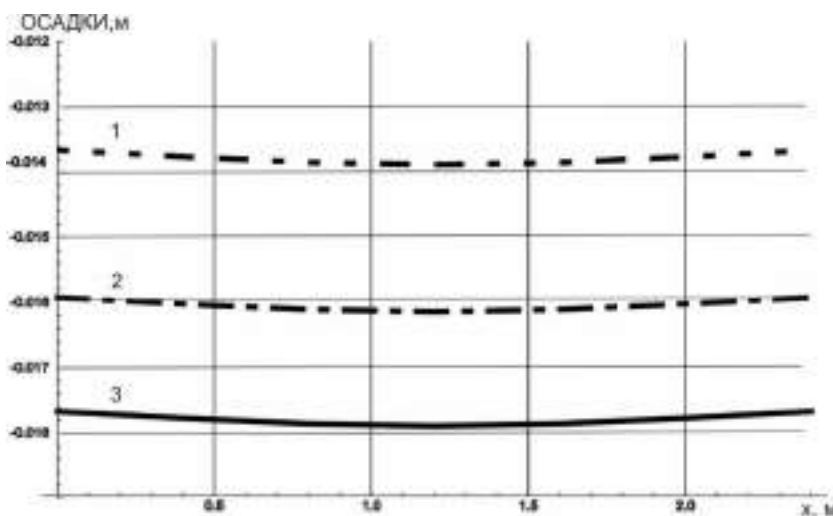


Рисунок 1 – Осадки основания и плиты в контактной зоне (3-я итерация):  
 1 – «линейный расчет» (0,013917 м); 2: E – переменный,  $\nu$  – переменный (0,01611 м);  
 3: E – переменный,  $\nu$  – постоянный (0,01786 м).

Из графиков на рисунке 1 следует, что учет переменного коэффициента Пуассона в нелинейных расчетах уточняет прогибы плиты в сторону уменьшения на 9,08 %. В свою очередь значения внутренних усилий в балочной плите (рисунок 2), рассчитанные с учетом изменения коэффициента Пуассона, почти полностью между собой совпадают ( $\delta \approx 1$  %), и не зависят от переменности коэффициента Пуассона.

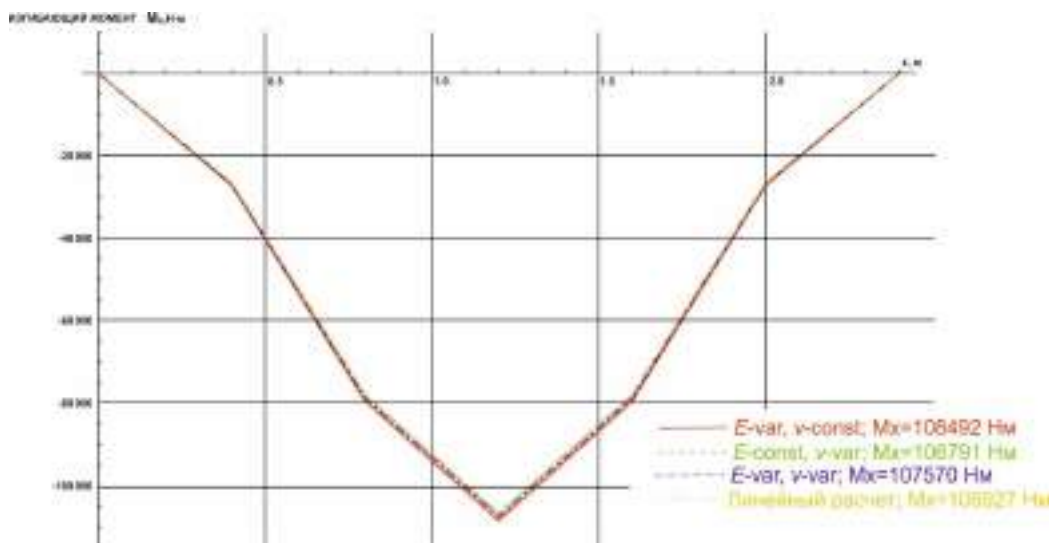


Рисунок 2 – Эпюра изгибающих моментов (третья итерация)

**Выводы.** Таким образом, в нелинейных расчетах можно не учитывать изменение коэффициента Пуассона по глубине расчетной области для упрощения моделирования итерационного процесса, так как при его учете в расчете значения параметров деформированного состояния балочной плиты изменились в диапазоне заданной точности и практически не изменились значения параметров напряженного состояния.

#### Список литературы

- 1 Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 398 с.
- 2 Петров, В. В. Нелинейная инкрементальная строительная механика / В. В. Петров. – М. : Инфра-Инженерия, 2014. – 480 с.
- 3 Босаков, С. В. Вариационно-разностный подход к решению 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.
- 4 Козунова, О. В. Нелинейный расчет балочных плит на слоистых основаниях с биогенными включениями / О. В. Козунова // Геотехника Беларуси: теория и практика. – Минск : БНТУ, 2008. – С. 37–65.
- 5 Козунова, О. В. Нелинейный расчет фундаментных плит на слоистых основаниях, ослабленных биогенными включениями / О. В. Козунова // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2 (19). – С. 100–104.
- 6 Босаков, С. В. Балочная плита на нелинейно-неоднородном основании с местным ослаблением / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – М. : ЦНИИСК им. Кучеренко, 2016. – № 5 – С. 15–19.
- 7 Симвулиди, И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И. А. Симвулиди. – М. : Высш. шк., 1973. – 480 с.

УДК 728

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

*О. Н. КОНОВАЛОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

К жилью повышенной комфортности как виду планировочного решения применяются следующие критерии: высота жилого этажа более 3 м, площадь квартиры более 140 м<sup>2</sup>, инженерное оборудование с индивидуальными поквартирными приборами отопления, индивидуальная автоматизированная система видеонаблюдения, центральное кондиционирование воздуха и др. Планировочный коэффициент в жилых зданиях повышенной комфортности может превышать два. Внутренняя отделка полов и стен предполагает использование современных облицовочных материалов. Комфортные условия также обеспечиваются наличием физкультурно-оздоровительного комплекса, зимнего сада, крытого паркинга и пр.

Основой для решения этой важнейшей социальной задачи явилась разработка в республике открытых универсальных архитектурно-строительных систем зданий. Здания таких систем включают несущий пространственный каркас с плоскими дисками перекрытий и поэтажно опертые на перекрытия или навесные на каркас наружные стены. Внутренние объемы здания разделены перегородками, устанавливаемыми в любом месте. Таким образом, все конструкции здания разделены на несущие и ограждающие, не допуская совмещения их функций. Это позволило даже, например, по сравнению с КППД в два и более раза снизить массу здания и за счет сокращения материалоемкости существенно (до 25–30 %) снизить общую стоимость строительства. Вместе с тем высвобождение наружных стен от восприятия общих нагрузок, прикладываемых к зданию, позволяет для их устройства использовать малопрочные, но зато энергоэффективные материалы и легкие ограждающие конструкции, обеспечивающие высокую тепловую защиту зданий. В целом благодаря конструктивному решению достигнутое сокращение энергозатрат составляет 26–35 % при строительстве и до 45–60 % при эксплуатации зданий.

Наличие в зданиях каркаса с плоскими дисками перекрытий позволяет создавать целостную художественно-выразительную пространственную систему со свободным и неограниченно разнообразным объемно-планировочным построением, легко трансформируемым по желанию потребителя при эксплуатации. Указанные каркасные здания позволяют реализовать любой стиль архитектуры, определяемый системой функциональной и пространственной организации сооружения в пропорциях, пластике, декоре, наиболее полно учесть градостроительную ситуацию, а также специфику национальных архитектурных традиций, природно-климатических и других условий.

Рассматриваемая архитектурно-строительная система предназначена для архитекторов при решении ими функциональных и художественно-композиционных задач, возникающих при конкретном проектировании любого многоэтажного гражданского здания. Впервые в проектной практике Республики Беларусь, России и других стран СНГ она предоставляет архитекторам неограниченные возможности по вариантам объемно-планировочных построений и формообразования зданий. В зданиях этой системы их внутренний объем в наибольшей мере освобожден от несущих конструкций, а внутренние перегородки могут быть размещены на плоских дисках перекрытий в любом месте плана, создавая тем самым структуру помещений сообразно с архитектурой и функциональной целесообразностью. Достаточно большое безопорное пространство способствует не только организации свободной планировки, но и ее трансформации на различных стадиях строительства и эксплуатации. Наружные стены этих зданий могут быть также размещены на этих же плоских перекрытиях каркаса, что позволяет простыми средствами определять пластику фасадов, создавать различной формы и очертаний здания с эркерами, балконами и лоджиями, придавая тем самым каждому зданию индивидуальные черты и неповторимый облик.

Плоские диски перекрытий с гладкими потолками позволяют обеспечить любые планировочные решения. Для этого крайние ряды колонн также предусмотрено размещать в толще наружных стен. Межквартирные и межкомнатные перегородки, ограждения сантехузлов можно выполнять каркасно-обшивными или из тех же кладочных материалов (ячеистобетонные, пенобетонные и др.), что и наружные стены.

Основой конструктивной системы многоэтажных зданий является сборно-монолитный каркас. Каркас состоит из сборных или монолитных колонн прямоугольного сечения и сборных многопустотных плит, объединенных монолитными железобетонными несущими и связевыми ригелями. Ригели во взаимно перпендикулярных направлениях пропущены через колонны и жестко связаны с последними в этих узлах. Балконы, эркеры, любые другие помещения могут быть размещены на консолях перекрытий, выведенных за крайние колонны каркаса. Опирающие многопустотные плиты на несущие ригели предусмотрено посредством монолитных бетонных шпонок, образуемых в открытых по торцам плит полостях при укладке монолитного бетона ригелей. Кроме того, по торцам многопустотных плит предусмотрены выпуски их рабочей арматуры, размещаемые в монолитных несущих ригелях. Проведенные полномасштабные экспериментально-теоретические исследования каркасов позволили разработать методы их расчета и конструирования для стадий строительства и эксплуатации с учетом реальных нагрузок и воздействий, пространственной работы под нагрузкой несущих и ограждающих конструкций зданий, что обеспечивает оптимальный расход материалов. В частности, результаты исследований позволили при относительно малой строительной высоте ригелей (22–26 см) перекрывать ими пролеты длиной до 7,20 м без двойного армирования и без предварительного напряжения в построечных условиях.

Такое жилье в значительной мере дает экономию средств при строительстве и содержании. Наружные стены возводятся из легкого газосиликатного материала, который хорошо держит тепло. Система является открытой, что позволяет в одних и тех же конструкциях возводить здания различной этажности и назначения, строить как дорогие индивидуальные квартиры на заказ, так и дешевое массовое социальное жилье.

УДК 528.425.2

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ**

*Г. М. КУНОВСКАЯ, О. И. ЯКОВЦЕВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Креном называется отклонение сооружения от проектного положения в вертикальной плоскости. Причиной крена могут быть неравномерная осадка сооружения в целом, изгиб и наклон верхней части его из-за одностороннего температурного нагрева, ветрового воздействия и т. д.

Наблюдения за кренами высотных сооружений могут быть систематическими и разовыми. Целью разовых наблюдений является определение только линейной составляющей крена на момент

наблюдения, которая используется для оценки состояния сооружения и составления заключения о возможности его эксплуатации. Разовые наблюдения проводят по свободной схеме с наиболее удобных на момент измерения точек. Установку визирных марок на оси сооружения при этом не производят. Целью систематических наблюдений является определение величины крена и его изменения во времени. При организации систематических наблюдений крена точки установки инструмента, закрепляют на местности долговременно центрами различной конструкции и фиксируют по крайней мере двумя визирными марками ось сооружения для наблюдения за ней с каждой точки установки инструмента.

Для определения величины крена применяют следующие способы: вертикального проектирования, бокового нивелирования, оптической вертикали, координат.

Часто ведется реконструкция сооружений, и необходимо определять вертикальность стен. Рассмотренные способы определений вертикальности сооружений использовать при отсутствии строительной сетки и осей сооружений нецелесообразно. Решить данную задачу можно, используя электронный тахеометр в условной системе координат.

С левой стороны стены на расстоянии, например 10 см (100 мм) от края наносим точку 1 и обозначаем крестиком. Аналогично с правой стороны стены наносим точку 2. Снизу стены выбираем точки на одной высоте, например 50 см. В данном случае крестиками задаем плоскость стены (рисунок 1).

Устанавливаем тахеометр, переходим в «простые измерения без координат», измеряем расстояние  $d_1$  и  $d_2$ , горизонтальный угол  $\beta$  до точки 1 и 2.

Выбираем программу «решение треугольника», по теореме косинусов определяется базис  $b$  между точками 1 и 2.

Далее в тахеометре создается «новый проект», вводятся координаты точки 1 по  $x_1 = 0$  (север) и по  $y_1 = 100$  мм (восток), а точки 2 по  $x_2 = 0$  (север) и по  $y_2 = 100$  мм +  $b$  (восток). Таким образом, задается плоскость стены сооружения.

Затем переходим в режим «обратной задачи», определяем положение тахеометра, наведя на точки 1 и 2. Определяем высоту  $H$  тахеометра от исходного репера или же, задав условную высоту тахеометра.

Далее выполняется съемка ( $x, y, H$ ) по всей стене через интервал 1 м или любой другой: север – наклон стены «от себя», «на себя»; восток – от нуля через 1 м; отметка – координата по высоте.

Вертикальность сооружения определяется данным способом быстро с точностью до 1–2 мм. При последующих определениях вертикальности используются те же точки 1 и 2 с уже известными координатами. Нет необходимости в закреплении долговременных центров для установки тахеометра, фиксации осей сооружения.

Данный способ определения вертикальности сооружений тахеометром получил применение на производстве ОАО «Гомельпромстрой».

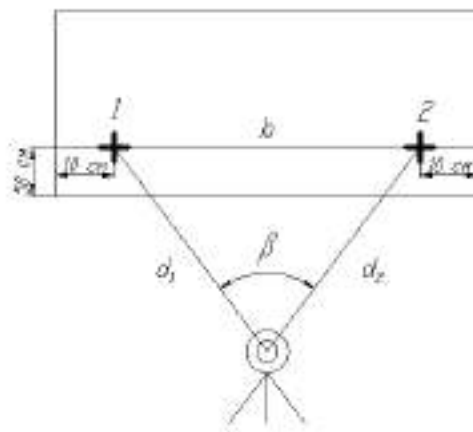


Рисунок 1 – Определение вертикальности с помощью тахеометра

УДК 728.6 (476.2)

## ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНИРОВОЧНЫХ СТРУКТУР СЕЛИТЕЛЬНЫХ ЗОН СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ БЕЛАРУСИ

*И. Г. МАЛКОВ, И. И. МАЛКОВ, А. Ю. ЮРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

За многие годы существенно изменился характер сельскохозяйственного производства, условия труда и быта сельского населения, методы и способы жилищного строительства на селе. Эти изменения оказали весьма серьезное влияние и на архитектурный облик села, сказались на формах и

принципах организации массовой застройки, на важнейших архитектурно-художественных особенностях сельского дома.

Масштабные работы на селе начались с марта 2005 года, когда Указом Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко была утверждена «Государственная программа возрождения и развития села на 2005–2010 годы». В социальной сфере за годы реализации Программы предстояло: сформировать населенные пункты, получившие название «агрогородков» на базе центров сельсоветов и центральных усадеб сельскохозяйственных организаций; улучшить жилищные условия сельского населения за счет строительства не менее 50 тыс. жилых домов (квартир); создать 186 качественно новых сельских учреждений культуры.

Преобразование выбранных для агрогородков населенных пунктов в композиционно-завершенные и компактные благоустроенные поселки, предполагало возведение новых объектов в существующей структуре за счет уплотнения застройки. Существенное ограничение путей архитектурно-композиционного формирования агрогородков в условиях сложившейся застройки предполагает глубокую и ответственную проработку вопросов благоустройства территории центров и основных улиц, архитектурное решение общественных зданий, организацию комплексного цветового решения жилой застройки и населенного пункта в целом, обоснованное введение в планировочную структуру новых, как правило, усадебных домов и другое.

Планировочная структура сельского населенного пункта предопределяет пространственное сочетание основных функций (жилище – производство – обслуживание) с учетом многообразных и устойчивых внешних связей. Важнейшим принципом планировочной организации сельского населенного пункта является функциональное зонирование территории, то есть распределение площади поселения по характеру ее использования с учетом природных условий и санитарно-гигиенических требований. На территории сельского населенного пункта, как правило, выделяются две основные зоны: селитебная и производственная. В тесной взаимосвязи с функциональным зонированием территории населенного места находится формирование рациональной сети улиц, проездов и пешеходных дорожек, позволяющих создать условия для кратчайшей связи основных зон поселка между собой, а также с различными объектами и комплексами, расположенными за его пределами и с сетью внешних дорог.

Всё сказанное в полной мере относится к принципам формирования планировочных структур агрогородков, которые создаются на базе существующих населенных пунктов. Основным элементом планировочной структуры населенного пункта является селитебная зона. Ее размеры и планировочная форма варьируются в зависимости от региональных условий Республики Беларусь и численности населения.






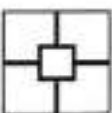

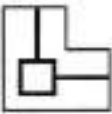
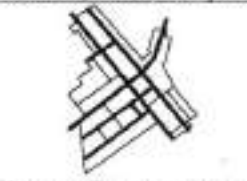

В соответствии с «Государственной схемой комплексной территориальной организации Республики Беларусь» в развитии административных районов наиболее сказывается влияние отдельных факторов. Так, Гомельский, Жлобинский, Мозырский, Речицкий районы Гомельской области относятся к категории урбанизированных районов; Калинковичский, Лельчицкий, Октябрьский, Петриковский, Светлогорский – к категории районов с крупными природными комплексами; Рогачевский – к районам с высоким агроресурсным потенциалом. Сельские населенные пункты и агрогородки, формируемые на их основе, несут отпечаток «функциональной типологии» районов, на территории которых они расположены. Напрямую это отражается на размерах и уличной конфигурации агрогородков.

Анализ планировочных структур агрогородков Гомельщины позволил выявить характерные типы начертания уличной сети (рисунок 1).

Простейшим является одноуличный вариант, когда селитебная зона населенного пункта – агрогородка сформирована вдоль межселенной дороги и является функциональной и композиционно-пространственной осью. Как правило, это свойственно агрогородкам, создаваемым на основе населенных пунктов, которые размещены вдоль рек на возвышенных территориях, с ограниченными возможностями расширения заселяемых участков на пойму. Таковы, например, агрогородки Отор Чечерского района, расположенный на берегу Сож и Переделка Лоевского района на берегу Днепра.

Прямоугольно-рядовой тип уличной сети свойственен агрогородкам, застройка которых, сформированная двумя-тремя продольными улицами, размещена вдоль характерных элементов ландшафта данной местности, либо транспортных магистралей. Улицы, являющиеся продолжением межселенных дорог, которые пересекают населенный пункт, являются основой планировочной

структуры. Композиционным центром считается площадь с основными общественными зданиями, расположенная на одной из улиц, либо в промежутке между двумя основными улицами. В качестве примеров можно назвать агрогородки Черетянка Гомельского района и Заспа Речицкого.

Тип планировочной структуры	Пример планировочной структуры агрогородка	Идеализированная модель структуры
Однотипный	 Отгор, Чечерский район	
Прямоугольно-рядовой	 Заспа, Речицкий район	
Крестовидный	 Октябрь, Буда-Кошелевский район	
Угловой	 Бобовичи, Гомельский район	
Прямоугольно-перекрестный	 Уршчок, Гомельский район	

Условные обозначения:

— основные типобразующие улицы

□ общественные центры (в моделях структур)

 селитебные территории


 поймы рек

Рисунок 1 – Классификация планировочных структур селитебных зон агрогородков

Крестовидный тип формирования уличной сети основывается на сложившихся традициях организации застройки сельских населенных пунктов, а ныне агрогородков, вдоль проходящих транспортных путей. В отличие от прямоугольно-рядового типа уличной сети застройка крестовидного типа сформирована вдоль двух основных улиц-дорог, пересекающих селитебную зону. В условиях сложившейся сельской застройки такое пересечение редко бывает геометрически перпендикулярным. Основой формирования застройки является тяготение ее к проходящим дорогам с достаточным удалением от центра населенного пункта. В качестве примеров можно назвать агрогородки Корма Добрушского района, Симоничи Лельчицкого, Октябрь Буда-Кошелевского. Здания общественного назначения размещаются либо в центре, у перекрестка двух основных улиц (Корма, Симоничи), либо общественная площадь примыкает к одной из улиц. Последнее характерно для агрогородка Октябрь.

Угловой тип формирования уличной сети агрогородков можно считать трансформацией крестовидного. Застройка формируется вдоль транспортных путей при наличии ограничения ее развития в условиях природного и антропогенного ландшафтов. Агрогородками с таким типом уличной сети могут быть названы Дудичи Калинковичского района и Бобовичи Гомельского.

Прямоугольно-перекрестный тип начертания уличной сети, характерный городским формированиям, свойственен сельским населенным пунктам, в настоящее время – агрогородкам, активная застройка которых велась начиная с 60–70-х годов прошлого века. Численность населения этих агрогородков составляет 1,5–3,0 тысячи жителей и более. Жилая застройка агрогородков сформирована 2-, 3-, 5-этажными секционными и усадебными домами. Как правило, в таких агрогородках имеются крупные сельскохозяйственные предприятия и комплексы. Здесь можно назвать агрогородок Коммунар Буда-Кошелевского района, где имеется самая крупная в области бройлерная фабрика, Урицкое Гомельского района с одним из крупнейших комплексов по выращиванию и откорму крупного рогатого скота, Холмеч Речицкого района с большим плодовым-ягодным хозяйством, Тихиничи Рогачевского района с комплексом по производству молока. Четкая планировочная структура, высокий уровень благоустройства, наличие общественных зданий по архитектуре, обилию товаров и комплексу услуг, не уступающих городским объектам, – такова в общих чертах характеристика этих агрогородков.

В предложенной классификации планировочных структур по начертанию уличной сети в качестве примеров взяты агрогородки, дающие наиболее наглядную картину в подтверждение выводов автора. В большинстве случаев в застройке агрогородков без труда можно выявить сочетание 2–3 типов. Это естественно, поскольку формирование уличной сети проходило на протяжении длительного периода и испытывало влияние социально-экономических условий конкретного региона. Вместе с тем выявленные типы планировочных структур дают более четкое представление об особенностях формирования агрогородков и позволяют вести их дальнейшее развитие с учетом сложившихся традиций.

УДК 728.54

## **НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ЭКОТУРИЗМА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ БИОНИКИ**

*И. В. МИХАЛЬЦОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Архитектор должен проектировать с учетом современных направлений и обладать умением предвидеть то, что будет актуально в будущем. Наблюдая за тенденциями, которые прослеживаются в последнее время, архитектура будет тесно взаимосвязана с окружающей нас природной средой. В последние десятилетия отмечается высокий уровень заинтересованности общества экотуризмом. С экологической точки зрения туризм является одним из видов природопользования. Туристические объекты зачастую проектируют с вовлечением природных ресурсов, тем самым образуя рекреационный тип ландшафта. Интенсивные темпы развития мировой индустрии туризма и большая экономическая выгода делает рекреационное использование земель достаточно перспективным.

Туризм в Беларуси, прежде всего, связан с природой, историей и активным отдыхом. Разнообразие и первозданность природных ландшафтов составляют основу туристического потенциала Беларуси. Если туризм так тесно связан с природой, то можно сделать вывод о необходимости внесения кардинальных изменений и в саму архитектуру туристических объектов, используя в проектировании «бионические» принципы.

Архитектурная бионика – это инновационный стиль, берущий все самое лучшее от природы: рельефы, очертания, принципы формообразования и взаимодействия с окружающей природной средой. Известно немало примеров в мировой архитектуре, в которых воплощены идеи бионической архитектуры: небоскреб-кипарис в Шанхае, Сиднейская опера в Австралии, здание «Ласточкино гнездо» в Тайване и др. Хотелось бы выделить основные принципы бионики: поиск оптимальных решений, принцип экономии материалов, принцип максимальной экологичности, принцип экономии энергии.

Современные туристические объекты (здания) представляют собой сложную систему, состоящую из взаимосвязанных элементов: архитектурно-строительные конструкции и инженерные коммуникации, которые должны обеспечивать благоприятные и безопасные условия для жизнедеятельности



людей. Таким образом, при одновременной разработке всех аспектов проектирования необходим системный подход.

Особым видом бионики является архитектурно-строительная бионика, большое внимание уделяющая новым строительным технологиям и материалам. На основе бионических принципов разработаны конструкции ограждающих (стены), сжатых (колонны), растянутых (оболочки), изгибаемых (плиты) и других элементов. Так, в области разработок эффективных и безотходных строительных технологий перспективным направлением является создание слоистых конструкций, обеспечивающих большую прочность и надежность. Идея «заимствована» у глубоководных моллюсков. Их прочные ракушки состоят из чередующихся жестких и мягких пластинок. Когда жесткая пластинка трескается, то деформация поглощается мягким слоем и трещина не идет дальше. Тем самым появилась возможность создать более прочные и надежные конструкции, так называемые «комплексные природоподобные». Оболочки из «пассивных» материалов воспринимают постоянные нагрузки, а конструкции из «активных» материалов – временные и динамические. В этом и кроется причина их большей жесткости.

В заключении хотелось бы отметить, что изучение бионики является важным аспектом для строительства зданий. С использованием бионических, особо прочных материалов и конструкций появляется возможность решения проблемы надежности здания в целом. Тесная взаимосвязь объектов туризма с природным окружением позволяет сделать вывод о необходимости внедрения принципов бионики.

#### Список литературы

- 1 Архитектурная бионика / Ю. С. Лебедев [и др.] / под ред. Ю. С. Лебедева. – М. : Стройиздат, 1990. – 269 с.
- 2 Белорусский туризм: Тенденции и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://director.by/admin/Article/714.html>. – Дата доступа : 29.09.2017.

УДК 694.1/.5

## ДЕРЕВЯННЫЕ ВЫСОТКИ В БЕЛАРУСИ – ИННОВАЦИОННЫЙ ВЗГЛЯД НА СОВРЕМЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

*Д. А. НАЗАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире деревянные дома, коттеджи строятся только за городом, все они представляют собой малоэтажное строительство. Почему же не развито строительство высотных деревянных домов? В последние десятилетия активно обсуждается идея строительства многоэтажных зданий из древесины. Данная идея воплощена в реальность в ряде стран: Финляндия, Германия, Австрия, где доля деревянных домов составляет от 20 до 40 %. Но почему же в Беларуси, настолько богатой природными ресурсами стране, данное направление не получило развития?

Ниже представлены несколько причин, препятствующих развитию деревянного высотного домостроения в Беларуси.

Законодательством Республики Беларусь разрешено деревянное домостроение, которое не превышает следующих параметров: не выше 5 м, не больше 500 м<sup>2</sup>. Такого рода ограничения со стороны государства существуют и за границей. В Европе запрещено возводить здания высотой более 5 этажей, в Америке – более 6. Однако были возведены уникальные высотки из деревянных конструкций: Forté Building (10 этажей, Мельбурн, Австралия), Stadhaus (9 этажей, Лондон, Великобритания), E3 (7 этажей, Берлин, ФРГ).

Решением проблемы законодательного барьера стало создание благоприятных условий для проектирования деревянных зданий повышенной этажности на правительственном уровне. Министерства Республики Беларусь осуществляют поддержку в реализации проектов строительства деревянных многоэтажек: проводятся испытания деревянных конструкций и элементов, необходимые согласования и оформление документации. Главная составляющая – наличие готового проекта, а не идеи. Например, проекты по строительству пятиэтажек, разработанные ДСК «Славянский» с помощью АДД и Санкт-Петербургским архитектурно-строительным университетом, были реализованы.

Необходимым стало объединение архитекторов и застройщиков, которые, проработав и предоставив базу материалов, смогут привлечь должное внимание законодательных органов власти к деревянному высотному домостроению в нашей стране.

При возведении деревянного многоэтажного дома используют следующие продукты из древесины: CLT-панели, изготовленные путем перекрестного склеивания листов или щитов досок под высоким давлением с помощью пресса, LSL-плиты, основой которых являются длинные плоские стружки, и LVL-брусья, производимые из листов лущеного шпона. Большим преимуществом таких плит и брусьев является использование низкосортной древесины, при этом по прочности они не уступают бетону и стали.

В Беларуси законодательством запрещено возведение высотных деревянных домов, поэтому у застройщика нет потребности в использовании продуктов из древесины в целях высотного домостроения. Соответственно, производство распространённых в Европе и Америке CLT-панелей, LSL-плит и LVL-брусьев неактуально в Беларуси.

В ходе небольшого исследования, проведенного нами среди населения разных возрастов, на вопрос: «Если бы вам предложили переехать из своей квартиры в совершенно новую и обустроенную квартиру, находящуюся в высотном доме из дерева, то вы?» 34 % опрошенных ответили «да» и 66 % дали отрицательный ответ.

В процессе сбора информации и социального опроса были выявлены причины неготовности населения, связанные с отсутствием информации о существовании деревянных высоток, технологии возведения и используемых строительных материалах. Жители городских мегаполисов имеют некоторые предубеждения в отношении деревянного домостроения.

Однако в ходе множества испытаний сопротивления воздействию огня древесины и других строительных материалов выявлено следующее: время сопротивления древесины воздействию открытого огня превышает 45 минут благодаря образованию слоя угля на поверхности деревянной конструкции, который препятствует доступу кислорода. Бетон же начинает крошиться через 15 минут, а незащищённая металлическая балка плавится после 4 минут действия огня.

Считается, что деревянные многоэтажные дома конструкции не выдержат нагрузок. Поэтому могут быть использованы CLT-панели – клееные деревянные стеновые панели, которые схожи с железобетоном, своими свойствами, но данный материал в 6 раз легче железобетонных плит. Также было доказано, что деревянные многоэтажные дома можно возводить в сейсмоопасных районах, где землетрясения могут достигать 12 баллов.

Считается, что древесина подвержена гниению и поражению насекомыми. Это утверждение правомерно в отношении незащищенной и необработанной древесины, однако после возведения объекта конструкции обрабатываются антисептическими пропитками, лакокрасочными покрытиями или краской. Также можно наносить на поверхность панелей материалы на основе гипса, что является как защитой от поражений насекомых, гниения и пожара, так и основой для декорирования стены дома.

В развитых странах Европы население поддерживает идею деревянного высотного домостроения. Красивые и экологически чистые дома с высоким уровнем комфорта – мечта любого европейца. Менталитет россиянина сильно отличается: бетонная крепость – залог надежности и прочности.

Должны быть внесены изменения в регламенты и иную нормативную документацию, позволяющие строить деревянные высотки. Для этого есть несколько причин.

1 Древесина – экологически чистый и единственный в своем роде возобновляемый строительный материал. Порядка 39 % всех техногенных выбросов в атмосферу приходится на строительную отрасль. При возведении деревянной высотки сокращаются выбросы углекислого газа и увеличиваются объемы его поглощения.

2 Для производства деревянных конструкций, применяемых при возведении многоэтажных домов из дерева, используют отходы лесопильного производства и низкосортный лес.

3 Уменьшение сроков строительства и затрат. Австралийские ученые предоставили расчеты, где отражены сроки строительства деревянного и железобетонного объектов-аналогов. Деревянный объект возводится на 6 недель быстрее, чем железобетонный, соответственно сокращаются и затраты на реализацию объекта. Экономия может достигать 20 %.

4 Энергосберегающий фактор. Сооружения из CLT-панелей и LSL-плит потребляют 65 кВт на 1 м<sup>2</sup> в год, а панельные – 170–190 кВт. Древесина – податливый материал. Легко поддается обработке. Архитекторы с проектами высоток из дерева, документально подтверждающими безопас-

ность и надежность объектов, смогут преодолеть административный барьер. На первом этапе изменения требований достаточно увеличить высоту и площадь строительства объекта. Когда законодательно будет разрешено строительство высотных деревянных домов, необходимо донести до населения информацию через СМИ, заинтересовать. Это прерогатива архитекторов. Вместе с тем у застройщиков появится потребность в CLT-панелях, LSL-плитах и LVL-брусках, а это поднимет экономику Беларуси на новый уровень.

#### Список литературы

1 Новая эпоха деревянного строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://crosslam.ru/>. – Дата доступа : 09.07.2017.

2 Есть ли будущее у небоскребов из дерева? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://archspeech.com/>. – Дата доступа : 16.07.2017.

3 Ященко, А. А. Имитационно-информационная модель при оценке эффективности строительных инновационных процессов / А. А. Ященко, Т. И. Слепкова // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 10. – С. 65–67.

4 Алаева, А. В. Виды инжиниринговой деятельности в строительстве / А. В. Алаева, Г. Б. Филиппов, Т. И. Слепкова // 21 век: фундаментальная наука и технологии // Материалы VI Междунар. науч.-практ. конференции. – North Charleston, SC, USA, 20–21 апреля 2015 г.

УДК 72.000.93:628.853

## ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО МИКРОКЛИМАТА В ЗДАНИЯХ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

*А. Б. НЕВЗОРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В Гомеле после Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. уцелели единицы зданий, построенных в XIX веке. Одно из таких – 1-й корпус БелГУТа – бывшая первая мужская гимназия, построенная в 1898 году по проекту архитектора С. Д. Шабуневского. В настоящее время здание является памятником архитектурно-культурного наследия, продолжает функционировать и является гордостью Белорусского государственного университета транспорта.

Благодаря проведенной в 1948 году капитальной реконструкции само здание органично вписывается в городской ландшафт. Внутренняя его атмосфера тесно связана с интенсивной образовательной, научной и культурной жизнью. Эмоциональное воздействие на людей становится всё более сильным, когда они попадают внутрь здания, наполненного историческими интерьерами с удивительной планировкой.

Однако со временем происходит физический износ не только конструктивных элементов, но и систем жизнеобеспечения здания. Поэтому при планировании реконструкционно-строительных работ необходимо предусматривать планировочные особенности, размеры и связь помещений, которые составляют неизменную внутреннюю структуру. Задача осложняется тем, что пробивка новых проемов при реконструкции, устройство заново дополнительных перекрытий и т. п., как правило, недопустимы и могут иметь место лишь в порядке исключения, причем не в главных, а преимущественно во второстепенных, частях здания. Также на сохранность здания влияет формирование допустимых параметров внутреннего микроклимата в помещениях, которые должны обеспечивать системы отопления и вентиляции для предотвращения появления биозаражения конструкций.

Внесение каких-либо изменений во внутренний интерьер здания и в существующие инженерные системы требуют специальных знаний во многих областях, и без комплексного подхода к проблеме и тщательного анализа всех обстоятельств успех в реконструкции невозможен. Инженер, проектировщик, поставщик оборудования, владелец здания могут найти грамотное решение, если они воспринимают здание в его историческом контексте.

Поэтому до начала реконструкции инженерных систем должно предшествовать решение следующих основополагающих вопросов:

1) оценить воздействие систем микроклимата (отопления и вентиляции, кондиционирования) на восприятие объекта посетителями. В нашем случае это студенты, преподаватели, слушатели подготовительных курсов, абитуриенты, гости и т. д.;

2) сравнить теплотехнические требования с точки зрения создания благоприятной среды для учебного процесса, научной и общественной деятельности студентов, преподавателей и других посетителей и для самого здания;

3) учесть условие, что предполагаемая модернизация или реконструкция систем должна проводиться без нарушения целостного восприятия интерьера и несущей способности основных строительных конструкций и ущерба зданию.

Понятие комфортности в части температурно-влажностного микроклимата многогранно и формируется множеством факторов. Главное – возможность осуществлять все виды жизнедеятельности, в том числе и учебную.

Первые результаты исследований выявили проблемные места, основные из которых:

– отсутствие в некоторых учебных и административных помещениях естественной вытяжной вентиляции. Уменьшение объема наружного воздуха за счет сокращения инфильтрации через пластиковые окна приводит к накоплению излишней влаги и увеличению влажности помещения выше нормальной 60 %;

– повышенные теплопотери через окна и уменьшение внутренней температуры до 18–17 °С и ниже. Это связано с тем, что в 2009–2010 гг. старые окна на деревянных двойных переплетах были заменены на профиль из ПВХ стандартной ширины (50–70 мм). При этом не учитывалось, что ограждающие наружные стены имеют толщину от 700 до 1100 мм и при монтаже оконные проемы частично оказались в зоне отрицательных температур, из-за чего идет промерзание по глубине и, как следствие, увеличиваются теплопотери помещения, которые не восполняют существующей двухтрубной системой отопления с верхней разводкой и чугунными радиаторами, так как они были рассчитаны на другие условия;

– хаотичная замена отдельных элементов системы отопления и установка насосного оборудования без предварительного расчета изменения гидравлического режима протекания теплоносителя по всем стоякам;

– физически и морально устаревший тепловой пункт, который не обеспечивает постоянное качество отопления при минимальных затратах тепловой энергии и расходах теплоносителя.

Однако для получения объективной картины работы системы отопления и вентиляции, создания комфортности учебно-административного корпуса исторической постройки недостаточно проведенных предварительных исследований. Необходимо дополнительно провести тепловизионные съемки в зимний период времени, особенно в период наиболее холодной пятидневки (–24 °С для Гомельской области), определить характер теплопотерь через все ограждающие конструкции здания для того, чтобы принять грамотные решения по реконструкции инженерных систем.

Трудности, которые возникают при обеспечении допустимых параметров температурно-влажностного режима воздушной среды в зимний период в первом корпусе БелГУТа, обусловлены следующими причинами:

– сложностью (неоднозначностью) проведения расчетов теплотехнических характеристик ограждающих конструкций из-за отсутствия точных сведений о свойствах старых материалов и структуре самих стен (регулярная кладка, тип кирпича, структура штукатурных слоев, защитных покрытий и др.);

– неодинаковой толщиной наружных стен по высоте здания;

– невозможностью улучшения теплотехнических свойств ограждений обычными строительными приемами материалами (теплоизоляцией).

Этот список «неизвестных» при рассмотрении задач нормализации температурно-влажностного режима при более детальном обследовании здания значительно увеличится.

Поэтому в настоящее время можно предложить два малозатратных подхода к решению этой проблемы.

1 Проведение инструментальной диагностики и использование методов неразрушающего контроля работоспособности систем отопления и вентиляции, экспериментального подбора мощностей и способа реконструкции систем отопления и вентиляции путем размещения временных нагревательных приборов (типа конвектора) с контролем и регистрацией параметров воздуха и влажности в помещении, а также проведение реконструкции теплового пункта на современный.

2 На основе результатов наблюдения за поведением инженерных систем в отопительный сезон составление дефектного акта по каждому узлу, разработка детального технического задания на реконструкцию с обязательным обсуждением среди экспертов-теплотехников, экспертов по оценке объектов недвижимости, реставраторов и собственника здания с целью поиска научно обоснованного решения проектного решения по реконструкции инженерных систем.

Таким образом, модернизация систем отопления и вентиляции в здании постройки 1898 и 1948 гг. с использованием малозатратных, но современных инновационных технологий позволит оптимизировать работу систем и поддерживать постоянный температурно-влажностный режим помещений, отвечающий комфортным условиям проведения учебного процесса в БелГУТе.

УДК 693.542

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

*О. Е. ПАНТЮХОВ, Е. А. КОВАЛЁВА, Т. В. ЯШИНА,  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Наиболее производимым и используемым строительным материалом для ограждающих конструкций в Республике Беларусь является ячеистый бетон, который выгодно отличается многообразием номенклатуры изделий, доступностью сырьевой базы, сравнительно простой технологией производства. В качестве вяжущего вещества для ячеистых бетонов в основном используется портландцемент и известково-кремнеземистые материалы.

Однако для ячеистых бетонов на основе цемента характерны низкие прочностные характеристики, усадочные явления при структурообразовании, низкая огнестойкость, повышенный расход высококачественного цемента. Высокая стоимость портландцемента, технические сложности автоклавной обработки обуславливают необходимость использования альтернативных бесцементных вяжущих.

Использование бесцементного вяжущего позволяет получать пенобетон с улучшенными теплофизическими и технико-эксплуатационными характеристиками без применения цемента (при условии создания благоприятных условий для поризации, обеспечения повышенной прочности межпоровых перегородок).

На основе бесцементного вяжущего возможно получение конструкционно-теплоизоляционного материала, применимого для возведения эффективных стеновых конструкций. К материалам такого типа предъявляется ряд требований, нормируемых СТБ 1117-98 и СТБ 1570–2005. К нормируемым показателям физико-технических свойств ячеистых конструкционно-теплоизоляционных бетонов относится марка бетона по средней плотности, класс по прочности на сжатие, марка по морозостойкости, коэффициент теплопроводности, коэффициент паропроницаемости, сорбционная влажность бетона. Данные характеристики были определены для пенобетонов на основе бесцементного вяжущего, и полученные данные отвечают требованиям СТБ 1570-2005.

В ходе выполнения исследований изучены состав и свойства бесцементного вяжущего и выявлены закономерности улучшения характеристик материала. Использование бесцементного вяжущего при производстве пенобетона способствует интенсификации процесса минерализации пены и позволяет получить материал более низкой плотности (400) при соответствующих прочностных характеристиках (4 МПа). Разработан состав комплексного пенообразователя. С целью устранения недостатков пенообразователей, применяемых для получения пенобетона на бесцементном вяжущем, разработан комплексный пенообразователь, полученный при смешении протеинового пенообразователя Addiment и синтетического Esaron, что позволяет сократить расход ПАВ и получить пену высокой кратности и необходимой стойкости.

Для достижения эксплуатационной прочности пенобетона на основе бесцементного вяжущего используется принцип упрочнения, основанный на эффекте «холодного спекания».

Одной из важных характеристик стеновых материалов является их огнестойкость, поскольку она определяет безопасность эксплуатации зданий и сооружений на транспорте.

Испытания на огнестойкость пенобетона на основе бесцементного вяжущего были проведены в соответствии с нормативным температурным режимом. При длительном нагреве до температуры 1200 °С наблюдаются изменения кварцевой составляющей системы – переход к устойчивой высокотемпературной форме – кристобаллиту. Данная полиморфная модификация кварца является наиболее огнеупорной, поэтому устойчивость разрабатываемого материала при высокой температуре заранее обусловлена. Чем продолжительней выдержка при высокой температуре, тем более высокую прочность приобретает изделие, протекает интенсивное формирование кристаллической структуры. Это свидетельствует о повышении надежности, безопасности стеновых ограждений из этого материала.

Пониженная теплопроводность пенобетона на основе бесцементного вяжущего (0,08 Вт/м °С) в сравнении с пенобетоном на основе цементного вяжущего (0,14 Вт/м °С) при сохранении равных конструктивных свойств (прочность 2–3 МПа) способствует повышению его пожарной устойчивости, т. к. продвижение теплового фронта осуществляться медленнее.

Кроме того, экспериментально установлено, что плотность межпоровых перегородок в пенобетоне на основе бесцементного вяжущего существенно выше, чем в обычном ячеистом материале. Повышение плотности межпоровых перегородок предопределило понижение равновесной влажности материала, что, в свою очередь, улучшает противопожарные свойства за счёт снижения интенсивности воздействия водяных паров на стенки пор.

Применение разработанного состава пенобетона актуально для создания энергоэффективных ограждающих конструкций, которые должны не только обеспечить высокую степень теплозащиты, но также и способствовать созданию благоприятного микроклимата внутри помещения.

В современном строительстве отдается предпочтение быстровозводимым облегченным конструкциям, не дающим большой нагрузки на фундамент, что также сокращает затраты на его устройство. В случае аварийной ситуации пенобетон приносит значительно меньший вред здоровью людей, чем традиционные конструкции из бетона за счет пластического разрушения.

Результаты исследований показывают перспективность применения бесцементного вяжущего при производстве теплоизоляционного и конструктивно-теплоизоляционного пенобетона в качестве стенового ограждения для широкого спектра зданий на транспорте: железнодорожных, речных, автобусных вокзалов, группы подсобно-технических помещений (склады, пакгаузы, депо, котельные, бойлерные, трансформаторные, вентиляционные камеры и др.).

УДК 693.542

## **ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО БЕСЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*О. Е. ПАНТЮХОВ, К. В. ТРУХАНОВИЧ, Т. В. ЯШИНА  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Широкое распространение на сегодняшний день получил пенобетон, но область его применения ограничена в связи с рядом недостатков: низкие прочностные характеристики, длительное время набора прочности, увеличение стоимости в связи с ростом цен на цемент. Соответственно актуальным становится сокращение расхода и полная замена цемента новым типом вяжущего, благодаря чему возможно получение материала с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Изучена возможность получения бесцементного ячеистого бетона из природного сырья, проведены исследования полученной ячеистой смеси, предложен энергосберегающий способ производств бесцементного ячеистого бетона.

Ячеистый бетон является эффективным теплоизоляционным материалом, применение которого позволяет снизить массу и толщину стеновых конструкций, тем самым увеличивая полезную площадь помещения и уменьшая нагрузку на фундамент в возводимых зданиях. Пенобетон на основе бесцементного вяжущего обладает улучшенными прочностными характеристиками и позволяет создавать эффективные облегченные стеновые конструкции минимальной толщины, отвечающие требованиям к теплозащите стен зданий ТКП 45-2.04-43–2006, стоимость которых ниже, чем у существующих материалов. Это связано с дисперсностью и реологическими свойствами вяжущего. За счет подвижности бесцементного вяжущего исключается возможность разрушения пены при ее минерализации, соответственно, сокращается вероятность расхождения характеристик получаемого материала от требуемых, уменьшается количество бракованных изделий.

Разработанная технология его производства отличается от стандартной присутствием узла по производству вяжущего (который включает шаровую мельницу, бункеры, дозаторы для добавок и мельницу меньших типоразмеров для стабилизации); участка упрочнения (который включает ванну для выдержки материала в растворе жидкого стекла или камеру для орошения).

Получение вяжущего в рамках предприятия по выпуску пенобетонных блоков в значительной мере обеспечивает экономическую эффективность производства за счет сокращения затрат на транспортировку и неоправданного увеличения цен на вяжущее. Для протекания процесса гидрата-

ции цемента необходимо создание определенных, постоянных условий, что не всегда возможно реализовать. Реконструкцию предприятий по производству пенобетона производят путем введения дополнительного узла для получения бесцементного вяжущего и упрочнения получаемого материала, что позволит значительно повысить эффективность производства. Благодаря совмещению в одной технологической линии производства вяжущего и пенобетона на его основе, значительно сокращается время, затраченное на проведение технологических операций. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования бесцементного вяжущего для производства теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного пенобетона с использованием теплоты отходящих дымовых газов от печей.

Операция по упрочнению позволяет достичь эксплуатационной прочности материала, превышающей прочностные характеристики автоклавных материалов при минимальных затратах. Процесс производства является экологически чистым на всех технологических этапах.

Упрочнение позволяет достичь эксплуатационной прочности материала 3–7,9 МПа при минимальных затратах. Получение эффективного пенобетона на основе цементного вяжущего, как правило, требует введения различных добавок, дополнительного измельчения сырьевых компонентов для уменьшения плотности материала, что усложняет технологический процесс и приводит к увеличению себестоимости материала.

В целях рационализации технологического процесса в рамках работы был предложен способ упрочнения путем орошения, что позволяет уменьшить продолжительность технологического цикла. При упрочнении сырца материала по методу орошения получаем образец с плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 3 МПа, а при упрочнении посредством выдержки сырца с такими же характеристиками в щелочном растворе получаем материал с плотностью 400 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 4 МПа.

При орошении создается каркасное упрочнение. Для крупногабаритных изделий данный способ упрочнения может быть недостаточно эффективным в связи с недостаточной толщиной по сравнению с габаритами изделия упрочненного каркаса. Но данный способ является весьма эффективным при упрочнении пустотелых блоков. Получение пустотелых пенобетонных блоков на основе цементного вяжущего в настоящее время не осуществляется в связи с низкими прочностными характеристиками пенобетона. При получении ячеистого материала пенометодом на основе бесцементного вяжущего производство пустотелых изделий является перспективным в связи со значительным увеличением прочностных характеристик в результате упрочнения. Исследованиями установлено, что при соответствующих плотностях прочностные характеристики пенобетона на основе бесцементного вяжущего после операции по упрочнению в 2–4 раза превосходят прочность материала на основе цементного вяжущего. По разработанной технологии получаем материал, прочностные характеристики которого превосходят существующие аналоги. Это позволяет сэкономить электроэнергию при производстве, уменьшить число рабочих, исключить сложную строительную технику. Расширяется область применения данного материала как конструкционно-теплоизоляционного для стенового ограждения зданий железнодорожных вокзальных комплексов и т. п.

УДК 691.5

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСТВОРА С ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКОЙ СТАХЕМЕНТ FЖ-35**

*Л. И. ПАХОМОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Строительный раствор представляет собой искусственный каменный материал затвердевшей смеси вяжущего, мелкого заполнителя и воды. Для улучшения свойств раствора рекомендуется применять химические добавки.

Исследовалось влияние химической добавки (стахемент FЖ-35) на основные физико-механические свойства строительного раствора. Это комплексная добавка – суперпластификатор для бетонов и растворов, модифицированный ускорительной системой для получения высокой начальной и конечной прочности. Добавка белорусского производства, выпускаемая в сухом и жидком виде по ТУ ВУ 800013176.004-2011. Позволяет повысить удобоукладываемость, сократить

расход цемента на 15–20 % при снижении в/ц, повысить прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, повысить скорость набора прочности в 1,5–2 раза. Добавляется в воду затворения, либо, для повышения действия, во влажную растворную смесь в конце процессе перемешивания с частью воды затворения. Стахемент ФЖ-35 согласно токсично-гигиенической классификации по воздействию на человека относится к малоопасным продуктам, но при работе необходимо соблюдать санитарно-гигиенические требования. Применяется при изготовлении всех видов бетонных и железобетонных изделий и конструкций, в том числе предварительно напряженных, строительных растворах, вяжущими для приготовления которых являются цементы на основе портландцементного клинкера.

В исследовании рассматривался цементный раствор марки М50 (состав 1:4,9), его плотность и прочность. Были изготовлены три замеса с различным составом цементного раствора. Первый состав – без добавки, второй состав – с добавкой концентрацией 35 %, третий состав с добавкой – концентрацией 8 %.

Соответственно плотность составила для раствора без добавки – 1912,4 кг/м<sup>3</sup>, с добавкой концентрацией 8 % – 1968,2 кг/м<sup>3</sup>, с добавкой концентрацией 35 % – 1623,2 кг/м<sup>3</sup>.

Из испытаний следует, что плотность цементного раствора с добавкой концентрацией 8 % наибольшая, а с добавкой концентрацией 35 % – наименьшая.

Также были проведены испытания на определение прочности на сжатие и назначение марки цементного раствора. Результаты испытания приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические характеристики цементного раствора

Концентрация раствора, %	$R_{(n)}$ , МПа	$R_{(28)}$ , МПа	Марка
0	4,52 ( $n = 14$ сут)	6,02	50
8	7,6 ( $n = 12$ сут)	10,98	100
35	1,35 ( $n = 12$ сут)	1,95	10

Из таблицы 1 видно, что цементный раствор при введении в него добавки с концентрацией 8 % прочность увеличилась в 1,5 раза, а также в 2 раза повысилась марка по сравнению с первоначальной, чего нельзя сказать о цементном растворе с добавкой концентрацией 35 %.

По итогам исследования можно сделать вывод о том, что при введении в цементный раствор добавки (стахемент ФЖ-35) с концентрацией 8 % увеличивается прочность в 1,5 раза, но при этом увеличивается плотность раствора.

УДК 69.056.52/.53

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

*В. М. ПРАСОЛ, О. С. КРАВЦОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Энергетическая реконструкция зданий станет одной из центральных задач строительства в ближайшие несколько десятилетий. По всему миру на здания приходится очень высокий уровень энергопотребления (около 40 % от мирового показателя), а также уровень выбросов парниковых газов в атмосферу, значительно превышающий выбросы от всех транспортных средств вместе взятых. Снижение экологических последствий современной энергетики может быть достигнуто снижением потребления энергии во всех сферах деятельности человека. К настоящему времени идея экономии энергии при эксплуатации зданий очень популярна во всем мире.

В развитых странах основной проблемой является обширный фонд старых зданий, а также сложность и высокая стоимость повышения их энергоэффективности.

Доля панельного жилья, построенного 50–25 лет назад, для г. Гомеля составляет около 50 %. Даже если отказаться от воспроизводства панельной застройки со всеми её недостатками, существую-



щий фонд подобных зданий ещё десятилетиями будет составлять основу городов. Снос и утилизация крупнопанельных домов не менее затратны, чем их монтаж, не говоря уже об их расселении.

Реконструкция и модернизация, связанная с повышением энергоэффективности существующего жилищного фонда является одним из важнейших направлений в решении жилищной проблемы и проблемы энергосбережения в Республике Беларусь и представляет собой комплекс строительных мер и организационно-технологических мероприятий, направленных на обновление жилых домов и инженерной инфраструктуры с целью сохранения и увеличения жилищного фонда и улучшения условий проживания, приведения их эксплуатационных качеств в соответствие с современными требованиями.

Энергоэффективность здания не может рассматриваться только с позиции утепления, она должна учитывать затраты на дополнительную вентиляцию при установке новых окон, на охлаждение в летний период, а также расходы на утилизацию материалов. При замене окон на энергосберегающие не обеспечивается достаточный воздухообмен, что вызывает появление плесени, повреждение конструкции, а также наносит вред здоровью.

Требуются особые мероприятия для обеспечения здорового микроклимата в жилище и сохранения эффективности утепления при герметизации наружного контура зданий.

Мероприятия по реконструкции и санации (без отселения) жилых домов массовых серий, обеспечивающие снижение физического и морального износа следующие:

- утепление и облицовка наружных стен;
- замена оконных и балконных блоков;
- остекление балконов и лоджий с учетом архитектурного решения фасада;
- утепление перекрытий подвалов, технических этажей, чердаков;
- ремонт технических помещений, лифтов, подъездов и их звукоизоляция;
- замена или ремонт кровли, в некоторых случаях – надстройка;
- замена инженерного оборудования с применением современных систем автоматизации и – учета, снижающих водо- и энергопотребление;
- модернизация первых этажей – перевод их в нежилые помещения, предназначенные для обслуживания жителей.

Работы по санации фасадов с заменой окон и ограждений балконов позволяют не только улучшить теплотехнические характеристики, но и решают ещё две основные проблемы крупнопанельного домостроения: межпанельные швы и архитектурный образ.

Сохранение жилищного фонда, повышение энергоэффективности зданий, модернизация застройки являются единственным путем предотвращения лавинообразного выхода из эксплуатации значительной части жилых зданий и системы инфраструктуры. Задержка в решении этого вопроса существенно повышает затратный механизм восстановительных работ и создает социальную напряженность, связанную с ремонтами и переселением.

Анализ реконструкции показывает, что происходит не только восстановление существующего здания, повышение его качественного состояния, но и получение дополнительной площади жилья за счет надстройки дополнительных этажей, пристроек и вставок в существующую застройку. В процессе реконструкции утепляются до нормативного уровня наружные стены реконструируемого здания, проводится капитальный ремонт или замена светопрозрачных ограждений и внутренних инженерных систем с установкой контрольно-регулирующих приборов на отоплении, в водопроводных и газовых сетях.

Таким образом, необходимость решения проблемы реконструкции и модернизации домов первых массовых серий определяется:

- повсеместной распространенностью, относительной однородностью и социальной значимостью жилых домов первых массовых серий;
- прошедшими нормативными сроками проведения капитального ремонта этих домов, которые за годы эксплуатации претерпели значительный физический износ, а также существенный моральный износ;
- запасом несущей способности типовых домов, а также первой категорией капитальности со сроком использования 100 лет;
- экономической целесообразностью сохранения и наращивания размеров фонда за счет надстройки и пристройки объемов при реконструкции.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЛОКОМОТИВНЫХ ДЕПО

*В. М. ПРАСОЛ, Ю. С. ТЕЛЕНЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На железнодорожном транспорте строится вновь, реконструируется и эксплуатируется большое количество зданий депо и заводов по ремонту подвижного состава. Такие объекты, как правило, представляют собой широкопролетные и многопролетные здания с боковым, верхним и комбинированным (верхним и боковым) естественным освещением.

Главной проблемой таких зданий, с точки зрения естественного освещения, является то, что с вводом подвижного состава внутрь помещений из-за поглощения вагонами естественного света происходит существенное снижение уровня освещенности цеха. Освещения в зонах междупутья становится недостаточно. В таких случаях применяется совмещенное освещение, то есть в светлое время суток одновременно используется естественный и искусственный свет, что ведет к увеличению затрат на электрическую энергию. В связи с этим одним из наиболее экономичных направлений является повышение эффективности использования естественного освещения в зданиях локомотивных депо, чтобы обеспечить нормированные значения коэффициента естественной освещенности (КЕО), организовать производственный процесс рационально и создать для работающих все требуемые условия труда.

В настоящее время при проектировании естественного освещения зданий локомотивных депо затеняющее действие подвижного состава (особенности технологического процесса) не учитывается, так как в соответствии с п 5.9 ТКП 45-2.04-153–2009 «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования» расчет коэффициента естественной освещенности необходимо вести без учета мебели, оборудования и других затеняющих предметов. Вследствие этого на стадии проектирования не учитываются потери света на затененных участках помещений, что отрицательно сказывается на их последующей эксплуатации и приводит к большим энергозатратам на искусственное освещение для обеспечения требуемого уровня освещения. Ввиду этого очень важно модернизировать и уточнить расчет естественного освещения помещений с учетом находящихся в нем затеняющих предметов.

Для модернизации светотехнического расчета в него необходимо ввести коэффициент, учитывающий снижение уровня освещенности от бокового  $K_0^c$  или верхнего и комбинированного света  $K_\phi^c$  при вводе подвижного состава внутрь ремонтных цехов локомотивных депо, который зависит от характера расположения подвижного состава на ремонтных путях и условной расчетной зоны (зона или участок с недостаточным естественным освещением) (рисунок 1).

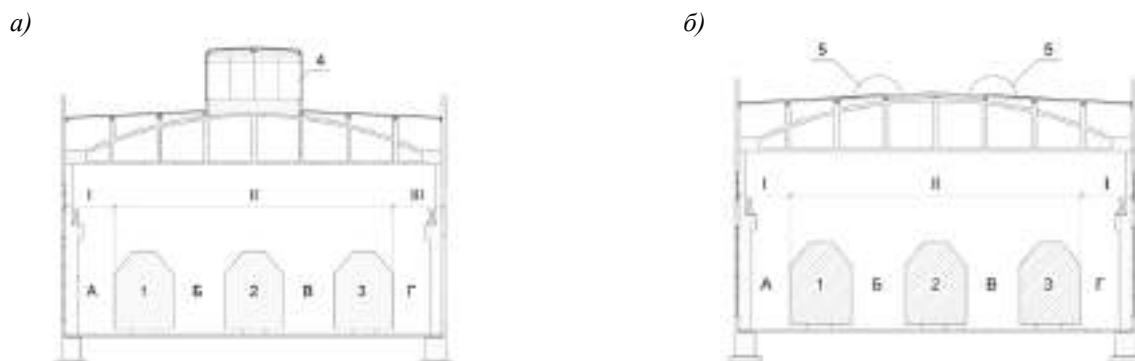


Рисунок 1 – Схема условного деления помещения ремонтного цеха стойловой части локомотивного депо на расчетные зоны с боковым (I), верхним (II) и постоянным (III) искусственным освещением при одностороннем (а) и двустороннем (б) боковом освещении:

1, 2, 3 – локомотивы на ремонтных путях; 4 – светоаэрационный фонарь с вертикальным остеклением; 5 – зенитные фонари; А–Г – технологические зоны цеха

Введение коэффициентов  $K_o^c$  и  $K_\phi^c$  в светотехнический расчет позволяет более точно выявить наиболее рациональные размеры, тип, месторасположение световых проемов с учетом технологии производства работ, что в свою очередь увеличит продолжительность использования естественного освещения и приведет к экономии электроэнергии.

Предложенная методика проектирования естественного освещения здания локомотивного депо с учетом ввода подвижного состава позволит обеспечить комфортную светоклиматическую среду в нем, устранить недостаток освещения в зонах междупутья и одновременно снизить затраты на потребление электроэнергии. Данная методика может быть использована при проектировании различных производственных зданий с крупным технологическим оборудованием.

УДК 691.2/:691.32

## **ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ВЕЛИЧИНУ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ БЕТОНА**

*В. Н. ПРОХОРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В связи с распространением большого количества разнообразных бетонов, структура которых отличается от обычных и для получения которых используются различные суперпластификаторы (СП) и минеральные модификаторы (ММ), изучение влияния СП и ММ на свойства бетонов, в частности на модуль упругости, является достаточно актуальным.

В настоящее время используются различные виды ММ, в т. ч. белая сажа (БС), которая образуется при сжигании рисовой соломы, метакаолин (МК), а также СП на основе различных соединений (эферы поликарбоксилатов, меламиноформальдегиды, нафталиноформальдегиды).

Поскольку СП и ММ оказывают влияние на процессы гидратации, а следовательно и на пористость цементного камня, то естественно, что при введении в состав СП и ММ возможно изменение модуля упругости цементного камня и бетона.

Также интересным является вопрос влияния комбинации СП и ММ при их одновременном введении, поскольку при этом меняется пористость цементного камня, а также соотношение продуктов гидратации, модули упругости которых могут сильно отличаться друг от друга. Следовательно, в случае изменения соотношения между продуктами гидратации, которые образуют структуру бетона, может измениться и модуль упругости.

Целью работы является определение характера и степени влияния СП и ММ на модуль упругости бетона.

Для определения характера и степени влияния добавок на модуль упругости использовались портландцементы (ПЦ) различных заводов. В качестве добавок СП использовались «Glenium», «Melflux 2641», «Melflux 2651», «Melflux 5581» в количестве 0,1–0,5 % от массы портландцемента. В качестве добавок ММ использовались белая сажа и метакаолин в количестве 15 % от массы портландцемента.

Полученные результаты показывают, что модуль упругости бетона в случае использования цемента одного и того же завода является малоизменяемой величиной. При введении СП относительная величина модуля упругости бетона изменяется от 0,885 до 1,070, т. е., примерно в пределах  $\pm 10$  %. В то же время результаты показывают, что при введении ММ, в т. ч. при совместном применении с СП, относительная величина модуля упругости бетона изменяется от 0,65 до 1,50, т. е. примерно в пределах  $\pm 20$  %. Данные показывают, что более значительное влияние оказывает введение ММ, в т. ч. при совместном применении с СП.

Также полученные результаты показали, что добавление ММ, в т. ч. с СП оказывает индивидуальное влияние на модуль упругости цементного камня, т. е. для различных цементов может иметь разный, в т. ч. противоположный характер, в связи с чем при выборе материалов необходимо производить проверку на совместимость цементов с добавками не только по показателям подвижности бетонной смеси или прочности бетона, но и по влиянию на модуль упругости. В СНБ 5.03.01-02 Республики Беларусь влияние подвижности бетонной смеси на модуль упругости учтено только за счет изменения соотношения компонентов, а возможное влияние добавок не учитывается.

Исходя из полученных данных, логично предположить, что можно подобрать такую комбинацию цемента с СП и ММ, что изменение модуля упругости будут минимальны.

Таким образом, при введении в состав бетона СП совместно с ММ возможно изменение начального модуля упругости бетона в пределах, требующих учета при расчете конструкций по второй группе предельных состояний. Действие СП + ММ зависит как от свойств цемента, так и от вида СП и ММ, т. е. является индивидуальным и требует оценки при подборе состава бетона.

УДК 694.6.001.2

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ**

*Г. А. СЕМЕНЯКО, З. Н. ЗАХАРЕНКО, Т. В. ЯШИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время одним из основных направлений развития в строительстве является разработка новых материалов и технологий, которые по надежности, энергоэффективности и стоимости смогут составить конкуренцию традиционным материалам. Наиболее важное значение имеют материалы и конструкции, используемые в стеновых ограждениях, основной характеристикой которых является теплопроводность. В целом чем меньше коэффициент теплопроводности используемой конструкции и материала, тем меньшая толщина ограждения необходима для получения одного и того же теплотехнического эффекта. Низкая теплопроводность обуславливает также использование более экономичного решения таких основных элементов здания, как, например, фундамент за счет снижения действующих на него нагрузок и, как следствие, уменьшения его массивности.

Широкое применение в последнее время нашли такие стеновые материалы, как сэндвичблоки. Они состоят из несущего слоя, выполненного из керамзитобетона, среднего слоя утеплителя (пенополистирола и др.) и внешнего слоя из цветного бетона, декорированного под природный камень. По размерам и форме блоков, применяемых для различных видов строительных работ, различают: обычный блок (рядовой), блок с отверстием под вентиляцию, угловой блок (внутренний, наружный), блок с четвертью для организации дверных и оконных проемов, поясные и доборные блоки. Размер обычного блока составляет 400×200×300 мм. Все слои скреплены между собой специальными стеклопластиковыми штырями с ограничителями.

Наряду с многочисленными преимуществами (низкая теплопроводность, небольшой вес, высокая заводская готовность и т. п.) сэндвичблок имеет существенный недостаток, заключающийся в принципе соединения различных слоев между собой – при помощи специальных стеклопластиковых штырей с ограничителями. Процесс установки стеклопластикового штыря с ограничителем производится вручную, что увеличивает трудозатраты на выполнение данной операции и при этом качество блока становится зависимым от добросовестности выполнения этой операции рабочим. Так как надежность блока обеспечивается двумя стеклопластиковыми штырями с ограничителями, в случае физического или механического воздействия на блок с фасадной стороны нет гарантии, что по образовавшейся трещине не произойдет разрушение фактурного слоя (фасадного), так как штырь находится с обратной стороны сэндвичблока.

Если существующее соединение слоев между собой заменить на соединение «паз-шип», то при возникновении трещины на всю толщину слоя, к примеру на фасадной части блока, не приведет к откалыванию и обрушению данного фрагмента, так как он будет держаться следующим слоем (утеплителем) за счет этого соединения. Данный участок блока можно будет вовремя отремонтировать, при этом сам блок не разрушается.

Соединение «паз – шип» по форме представляет собой устойчивую трапецию, чередующуюся с неустойчивой трапецией таким образом, что основание неустойчивой трапеции находится на слое, образующем шип (трапецию), а основание этой трапеции – в соседнем слое. Форму и размер соединения «паз – шип» задает утеплитель (средний слой) пенополистирол или другой утеплитель устойчивой формы. Данное соединение упрощает производство сэндвичблока и технологически оно является гарантом соблюдения размера паза и шипа, их высоты, угла и т. д. Соединение «паз – шип» следует располагать по всей площади соприкосновения слоев, а не в двух отдельных точках, как стеклопластиковые штыри с ограничителями. Это позволит надежно соединить между собою

фактурный слой (фасадный) с утеплителем и утеплитель с несущим слоем (внутренним). Таким образом, соединение «паз – шип» устраняет недостатки соединения с помощью специальных стеклопластиковых штырей с ограничителями в полном объеме и придает сэндвичблоку более жесткую и надежную конструкцию, улучшает конструктивные особенности блока, исключает в полном объеме производственный брак в области стыка слоев, который ранее зависел от человеческого фактора, исключает разрушение блока при расслоении на отдельные части, что увеличивает срок эксплуатации здания и исключает преждевременные затраты на ремонт и реставрацию.

Соединение «паз-шип» не влечет за собой увеличение себестоимости продукции по сравнению с соединением в котором применяются стеклопластиковые штыри с ограничителями, гарантирует ускорение производства, так как исключается одна операция, которая в свою очередь выполняется вручную. Соединение «паз – шип» не изменяет объема каждого слоя и соответственно сохраняет характеристики блоков, так как объем паза равен объему шипа. Прочность соединения способствует сохранению среднего слоя утеплителя, что в свою очередь не повлияет на теплопроводность блока в процессе эксплуатации здания.

Таким образом, замена соединения слоев блока путем применения стеклопластиковых штырей с ограничителями на соединение «паз – шип» позволит получить надежную конструкцию с наименьшими трудозатратами и лучшими эксплуатационными характеристиками.

УДК 691.115

## **СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*А. А. ТАКУНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Древесина была и остается одним из самых популярных строительных материалов. Однако чтобы дерево дольше сохраняло свою прочность и внешний вид, оно нуждается в дополнительной защите от биологических разрушающих факторов. Древесина является материалом со сложной органической структурой, и чтобы ее надежно защитить от биологического разложения, насекомых и возгорания, требуется системный подход.

Все живые организмы борются с атакующими их бактериями и грибами собственными силами. Жизнедеятельность бактерий и грибов возможна только во влажной среде. Древесная структура такова, что способна впитывать влагу, как губка, но также быстро способна ее возвращать в более сухую воздушную среду. Эта особенность помогает подниматься воде на высоту в несколько десятков метров и питать крону.

Защита древесины от биологического разложения имеет два направления: создание водонепроницаемой пленки на поверхности древесины; создание в структуре дерева условий, останавливающих развитие бактерий и грибов. Если грибы и микроорганизмы являются невидимыми врагами, то насекомых-древоточцев можно не только увидеть, но и услышать. Последствия деятельности этих жуков бывают плачевными, вплоть до полного лишения несущей способности деревянной детали. Свойствами, защищающими древесину от биологического разложения и поражения насекомыми, в той или иной степени обладают различные пропитки, морилки, лазури, лаки, грунтовки и краски. Пропитки для древесины могут быть двух видов: биоцидные и противопожарные (антипиренные). Встречаются также и универсальные пропитки. Они наносятся кистью, поролоновым тампоном, а в отдельных случаях, когда требуется глубокое проникновение препарата, деревянные детали опускают в емкости с пропиткой и оставляют их там на несколько часов. Большинство пропиток паропроницаемы и не создают на поверхности древесины герметичной пленки. Лазури представляют собой полупрозрачные или, т. н. лессирующие составы, предназначение которых – защита древесины от климатических и внешних механических воздействий. В состав лазури входят пигменты, связующее и растворитель. После обработки лазурью древесины, из состава испаряется растворитель, а подкрашенное связующее образует на поверхности полупрозрачную пленку, не являющуюся серьезным барьером для водяных паров. Лаки и краски по дереву, равно как и эмали, относятся к поверхностным покрытиям. Они ни в коем случае не заменяют пропиток, поскольку в большинстве своем не содержат антисептика. Лазури, лаками и краской следует вскрывать уже пропитанную и

высушенную древесину. Это и будет называться комплексной защитой. Антипирены – вещества, сдерживающие горение, могут входить в состав пропиток для древесины, однако существуют и специальные пропитывающие составы, а также противопожарные краски. Добиться того, чтобы древесина не горела либо как можно дольше сопротивлялась горению можно двумя способами. Во-первых, пропиткой структуры дерева веществами, которые при нагревании древесины до температуры возгорания выделяют углекислый газ, обволакивающий ее и не позволяющий возникнуть пламени. Во-вторых, можно покрывать древесину веществами, образующими при нагревании герметичную и устойчивую к пламени пленку на ее поверхности.

Ассортимент защитных средств для древесины довольно широк и разнообразен по своему составу, поэтому, чтобы не вызвать конфликт веществ при комплексной защите, следует выбирать средства от одного производителя, которые, как правило, принадлежат одной системе и полностью совместимы между собой.

УДК 624.01/.04

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В ПЛИТАХ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА (БМП)**

*В. В. ТАЛЕЦКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Постоянное повышение стоимости стальной арматуры ведет к более широкому применению высокопрочной неметаллической арматуры из композитных материалов. В нашей республике специалисты только в последние годы обратили внимание на потребность строительной отрасли в композитных материалах, которые позволяют увеличить долговечность конструкций зданий и сооружений. Основными проблемами узкого применения композитной арматуры явились: низкий модуль упругости; трудность закрепления в натяжных устройствах (при создании предварительно-напряжения); отсутствие нормативной базы; высокая стоимость; не развитое производство.

Главным недостатком композитной стеклопластиковой арматуры является низкий модуль упругости, который в 4 раза меньше, чем у стали. Из-за этого изгибаемые конструкции, армированные стеклопластиковой арматурой, при достаточной прочности обладают малой жесткостью и трещиностойкостью.

Увеличить жесткость и в тоже время уменьшить ширину раскрытия трещин можно путем увеличения модуля упругости стеклопластиковой арматуры. Предлагается увеличить модуль упругости за счет размещения стальных стержней внутри стеклопластиковой арматуры и назвать такую арматуру металлопластиковой. Модуль упругости металлопластиковой арматуры, выраженный через модуль упругости стали или через модуль упругости стеклопластика, можно определить по выражениям (1) и (2), соответственно:

$$E_{мп} = E_{ст} \left( 1 + \frac{E_{пл} A_{пл}}{E_{ст} A_{ст}} \right) \frac{A_{ст}}{A_{мп}}; \quad (1)$$

$$E_{мп} = E_{пл} \left( 1 + \frac{E_{ст} A_{ст}}{E_{пл} A_{пл}} \right) \frac{A_{пл}}{A_{мп}}. \quad (2)$$

где  $E_{мп}$ ,  $E_{ст}$ ,  $E_{пл}$ , – модули упругости металлопластиковой арматуры, стали, стеклопластика;  $A_{пл}$ ,  $A_{ст}$ ,  $A_{мп}$  – площади поперечного сечения стеклопластиковой оболочки, стального стержня и арматуры металлопластиковой оболочки.

На стальных мостах Белорусской железной дороги применяются плиты БМП по шифру 897 из тяжелого бетона без предварительного напряжения, изготавливаемые на Осиповичском заводе ЖБК. Типовая плита длиной 2,0 м армирована стержнями класса S400. В нижней зоне 18Ø18 мм и 2Ø10 мм общей площадью 47,38 см<sup>2</sup>, в верхней зоне 16Ø10 мм площадью 12,56 см<sup>2</sup>. Несущая способность плиты в середине пролета (растянуты нижние волокна) составляет 180,7 кН·м, несущая способность в сечении над опорой (над главной продольной балкой), где растянуты верхние волокна, составляет 51,5 кН·м.

При замене стальной арматуры на металлопластиковую с сохранением несущей способности сечений получим следующее армирование: арматура в нижней зоне плиты 18Ø12 мм (стальной стержень Ø8 мм) площадью 20,35 см<sup>2</sup>; арматура в верхней зоне плиты 20Ø6 мм (стальной стержень Ø4 мм) площадью 5,7 см<sup>2</sup>. Класс металлопластиковой арматуры соответствует классу S1200, модуль упругости – 120 ГПа. При таком армировании несущая способность плиты в середине пролета 210,0 кН·м, несущая способность в сечении над опорой (над главной балкой), где растянуты верхние волокна, составляет 45,0 кН·м. Учитывая, что действующая расчетная нагрузка в середине пролета 120,0 кН·м, а над опорой – 20 кН·м, несущая способность такой плиты достаточная.

При сопряжении типовых плит мостового полотна со стальными балками через прокладной слой из армированного мелкофракционного бетона или цементно-песчаного раствора шириной, равной ширине верхнего пояса балки и креплением плит высокопрочными шпильками с натяжением не менее 120 кН в растянутых зонах (в середине пролета и над опорами) образуются трещины. Ширина раскрытия трещин в пролете 0,17 мм, над опорой – 0,19 мм, что меньше допускаемой ширины раскрытия, равной 0,2 мм.

При армировании плиты металлопластиковыми стержнями жесткость снижается и соответственно ширина раскрытия трещин увеличивается. Ширина раскрытия трещин в пролете достигает 0,99 мм, а над опорой – 0,90 мм. Ширина раскрытия трещин превышает допустимую ширину раскрытия.

Напряжения в арматуре не превышают 50 % от предела текучести, а максимальная расчетная нагрузка кратковременная, трещины после снятия нагрузки (после прохода поезда) закрываются. Закрытые трещины будут препятствовать проникновению атмосферной влаги в тело плиты и коррозии бетона. Кроме этого, стальные стержни защищены от коррозии стеклопластиком, а верхняя поверхность плиты имеет гидроизоляционное покрытие.

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

- предлагается армирование плит БМП выполнять металлопластиковой арматурой;
- такое армирование приводит к образованию трещин в растянутых зонах сечения плиты с шириной раскрытия, превышающей допустимую нормами. Учитывая, что максимальная расчетная нагрузка кратковременная, трещины после её снятия закрываются;
- стальные стержни от коррозии защищает стеклопластик, а коррозии бетона от атмосферной влаги будут препятствовать закрытые трещины и гидроизоляционное покрытие верхней поверхности плиты;
- предлагаемое армирование снизит расход стальной арматуры и увеличит долговечность эксплуатации плит БМП.

УДК 691.17

## **ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ЭПОКСИДНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ВЛАЖНОСТИ**

*А. Г. ТАШКИНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Эпоксидные пенопласты (пеноэпоксиды) обладают высокой прочностью и химической стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами и адгезией ко многим материалам.

Для исследований были выбраны составы, получаемые перемешиванием эпоксидных диановых смол с отвердителем – алифатическим полиамином и газообразователем – полиорганосилоксаном, содержащим активный атом водорода. Такие рецептуры высокотехнологичны и могут приготавливаться непосредственно на строительной площадке с использованием стандартного оборудования.

При варьировании расхода газообразователем в пределах от 2,5 до 25 % и отвердителя от 15 до 20 % от массы эпоксидной смолы ЭД-20 были получены пенопласты равномерной структуры со средней плотностью 100–350 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 0,4–9,4 МПа. Полную прочность образцы набирали в течение двух недель при комнатной температуре. Прочность образцов при изгибе составила 1,4–6,8 МПа, модуль упругости при сжатии – 69–344 МПа.

Для оптимизации состава пеноэпоксидов, эксплуатируемых в условиях совместного действия высоких температур и влажности, проводились ускоренные испытания образцов при циклическом

кипячении и замораживании. Каждый цикл испытаний продолжается 6 часов и включает 3-часовое кипячение в воде образцов – балочек с размерами 30×30×160 мм – и равное по времени последующее их замораживание при температуре –22 °С. Периодически после охлаждения образцов в воде комнатной температуры производилось их взвешивание, измерение и испытание на прочность (для этого балочки распиливались на кубики 30×30×30 мм).

При ускоренных испытаниях насыщение пеноэпоксидов водой протекают значительно быстрее, чем в паровоздушной среде с температурой 95–100 °С, или даже в кипящей воде. Так, водопоглощение образцов после 8 циклов кипячения – замораживания примерно в 2 раза, а после 30 циклов – в 3 раза больше, чем при одном только кипячении равной продолжительности. К факторам, интенсифицирующим процесс водопоглощения пенопластов при циклическом кипячении и замораживании можно отнести:

- явление термодиффузии (совпадение градиентов температуры и влагосодержания) при кипячении замороженных образцов;
- температурные напряжения в материале при резкой смене температуры от +100 °С до –22 °С, и наоборот;
- разрушение стенок ячеек пенопласта давлением замерзающей воды.

Водопоглощение образцов пеноэпоксидных обратно пропорционально их средней плотности и в ходе испытаний монотонно возрастает, достигая 13–73 % по объему после 20 циклов кипячения – замораживания. Температурно-влажностные деформации пенопластов при кипячении – замораживании складываются из тепловой усадки и влажностного удлинения (в т. ч. за счет расширения замерзающей в порах материала влаги). Усадка проявляется, в основном, уже после первых трех часов выдержки в кипящей воде и составляет 0,7–2,3 % длины. В последующем, по мере роста водопоглощения образцов, ее значение снижает до 0,6–2 %.

Коэффициент стойкости пеноэпоксидных (отношение прочности при сжатии после испытания к начальному значению) линейно снижается с уменьшением плотности образцов. При плотности пенопластов свыше 230 кг/м<sup>3</sup> водопоглощение после 20 циклов относительно невелико (не более 20 % объема), а структурная прочность достаточна для восприятия температурно-влажностных напряжений. Поэтому конечная прочность образцов даже несколько превосходит (на 8–10 %) первоначальное значение вследствие процессов доотверждения полимера-основы от действия высокой температуры. С уменьшением плотности образцов до 120 кг/м<sup>3</sup> и возрастанием водопоглощения до 73–90 % прочность пеноэпоксидов при сжатии снижается до 60–67 % от начальной. Модуль упругости при сжатии пенопластов в этом же диапазоне плотностей, снижается после испытаний до 24–40 % от начального значения.

Таким образом, ускорение испытания при циклическом кипячении и замораживании позволяет рекомендовать эпоксидные пенопласты со средней плотностью 170–250 кг/м<sup>3</sup> к использованию не только в качестве теплоизоляционных, но и гидроизоляционных материалов при температуре эксплуатации до 100 °С.

УДК 347.214.2

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАССОВОЙ ОЦЕНКИ НЕДВИЖИМОСТИ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ**

*В. И. ЧИРКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Понятие массовой оценки недвижимости стало актуальным с развитием рыночных отношений и возникновением потребности её применения к многочисленным объектам-аналогам. Использование массовой оценки может быть применено и к землям железнодорожного транспорта, среди которых особенное место занимают пути, находящиеся вдоль ж. д. или вновь прокладываемые. Несмотря на то, что в массовой оценке можно использовать три основных метода (подхода): затратный, доходный и сравнительного анализа, использование их полностью зависит от наличия достаточного количества информации по сделкам на объекты-аналоги.



В зависимости от группы, класса и вида недвижимости используются свои расчётные модели, которые в настоящее время не имеют оптимального алгоритма расчёта. Кроме этого, модели расчёта полностью зависят от используемых данных в пространстве и времени, а следовательно, не всегда могут отражать достаточно точные сведения, что неизбежно приводит к допущению ошибок в процессе определения рыночной цены.

Большое значение в процессе использования различных моделей оценки имеет и максимально точная калибровка получаемых результатов, зависящих от учитываемых факторов влияния и требующих определения средних величин отклонений полученной стоимости от среднего её коэффициента дисперсии на рынке. Данные отклонения имеют место и в международной ассоциации налоговых оценщиков, которые максимальное среднее отклонение коэффициента дисперсии, например для жилых объектов недвижимости, устанавливают в пределах 15 %, при этом если недвижимость ещё и доходная, то не более 20 %.

Анализируя методы массовой оценки в зарубежных странах, можно заметить, что они опираются:

- на затратный метод в основе которого определяются расходы, необходимые на полное восстановление оцениваемых объектов недвижимости (Индонезия, Япония и Южная Корея – для зданий), либо на сочетании всех трех перечисленных методов (США, Канада, Нидерланды);

- на метод капитализации дохода, где рассматриваются группы недвижимости от их наилучшего и самого выгодного использования (Швейцария, Дания и Швеция);

- на метод анализа сравнения продаж, т. е. статистику цен рыночных сделок с объектами недвижимости (Австралия, Дания, Швеция, а также Индонезия и Япония – для земельных участков).

Величина коэффициента дисперсии на примере двухкомнатных квартир с максимально схожими характеристиками по городу Гомелю (таблица 1) зависит от правильности расположения числового ряда цен объектов-аналогов и их расчёта. При использовании медианы и значительного расхождения цен, коэффициент дисперсии всегда будет около 1, так как с увеличением его величины уменьшается точность расчёта. На практике его предельная величина принимается равной 5, в отношении недвижимости она, как показано в таблице 1, не превышает 4.

Оценка недвижимости сравнительным подходом опирается на использование различных поправочных коэффициентов, которые в свою очередь формируются из получаемой оценщиками информации, а следовательно, умение пользования такой информацией лежит в основе выбора и использования различных методов и моделей расчёта.

Практика применения указанных методов и их моделей зависит от степени развитости рынка недвижимости и наличия информации о сделках и оцениваемых объектах недвижимости. Например, в Южной Корее, некоторых провинциях Канады, а также для строений, для которых не существует рынка в Голландии и Швеции, оценка недвижимости производится с использованием метода, в основу которого положен принцип замещения объекта-аналога. В отдельных штатах США, некоторых кантонах Швейцарии и в Дании подобный метод применяется в качестве справочного для корректировки метода прямого сравнения, что требует достаточно большой информации о проведенных сделках и не всегда отражает существующее положение цен на рынке недвижимости.

В Австралии подход с точки зрения доходности на единицу площади объекта используется для оценки недвижимого имущества в добывающей промышленности. Тот же подход применяется для сельскохозяйственной недвижимости в Швейцарии, некоторых штатах США и провинциях Канады.

Таблица 1 – Влияние коэффициента дисперсии на стоимость 2-комнатных квартир в г. Гомеле

№ п/п	Стоимость 5 объектов-аналогов (квартир), руб.	Медиана выбранного ряда (среднее значение цены), руб.	$x - m^2$	$n - 1$	$V^2$	$V^2 / \bar{m}$
<i>Советский район</i>						
1	44880	54000 (53576)	179778	4	44944	0,83
2	48000					
3	54000					
4	58000					
5	63000					

Окончание таблицы 1

№ п/п	Стоимость 5 объектов-аналогов (квартир), руб.	Медиана выбранного ряда (среднее значение цены), руб.	$x - m^2$	$n - 1$	$V^2$	$V^2 / \bar{m}$
<i>Железнодорожный район</i>						
1	44640	50810 (50690)	14400	3	4800	0,095
2	48620					
3	53000					
4	56500					
<i>Новобелицкий район</i>						
1	48000	54500 (53500)	1000000	5	200000	3,738
2	49000					
3	53000					
4	56000					
5	57000					
6	58000					
<i>Центральный район</i>						
1	64000	74000 (73530)	220900	6	36816	0,5
2	67000					
3	70000					
4	74000					
5	76000					
6	80715					
7	83000					

УДК 691:621.311

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

А. С. ЧУГУНОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Человечество на протяжении многих веков использовало органику для строительства жилых домов в качестве как утеплителей, так и материала для стен. Определяясь с материалами для стен и толщиной утепления в доме, человек стоит перед выбором: построить оптимальный по затратам на строительство дом и иметь более высокие затраты на отопление при его эксплуатации или изначально построить очень теплый энергоэффективный дом за более высокую цену, но при этом экономия на затратах отопления в будущем.

Использование в строительстве отходов деревообработки получило распространение в строительстве малоэтажных домов, когда начала развиваться промышленность и появились механизмы, способные значительно увеличить объемы деревоотходов.

Первым шагом в изготовлении бетонов из органического сырья с использованием цемента (вяжущего) было создание опилкобетона. Для того чтобы опилкобетон имел достаточную прочность, в состав вводят песок (мелкий заполнитель), который во взаимосвязи с вяжущим увеличивает прочность материала, а опилки улучшают теплоизоляционные свойства и снижают собственный вес конструкции. Сейчас есть новый материал, который сочетает в себе высокую прочность и низкий коэффициент теплопроводности – арболит.

Арболит – легкий бетон, в состав которого входят вяжущее, щепа (80–90 %) и химические добавки (2–4 %). Важный аспект имеет размер и обработка щепы. Ее обрабатывают химическими добавками, которые устраняют сахара. Именно сахара пагубно влияют на сцепление щепы с цементом и долговечность материала в целом. Так как древесная щепа имеет свойство разбухать, взаимодействуя с водой, которая входит в состав приготовления смеси, необходимо формование в металлической форме, причем форма должна закрываться с шести сторон. Именно в замкнутом пространстве формы древесина не имеет возможности увеличиваться в объеме.

По теплотехническим показателям арболит превосходит многие традиционные строительные материалы для несущих конструкций. Этот материал имеет различную плотность, а соответственно и теплопроводность, и прочность. В зависимости от назначения арболит подразделяют:

- на теплоизоляционный (средняя плотность – до  $500 \text{ кг/м}^3$ );
- конструкционный (средняя плотность – от 500 до  $850 \text{ кг/м}^3$ ).

Теплопроводность арболита составляет  $0,07\text{--}0,17 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ , в то время как теплопроводность кирпича –  $0,45\text{--}1,45 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ , а теплопроводность дерева –  $0,15\text{--}0,4 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ . Стандартный блок из арболита толщиной 30 см по своим тепло- и звукоизоляционным свойствам соответствует кирпичной стене толщиной 90 см.

Таким образом, арболит благодаря крупнопористой структуре имеет высокие теплотехнические показатели, которые позволяют существенно повысить термическое сопротивление стен и снизить расходы на отопление таких зданий. К достоинствам отнесем и то, что масса арболитовой стены гораздо меньше многих других конструктивных строительных материалов. Это связано как с относительно небольшой плотностью самого материала, так и с возможностью делать стены толщиной 30 см. Всё это позволяет осуществлять устройство менее затратных видов фундаментов и значительно снижает сложность и стоимость строительно-монтажных работ.

УДК 691:32

## **ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ФОРМАТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*Ю. И. ШАНДРАК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время РУП «Стройтехнорм» разрабатывает Технический регламент Республики Беларусь «Энергоэффективность зданий», который будет гармонизирован с Директивой 2010/31/ЕС. Однако несмотря на наличие в Директиве 2010/31/ЕС указаний о необходимости проведения активных мероприятий по реконструкции существующих жилых зданий в здания с практически нулевым потреблением энергии, в проекте Технического регламента Республики Беларусь аналогичных разделов нет. Более того, на данный момент в части реконструкции индивидуальных жилых строений искусственно создана нерешаемая во многих случаях проблема: при реконструкции существующих многоквартирных и блокированных домов в части строительства пристройки (т. е. изменения внешнего контура границ, их периметра) противопожарные разрывы следует соблюдать от существующего здания, к которому добавляется пристройка до существующих соседних зданий. На практике именно пристройка новой части здания к существующей является основным фактором, побуждающим застройщика заняться реконструкцией как таковой. Однако сейчас в случае невыполнения условия соблюдения пожарных разрывов согласование проекта реконструкции здания невозможно, а значит, провести работы «легально» застройщик также не сумеет. Если заглянуть в суть проблемы, то возникает вопрос, решить который без изменения вышеуказанного требования не представляется возможным: как проводить реконструкцию в деревнях и сёлах, зонах частной застройки в городах и городских поселках, где здания были построены еще до начала XXI века, где уже сложившаяся застройка попросту не позволяет провести данный тип работ. Доля таких зданий в существующем жилом фонде весьма высока, и точную оценку количеству таких площадей еще предстоит дать. Но даже сейчас можно смело говорить о том, что, исключая возможность проведения реконструкции жилья, построенного в советский период (а именно эти здания потребляют наибольшую часть энергетических ресурсов, затрачиваемых в жилищной сфере), выйти на самообеспечение энергоресурсами в Беларуси вряд ли удастся, а невозможность реконструкции таких зданий в будущем приведет к увеличению количества ветхого жилья с последующим его сносом и необходимости утилизации отходов. Сложившаяся ситуация дает наглядный пример несогласованной работы министерств в части согласования нормативной документации и подчеркивает важность их совместной работы, основанной на взаимопонимании и поиске компромисса, а также отсутствие слаженной работы в данный момент.

С вопросом реконструкции зданий также тесно связан вопрос расчета долговечности конструкций и моделирование их поведения на протяжении всего жизненного цикла сооружения здания. Существующие в тексте Директивы 2010/31/ЕС требования по части использования материалов и конструкций, а также узлов, которые в ходе необходимости проведения их замены будут наиболее ремонтпригодными, должны получить более развернутое отражение в тексте Технического регламента. Для реализации данного требования необходимо создать четкую методику определения долговечности изделий, а также провести анализ сочетаемости различных материалов с целью обеспечения их максимально долгой совместной работы, исключаяющей их взаимное негативное химическое и физическое воздействие. Отсутствие подобной методики на данный момент приводит к тому, что зачастую материалы применяются только исходя из личных предпочтений проектировщиков, а в крайних случаях – даже заказчиков (традиционная практика в индивидуальном строительстве), что из-за недостаточной их информированности может в дальнейшем привести к глобальным проблемам. Примером может служить повсеместное использование пенополистирола в качестве утеплителя как в многоэтажном строительстве, так и в частной застройке. Являясь слабоизученным строительным материалом, он приобрел широкую популярность и применение, однако до сих пор исследований его долговечности на территории Беларуси не проводилось, и нет достоверных данных о его работе на длительном отрезке времени.

Еще одной проблемой является отсутствие в Техническом регламенте четкой цели, которую преследует введение энергетической сертификации зданий, а также демонстрация сертификатов, полученных по результатам ее проведения. В Директиве 2010/31/ЕС каждому из этих вопросов посвящена отдельная статья: целью сертификата является предоставление возможности сравнения и оценки энергетической эффективности зданий или конструкций владельцами или арендаторами, а их демонстрация на фасадах для многих зданий является обязательной, как и предоставление сертификата покупателю при продаже здания. Это позволяет привлечь внимание общественности к данному вопросу, а также способствует распространению идей программ по энергосбережению среди населения. В реалиях Республики Беларусь именно индивидуальный застройщик мог бы стать наилучшей демонстрацией актуальности и необходимости практической реализации новых требований, своеобразной рекламой для программы строительства энергоэффективного жилья в стране. Кроме этого, на пути к практической реализации процесса сертификации зданий придется решить вопрос создания единой базы специалистов, аттестованных на данный вид работ, а также единый реестр выданных сертификатов, который в сочетании с мониторингом расхода энергии зданием за отчетный период позволит выявить недобросовестных исполнителей и создать перечень объектов, потребляющих максимальное количество энергоресурсов и нуждающихся в модернизации в первоочередном порядке.

УДК 691:32

## **ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*Ю. И. ШАНДРАК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В ряде развитых индустриальных стран еще в прошлом веке был проведен анализ расхода энергоресурсов, который показал, что в большинстве случаев от 30 до 60 % от всей потребляемой в стране энергии приходится на жилищный сектор. По этой причине в большинстве стран Европы, США и Японии началась активная работа по модернизации существующей застройки, а также создание научно-технической базы для строительства энергетически эффективных домов.

В Беларуси первые энергосберегающие мероприятия в строительстве были приняты уже в 1993 году, когда нормативно было проведено увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий. Однако до «европейского» подхода к энергоэффективности, несмотря на принимаемые меры, было далеко. Строительство домов, которые можно было бы назвать энергоэффективными, началось лишь в 2007 году, но, учитывая отличия между евро-

пейскими и белорусскими требованиями к ним, а также отличия между определением «энергоэффективного дома» как такового, можно говорить о том, что за всё это время сделан лишь крошечный шаг, который так и не приблизил нас к цели. Знаковым является тот факт, что ежегодно в странах ЕС строятся тысячи домов в энергоэффективном формате, который опережает белорусский на несколько десятилетий. В Беларуси же за последние 10 лет построено лишь около 20 энергоэффективных жилых многоквартирных домов (которые, скажем откровенно, в Европе таковыми вряд ли признали бы).

В данный момент РУП «Стройтехнорм» ведется разработка Технического регламента Республики Беларусь «Энергоэффективность зданий», который должен быть сгармонизирован с Директивой 2010/31/ЕС и стать ее местным аналогом. Однако первый проект Технического регламента вызывает ряд вопросов, так как многие ключевые моменты не нашли в нем своего отображения, а ошибочные подходы, применяемые в отечественной практике сейчас, приобретают статус законодательных.

Одной из важнейших проблем энергоэффективного строительства в Республике Беларусь является полное отсутствие работы в области индивидуального жилого энергоэффективного строительства. Данные международной статистики и анализ зарубежной практики говорят о том, что в странах с развитой рыночной экономикой объемы индивидуального жилищного строительства составляют не менее 50 % от общей площади жилья, вводимого в эксплуатацию. С 2001 по 2015 год в Беларуси эта доля составляла от 28 % (в 2010 году) до 52 % (в 2002 году), а в среднем за 15 лет – порядка 37 %. Концепцией государственной жилищной политики Республики Беларусь на 2016–2020 годы одной из задач является доведение доли индивидуального жилищного строительства до 40 %. Таким образом, ежегодно порядка 40 % новых жилых площадей даже не рассматривать и не будут рассматриваться для использования в них энергоэффективных решений. И это несмотря на то, что данный сектор имеет огромное преимущество в части применения и анализа работы существующих и инновационных энергоэффективных мероприятий – личную заинтересованность владельцев, которые уже сейчас, хоть и не часто, но готовы вкладывать личные средства в новые технологии, осознавая, что в дальнейшем они обеспечат экономию своих денежных средств в ходе эксплуатации жилища. Отсутствие стимулов со стороны государства для проектирования и строительства индивидуального энергоэффективного жилья (за исключением положений о применении ВИЭ, которые позволяют пользователям жилого дома оплачивать коммунальные услуги по льготным тарифам) также является проблемой.

В проекте Технического регламента нашло отражение требование создания децентрализованных систем энергоснабжения зданий на основе возобновляемых источников энергии, но нет требований к минимальному количеству энергии, получаемой зданием от ВИЭ, установке тепловых насосов и других систем в соответствии с учетом их рейтинга. Данные мероприятия могли бы получить широкое распространение и трезвую оценку со стороны общественности в случае реализации данных требований в практике строительства индивидуального жилья. Можно быть уверенными в том, что абсолютное большинство пользователей установок, использующих ВИЭ, регулярно анализировали их работу и активно осваивали правила их использования, как это происходило и до сих пор происходит в странах западной Европы. Однако перекрестное субсидирование, в значительной мере влияющее на расчет стоимости коммунальных услуг, препятствует широкому распространению технологий по получению энергии из возобновляемых источников, равно как и недостаток информации об их работе. К примеру, на практике застройщиков чаще всего призывают использовать солнечную энергию в качестве основного ВИЭ. По данным доклада, опубликованного компанией «Energy Points» по результатам анализа затрат на производство энергии и «энергетическую прибыль», наиболее эффективными с точки зрения способа получения энергии являются ветряки. На данный момент их применение на территории Республики Беларусь является ограниченным в связи с равнинным характером территории страны. Однако в том же докладе говорится, что вторыми по энергоэффективности являются геотермальные станции, третьими – гидроэлектростанции, четвертыми – атомные, а солнечные электростанции лишь замыкают пятерку. Эти данные позволяют понять, насколько нерационально расходуются средства из-за недостаточной осведомленности как инженеров, так и самих застройщиков.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА НА СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА

Н. А. ШЕВЧУК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Производство неавтоклавного пенобетона требует использования достаточно дорогостоящего сырья (портландцемент, кварцевый песок, пенообразователь и др.), что в свою очередь отражается на стоимости материала. Использование минеральных высокодисперсных промышленных отходов (золы ТЭС, микрокремнезем) вызвано не только проблемой их утилизации, но и их способностью принимать участие в структурообразовательных процессах, влияющих на физико-механические характеристики пенобетона.

Зола-уноса образуется в результате сжигания пылевидного твердого топлива из его минеральной части на тепловых электростанциях. Частицы золы оседают в электрофильтрах и удаляются из них сухим или мокрым способами. Зола сухого удаления характеризуется стабильными свойствами, активностью, высокой дисперсностью и сферической формой зерен. Она и используется в бетонах.

По химическому составу золы делят:

– на кислые (кремневые) – состоят в основном из активного диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) с содержанием активного оксида кальция ( $\text{CaO}$ ) до 10 %, обладают пуццолановыми свойствами;

– основные (высококальциевые) – с содержанием  $\text{CaO}$  более 10 %, обладают гидравлическими свойствами.

Согласно рекомендациям при изготовлении ячеистых неавтоклавных бетонов используют кислые золы в качестве кремнеземистого компонента смеси и с целью экономии цемента.

Применение золы-уноса взамен кварцевого песка значительно изменяет микроструктуру бетона, основным изменением которой является снижение пористости цементного камня, т. к. количество дисперсных частиц в смеси (цемент + зола) увеличивается, а водные прослойки между ними уменьшаются. Размер пор также становится меньше. Этому способствует трансформация кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в гидросиликаты, происходящая при пуццолановой реакции. Гидросиликатный гель, объем которого больше, чем гидроксида кальция, заполняет часть объема капиллярных пор. Уменьшение размера пор приводит к уменьшению проницаемости бетона.

Исследовалась эффективность применения золы-уноса в качестве кремнеземистого компонента взамен кварцевого песка. Был произведен подбор составов пенобетона неавтоклавного твердения плотностью D600, класс прочности – В2,0 на ЦЕМ-И42,5Н(ПЦ500Д0): контрольного (цемент, кварцевый песок  $M_{кр} = 1,4$ ; вода и пенообразователь ПБ2000) и экспериментального с заменой только кварцевого песка на золу-уноса.

В результате испытания стандартных образцов-кубиков  $100 \times 100 \times 100$  мм было установлено, что заявленная прочность достигнута в обоих составах. При этом в экспериментальном составе пенобетона с полным замещением кварцевого песка золой-уноса на 28 % уменьшился расход цемента и на 12,5 % содержание воды (таблица 1).

Таблица 1

Состав пенобетона	Контрольный состав на мелком песке $M_{кр} = 1,4$	Состав на золе-уноса высококремнистой $\text{SiO}_2 = 45,0 \%$
Цемент ПЦ500Д0, кг	375	270
Песок мелкий, кг	168	0
Вода, л	240	210
Пенообразователь, л	0,7	0,7
Зола-уноса, кг	0	300

Таким образом, применение золы-уноса в производстве пенобетона позволяет:

- улучшить агрегативную устойчивость смеси и ее удобоукладываемость;
- уменьшить водоотделение и расслоение смеси;
- повысить трещиностойкость и теплофизические свойства бетона;
- значительно повысить качество поверхности изделий;
- экономить на расходе цемента без ущерба качеству изделий.

## АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ, ПОСТРОЕННЫХ ПО ТИПОВЫМ ПРОЕКТАМ СОВЕТСКОГО ПЕРИОДА

*А. В. ЩЕГЛОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На сегодняшний день в странах СНГ, в том числе на территории Республики Беларусь, можно встретить множество однотипных по архитектурно-планировочному и конструктивному решению зданий учреждений дошкольного образования, которые во многом не отвечают современным нормам и требованиям (ТНПА). Около 70–80 % из функционирующих зданий детских садов в нашей стране – здания, построенные по типовым проектам советского времени.

Учитывая высокий рост и развитие современной базы развивающих занятий для детей дошкольного возраста, появление инновационных строительных материалов и принципиально отличных от советских конструктивных и объемно-планировочных схем, здания детских садов, построенные по типовым проектам советского времени, устарели как в плане организации современного функционального зонирования (моральный износ здания), так и в конструктивном аспекте (физический износ).

В течение 2016–2017 гг. сотрудниками НИЛ «СКОиФ» им. профессора И. А. Кудрявцева было выполнено обследование с фотофиксацией зданий объектов дошкольного образования, построенных в 1960–1980 гг. по типовым проектам советского времени:

- ГУО «Ясли-сад № 1 г. Ветка»;
- ГУО «Ясли-сад г. Петрикова»;
- УО «Уваровичский государственный детский сад Буда-Кошелевского района»;
- ГУО «Ясли-сад № 6 г. Жлобина»;
- ГУО «Ясли-сад № 2 г. Речица»;
- ГУО «Ясли-сад № 47 г. Гомеля».

В результате обследования вышеперечисленных объектов были выявлены многочисленные несоответствия современным ТНПА, физический и моральный износ зданий, а также недостаточная организация современной архитектурной среды для детей дошкольного возраста.

Основными архитектурно-планировочными и конструктивными проблемами в обследованных зданиях детских садов являются:

– недостаточная высота ограждения лестничных маршей: лестничные марши в дошкольных учреждениях общего профиля должны иметь ограждения на высоту 1,5 м. В специальных дошкольных учреждениях для детей с нарушениями зрения лестничные марши и пандусы должны иметь защитные решетчатые ограждения на высоту до 1,8 м (п. 6.53 ТКП 45.-3.02-249–2011);

– не предусмотрены дополнительные поручни на высоте 0,5; 0,7 и 0,9 м. Поручни должны быть круглого сечения диаметром от 0,03 м до 0,05 м или прямоугольного сечения с размером сторон до 0,04 м (п. 6.55 ТКП 45.-3.02-249–2011);

– не предусматриваются условия для хранения игрушек, используемых для игры на улице, а также для хранения колясок и санок (п. 7.7 ТКП 45.-3.02-249–2011);

– отсутствие в приемных и раздевальных групповых ячейках устройства индивидуальных сушильных шкафов для верхней одежды и обуви детей и специальных помещений для сушки обуви и одежды детей (п. 7.9 ТКП 45.-3.02-249–2011);

– площадь гимнастического зала должна быть предусмотрена из расчета 4 м<sup>2</sup> на одного ребенка в дошкольной группе, но не менее 50 м<sup>2</sup>, площадь универсального зала для музыкальных и гимнастических занятий – 4,5 м<sup>2</sup> на одного ребенка в дошкольной группе, но не менее 50 м<sup>2</sup> (п. 7.15 ТКП 45.-3.02-249–2011);

– не учитываются возрастные особенности детей при планировке и оснащении санитарно-техническим оборудованием туалетных помещений групповых ячеек;

– в старшей и подготовительной группах не предусматривается выполнение отдельных туалетных комнат для мальчиков и девочек.

Решением вышеперечисленных проблем может быть как реконструкция и модернизация существующих зданий детских дошкольных учреждений образования, так и строительство новых зданий с учетом современных норм и требований (ГНПА) и потребностей современного общества с быстроразвивающимися инновационными технологиями и подходами к образованию детей дошкольного возраста.

Примером в г. Гомеле может служить начало строительства первого в Беларуси дома со встроенным детским садом. Детский сад будет располагаться на первом этаже многоэтажного дома по улице Мазурова с собственной огражденной территорией и отдельным входом с обратной от входа в жилой дом стороны. Это необходимое условие, чтобы исключить пересечение потоков жителей дома и автотранспорта с воспитанниками детского сада и их прогулочным пространством с верандами и детскими площадками.

Насколько это удачный и эффективный вариант решения проблем существующих объемно-планировочных и конструктивных решений детских садов, покажет время. В настоящий момент остаются актуальными вопросы, насколько активная жизнедеятельность детей дошкольного возраста будет совместима с ритмом и режимом жителей этого же дома, т. е. решена ли проблема звукоизоляции. Естественно, еще на этапе проектирования был выполнен акустический расчет помещений детского сада, но детские прогулочные площадки и веранды будут находиться в непосредственной близости от окон жителей многоэтажки, поэтому, на наш взгляд, на сегодня этот вопрос остается открытым.

УДК 69.057:7

## **ЭКОНОМИЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Т. В. ЯШИНА, З. Н. ЗАХАРЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Возрастающая потребность в надежных инженерных сооружениях привела к применению в мировой строительной практике цементных композитов (бетонов, растворов) с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами. Композиционные материалы нового поколения отличаются от обычных наличием в своем составе высокоэффективных многокомпонентных добавок, в том числе полимерных и техногенного происхождения, способных модифицировать цементную систему в заданном направлении улучшения строительно-технических свойств.

Объектом исследования являлись композиционные строительные материалы: бетоны, растворы, мастики, шпаклевочные составы ремонтного назначения, модифицированные наполнителями и химическими добавками. Основные требования для строительных композитов, применяемых в транспортном строительстве, – надежность и долговечность – могут обеспечиваться повышенными плотностью, прочностью, морозостойкостью, износостойкостью, химической стойкостью бетонных и растворных смесей. Зарубежный опыт показывает, что более 70 % всего объема бетона укладывается с применением химических добавок. Несмотря на некоторое удорожание стоимости композитных смесей, применение добавок экономически оправдано из-за улучшения ряда технологических параметров и повышения эксплуатационных свойств.

Поиск путей ресурсосбережения и снижения себестоимости таких модифицированных экономических композитов является весьма актуальным.

В направлении ресурсосбережения и ускорения процесса проведения ремонтно-восстановительных работ эффективным является применения современных модификаторов – ускорителей твердения, позволяющих осуществить набор прочности бетоном через 36–72 часа и намного раньше распалубить забетонированную конструкцию (что также увеличивает оборачиваемость опалубки).

Существенное уменьшение расхода вяжущего одновременно с повышением строительно-технических свойств бетонных и растворных смесей, надежности и долговечности бетона может быть достигнуто сочетанием применения тонкодисперсных наполнителей и современных химических модификаторов, отличающихся эффектом гиперпластификации (позволяющих значительно снизить В/Ц, улучшить пластичность, плотность, однородность).



Применение микронаполнителей в сочетании с эффективной гиперпластификацией комплексными добавками позволила бы увеличить объем экономии вяжущих до 30–40 %, что, несомненно, привело бы к ощутимым эффектам в области ресурсосбережения.

Введение полимерных добавок в модифицированные бетонные, растворные, шпаклевочные составы на наполненном минеральным дисперсным наполнителем комплексном связующем, придает высокие адгезионные свойства к разным поверхностям: металлу, дереву, стеклу, бетону, керамике, повышает износостойкость, стойкость к техническим маслам, щелочам, нефтепродуктам, с которыми контактируют элементы конструкций на транспорте. Весь этот комплекс мероприятий по модификации позволит увеличить межремонтные периоды, сократить энерго- и трудозатраты, сроки производства ремонтно-восстановительных работ, будет способствовать экономии материально-технических ресурсов и повышению долговечности, надежности конструкций зданий и сооружений на транспорте.

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

---

УДК 656.072.23

### ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫЕ УЗЛЫ – ОСНОВА МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

*С. П. ВАКУЛЕНКО, Н. Ю. ЕВРЕЕНОВА*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Решение задач обеспечения дальнейшего экономического роста страны и повышения качества жизни населения требует значительного повышения эффективности функционирования транспортного комплекса, совершенствования методов и средств управления им. В связи с этим становится чрезвычайно важно грамотно и полно использовать потенциал городских транспортных систем и способствовать их постоянному развитию. Планировочная структура любого города нуждается в узловых элементах транспортно-общественного назначения, в которых осуществляется перераспределение транспортных потоков, пересадка пассажиров между различными видами городского пассажирского и внешнего транспорта. Система формирования и функционирования транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) включает в себя три уровня: федеральный уровень – ТПУ, входящие в транспортные коридоры РФ и особо выделяемые направления; региональный уровень – ТПУ регионов и агломераций; местный уровень – городские ТПУ.

Анализ нормативной и проектной документации, содержащей планировку существующих территорий ТПУ показал, что многие узлы не отвечают современным требованиям по обеспечению быстрой, безопасной и комфортной пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой. Большинство ТПУ не приспособлено для перемещения маломобильных групп населения. Для реализации планов и проектов реконструкции и формирования системы современных ТПУ необходима разработка единой нормативной документации, включающей обязательные требования к их составу, планировочным параметрам, пропускной способности отдельных объектов. В рамках Концепции формирования и развития мультимодальных ТПУ необходима проработка следующих ключевых вопросов:

- порядок определения границ ТПУ с учетом использования потенциала существующих проектно-планировочных решений;
- порядок определения состава ТПУ (по функциональным зонам, объектам и элементам) с учетом современных требований по обеспечению комфортных и безопасных условий при пересадке пассажиров на другие виды транспорта, а также прогнозируемого пассажиропотока;
- порядок определения оптимального размера и функционального состава коммерческих площадей для повышения инвестиционной привлекательности ТПУ;
- требования к благоустройству территорий ТПУ с учетом комплексных планов развития регионов их нахождения;
- формирование укрупненных технико-экономических показателей функционирования ТПУ;
- разработка методики выбора оптимального варианта формирования и развития ТПУ;
- порядок обоснования инвестиций в создание ТПУ.

Также необходимо особое внимание уделять функциональным, экономическим и технологическим аспектам их строительства, схемам взаимодействия с регионами. Нужно тщательно прорабатывать вопрос финансирования проектов создания и развития ТПУ на всех уровнях: федеральном, региональном и местном, учитывая бюджет государства, региона, города. При формировании ТПУ должен быть найден баланс между комфортом пассажира и доходами частных инвесторов. Так как создание ТПУ – социально важный проект, его реализация должна быть осуществлена на принципах государственно-частного партнерства.

В рамках программы развития транспортной инфраструктуры Московского региона реализуется проект, основными целями которого являются: перераспределение пассажиропотока для организации более равномерной загрузки транспортной системы Москвы, создание для пассажиров альтернативных вариантов осуществления поездок.

При формировании ТПУ Московской агломерации возможна планировка ТПУ в двух вариантах. Первый предусматривает создание «плоскостного» ТПУ со следующими мероприятиями: строительство и реконструкция в ТПУ объектов транспортного назначения («перехватывающие» парковки, отстойно-разворотные площадки, пассажирские платформы и т. д.); покрытие посадочных перронов навесами, защищающими пассажиров от атмосферных осадков; упорядочение объектов мелкорозничной торговли в ТПУ; создание пространственно-функциональной взаимосвязи между отдельными элементами ТПУ и т. д. Второй подход подразумевает строительство многоуровневых ТПУ, обеспечивающих комфортные условия пересадки с одного вида транспорта на другой (например, железная дорога – метрополитен) или в пределах транспортной сети одного вида транспорта (например, с одного железнодорожного направления на другое). Каждый уровень такого ТПУ имеет свою специализацию и объединяет все его основные элементы. Для обеспечения инвестиционной привлекательности такого объекта в составе ТПУ необходимо размещение коммерческих объектов. Вопрос размещения, состава и размера коммерческих площадей ТПУ должен прорабатываться с целью реализации основной его социальной задачи – обеспечения максимально комфортной пересадки пассажиров с минимальными затратами времени.

При формировании ТПУ для обеспечения удобной и комфортной пересадки пассажиров необходимо изменение существующего взаимного расположения устройств по обслуживанию пассажиров. Оптимизация структуры площадей в целях максимизации доходности ТПУ при одновременном выполнении условий удовлетворения потребности пользователей к обслуживанию позволит: определить необходимые размеры операционных площадей; увеличить до максимально возможного уровня доли коммерческих площадей; снизить до минимально необходимого уровня доли служебных площадей, выделенных для служб ТПУ и для организаций, занимающих территорию на безвозмездной основе.

Оценку эффективности планировочных решений, формируемых ТПУ и ТПК в Московской агломерации, можно провести с помощью имитационного моделирования на основе данных о пассажиропотоках методом многокритериальной системы оценок, в котором каждому критерию работы ТПУ и ТПК (длина очереди, общее время пересадки, кратчайшее расстояние пересадки, состав и размер проектируемых площадей ТПК и т. д.) присваивается коэффициент, который соответствует «весу» данного параметра в итоговом значении оценки эффективности рассматриваемого варианта.

Создание сети мультимодальных ТПУ улучшит уровень транспортного обслуживания мегаполиса; вызовет увеличение доли населения, пользующегося общественным транспортом; сократит время, затрачиваемое пассажирами на поездки, что позволит повысить уровень социального обслуживания жителей города Москвы и его пригородов, сделать их привлекательнее для финансовых вложений; улучшить экологию.

УДК 656.259.4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ГОРОДСКОЙ РЕЛЬСОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ СИГНАЛОВ**

*ВАН ЦЗИНЬЛАНЬ*

*Гуанчжоуский железнодорожный профессионально-технический колледж,  
Китайская Народная Республика*

*ЧЖАН ЧЖЭНСИНЬ*

*Пекинский информационный профессионально-технический колледж,  
Китайская Народная Республика*

*ВАН ЦЗЯНЬ*

*Пекинский университет транспорта, Китайская Народная Республика*

Городская рельсовая транспортная система сигналов характеризуется сложной структурой сети, различными уровнями безопасности, сложной конфигурацией сетевого управления, что вызывает необходимость разработки единой стратегии контроля и эксплуатационных требований безопасности, а также централизованного интеллектуального управления рисками по информационной без-

опасности. Поэтому проведение исследования в области информационной безопасности и технологии защиты городской рельсовой транспортной системы сигналов имеет очень важное практическое значение.

Проблема безопасности в области сигналов рельсового транспорта сосредоточена на уровне, называемом «Safety», который в соответствии с европейским стандартом EN50126 определяется как «freedom from unacceptable risk of harm». При этом следует также рассматривать в данном контексте и проблему информационной безопасности (Security), которой в последние годы активно занимается промышленный контроль, для выяснения причин аварий рельсового транспорта. Система сигналов рельсового транспорта имеет характеристики быстрого перемещения контролируемых поездов, управления распределением на большие расстояния управляющего оборудования и режима беспроводной связи между транспортным средством и землей. По сравнению со стандартными характеристиками статической проводной связи традиционной системы промышленного управления система сигналов рельсового транспорта более уязвима для целенаправленных атак извне и также имеет свою специфику и практические характеристики.

Следует отметить, что размещение оборудования рельсовой транспортной системы сигналов имеет различные характеристики из-за передачи информации на большие расстояния и расположения на разных станциях, центрах управления и т. п. Сетевая и системные сети не подключены к Интернету. Однако имеется проводной доступ к кабелю в любых местах, что делает сетевые атаки возможными, и в то же время, если работа системы, техническое обслуживание, управление не стандартизованы, неправильное использование мобильной памяти на терминале ПК также вызовет сбой в системе. Поэтому для обеспечения безопасности высокоскоростного движения поездов наземная сигнальная система и система сигналов транспортного средства должны обмениваться данными. Двусторонняя беспроводная передача, охватывающая всю линию, и полностью открытое пространство передачи приводят к множеству угроз информационной безопасности. Так, в процессе движения поезда большое количество данных, связанных с его безопасностью, передается в реальном времени между транспортным средством и наземным оборудованием и устройствами, что может привести к нарушению передачи сигнала и, как следствие, к техногенным авариям. В то же время в процессе движения поезда необходимо обрабатывать и управлять значительными массивами динамических и статических данных, что также является важным аспектом безопасности данных железнодорожной сигнальной системы.

Анализ структуры информационной безопасности рельсовой транспортной системы сигналов показал, что необходимо создать всеобъемлющую структурную систему (рисунок 1), включающую политику безопасности, управление безопасностью и технологии безопасности.

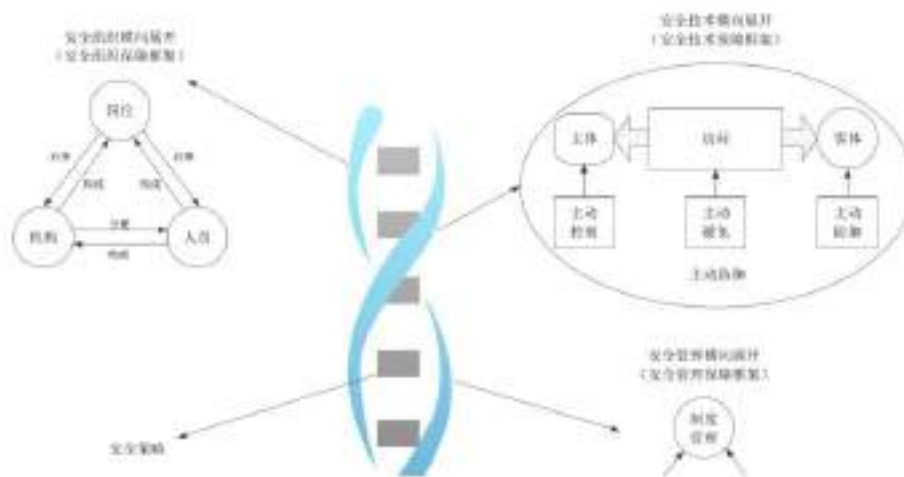


Рисунок 1 – Система структуры информационной безопасности рельсовой транспортной системы сигналов

Вышеназванные проблемы в процессе проектирования и применения аппаратного и программного обеспечения рельсовой транспортной системы сигналов пока еще не полностью изучены. При этом основная проблема при передаче сигналов, управлению ими и обслуживанию всё еще находится на уровне совместной работы безопасной эксплуатации (Safety) и других связанных с этим операционных целей (эффективность транзита, экономическая эффективность и т. д.). В настоящее

время не удалось установить полную эффективную линию безопасности конкретно для уровня информационной безопасности (Security). Кроме того, отсутствие соответствующих стандартов и норм в области информационной безопасности, недостаток соответствующего моделирования, тестирования и анализа условий окружающей среды еще больше усилили глубокие противоречия между нынешней постепенно возрастающей осведомленностью о безопасности (Security) и трудно выполнимыми условиями по её совершенствованию.

Структура информационной безопасности (см. рисунок 1) может непрерывно улучшаться, развиваться и удовлетворять требованиям мер безопасности с изменениями в применении рельсовой транспортной системы сигналов, постоянно обнаруживать новые проблемные факторы, приводящие к угрозам и рискам (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика требований по обеспечению безопасности

Классификационная градация структуры по обеспечению безопасности	Краткая характеристика
Организации	<ul style="list-style-type: none"> <li>– создание агентств безопасности информационных систем;</li> <li>– создание позиций безопасности в соответствии с требованиями безопасности системы;</li> <li>– обучение персонала по обеспечению безопасности и повышение его квалификации</li> </ul>
Технологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>– использование технологий аутентификации и авторизации, шифрования и защиты целостности;</li> <li>– проведение проверки подлинности и управление доступом;</li> <li>– шифрование информации для предотвращения ее раскрытия и несанкционированного использования информации</li> </ul>
Управление	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обеспечение системного и технического управления;</li> <li>– организация управления персоналом;</li> <li>– внедрение ряда внутренних правил и положений, а также стандартизация использования продуктов безопасных технологий;</li> <li>– проверка и оценка труда персонала по обеспечению безопасности и его обучение</li> </ul>

Помимо вышеизложенного необходимо улучшить защиту системы от атак посредством проверки и обнаружения вторжений, а также других средств, позволяющих выполнить оценку последствий и принятия мер по предотвращению ущерба. В связи с этим целесообразно выявить причины уязвимости информационной безопасности городской рельсовой транспортной системы сигналов, основанной на коммуникационной системе управления поездами CBTC (Communication – Based Train Control) и соответствующей стандарту IEEE1474, который определяет её функции с помощью подсистемы передачи данных DCS (Data Communication Subsystem) и позволяет осуществлять двустороннюю передачу данных большого объема между оборудованием поездов и железнодорожным оборудованием. Система CBTC состоит из трех частей: наземной кабельной сети, кабельной сети на поезде, сети беспроводной связи между транспортными средствами и землей (рисунок 2).

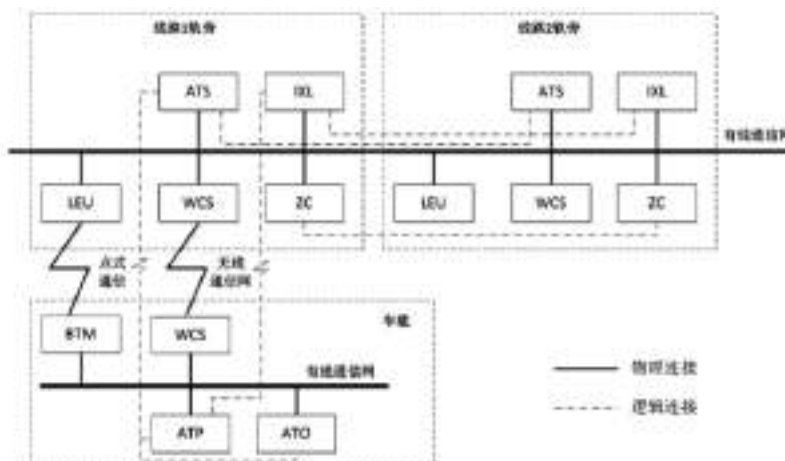


Рисунок 2 – Структура информационной безопасности рельсовой транспортной системы сигналов

Схема, приведенная на рисунке 2, позволяет центру управления вычислять и регулировать максимальное тормозное расстояние поезда согласно информации о скорости и местоположении в режиме реального времени для достижения непрерывного автоматического управления поездами. Рассматри-

ваемая система DCS – это широкополосная система связи, основанная на стандарте проводной сети IEEE802.3 и на стандарте беспроводной сети IEEE802.11g для использования беспроводной связи.

В связи с высокой пропускной способностью и благодаря технологии Ethernet проблема потери пакетов данных и место задержки системы СВТС в основном сосредоточены между транспортными средствами и землей. Тем не менее для обеспечения наблюдения в реальном времени, надежности и удобства использования связи сигнального оборудования в сети передачи данных сигнальной системы DCS не использованы меры для информационной безопасности, а также не обеспечена особая защита по характеристикам применения городских рельсовых транспортных сигналов. Открытость беспроводной сети и недостатки самого строения беспроводной сети приводят к тому, что в системе появляются риски, такие как вмешательство и атаки. Это становится самой большой угрозой информационной безопасности системы СВТС. Основными причинами этих рисков являются беспроводные помехи, отказ в обслуживании, беспроводное вторжение и беспроводной обман. Из-за популярности интеллектуальных терминалов и открытого источника инструментов беспроводных атак уязвимость беспроводной сети СВТС экспоненциально масштабируется.

Таким образом, существует немало проблем в таких аспектах, как стратегия защиты и механизм ее организации в информационной безопасности рельсовой транспортной системы сигналов. Поэтому авторами статьи предлагаются практические рекомендации, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Практические рекомендации в организации информационной безопасности

Направление	Краткая характеристика
Активная технология защиты	
Вертикальная стратификация	Разделение управления и контроля от сети
Горизонтальное разделение	Изоляция различных подсистем от сети
Пограничный контроль, внутреннее тестирование и демонстрация различных подсистем	Реализация внутреннего тестирования сетевого потока и тестирование для обнаружения вторжения в режиме реального времени
	Мониторинг оборудования, бизнес-процессов и т. п.
Двухсторонняя аутентификация системного улучшения	Многоуровневое раннее предупреждение и контроль рисков
	Защита информационной безопасности городской рельсовой транспортной системы сигналов
Технология контроля безопасности доступа к информации	
Ограничение несанкционированного использования системы сигналов доступа информации	Обеспечение эффективного использования и управления данными в пределах законодательства
	Идентификация и аутентификация личности, контроль прав и аудит безопасности
Проверка системных полномочий	Применение методов мониторинга, блокировки и аудита для анализа несанкционированной работы системы
Разделение системных прав	Минимизация и техническое применение проверки компетенции

Таким образом, интеграция новых сетевых технологий и технологий управления позволяет использовать программное обеспечение для определения сети SDN, делает возможным применение политики безопасности в различных сетевых устройствах для достижения управления безопасностью во всей сетевой связи. Поэтому при разработке интегрированной с контролем сигнальной системы нового типа обеспечивается высокий уровень безопасности дорожного движения и реализуется ее глубокая защита.

УДК 656.052 : 656.224

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В КРУПНЕЙШИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ ЕВРОПЫ В КОНЦЕ XIX–XX вв.

Т. А. ВЛАСЮК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

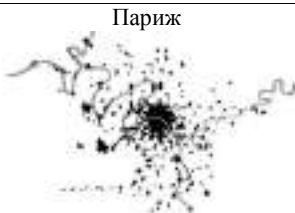



В Европе в конце XIX в. железнодорожный транспорт начал активно развиваться и связывал центр городов с пригородными районами, что способствовало росту числа промышленных предприятий в окрестностях городов и за их пределами. Например, в 1851–1867 годах в Париже была проложена сеть железных дорог для перевозки пассажиров и грузов, которая проходила через новые территории, присоединенные к Парижу в 1860 году. Появление маятниковой миграции произвело значительное воздействие на жизненный уклад населения и позволило «вырасти» не только

городам, но и их пригородам, а также окраинам. Низкие цены на землю, наличие железнодорожного транспортного сообщения стали приоритетными факторами расширения европейских агломераций. Так, в 1920 году был образован Большой Берлин, в который были включены восемь городов, 59 сельских общин и 27 поместий, что позволило увеличить городскую площадь Берлина с 6572 км до 87810 км [1–3, 7]. Интересен опыт Германии по освоению пригородных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте в начале XX в., который можно характеризовать как период освоения высоких скоростей при различных видах тяги.



Объединение Германии в конце XX века и, как следствие этого, изменение правовой, политической и социальной систем вызвало развитие и изменению функций городов, расположенных вокруг Берлина, а также региональных центров на пересечении железнодорожных линий, что позволило уменьшить функциональную нагрузку на город и привело к улучшению экологической обстановки внутри его. В последние годы промышленное развитие в Бранденбурге имеет выраженную региональную специфику, так как наиболее благоприятная ситуация складывается в округах, примыкающих к Берлину. Именно в Приберлинское кольцо правительством Германии выделяются инвестиции для финансирования строительства объектов рекреационной инфраструктуры, жилищного назначения, многочисленных и разнообразных торговых центров для жителей Берлина, что увеличивает «занятость на месте» и снижает трудовые поездки в центр [9–14].

Основные тенденции и особенности пригородных перевозок на железнодорожном транспорте в крупнейших агломерациях Европы в конце XIX и в XX в. приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Краткая характеристика пригородных перевозок на железнодорожном транспорте в крупнейших агломерациях Европы в конце XIX–XX в.

Временной период	Агломерация	Особенности пригородных перевозок
<i>Франция</i>		
Конец XIX–начало XX вв.	Париж 	Хаотичное развитие пригорода столицы
30-е годы XX в.		Формирование крупных транспортных систем (5 радиальных шоссе, связанные кольцевой дорогой, окружающей Париж на расстоянии 15–20 км от центра) Разработка Генерального плана (плана Проста) развития Парижского района для его «децентрализации»
Середина 50-х годов XX в.		Строительство на расстоянии 25 км от Парижа «новых городов» (или городов-спутников: Сержи-Понтуаз, Марн-ла-Валле, Сен-Кантен-ан-Ивелин, Эври, Мален-Синар)
1965 г.		Развитие городов-спутников
1966–1975 гг.		Открытие движения высокоскоростных поездов в железнодорожном тоннеле под проливом Ла-Манш
1994 г.		
<i>Великобритания</i>		
1825 г.	Стоктон 	Открытие первой железной дороги Стоктон – Дарлингтон (21 км)

Окончание таблицы 1

Временной период	Агломерация	Особенности пригородных перевозок
1830 г.	<p>Лондон</p> 	Строительство железной дороги Ливерпуль-Манчестер
Начало XX в.		Развитие пригородной зоны «внешним поясом» вокруг Лондонского графства
1917–1918 гг.		Кольцеобразное расширение Лондона
1940-е гг.		Субурбанизация
1950-е гг.		Разработка плана П. Аберкромби по организации пригородной зоны
		Создание новой пригородной зоны с 20 городами-спутниками («новые города», или new towns)
		Установление официальных границ конурбации
<i>Германия</i>		
XIX в.	<p>Берлин</p> 	Создание железнодорожного транспорта, связавшего центр и пригородные районы
1920 г.		Образование Приберлинского транспортного кольца, включающего восемь городов, 59 сельских общин и 27 поместий
1930-е гг.		Заселение окраинных районов и пригородной зоны Берлина
1965 г.		Принятие закона об организации пригородных территорий
1985 г.		Принятие Основной программной установки по территориальной организации, направленной на развитие инфраструктуры сельской местности и решение проблем развития агломераций

Следует отметить, что Берлин часто рассматривается как часть Берлинского региона, состоящего из федеральных земель Берлин и Бранденбург, в котором выделена область тесного взаимодействия Берлина и его периферии, так называемое «Приберлинское кольцо», состоящее из пограничных с Берлином районов федеративной земли Бранденбург и прочих более отдаленных от центра районов. В XIX в Берлин стал столицей империи и, продолжая официально оставаться в своих прежних границах, фактически «вышел» из них и слился с пригородом, что привело к постоянному миграционному потоку, часть которого расселялась в Приберлинском кольце [1–8].

В XXI веке исследование по развитию городов-спутников остается актуальным, как и в XX веке, при этом учеными и специалистами акцентируется внимание на учете влияния различных факторов, позволяющих рассматривать данный процесс в динамике исторического подхода.

Таким образом, выполненный анализ показал, что сложившаяся исторически взаимосвязь города-центра и его спутника в значительной степени основана на развитии железнодорожного транспорта, первые железнодорожные линии которого связали город-центр сначала с предместьями, а затем с другими городами, где быстро возникали промежуточные станции и остановочные пункты, что привело к стремительному освоению пригородов. Помимо этого, прослеживается попытка решить транспортные проблемы города – центра агломерации при помощи железных дорог путем устройства диаметров и глубоких вводов, а также разуплотнения города за счёт создания городов-спутников на железнодорожных магистралях и пригородных линиях.

#### Список литературы

1 Артоболевский, С. С. Крупнейшие агломерации и региональная политика: от ограничения роста к стимулированию развития (европейский опыт) / С. С. Артоболевский // Крупные города и вызовы глобализации. – Смоленск, 2003. – С. 261–271.



- 2 **Власюк, Т. А.** Особенности формирования пригородов стран США и Западной Европы / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2012. – № 1. – С. 62–67.
- 3 **Власюк, Т. А.** Формирование системы «железнодорожный транспорт – город-спутник» за рубежом в конце XIX – начале XX веков / Т. А. Власюк // Строительство и восстановление искусственных сооружений. Ч. 1. : матер. V Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2015.
- 4 **Власюк, Т. А.** Пригородные пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь (ретроспектива и развитие) : [монография] / Т. А. Власюк, А. А. Михальченко. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 201 с.
- 5 **Власюк, Т. А.** Развитие железнодорожного сообщения города-центра с его спутниками в агломерации / Т. А. Власюк // Маркетинг и логистика в системе менеджмента на железнодорожном транспорте : матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Киев, 2016.
- 6 **Власюк, Т. А.** Ретроспектива формирования и развития железнодорожного сообщения городов-спутников за рубежом / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 1. – С. 272–277.
- 7 **Власюк, Т. А.** Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте между городами-центрами и их спутниками в 30-е годы XX века / Т. А. Власюк // сб. научных статей государственного экономическо-технологического университета транспорта. – Вып. 37. – Киев, 2016.
- 8 **Власюк, Т. А.** Анализ влияния железнодорожного сообщения на процессы агломерирования в середине XX века в СНГ / Т. А. Власюк // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2.
- 9 **Власюк, Т. А.** Развитие городов-спутников с эффективным использованием железнодорожной инфраструктуры / Т. А. Власюк // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2017. – № 58.
- 10 **Вучек, В.** Транспорт в городах, удобных для жизни / В. Вучек. – М. : Территория будущего, 2011. – 576 с.
- 11 **Глазычев, В. Л.** Городская среда. Технология развития: настольная книга / В. Л. Глазычев, М. М. Егоров, Т. В. Ильша. – М. : Лада, 1995. – С. 73.
- 12 **Папворт, Д. Р.** Пассажирские перевозки в крупных городских агломерациях и их автоматизация / Д. Р. Папворт, У. У. Максвелл // Железные дороги мира. – 1979. – № 12.
- 13 **Пивоваров, Ю. Л.** Основы геоурбанистики: урбанизация и городские системы : учеб. пособие / Ю. Л. Пивоваров. – М., 1999. – 315 с.
- 14 **Перцик, Е. Н.** География городов. География мировой урбанизации / Е. Н. Перцик. – М. : Международные отношения. – 1999. – 375 с.

УДК 656.224.003

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ, СВЯЗАННЫМИ С ПАССАЖИРСКИМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

*В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный этап развития экономики железной дороги определяет необходимость активизировать внимание на управлении затратами, связанными с пассажирскими перевозками. При этом требуются детальные исследования особенностей функционирования, характерных отличий в технологии процесса перевозок пассажиров, существующих внутрихозяйственных экономических взаимоотношений и др.

Пассажирские перевозки играют важную роль в социальной и экономической жизни Республики Беларусь, а повышение эффективности их осуществления напрямую зависит от принимаемых решений по сокращению эксплуатационных расходов при перевозке пассажиров. При этом в составе показателей информационной базы, используемых в процессе принятия управленческих решений, обязательно должны присутствовать стоимостные оценочные показатели, такие как себестоимость пассажирских перевозок, дифференцированная в соответствии с условиями перевозок, затраты по формированию поездов, прицепке дополнительных вагонов и другие. Приведенные показатели могут быть получены только в результате расчетных действий с использованием разработанной методики определения каждого из перечисленных оценочных параметров.

Используемые сейчас на БЖД методики определения оценочных параметров для управления затратами при осуществлении пассажирских перевозок разработаны НИЛ ЭАМБНУ БелГУТа. Следует отметить, что происходящие изменения в экономике определяют необходимость постоянной корректировки основных положений методики.

Особенно серьезные исследования требуются при внесении корректировок в методику расчета показателей себестоимости пассажирских перевозок. Высокий уровень значения указанных пока-

зателей вызывает порой сомнения об их достоверности и реальности осуществления затрат при перевозке пассажиров.

Изучение опыта калькулирования себестоимости пассажирских перевозок на железных дорогах соседних государств показывает возможность внесения соответствующих корректив в методику проведения расчетов. Проведенные исследования позволили выявить возможность использования новых подходов к порядку включения расходов путевого хозяйства, а также хозяйств энергоснабжения, сигнализации и связи в состав эксплуатационных расходов, связанных с пассажирскими перевозками. С этой целью был проведен корреляционный анализ, который позволил выявить более тесные зависимости расходов указанных отраслевых хозяйств от других количественных показателей, характеризующих работу подвижного состава.

Проведенная апробация новых подходов к проведению расчетов показателей себестоимости пассажирских перевозок дала новые их значения, что соответственно должно изменить и последующие управленческие решения по организации пассажирских перевозок.

УДК 656.2

## **РАЗВИТИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ СЕБЕСТОИМОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

*В. Г. ГИЗАТУЛЛИНА, Д. Н. КУШНЕРОВ, Н. В. ЗДАНОВСКАЯ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Пассажирские перевозки играют важную роль в социальной и экономической жизни общества, обеспечивая потребности населения в перемещении по служебным надобностям, в места отдыха, по внутренним и международным туристическим маршрутам, в пригородных зонах больших и малых городов и др.

В настоящее время перед Белорусской железной дорогой стоит задача повышения эффективности работы пассажирского комплекса, под которым понимается система (совокупность) организационных (поездная бригада, локомотивная бригада, службы, отделы и др.) и технических объектов (пассажирский подвижной состав, инфраструктура и др.) с присущими ей функциональными связями, возникающими как в процессе организации (планирование, материально-техническое снабжение, разработка документации и др.), так и в процессе осуществления пассажирских перевозок (подготовка и экипировка вагонов, осуществление перемещения составов и др.).

Доля пассажирских перевозок в структуре приведенной работы железнодорожного транспорта Республики Беларусь составляет не более 20 %, при этом затраты на перевозки пассажиров достигают почти 50 % общей суммы расходов по перевозкам, а доходы не превышают 15 % доходных поступлений от перевозок. Доходы от перевозок пассажиров покрывают только половину эксплуатационных затрат, а оставшаяся часть субсидируется дорогой из доходов от грузоперевозок и других видов деятельности.

Себестоимость пассажирских перевозок более чем в три раза превышает себестоимость перевозки грузов. Превышение себестоимости пассажирских перевозок над грузовыми является экономической реальностью для всех железных дорог бывшего СНГ.

Однако точность и достоверность получаемых при калькуляционных расчетах показателей себестоимости пассажирских перевозок на определенных этапах развития экономики железной дороги может вызывать сомнения.

Необходимым условием для получения достоверных показателей себестоимости является наличие информации о затратах, связанных с пассажирскими перевозками, полученных не в результате распределительных расчетных действий, а на основании первичного учета.

В современной системе организации бухгалтерского учета эксплуатационных расходов есть возможность учесть только часть затрат, непосредственно связанных с пассажирскими перевозками. Большая же часть затрат может быть получена только на основании их распределения между видами перевозок.

Любое распределение всегда снижает точность получаемых показателей. Даже подбор самой экономически обоснованной системы показателей для распределения расходов не изменит подхода к оценке полученных результатов.

Весь научный мир занят поиском такой системы измерителей, корреляционная зависимость которой с расходами приближается к функциональной. И всё равно исходная информация, полученная не из первоисточников, а в результате расчетных действий, не позволит получить реального представления о величине себестоимости пассажирских перевозок.

Единственно верный путь – учитывать только прямые расходы, т. е. те, что получены из первичного учета затрат.

Нынешний этап развития экономики железной дороги создает благоприятные условия для такого подхода при расчетах показателей себестоимости пассажирских перевозок.

Необходимость предоставления услуг инфраструктуры вызывает потребность выделения расходов, связанных с их оказанием. Проведенные НИЛ ЭАМБНУ БелГУТа исследования состава затрат, связанных с оказанием услуг инфраструктуры, позволили наполнить их конкретным содержанием. В состав расходов по новому виду услуг входят расходы хозяйств пути, сигнализации и связи, энергоснабжения и некоторые другие. Данная группа расходов при расчете себестоимости пассажирских перевозок как раз и является распределяемой, что и снижает точность получаемых показателей себестоимости.

Поэтому задачей калькуляционных расчетов сегодня является выделение затрат, связанных с инфраструктурой и последующее калькулирование себестоимости одной услуги в отношении грузового и пассажирского движения.

А себестоимость пассажирских перевозок в окончательном виде будет сформирована из двух составляющих: первая – рассчитанная на основании прямых расходов; вторая – на основании рассчитанных расходов по инфраструктуре.

Согласно данному методическому подходу к определению показателей пассажирских перевозок значительно сократится процесс расчетных распределительных действий, а значит, и повысится их достоверность.

#### Список литературы

1 Гизатуллина, В. Г. Себестоимость железнодорожных перевозок и тарифы : учеб. пособие / В. Г. Гизатуллина, Е. В. Бойкачева. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 301 с.

2 Гизатуллина, В. Г. Методологические подходы к формированию расходов и себестоимости услуг инфраструктуры железнодорожного транспорта : [монография] / В. Г. Гизатуллина, Н. В. Здановская. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 233 с.

3 Методические указания по калькулированию расходов по услугам железнодорожного транспорта, группировке расходов, относящихся к зависящим от объемов перевозок на Белорусской железной дороге : утв. приказом от 02.06.2016 № 167Н / Белорусская железная дорога. – Минск, 2016. – 450 с.

УДК 656.211.1/2:658.345

## БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ

*А. К. ГОЛОВНИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожные пассажирские станции должны функционировать в гарантированно безопасном режиме, обеспечивающем защиту здоровья и жизни людей, которые пользуются услугами железнодорожного транспорта. В условиях возникающих террористических угроз пассажирские станции и вокзалы представляют особую опасность как территория с высокой плотностью пассажиров, что может привести к значительным жертвам при террористической атаке. Реальные события показывают, насколько разрушительными могут быть подобные прецеденты, возникающие на железнодорожных станциях мира (Мадрид, Мумбаи, Лондон, Волгоград). Высокая плотность пассажиропотоков на посадочных платформах и вокзальных помещениях, постоянные передвижения пассажиров способствуют неконтролируемым действиям деструктивных элементов, которые в быстро перемещающемся потоке пассажиров могут совершить террористический акт. Развитие

на базе пассажирских станций перспективных процессинговых узлов, выполняющих функции культурных, развлекательных, бизнес-центров, которые способны привлечь не только пассажиров, но и туристов, бизнесменов, приведет к особо серьезным проблемам, связанным с обеспечением безопасности людей.

Пассажирские станции следует рассматривать как потенциальные объекты повышенного внимания со стороны деструктивных лиц и организаций по двум важным позициям:

1) выведение из строя пассажирской станции как структуры транспортного узла, которое может привести к целой цепи негативных последствий в жизнеобеспечении города и промышленности целого региона;

2) создание на станции исключительных ситуаций, являющихся причиной гибели и увечий значительного числа людей, которое приводит к массовой панике и устойчивому негативному психологическому эффекту среди широкого круга населения.

Наличие обособленных мер защиты (камер слежения, множественных пропускных пунктов) не может гарантировать полную защиту пассажиров от подобного рода негативных явлений. Только применение системных мер, учитывающих специфику работы пассажирских железнодорожных станций, позволит значительно повысить общую безопасность работы таких важных объектов. Уязвимость пассажирских станций трудно исключить, ограничивая плотность и интенсивность движения пассажиропотоков. Такая мера приведет к нарушению технологического процесса обслуживания пассажиров на станции, вызывая многочисленные задержки, ожидания и, как правило, хаотичность и неупорядоченность, присущие толпе. При этом создаются дополнительные предпосылки для возникновения психологической дестабилизации, что также может быть использовано деструктивными элементами в неблагоприятных целях.

Имидж железнодорожного транспорта как безусловно надежного и гарантировано безопасного в современных условиях должен строиться на позициях тотального и скрытого контроля на объектах пассажирской станции за любым перемещением лиц с целью намерений совершить любого рода правонарушения. Важной характеристикой пассажирской транспортной системы в этом отношении должен стать *контур безопасности*, который образует своеобразный защитный кордон, препятствующий несанкционированному проникновению посторонних лиц и деструктивных сигналов. Рассматривается возможность создания трех поясов контроля, способных ограждать пассажирскую станцию от различных проникновений с дестабилизирующими целями.

1 Пояс контроля физического проникновения, разворачиваемый на подходе к территории пассажирской станции и представляющий собой системы визуального сканирования всех прибывающих на станцию и их ручной клади. Защитное ограждение по всему периметру территории станции и комплекс сканирующих устройств устанавливаются на расчетных точках подхода пассажиропотоков к станции, а также по всем служебным проходам. Сканирование производится в фоновом режиме с детальным досмотром на следующем контрольном пункте подозрительных лиц, у которых выявлено наличие опасных или скрытых предметов. Кроме того, сканирующие устройства обеспечивают идентификацию по базе данных и распознавание разыскиваемых лиц, пересекающих пояс контроля с последующим задержанием их правоохранительными органами.

2 Пояс контроля информационного проникновения, представляющий собой электромагнитную защиту от несанкционированного воздействия внешних сигналов на работу технических средств пассажирской станции, а также на других людей с целью изменения их поведения в деструктивном направлении.

3 Пояс полного внутреннего контроля, дополняющий и дублирующий защитные функции двух первых поясов и располагаемый непосредственно на объектах пассажирской станции (платформах, вокзальных помещениях) и в поездах.

Безопасное функционирование пассажирской станции с предотвращением террористических атак становится возможным при планомерной организации защитных и упреждающих мер на всех трех поясах безопасности. Защитные меры связываются с развертыванием комплекса инженерных средств интеллектуального уровня в поясе полного внутреннего контроля. Упреждающие меры обеспечивают периметрический кордон безопасности на границах пассажирской станции. Контрольный периметр может быть расширен до сферического купола безопасности с установкой технических средств, сканирующих всё пространство над и под пассажирской станцией.

В условиях значительных по величине потоков пассажиров и достаточно высокой их подвижности потребуются большие затраты на технические средства контроля, способные обеспечить гарантиро-

ванную защиту пассажиров от различных деструктивных действий третьих лиц. На станциях должны быть разработаны и утверждены соответствующие инструкции, регламентирующие поведение должностных лиц в условиях опасности и возникновения террористической атаки. При этом важно воспитывать высокую сознательность всего населения страны, являющегося потенциальными пассажирами транспорта. Такая сознательность может стать еще одним защитным контуром, предотвращающим серьезную угрозу человеческой жизни, какой являются различные проявления терроризма.

УДК 811.112.2

## АНАЛИЗ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛЕКСИКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПЕРЕВОДА С НЕМЕЦКОГО ЯЗЫКА НА РУССКИЙ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Н. А. ГРИШАНКОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для обеспечения безопасности пассажирских перевозок инженерным кадрам необходимо знание зарубежного опыта по данному направлению, что требует изучения, накопления лексических единиц и усвоения речевых образцов. При этом информационная нагрузка нового слова частично снимается за счет развития потенциальных лексических знаний студента, впоследствии – инженера. В связи с этим необходимой основой для развития навыков технического перевода является знание средств словообразования.

В свете вышеизложенного особое значение приобретает методически правильная организация учебных материалов, используемых для расширения и закрепления лексических знаний обучаемого. Решение названной проблемы невозможно без разработки ряда частных вопросов, в том числе без лингвистического анализа текста как источника информации.

Термины, в зависимости от их структуры, можно разделить на простые, сложные и составные. В настоящее время в немецком языке широко используются сложные терминологические единицы, дифференция и уточнение понятия в которых происходит путем развертывания простого термина с помощью определяющих компонентов. В связи с этим особое значение приобретает изучение простых терминов (корневых и производных слов) и, соответственно, изучение специализации словообразующих аффиксов и терминологии.

Статистический анализ позволил выделить наиболее распространенные словообразовательные модели терминов (таблица 1).

*Таблица 1 – Статистический анализ словообразовательных моделей*

Словообразовательные модели терминов	Количественное соотношение, %
Двухкомпонентные	47
С тремя, четырьмя компонентами и более	18
Производные существительные с суффиксами:	
-ung	29
-heit, -keit	3,5
-tion	1,7
-er	0,8

Установлено, что сложным терминам немецкого языка соответствуют различные словосочетания в железнодорожной терминологии русского языка. Например, Zugbeeinflussung, f – автостоп, поездная автоматическая регулировка; Zugbegleiter, m – проводник; Verkehrssicherheit, f – безопасность движения. Понимание и перевод производных и сложных терминов осуществляется на основе их анализа, выявления связей между компонентами, понимания узкого и широкого контекста, знания реалий и др. Трудность заключается в различной мотивированности терминов в немецкой и русской железнодорожной литературе, в степени совпадения или переосмысления связей между компонентами слова. Например, Schnellfahrabschnitt, m – отрезок железной дороги для скоростного движения; Fahrgastaufkommen, n – пассажироперевозки; Gefahrenbremsung, f – экстренное торможение.

В зависимости от «прозрачности» семантической структуры и степени выводимости значения термины подразделяются на три группы (таблица 2).

Таблица 2 – Группы семантических структур

Группа	Семантическая структура компонентов термина	Пример
I	Значение не меняется	Lokalzug, m – местный поезд; Zugbewegungsrichtung, f – направление движения поезда;
II	Один из компонентов меняет (или теряет) свое значение	Korfbahnhof, m – конечная станция; Führerhaus, n – кабина машиниста
III	Отсутствует русский эквивалент либо толкование термина вызывает трудность	Zug-Tisch, m – график движения; Kombizug, m – контрейлерный поезд; маршрутный поезд для перевозки контейнеров

При переводе научно-технической литературы по железнодорожному транспорту часто встречаются термины, которых нет в словарях. Объясняется это новыми исследованиями, достижениями в науке и технике, различием в технических средствах на транспорте разных стран и т.д.

Для обучения студентов приемам раскрытия значения терминов при чтении специальной литературы на кафедре славянских и романо-германских языков БелГУТа изданы терминологические словари по специальностям, которые организованы по гнездовому принципу на основе отбора наиболее частотных и продуктивных слов и словообразовательных элементов [1–5]. В основе гнезда лежит определенный корневой термин, вокруг которого в алфавитном порядке располагаются производные и сложные термины. Словарь облегчает студентам, соискателям, магистрантам и аспирантам чтение специальной литературы, помогает выработать умение самостоятельно раскрывать значение терминов, способствует не только расширению словарного запаса, но и развитию языковой догадки. Если обучаемый не понимает связи данного сложного (производного) термина с корнем, то при гнездовом способе организации лексики эта связь определяется по окружающим словам. В контексте возможности понимания терминов значительно расширяются.

Обучение приемам раскрытия значения терминов на основе гнездового принципа и контекста является одним из условий создания потенциального терминологического словаря, снимает боязнь перед незнакомым словом. Постепенно формируется умение опознавать термины по модели, по формальным признакам, вырабатываются обобщенные ассоциации между признаком и значением слова, активизируется устойчивый навык понимания терминов при самостоятельном чтении литературы по специальности.

#### Список литературы

- 1 Гришанкова, Н. А. Немецко-русский и русско-немецкий словарь-минимум / Н. А. Гришанкова. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 20 с.
- 2 Основные понятия и определения на железнодорожном транспорте : словарь-справочник по изучению железнодорожной терминологии на рус., англ., нем., фр. и исп. языках / Д. В. Захаров [и др.] ; под ред. Н. А. Гришанковой – Гомель : БелГУТ, 2016. – 76 с.
- 3 Терминологический словарь-справочник по транспортной логистике (на рус., англ., нем. и фр. языках) / И. А. Еловой [и др.] – Гомель : БелГУТ, 2011. – 167 с.
- 4 Краткий французско-русский словарь по специальности «Коммерческая деятельность» / сост. Н. А. Гришанкова. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 106 с.
- 5 Шлык, Т. В. Французский язык: толковый словарь терминологии сферы телекоммуникационных технологий / Т. В. Шлык – Гомель : БелГУТ, 2010. – 100 с.

УДК 656.022.8

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

*М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, Е. А. ФЁДОРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Повышение эффективности транспортного комплекса железнодорожного транспорта в сфере пассажирских перевозок связано с повышением его клиентоориентированности за счет реализации логистических схем доставки клиентов «от двери до двери». Такие схемы предполагают вовлечение различных видов транспорта в интермодальные перевозки и, соответственно, переход от прямой конкуренции к взаимовыгодному сотрудничеству, что приводит к синергетическому эффекту для пассажирского комплекса в целом. Четкое и наиболее полное взаимодействие видов транспорта по

согласованным расписаниям с минимальным временем нахождения пассажиров в пунктах пересадок, максимальным уровнем надежности перевозки, хорошей информированностью пассажиров, унификацией проездных документов достигается при создании интермодальных транспортных систем (ИТС) в пассажирском сообщении. ИТС являются одним из важнейших направлений маркетинговой политики пассажирского комплекса в условиях реформирования железнодорожного транспорта и повышения доходности пассажирских перевозок.

Целями организации интермодальных пассажирских перевозок являются: повышение мобильности (подвижности) населения; повышение безопасности перевозок пассажиров; обеспечение большей свободы передвижения и доступа к услугам качественной единой транспортной системы; снижение общей стоимости перевозок и привлечение за счет этого дополнительных пассажиров; социальное и экономическое развитие крупных городов и отдельных регионов.

В зависимости от потребности в транспортном обслуживании логистические схемы смешанных перевозок с участием железнодорожного и автомобильного транспорта подразделяются по длительности и периодичности их функционирования:

- на постоянные – предназначенные для организации перевозочного процесса стабильных социально значимых сегментов пассажиропотока и функционирующие в течение всего года на отдельных маршрутах;
- сезонные – для обслуживания сезонного пассажиропотока (дачников, учащихся и др.) совершающего поездки в зависимости от времени года (сезона), режима работы предприятий, учебных заведений и других сезонных условий и факторов;
- туристские – для организации перевозок туристических групп к объектам историко-культурного наследия и иным достопримечательностям;
- периодические – организуемые на определенный период времени, например, на период предоставления технологического «окна» с закрытием перегона для движения поездов либо на период проведения различных культурно-массовых мероприятий;
- разовые – формируемые под отдельную перевозку, запланированную или носящую оперативный характер (например, при возникновении форс-мажорных обстоятельств).

Привлечение автомобильного транспорта к работе на маршруте смешанной перевозки может осуществляться посредством изменения или усиления маршрутов регулярного автомобильного сообщения, организацией заказных пассажирских перевозок автомобильным транспортом (где заказчиком перевозки будет выступать железная дорога на договорной основе), посредством аренды автобусов.

Перечислим возможные виды организации перевозки пассажиров в смешанном сообщении железнодорожным и автомобильным транспортом применительно к условиям транспортного обеспечения населения Республики Беларусь.

1 Обслуживание районов, не охваченных инфраструктурой железных дорог. Такие схемы смешанных перевозок организуются для обеспечения связи населенных пунктов с незначительной численностью населения (или районов города) с железнодорожной инфраструктурой. Кроме этого, следует рассматривать варианты организации периодических и разовых схем, предназначенных для поездок к памятным местам; местам массовых народных гуляний, организуемым городской или областной администрацией, а в периоды религиозных праздников – к местам захоронения близких, в монастыри, церкви и т. д. Отдельно следует выделить пассажирские туристические перевозки, осуществляемые по достопримечательностям Республики Беларусь.

2 Обслуживание районов, охваченных инфраструктурой железных дорог, но с незначительным пассажиропотоком реализуется через соединение участков обращения поездов городских линий / региональных эконом-класса автомобильным сообщением и сокращение режима стоянок поездов межрегиональных линий эконом-класса с передачей пассажиропотока на автомобильный транспорт по станциям, исключаемым из режима стоянок.

На всех направлениях пригородного движения наблюдается неравномерность пассажиропотока по величине. На многих крупных станциях и остановочных пунктах наблюдается резкий перелом в размере пассажиропотока: его снижение или увеличение в зависимости от направления движения. Большой пассажиропоток, как правило, наблюдается вблизи крупных городов и административных центров. После станции перелома пассажиропотока использование транспортного средства большой вместимости, как правило, становится нерациональным. Поэтому для повышения эффективности использования подвижного состава на направлениях с ярко выраженным перепадом густот пас-

сажиропотока следует организовывать логистические схемы с использованием транспортных средств различной вместимости. Например, пассажиров пригородных поездов после станций массовой высадки (станции с резким перепадом густоты пассажиропотока) можно развозить автобусами или маршрутными такси.

3 Обеспечение связи столицы с областными центрами и крупными городами при развитой инфраструктуре автомобильного транспорта в условиях низкой скорости железнодорожного сообщения в сравнении с автомобильным либо отсутствия (нехватки) пропускной способности железных дорог.

4 Обслуживание жилых районов и/или промышленных зон (трудова миграция), а также городов-спутников. Развоз населения автомобильным транспортом осуществляется на незначительные расстояния (в пределах жилого района либо промышленной зоны). Данный вид обслуживания приобретает наибольшую актуальность в связи с увеличением дальности поездки пригородных пассажиров в областные центры по причине отсутствия рабочих мест непосредственно в пригородах крупных городов.

5 Обеспечение транспортных связей железнодорожного и авиационного транспорта.

Вынужденное расположение аэропортов на большом расстоянии от центров городов делает доступ к аэропортам всё более затруднительным из-за усиления интенсивности автомобильного движения, что повышает привлекательность комбинированной транспортной схемы «поезд – автомобильный транспорт – самолет», которая способствует привлечению авиапассажиров аэропорта, которые предпочтут поездку на предоставленном по единому билету автотранспорте услугам такси.

6 Взаимодействие сопредельных железнодорожных администраций при отсутствии прямого межгосударственного железнодорожного сообщения.

Все описанные выше логистические схемы могут быть дополнены и расширены с учетом местных особенностей каждого региона, особенностей структуры пассажиропотоков и маршрутов их следования. Однако стоит отметить, что структура и размеры пассажиропотока в Республике Беларусь обладают всеми необходимыми предпосылками для организации интермодального взаимодействия видов транспорта, и в ряде регионов существуют все условия для внедрения и организации интермодального взаимодействия транспортных систем железнодорожного и автомобильного транспорта в пассажирском сообщении.

УДК 656.224(530)

## **КОНЦЕПЦИЯ «НОВОГО ШЕЛКОВОГО ПУТИ»: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ, ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ПАССАЖИРСКОГО СООБЩЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Ю. И. КУЛАЖЕНКО, Т. А. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В 2013 г. Правительство Китайской Народной Республики выдвинуло глобальную концепцию «Нового шелкового пути» (НШП), адаптированную к условиям XXI века и получившую название «Один пояс – один путь», в рамках проекта «Евразия», согласно которому предполагается строительство высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) для организации высокоскоростных грузовых и пассажирских перевозок между Китаем и Европейским Союзом. Проект включает в себя 6 законодательных директив, регулирующих Единую европейскую железнодорожную зону.

Республика Беларусь в этом проекте выделена как ключевая платформа, благодаря выгодному географическому расположению, где пересекаются торговые пути между Россией и странами Евросоюза, что позволяет рассматривать высокоскоростное пассажирское движение на железнодорожном транспорте, в том числе и по территории Беларуси, например, на участке Москва – Брест, так как расположенная между Азией и Европой, Беларусь фактически является мостом между Евразийским экономическим союзом и Европейским союзом.

Общая протяженность ВСМ «Евразия» в пределах Евразийского экономического сообщества (на участке Брест – Достык) составляет 4851 км. Прогнозные объемы пассажирских перевозок при условии полного запуска проекта ВСМ «Евразия» в 2030 г. составят около 20,5 млн человек в год



(в том числе около 17 млн пассажиров на направлениях ВСМ по России и ЕврАзЭС), а к 2050 г. могут достичь более 36 млн чел. Этот пассажиропоток, согласно экспертным оценкам, может быть увеличен на полмиллиона человек, которые ежегодно отправляются в Европу из Беларуси. Согласно статистическим данным численность организованных туристов и экскурсантов, выезжающих за рубеж из Беларуси, составляет от 500 тыс. до 700 тыс. человек в год, и такая ситуация является устойчивой тенденцией для туристического рынка Республики Беларусь на протяжении многих лет. По оценкам Белстат, объем выездного потока с 2013 по 2017 гг. составляет более 9 тыс. поездок. При этом в течение 10 последних лет наблюдается рост числа поездок граждан Республики Беларусь за границу в среднем на 6 %. Географическое положение исторического формирования и развития транспортных коммуникаций позволяет Беларуси быть международным транзитным коридором, связывающим государства Запада и Востока, регионы Балтийского и Черноморского морей. С данными транзитными потоками связан существенный потенциал спроса на транспортные услуги в рамках кратковременных программ туристско-экскурсионного обслуживания. Ежегодно по данному коридору Беларусь пересекает около 4,5 млн человек по железной дороге, которые также следует рассматривать как определенный потенциал для развития высокоскоростного движения проекта НШП [8].

Следует отметить, что Белорусской железной дороге поступило предложение от ОАО «РЖД» присоединиться к разработке технико-экономического обоснования проекта и в настоящее время начато формирование проектных рабочих групп, в которых помимо России, Беларуси и Казахстана будет участвовать китайская сторона. Общая стоимость проекта, по оценкам российских экспертов, составляет 118 млрд дол. Стоимость участка на территории Беларуси Красное – Брест может составить 14,2 млрд дол. Скорость движения по новой железной дороге пока окончательно не определена. Формально закладывается скорость по высокоскоростной железнодорожной магистрали до 360 км/ч. При этом поездка из Пекина в Гамбург на самом скоростном поезде, таком как Синкансен или TGV, займет 36 часов.

На рисунке 1 приведена схема транспортных магистралей Нового шелкового пути из Урумчи в Европу, в том числе и по территории Беларуси.



Рисунок 1 – Схема транспортных магистралей Нового шелкового пути из Урумчи в Европу

Следует отметить, что на настоящий момент в мировой практике накоплен более чем 50-летний опыт высокоскоростного движения на железнодорожном транспорте, благодаря которому железные дороги многих стран получили в XXI веке «второе дыхание» после некоторого спада в прошлом столетии. Впервые в мире идея высокоскоростного железнодорожного движения была реализована в Японии между городами Токио и Осака, где в 1964 г сдана в эксплуатацию высокоскоростная магистраль Токайдо протяженностью 516 км. При этом максимальная скорость движения на новой линии составляла 210 км/ч, а время нахождения в пути следования – 3 часа 10 мин. В Европе в 1976 г. общество железных дорог Франции (SNCF) приступило к строительству высокоскоростной магистрали Париж-Лион, а в сентябре 1981 г. на этой линии введен в эксплуатацию высокоскоростной поезд TGV, развивавшего скорость до 270 км/ч, что позволило установить взаимосвязи Парижа с юго-восточными районами Франции. Работа по созданию высокоскоростных железнодорожных

магистралей ведется практически на всех континентах. При этом развитие высокоскоростного железнодорожного движения за рубежом шло в основном по трем направлениям (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Основные направления развития высокоскоростного железнодорожного движения за рубежом

Страна	Основные направления
Великобритания, Германия	Совершенствование конструкции подвижного состава и усиление верхнего строения пути
Франция, Италия	Строительство скоростных линий, являющихся продолжением существующей железнодорожной сети
Япония	Строительство высокоскоростных магистралей, изолированных от имеющихся железнодорожных путей

Современная концепция развития высокоскоростного движения предусматривает сооружение высокоскоростных магистралей с реализацией допускаемых скоростей от 350 до 400 км/ч параллельно наиболее загруженным направлениям на отдельном полотне и только для пассажирского движения. При этом основополагающим принципом является совместимость с существующей железнодорожной сетью. Проектирование и строительство высокоскоростных магистралей в мире приобретает всё большие масштабы, и их эксплуатация приносит железным дорогам значительные доходы, обеспечивает высокий уровень рентабельности и быструю окупаемость капиталовложений с минимизацией антропогенного воздействия на окружающую среду. Благодаря скорости обслуживания и высокой скорости движения они составляют серьёзную конкуренцию другим видам транспорта, сохраняя при этом низкую себестоимость перевозок при большом объёме пассажиропотока, как показывает опыт КНР, где имеется наибольшая в мире сеть скоростных и высокоскоростных железных дорог, превышающая таковые в Японии и Европе вместе взятые. Скоростные и высокоскоростные дороги Китая включают: модернизированные обычные железнодорожные линии, новые линии, построенные специально для движения высокоскоростных поездов, а также первые в мире коммерческие линии для движения поездов на магнитной подушке. В настоящее время общая протяженность таких дорог в КНР составила более 14400 км, включая участки, длиной 7268 км, с максимальной скоростью движения поездов 350 км/ч.

Сегодня высокоскоростные поезда ещё не достигли скорости пассажирских реактивных самолётов – 950 км/ч, что позволяет пассажирам на воздушном транспорте добраться из города в город быстрее, чем на поезде. Однако учитывая, что большинство аэропортов находится далеко от центров городов (из-за обширной инфраструктуры и высокого шума от самолетов), дорога до них быть довольно долгой. Помимо этого, довольно продолжительное время (не менее 1 часа) занимает регистрация перед посадкой, а также накладные расходы на взлет и приземление. В свою очередь, высокоскоростные поезда могут отправляться с центральных вокзалов городов, а время от покупки билета до отправления поезда может занимать около 15 минут. Таким образом, разница во времени позволяет поездам иметь некоторое преимущество перед воздушными судами. Например, во Франции, в начале 80-х гг. прошлого века введена в эксплуатацию первая линия Юго-Восток TGV, на которой поезда TGV (Train a grande vitesse) могли развивать скорость до 270 км/ч, а в конце 80-х гг. – на скоростной пассажирской магистрали Париж – Атлантик, скорость движения поездов (TGV-A) доведена до 300 км/ч. Южная часть этого коридора стыкуется с аналогичной линией в Испании, а северная часть высокоскоростной дороги присоединяется к скоростным магистралям Голландии, Германии, Бельгии и Англии (через пролив Ла-Манш).

Сравнение общего времени поездки на различных видах транспорта показало, что до определенного расстояния общее время поездки на поезде будет меньше, чем на самолёте. Следовательно, замена авиасообщения между городами на высокоскоростное железнодорожное сообщение, позволяет освободить значительное количество летательных средств, что значительно экономит дорогое авиационное топливо и снижает нагрузку на аэропорты. Стоит отметить, что с вводом высокоскоростного сообщения произошёл значительный отток пассажиропотока с внутренней авиации на железнодорожный транспорт, из-за чего авиакомпании были вынуждены либо сокращать число таких авиарейсов, либо привлекать пассажиров снижением стоимости билетов и ускорением обслуживания [2–5].

Таким образом, выполненный анализ показал, что совершенствование организации перевозок пассажиров и их обслуживания рассматривается на железнодорожном транспорте в качестве одной из приоритетных задач. Ее решение направлено, в первую очередь, на сокращение расходов и повышение доходности пассажирских перевозок путем наибольшего привлечения пассажиров.

В условиях усиливающейся конкуренции между различными видами транспорта необходима реализация мероприятий, связанных с повышением качества железнодорожных пассажирских перевозок и, прежде всего, сокращения времени в пути следования за счет высокоскоростного движения.

#### Список литературы

- 1 Власюк, Т. А. Пригородные пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь (перспектива и развитие) : [монография] / Т. А. Власюк, А. А. Михальченко. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 201 с.
- 2 Лapidус, Б. М. Железнодорожный транспорт на современном этапе : сб. тр. ВНИИЖТ / Б. М. Лapidус; под ред. Б. М. Лapidуса, Г. В. Гогричани. – М. : ВМГ-Принт, 2014. – 292 с.
- 3 Якунин, В. И. В будущее России – с высокой скоростью : [монография] / В. И. Якунин. – М. : Научный эксперт. – 2012. – С. 21–23, 46–49.
- 4 Киселёв, И. П. Высокоскоростные железные дороги / И. П. Киселёв, Е. А. Сотников, В. С. Суходоев. – СПб. : ПГУПС. – 2001. – С. 16–38.
- 5 Высокоскоростные поезда мира / под ред. И. П. Киселева // ЖД-Коллекция. – 2002. – № 4. – С. 11–17.
- 6 Франк, С. О. Международные коридоры путь интеграции России с Европой и Азией / С. О. Франк // Северо-Западный федеральный округ (спец выпуск). – 2004. – С. 7–8.
- 7 Харина, Е. В. Скоростное и высокоскоростное движение: оценка затрат / Е. В. Харина // Железнодорожный транспорт. – 2002. – № 11. – С. 64–67.
- 8 Ленский, И. Л. Железные дороги: будущее за скоростями / И. Л. Ленский // Большая Москва. – № 28 (59). – 29 июля 2015.
- 9 Организация высокоскоростного сообщения (экономическая оценка применения государственно-частного партнёрства на направлении Москва – Самара / П. В. Куренков [и др.] // Вестник транспорта. – 2011. – № 1. – С. 28–34.

УДК 625.42(500)

### СИСТЕМА TCDS 3-Й ЛИНИИ МЕТРОПОЛИТЕНА Г. ШЭНЬЧЖЭНЬ И ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

*ЛИ ЖУЙЖУН*

*Гуанчжоуский железнодорожный профессионально-технический колледж,  
Китайская Народная Республика*

*ВЭНЬ ЧЖИЦЗЯН*

*Shenzhen Metro Group, г. Шэньчжэнь, Китайская Народная Республика*

Система контроля и диагностики поезда (TCDS) 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь состоит из трех уровней: контроля над поездом, двигателем и локальной шиной. С помощью статистики неисправностей ключевого оборудования системы контроля и диагностики поезда 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь были проанализированы основные причины неисправности системы TCDS и предложены меры по их устранению. Это позволило повысить эффективность системы TCDS ее надёжность и безопасность при движении поезда и снизить частоту неисправностей.

Система контроля и диагностики поезда – система компьютерной связи, занимающаяся считыванием, передачей корреспонденции, логическим вычислением данных и управлением выводом информации подсистемы и соответствующей контрольной цепи поезда. Данная система способна обеспечивать контроль в реальном масштабе времени и идентифицировать информацию о ее состоянии на основании энергоснабжения, скорости и режима движения поезда, а также отправлять разным его подсистемам соответствующие команды по управлению считанной информацией. Таким образом, осуществляется регулирование и контроль соответствующих подсистем и реализуется более эффективное управление поездом.

Система TCDS поезда 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь состоит из двух блоков центрального управления (CCU), 4 блоков управления поездом (VCU), 4 модулей ввода-вывода (MVB I/O) и 2 интерфейсов дисплея человека-машины (экран-DU), расположенных в разных подсистемах всего поезда и соединяющих полную сеть поезда. Данная система обеспечивает контроль всего поезда. Система соответствует техническим условиям поезда шины TCN. Шина поезда типа витой пары (WTB) реализует корреспонденцию между двумя блоками и образует сеть управления поездом. Многофункциональная шина поезда (MVB) осуществляет корреспонденцию между системой TCDS, прицепной системой, тормозной системой, вспомогательной системой электроснабжения

и прочим оборудованием внутри блока; образует сеть управления машиной. Стык RS485 реализует корреспонденцию между блоком VCU каждого вагона и информации пассажиров, трансляционной системой, дверями вагонов и кондиционерами, образует сеть локальной шины поезда. Схема сетевой топологии системы TCDS показана на рисунке 1.

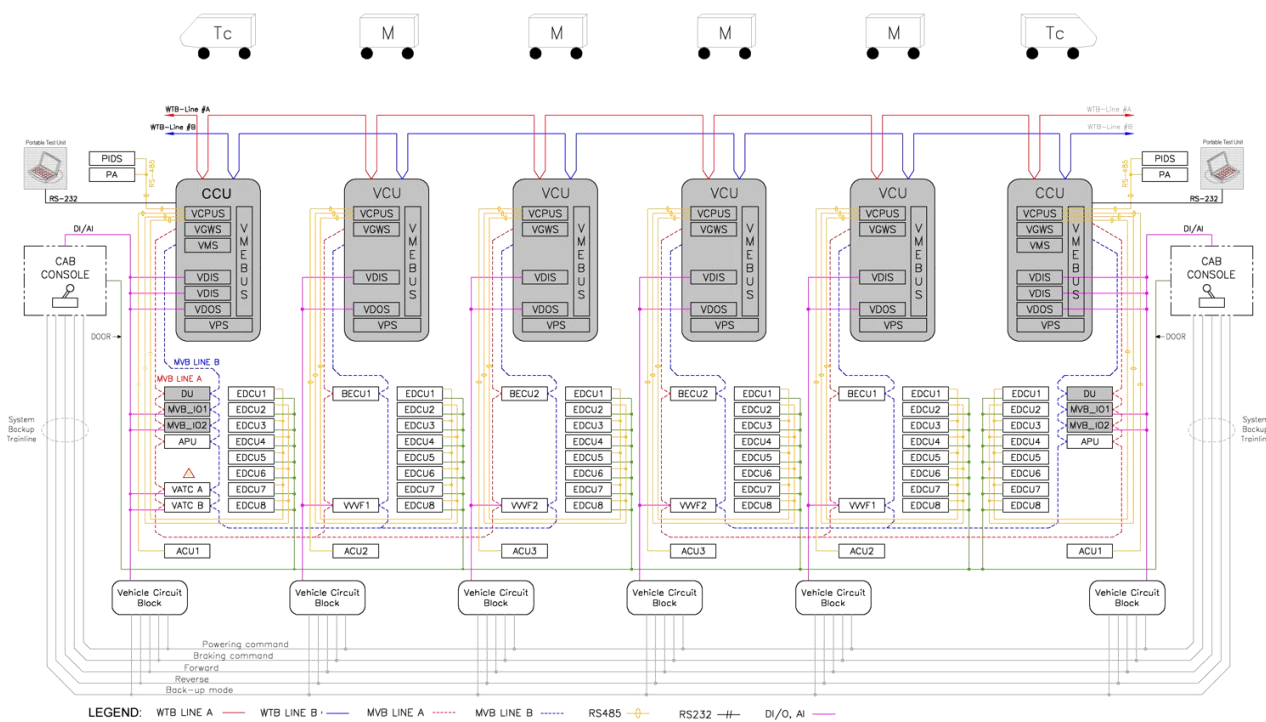


Рисунок 1 – Схема сетевой топологии системы TCDS

По статистике количество неисправностей оборудования системы TCDS 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь в 2011 и 2012 гг. составило 49. Статистический анализ данных неисправностей приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Количество неисправностей оборудования системы TCDS

Год	Оборудование			
	Экран DU	CCU/VCU	MVB I/O	Ездовой контроллер
2011	12	9	3	0
2012	11	10	2	2
Итого	23	19	5	2

По данным таблицы 1, главными источниками неисправностей системы TCDS являются неисправности оборудования экрана-DU, оборудования CCU/VCU, доли которых в пропорции общих неисправностей составляют соответственно 46,9 и 38,8 %.

Интерфейс дисплея человека-машины (экран-DU) состоит из блока интерфейса дисплея человека-компьютерного взаимодействия (трекпада), блока корреспонденции MVB и модуля памяти базы данных. Количество неисправностей экрана-DU 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь составило в 2011–2012 гг. 23 (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика неисправностей экрана-DU в 2011–2012 гг.

Блок неисправностей	Поломка трекпада	Ущерб от горения блока корреспонденции PCB	Расшатывание креплений	Неисправности карты памяти CF
Количество неисправностей	10	8	3	2

Анализ таблицы 2 показал, что поломка трекпада и повреждения блока корреспонденции PCB являются основным источником неисправностей, доли которых в пропорции общих неисправностей составляют соответственно 43,5 и 34,8 %.

*Анализ неисправностей трекпада.* Функционирование экрана-DU 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь осуществляется с помощью индукционного принципа давления. Проверка экранов с неисправностями сенсора позволила обнаружить поломки на поверхности трекпада.

Анализ неисправностей блока корреспонденции РСВ позволил выделить в количественном соотношении 8 неисправностей из-за невозможности перезагрузки экрана, которые заводом-изготовителем были проанализированы и обнаружены причины их появления. Среди них термическая усталость экрана-DU, которая приводит к неисправности блока корреспонденции РСВ. Первоначальная версия о причине данной неисправности – закрытый тип установки. В связи с этим были выбраны 2 образца экрана-DU и проведены испытания на усталость соответственно в установке закрытого и открытого типа при высокой температуре. По результатам испытаний в отличие от образца № 1, работающего в закрытой установке при температуре, равной 75 °С, образец № 2 работал в установке открытого типа 36 часов без отклонений.

Количество неисправностей оборудования ССУ/VCU линии метрополитена г. Шэньчжэнь составило в 2011–2012 гг. 19 (таблица 3).

*Таблица 3 – Неисправности оборудования ССУ/VCU в 2011–2012 гг.*

Блок неисправностей	Распределительный щит (VPS)	Центральный процессор (VCPUS)	Щит шлюза (VGWS)	Запоминающее устройство (VMS)	Щит цифрового ввода (VDIS)	Щит цифрового выхода (VDOS)
Количество неисправностей	11	2	1	2	1	2

ССУ в основном состоит из центрального процессора (VCPUS), щита шлюза (VGWS), запоминающего устройства (VMS), щита цифрового ввода и выхода (VDIS и VDOS) и распределительного щита (VPS). Анализ таблицы 3 показал, что главным источником неисправностей системы TCDS является распределительный щит (57,9 %), где отмечается автоматический рестарт при значении входного напряжения до DC147V. Защитная функция щита VPS заключается в том, что при повышении входного напряжения за DC147V ( $DC140V \pm 5\%$ ) происходит удаление выходного напряжения (DC5V) для защиты внутренней цепи. При рекуперативном торможении во время движения повышение напряжения электросети приводит к скачку напряжения блока питания и выхода постоянного тока вспомогательного инвертора на DC147V, в результате которого происходит удаление входного напряжения распределительного щита (VPS) как защита от превышения напряжения. Слишком низкая пороговая величина антискачка напряжения щита VPS приводит к ошибочному включению защиты от превышения напряжения. Это является главной причиной неисправностей щита VPS.

Трехлетнее наблюдение за работой 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь позволило выделить следующие недостатки в программах мониторинга системы TCDS:

1) снижение безопасности троллея при нулевом вводе сетевого давления в поезде, когда в нём осуществляется автоматическое торможение только под контролем машиниста, что может привести к большой вероятности самопроизвольного отправления поезда;

2) наблюдение и проверка неисправностей кондиционера во время движений по главному пути показали, что при неисправностях компрессора кондиционера, конденсированного вентилятора, вентилятора и другого оборудования на интерфейсе движения красным цветом будет показан штрих-код неисправностей (только последний), что создает для машиниста неудобство в работе во время движения по главному пути, оказывает влияние на качество обслуживания пассажиров;

3) программа мониторинга в системе TCDS включает 98 пунктов, регистрирующих режимы работы подвижного состава, основными среди которых являются: вождение, команды тяги и торможения, а также аварийное торможение, открытие и закрытие дверей, АТО, подъем и спуск токоприёмника и т. д., однако количество существующих пунктов мониторинга недостаточно и неудобно для контроля за рабочим состоянием блоков в подсистемах для анализа неисправностей.

Повышение помехоустойчивости перепада напряжения распределительного щита (VPS) может быть рассмотрено на примере схемы защиты от перенапряжения щита VPS, приведенной на рисунке 2.

Данная электроцепь получает выборочное значение защиты от превышения напряжения с помощью цепей делителя напряжения R9 и R12, когда сила тока у R12 превышает DC147V, осуществляется удаление функции выхода переключателя DC/DC (диапазон рабочего напряжения) с помощью блока управляющей логикой перенапряжения (Over Voltage Control Logic). При рекупе-

ративном торможении во время движения 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь перепад напряжения источника тока вспомогательного преобразователя слишком высок, и щит VPS неоднократно включается, что приводит к несоответствию с требованием фактического использования. В испытании мы удалили цепь делителя R9 и таким образом отменили функцию защиты от превышения напряжения блока. Защита от превышения напряжения осуществляется только через собственную функцию защиты от превышения напряжения переключателя DC/DC. Таким образом снизили количество неисправностей из-за неоднократных включений защиты от превышения напряжения щита VPS, повысив тем самым стабильность системы.

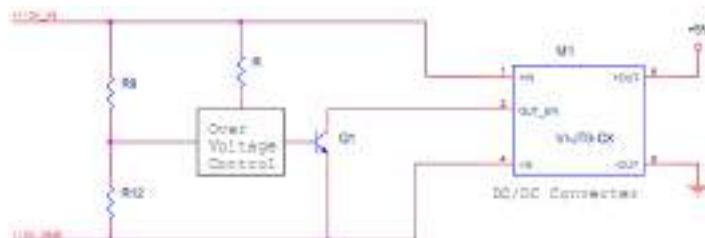


Рисунок 2 – Схема защиты от перенапряжения щита VPS

В ноябре 2012 года завершено исправление распределительного щита CCU/VCU всех 43 поездов. По наблюдениям не обнаружилось неисправности перезагрузки CCU/VCU.

*Дальнейшее совершенствование теплоотводности экрана-DU*

План исправления: имеются 2 слоя охлаждающего ребра между изначальной панелью экрана-DU и CPU, как показано на рисунке 3, а. На основе результатов испытаний на усталость при высокой температуре (рисунок 3, б) они помещены между охлаждающим ребром А и охлаждающим ребром В и между охлаждающим ребром В и задней панелью экрана-DU, что повышает теплоотводность внутри экрана-DU.

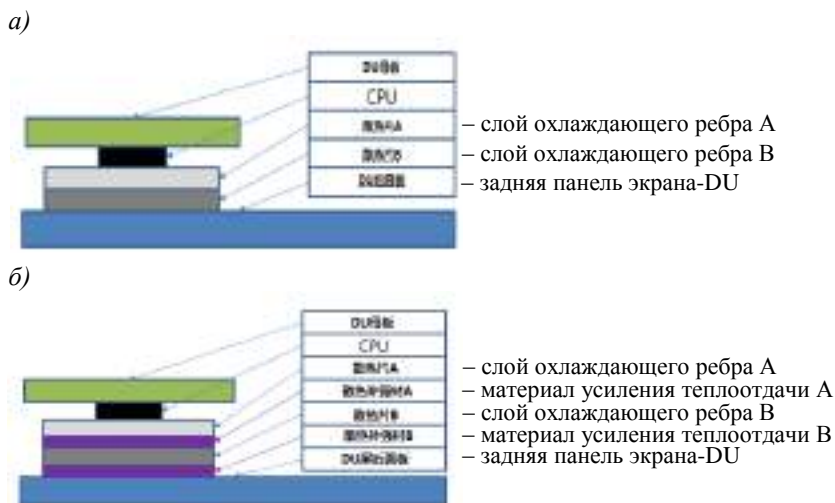


Рисунок 3 – Структурная схема теплоотводности экрана-DU:

а – до исправления; б – после исправления

Проведены двухнедельные испытания экрана-DU на усталость при высокой температуре (70 °С) в закрытой испытательной установке, результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний экрана-DU на усталость при высокой температуре

Температура испытательной машины в течение 24 ч, °С	+70		+75		+80	
	До исправления	После исправления	До исправления	После исправления	До исправления	После исправления
Температура CPU	85,65	77,36	91,48	81,90	96,53	87,04
Рабочее состояние	Без нарушений	Без нарушений	Синий экран	Без нарушений	Пустой экран	Без нарушений

По результатам испытаний температура экрана-DU увеличивается более чем на 9 °С, эффективность теплоотдачи CPU повышается, что способствует стабильной работе экрана-DU при неблагоприятных условиях.

*Увеличение пунктов мониторинга в программе системы TCDS*

Как говорилось выше, количество пунктов программы мониторинга в системе TCDS мало для контроля за рабочим состоянием блоков в подсистемах и анализом неисправностей. С помощью дополнительного наблюдения рабочего состояния тяги, торможения, АТС и других ключевых элементов улучшается эффективность системы TCDS. Дополнительные 144 пункта мониторинга в основном являются ключевыми параметрами интерфейса и частью двухпозиционного измерения жёсткой линии между системами TCDS и АТС, тяги, торможения, APS, PIS и кондиционера, включают фактическую величину силы тяги/тормозной силы, выходное напряжение и электрический ток трёхфазного APS, температуру аккумулятора, силу тяги и запроса рекуперативного торможения VVVF, удаление VVVF, команду замыкания и отзыв состояния обрыв провода и высокого провода VVVF, включение и выключение кондиционера, разгрузку кондиционера, включение и перегрузку воздушного компрессора, вынужденную ремиссию, точку перехода электротормоза и пневматического торможения, показ кода последней и следующей станции, состояние выключателя дверей, замыкание и выключение аккумулятора, развитие энергоснабжения, команду и отзыв положения выключателя и т. д.

Во время движения по главному пути в 2012 г. 3 раза наблюдались отключения термозащитного реле (FR), невозможно было включить воздушный компрессор. Причины неисправностей не обнаружили. А после перезагрузки термозащитного реле FR продолжалось нормальное функционирование. 5 августа 2013 г. завершилось обновление версии щитов VCPUS, VMS и экрана-DU для 43 поездов. 29 августа 2013 г. обнаружилась перегрузка воздушного компрессора у поезда № 03371. По записи программы мониторинга TCDS щит выхода у CCU (VDOS) неоднократно конвертировал команды включения и выключения. После смены щита VDOS всё вернулось в нормальное состояние. Новая версия программы позволила произвести точный анализ неисправности.

*Совершенствование контроля безопасности тролля*

В результате совершенствования программного обеспечения контроля безопасности тролля в системе TCDS при режиме выпуска поезда, если происходит сбой при подаче давления DC1500V, происходит экстренное торможение.

*Визуализация неисправностей кондиционера экрана-DU*

Изменен интерфейс экрана-DU: непосредственно на интерфейсе движения показываются состояния кондиционера в виде значков (рисунок 5), что позволяет машинисту следить за состоянием оборудования.



Рисунок 5 – Интерфейс движения экрана-DU после исправления

В данной статье приведена статистика неисправностей ключевого оборудования: экрана-DU, CCU/VCU, MVB I/O и ездового контроллера на примере поезда 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь. На основании неисправностей системы TCDS в 2011–2012 гг. были проведены статистические анализы главных источников неисправностей экрана-DU, CCU/VCU с большей частотой помехи. В результате анализа специфики главных неисправностей были предложены и проверены на практике меры по устранению недостатков системы TCDS. В результате эффективность системы TCDS и надёжность безопасного движения поезда повысилась.

УДК 656.225

## **УСЛОВИЯ ОТКРЫТИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ ПОСАДКИ, ВЫСАДКИ ПАССАЖИРОВ НА ИНФРАСТРУКТУРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*И. М. ЛИТВИНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный остановочный пункт является составной частью подсистемы инфраструктуры железнодорожного транспорта. В условиях увеличения скоростей движения поездов, необходимости повышения уровня безопасности движения, обеспечения безопасности жизни и здоровья пассажиров, повышения санитарно-гигиенических и экологических требований вопросы размещения остановочных пунктов на инфраструктуре железнодорожного транспорта становятся всё более актуальными.

На остановочном пункте должны быть созданы условия для безопасного краткосрочного пребывания пассажиров с целью ожидания поезда и справочно-информационного обеспечения.

В настоящее время открытие и эксплуатация остановочного пункта для предоставления услуг пассажирам осуществляется оператором инфраструктуры и должны способствовать повышению уровня транспортного обслуживания населения и расширению сферы транспортных услуг оператора инфраструктуры.

Остановочные пункты, размещаемые на инфраструктуре железнодорожного транспорта в зависимости от категории железнодорожной линии и места расположения, подразделяются на соответствующие категории:

- 1 – расположенные на скоростных железнодорожных линиях;
- 2 – расположенные на железнодорожных линиях 1-й и 2-й категорий;
- 3 – расположенные на железнодорожных линиях 3-й категории;
- 4 – расположенные на железнодорожных линиях 4-й категории.

Категория остановочного пункта определяет характер и размер перевозок на прилегающем участке, в зависимости от которых устанавливаются требования по обеспечению безопасности пассажиров.

В зависимости от расчетного пассажиропотока, отправляемого в одном поезде, остановочные пункты подразделяются на классы:

- первый – расчетный пассажиропоток, отправляемый в одном поезде, составляет более 50 человек;
- второй – расчетный пассажиропоток, отправляемый в одном поезде, составляет от 10 до 50 человек;
- третий – расчетный пассажиропоток, отправляемый в одном поезде, составляет до 10 человек.

Место расположения остановочных пунктов на железнодорожной инфраструктуре должно выбираться с учетом максимального охвата населенных пунктов и объектов промышленного и сельскохозяйственного назначения, расположенных в зоне тяготения остановочного пункта. При этом величина транспортной доступности для остановочных пунктов, осуществляющих посадку (высадку) пассажиров на (из) поезд(а), установлена для городских линий – 900 м, для региональных линий – 2000 м. В свою очередь, расстояние между остановочными пунктами



должно составлять не менее двукратной величины транспортной доступности, установленной для соответствующих остановочных пунктов.

Однако кроме удовлетворения потребностей населения в транспортном обслуживании при размещении, открытии и эксплуатации остановочных пунктов необходимо строгое соблюдение технических и технологических условий.

К техническим условиям открытия остановочного пункта можно отнести:

- обеспечение безопасности движения поездов;
- обеспечение безопасности пассажиров, при нахождении их на железнодорожном остановочном пункте;
- соответствие основных элементов остановочного пункта требованиям технических стандартов, регламентов и нормативно-правовых актов;
- совместимость с железнодорожным подвижным составом.

К технологическим условиям открытия остановочного пункта следует отнести:

- обеспечение установленных скоростей движения на участке железнодорожной инфраструктуры;
- обеспечение требуемого уровня пропускной способности железнодорожного участка.

Одним из ключевых требований по размещению остановочных пунктов, является соблюдение условий, обеспечивающих безопасность движения поездов.

Так, остановочные пункты запрещается размещать на инфраструктуре железнодорожного транспорта:

- при расстоянии до ближайшего остановочного пункта менее расстояния тормозного пути грузового поезда, рассчитанного с учетом установленной максимальной массы поезда и допускаемой скорости движения на соответствующей железнодорожной линии, или менее трех блок-участков по каждому пути движения поездов;
- в зоне действия заградительных светофоров железнодорожных переездов;
- вдоль или в торце предохранительных (улавливающих) тупиков;
- на расстоянии менее 500 м от искусственных сооружений железнодорожного пути (мосты, путепроводы и т. д.), за исключением сооружений, выполняющих функции пешеходных переходов;
- в кривых участках пути радиусом менее 1200 м;
- на уклонах более 4 ‰.

Размещение остановочных пунктов на участках, где обращаются скоростные поезда со скоростью более 140 км/ч, допускается в исключительных случаях при условии сохранения пропускной способности участка и обеспечения безопасности движения. Кроме того, запрещается размещение остановочных пунктов 3-го класса на железнодорожных линиях 1-й и 2-й категорий.

Вторым ключевым требованием по размещению остановочных пунктов является безопасность пассажиров при нахождении их на железнодорожном остановочном пункте. Для обеспечения безопасности жизни и здоровья пассажиров, а также повышения санитарно-гигиенических и экологических требований, остановочный пункт должен включать следующие основные элементы и технические устройства:

- пассажирские платформы;
- пешеходные переходы;
- павильоны;
- малые архитектурные формы;
- системы электроснабжения.

Основные элементы остановочного пункта необходимо устраивать независимо от его категории и класса, а требования к ним должны определяться уже в зависимости от категории и класса остановочного пункта. Кроме того, элементы остановочного пункта должны отвечать требованиям к безбарьерной среде жизнедеятельности физически ослабленных лиц.

Таким образом, главное технологическое требование к проекту размещения остановочного пункта связано с обеспечением безопасности движения поездов, а также безопасного обслуживания пассажиров и созданием надлежащих удобств для пассажиров при нахождении их на остановочном пункте. При этом должно быть обеспечено единство технологического решения и архитектурно-планировочной композиции всех элементов железнодорожного остановочного пункта и их соответствие установленным нормативным параметрам.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ

*Т. С. МЕЛЬНИК*

*ПАО «Украинская железная дорога», г. Киев*

Актуальность создания корпоративной системы управления рисками Публичного акционерного общества «Украинская железная дорога» обусловлена в первую очередь тем, что на ПАО «Укрзалізниця» государством и обществом возложена ответственность за обеспечение безопасных перевозок, бесперебойное предоставление качественных транспортных услуг.

Следует отметить, что управление рисками, хотя и является относительно новым направлением менеджмента, уже несколько лет назад внедрено в практику различных отраслей экономики других стран ближнего и дальнего зарубежья, включая железнодорожный транспорт. В производственных масштабах, сопоставимых с железнодорожным комплексом, использование широко распространенных в практике иностранных железных дорог, ведущих компаний мира, предприятий среднего и малого бизнеса инструментов и способов снижения неопределенности, а также мероприятий по реагированию и предупреждению опасных ситуаций может иметь значительно меньший экономический эффект и не соответствовать требованиям поддержки принятия решений, направленным на устранение комплексных проблем, характерных для работы железнодорожного транспорта в условиях украинской экономики. Эта практика требует адаптации с учетом всех особенностей как железнодорожной отрасли, так и современного этапа ее хозяйствования.

При всём многообразии существующих на сегодня определений категории «риски» в общем понимании риском является возможность возникновения неблагоприятной или опасной ситуации, неудачного исхода производственно-хозяйственной либо любой другой деятельности. Сочетание двух условий (возможности проявления нежелательного события и чувствительность объекта к его влиянию) является достаточным для признания факта существования риска, даже если ситуация не грозит стать опасной.

Общепринятыми универсальными показателями для различного рода рисков на практике являются:

- 1) причинение вреда жизни или здоровью участников перевозочного процесса и третьих лиц;
- 2) экономический ущерб от неблагоприятных событий на железнодорожном транспорте (или экономический эквивалент иного вида ущерба).

Мониторинг и управление рисками – это два взаимосвязанных процесса, представляющих собой отслеживание идентифицированных рисков, мониторинг остаточных рисков, выявление новых рисков, выполнение планов реагирования на риски и оценки их эффективности на протяжении жизненного цикла объекта. Здесь мы сталкиваемся со сложной категорией жизненного цикла объекта, расчеты, прогнозы и оптимизация которого также требуют своего становления на украинском железнодорожном транспорте.

Цель мониторинга ситуации в рамках риск-менеджмента заключается в наблюдении за процессом выполнения принятых антирисковых планов, за количественными параметрами, условиями, определяющими применение плана реагирования на риски, и в информировании руководства в случае обнаружения симптомов небезопасной ситуации или наступления риска.

На рисунке 1 представлена последовательность работ по формированию системы риск-менеджмента на железнодорожном транспорте Украины так, как нам она представляется сегодня исходя из имеющихся ресурсов, возможностей, организационной структуры ПАО «Укрзалізниця», информационной базы, программного обеспечения и прочих условий. Данный процесс является достаточно продолжительным и подразумевает работы, часть из которых будет выполняться последовательно, а часть – одновременно.

Основным результатом внедрения системы риск-менеджмента будет достижение и поддержание допустимого уровня риска при обеспечении функциональной безопасности объектов инфраструктуры и подвижного состава.



Рисунок 1 – Последовательность работ по формированию системы управления рисками

Этот общий результат будет складываться из таких наиболее важных составляющих:

- повышение надежности и функциональной безопасности технических средств, входящих в состав объектов инфраструктуры и подвижного состава;
- снижение вероятности возникновения транспортных событий;
- предупреждение или уменьшение смертельных случаев и травмирования людей;
- предупреждение вредного воздействия на окружающую среду;
- снижение причиненного ущерба имуществу субъектов деятельности в сфере железнодорожного транспорта и прочих потерь;
- экономия всех видов ресурсов.

УДК 656.224(–214) (4)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, Т. А. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Т. В. ПИЛЬГУН*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

На обеспечение безопасности пассажирских перевозок различными видами транспорта значительное влияние оказывает подвижной состав транспортных средств, что подтверждается мировой практикой, где к условиям безопасности добавлен также критерий качественного выполнения перевозки, например, климатический режим внутри транспортного средства соблюдение эргономических требований; использование безопасного скоростного режима движения транспортного средства на маршруте следования, а также создание условий безопасного нахождения пассажиров на посадочных платформах, особенно при проследовании высокоскоростных транспортных средств.

Следует отметить, что ранее одновременное выполнение условий безопасности и качества пассажирских перевозок не всегда рассматривалось транспортными организациями как основополагающий фактор по причине высокой себестоимости перевозки и низкой её окупаемости при выполнении перевозочного процесса. Например, техническими условиями на моторвагонный подвижной состав, производимый Рижским вагоностроительным заводом не предусматривалось обеспечение расширен-

ного уровня безопасности (учитывался только стандарт технического плана на узлы и детали дизель-поездов ДР-1 и электро-секций ЭР-9). Однако дизель-поезда со сроком эксплуатации более 20 лет, которых в республике Беларусь около 45 %, и имеющих как физический, так и моральный износ, продолжают курсировать по участкам Белорусской железной дороги, что требует постоянных материальных вложений. Так, за 2015 год на текущее содержание моторвагонного подвижного состава затрачено 9,42 %, ремонты – 18,8 % от всех затрат, относимых на эксплуатацию электропоездов, что не позволяет снижать себестоимость перевозок в данном виде сообщения. В результате пассажирские железнодорожные перевозки в региональном сообщении на электрифицированных линиях становятся убыточными. В таких условиях независимо от желания перевозчика сложно создать комфортабельные и безопасные условия перевозки пассажиров в региональном сообщении.

С учетом сложившейся ситуации Белорусской железной дорогой при поддержке Президента Республики Беларусь в Швейцарии был приобретен специализированный комфортабельный подвижной состав компании Stadler для региональных, городских и межрегиональных железнодорожных пассажирских перевозок и далее открыто совместное белорусско-швейцарское их производство. Опытная эксплуатация этих поездов показала высокий уровень эффективности по экономическим параметрам, обеспечению безопасного и комфортабельного нахождения пассажиров в вагонах электропоездов. По экономическим параметрам расходы на техническое обслуживание составили за исследуемый период 3,5 %, текущий ремонт – 1,14 %, а на капитальный и другие виды тяжелого ремонта расходы не выделялись. Это позволило Белорусской железной дороге сохранить стабильность себестоимости и сохранить тарифную политику государства по сдерживанию тарифов на социально значимые услуги для населения, обеспечить для значительной части населения льготные тарифы в 2016 году.

Выпуск современного подвижного состава по инновационным технологиям совместным белорусско-швейцарским предприятием Stadler позволил повысить уровень безопасности пассажирских перевозок как в региональном, так и межрегиональном сообщении. С учетом предпочтений государства на выпускаемую продукцию для нужд железнодорожного транспорта страны (транспортные средства для социально значимых перевозок пассажиров в региональном и межрегиональном сообщении) они стали дешевле иностранных аналогов за счет льготного налогообложения, и их использование дало высокую эффективность вложенных инвестиций. Эстетический вид и комфортабельные условия поездки стали одним из факторов высокой привлекательности для пассажиров, что позволило повысить наполняемость вагонов электропоездов региональных и межрегиональных линий, а также увеличить регулярность их движения (на маршруте Гомель – Минск регулярность доведена до одного поезда каждые 2 часа, а в пиковые периоды – с интервалом движения 10–30 мин).

Высокая эффективность современного подвижного состава на железнодорожном транспорте для региональных и межрегиональных перевозок стала стимулом для аналогичного производства автобусов, специализированных для перевозок пассажиров в пригородном (региональном) и междугороднем (межрегиональном) видах сообщений. Наряду с высоким уровнем комфортабельности поездки пассажирам гарантирована безопасность их пребывания в транспортном средстве. Высокие технико-экономические показатели нового «поколения» автобусов, выпускаемых МАЗом, позволили обеспечить приемлемую ценовую политику для населения страны и гарантировать льготный проезд для значительной части граждан. Это также позволило снизить тарифы частными перевозчиками в междугороднем сообщении на 29,1 %. Тарифы на автомобильном и железнодорожном транспорте на многих параллельных направлениях уравнились, что позволило пассажирам делать выбор вида транспорта для поездки по другим критериям, исключая фактор тарифа. При этом создан широкий модельный ряд автобусов для пригородных перевозок с различной вместимостью (от 20 до 100 чел.), обеспечением комфортабельных и безопасных условий проезда.

Производство современного подвижного состава в Республике Беларусь для железнодорожных и автобусных перевозок пассажиров в региональном и межрегиональном сообщении позволило получить значительный экономический эффект республиканского значения, который выражается в сокращении вывоза валютных средств из страны, создать дополнительные рабочие места как по месту основного производства, так и в местах выполнения их технической эксплуатации, создать разветвленную базу по выполнению технической эксплуатации (до этого момента вся база интегрировалась в Минске). Новшеством можно назвать снабжение сертифицированными запасными частями от сборочного предприятия, что также является фактором повышения безопасности эксплуатации транспортных средств, предназначенных для перевозки пассажиров.

## **РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СТРАНЫ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

*А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, О. А. ХОДОСКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. В. КОЦУР*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

Безопасное выполнение пассажирских перевозок во многом зависит от состояния транспортно-технологических систем страны, используемых для их выполнения, транспортных средств и других технических и технологических факторов: 1) развитие транспортной инфраструктуры (её модернизация, формирование безопасных условий эксплуатации, скоростные режимы, наличие контактных устройств при взаимодействии с другими видами транспорта); 2) собственное производство инновационных транспортных средств (вагонов, локомотивов, электро-подвижного состава); 3) реализация частно-государственного партнёрства на видах транспорта; 4) внедрение современных технологий проведения начально-конечных операций (безопасные посадочные устройства, реализация проездных документов, предоставление современной связи при оказании транспортных услуг).

Развитие транспортной инфраструктуры, предназначенной для выполнения пассажирских перевозок, рассматривается как наиболее важная составляющая качества и безопасности данного вида транспортной деятельности. Исследование существующей транспортной инфраструктуры, проведенной в БелГУТе, показало, что есть необходимость в исследовании наличных устройств, относимых к инфраструктуре: посадочные платформы, вокзалы и станции, оборудование устройствами безопасности пассажиров при выполнении начально-конечных операций, обеспечение скоростного режима движения транспортных средств, возможность взаимодействия различных видов транспорта и др. В последние годы в инфраструктуру, используемую для пассажирских перевозок, на всех видах транспорта стали активно развивать.

На железной дороге: 1) проводится электрификация основных пассажироёмких направлений Белорусской железной дороги (Гомель – Вильнюс, Калинковичи – Жлобин, модернизация контактной сети на направлении Орша – Минск). При этом наряду с устройством контактной сети проводится модернизация путевой структуры и устройств сигнализации и связи для условий пропуска пассажирских поездов с ходовой скоростью 160 км/ч, а на отдельных перегонах – 200 км/ч; 2) на участках, включенных в IX и II транспортные коридоры, по которым происходит движение международных пассажирских поездов, выполнена модернизация станционных устройств и пассажирских вокзалов с учетом требований, установленных для направлений с движением международных пассажирских поездов; 3) по-новому создана инфраструктура подготовки пассажирских составов в рейс на всех пассажирских участках: используется инновационная техника и технологии технического обслуживания и текущих ремонтов пассажирских вагонов; организованы ремонтно-экипировочные депо (РЭД); налажена система крупно-агрегатного ремонта вагонов и др.; 4) завершено формирование сети пассажирских станций, обеспечивающих в полном объеме потребности движущихся поездов, что позволило сделать расписание движения пассажирских поездов по всем видам сообщений удобным для пассажиров, а в региональном и межрегиональном сообщении обеспечить регулярность их движения. В границах Минского узла реконструкция станции Минск-Пассажирский позволило организовать городское железнодорожное сообщение, что дало возможность улучшить транспортное обслуживание жителей не только г. Минска, но и его городов-спутников: Смолевич, Дзержинска, Руденска и Заславля.

Вторым важным элементом развития транспортно-технологических систем для пассажирских перевозок является обеспечение современными и дешёвыми в эксплуатации транспортными средствами – вагонами, локомотивами, электро- и дизель-поездами. Опыт крупных транспортных компаний показал, что производство транспортных средств эффективнее производить в своей стране: решается вопрос с сертификацией, потребным наполнением, ремонтной базой, комплектацией запасными частями. При этом для производства транспортных средств используются более дешёвые ресурсы страны и финансирование в подвижной состав выполняется в рамках

национальных потребностей без вывоза капитала, что в условиях ограниченных финансовых ресурсов очень важно для бюджета страны. В Республике Беларусь транспортные средства для железнодорожных пассажирских перевозок выпускаются на трёх собственных заводах: двух вагоностроительных и совместном по выпуску электро- и дизельных поездов, а также вагонов метро, трамваев, троллейбусов. С 1993 г. в республике начат выпуск пассажирских автобусов на двух заводах (МАЗ и «Неман» в г. Лиде) по совместной программе с ФРГ и Российской Федерацией. Приобретаются у иностранных производителей транспортные средства, не производимые на предприятиях Республики Беларусь: электровозы, тепловозы, воздушные суда.

В мировой практике в транспортно-технологических системах пассажирских перевозок широко используется частно-государственное партнёрство:

– на железнодорожном транспорте: сеть привокзальных гостиниц, обслуживание вокзалов и посадочных платформ (аусортинг), обеспечение стационарного (кафе и рестораны на вокзалах) и бортового питания в поездах, технологический транспорт (доставка пассажиров от железнодорожных вокзалов в аэропорты, на удалённые автовокзалы по единому билету);

– на автомобильном транспорте: использование автобусов на туристических маршрутах, сдача в аренду автотранспортных средств, принадлежащих автохозяйствам, создание и содержание сети придорожного сервиса (с гостиничным и ресторанным хозяйством), автозаправки, частный извоз на малодеятельных автодорогах, в сельской местности и др.;

– на воздушном транспорте: использование частных воздушных судов на малодеятельных направлениях воздушных перевозок, частный извоз под вылет-прилёт), аусортинг в аэропортах и аэровокзалах, обеспечение стационарного и бортового питания и др.

Подлежат изменению также начально-конечные операции: продажа проездных документов через интернет и банковские терминалы, долгосрочное действие разовых проездных документов, максимализация численности многоразовых проездных документов (охват более 70 % населения), снижение нагрузки контрольных функций на пассажира и усиление его ответственности (повышение уровня штрафов и форм наказания (штраф в размере полугодового или годового проездного билета), решение вопроса о компенсации за счет себестоимости на предприятиях проездных билетов своим работникам.

Развитие транспортно-технологических систем страны для пассажирских перевозок предусматривает также создание новой формы логистики: пассажирских перевозок, предусматривающей для пассажира весь цикл перевозки, независимо от используемых видов транспорта. Это позволит повысить конкурентоспособность национальной транспортной системы и сделать более устойчивой её работу, что позволит сделать более доступными для населения страны транспортные услуги.

УДК 656.224.072.6

## **ПОВЫШЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ ДАЛЬНИХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ СОСТАВОВ**

*Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, М. Ю. САВЕЛЬЕВ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

В работе [1] дан алгоритм унификации схем составов пассажирских поездов, на основе которого все пассажирские поезда дальнего следования можно разделить на несколько классов с унифицированными схемами составов поездов для каждого класса. Тогда для поездов одного класса появляется возможность увязки составов пассажирских поездов в общий оборот, что позволяет существенно сократить общее количество составов в обороте.

В настоящее время для дальнего пассажирского сообщения остро стоит вопрос об увеличении числа поездов в пиковые кратковременные периоды (выходные и праздничные дни) для массового вывоза пассажиров. Увеличение размеров движения обычно приводит к резкому увеличению числа составов в обороте и пробега свободных мест, связанного необходимостью введения «засыльных» поездов. Всё это ведет к дополнительным финансовым рискам для пассажирской компании.

В данной работе предлагается метод максимизации числа пассажирских поездов в графике движения при фиксированном количестве составов поездов одного класса, что даст возможность плав-

ного перехода от базового графика движения к графику в пиковый период без увеличения числа составов в обороте.

В качестве примера на рисунке 1 представлен схематический график движения поездов дальнего следования с унифицированной схемой состава. Проведенная увязка составов в общий оборот по методике, приведенной в работе [2], показала, что для данного графика необходимо 4 состава. При этом период графика определяется периодичностью обращения пассажирских поездов дальнего следования (поезда ежедневного обращения, через день, раз в неделю, целевого назначения и так далее), а также максимальным временем следования поездов на полигоне.

Математическая модель задачи максимизации числа пассажирских поездов дальнего следования в периоды роста пассажиропотока имеет следующий вид.

1 Обозначим упорядоченные по величине расписания прибытия поездов на станцию через  $t_i^k$ , а расписания отправления – через  $T_j^{\text{а}}$ , где  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, n}$  – порядковые индексы расписаний прибытия и отправления;  $n$  – общее число «ниток» графика;  $k = \overline{1, N}$  и  $\text{а} = \overline{1, N}$  – индексы станций полигона;  $N$  – общее число станций полигона.

2 Введем булевские переменные:

$$x_{ij}^{k\text{а}} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i^k \text{ увязывается с } T_j^{\text{а}}; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Так, каждое расписание прибытия  $t_i^k$  может быть увязано только с одним расписанием отправления  $T_j^{\text{а}}$ , и наоборот, каждое расписание отправления  $T_j^{\text{а}}$  может быть увязано только с одним расписанием прибытия  $t_i^k$ , если между станциями  $k$  и  $\text{а}$  есть пассажирское сообщение, то переменные  $x_{ij}^{k\text{а}}$  должны удовлетворять следующим ограничениям:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij}^{k\text{а}} = 1, \forall i = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij}^{k\text{а}} = 1, \forall j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

3. Введем матрицу оценок увязки расписаний с элементами  $C_{ij}^{k\text{а}}$  следующего вида:

$$C_{ij}^{kk} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^k + t_{\text{об}}^k \leq T_j^k; \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$C_{ij}^{k\text{а}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^k + t_{\text{об}}^k + t_{\text{сл}}^{k\text{а}} + t_{\text{об}}^{\text{а}} \leq T_j^{\text{а}}, \text{а} \neq k \text{ и между станциями } k \text{ и } \text{а} \text{ есть сообщение;} \\ 1, & \text{если } t_i^k + t_{\text{об}}^k + t_{\text{сл}}^{k\text{а}} + t_{\text{об}}^{\text{а}} \geq T_j^{\text{а}}, \text{а} \neq k \text{ и между станциями } k \text{ и } \text{а} \text{ есть сообщение;} \\ \infty, & \text{если между станциями } k \text{ и } \text{а} \text{ нет сообщения,} \end{cases} \quad (3.2)$$

где  $t_{\text{сл}}^{k\text{а}}$  – время следования поезда между станциями  $k$  и  $\text{а}$ ;  $t_{\text{об}}^k, t_{\text{об}}^{\text{а}}$  – норма оборота состава пассажирского поезда на станции  $k$  и  $\text{а}$ .

4 Целевая функция – потребное число составов пассажирских поездов, находящихся на полигоне в момент разреза графика движения поездов, имеет в этом случае следующий вид:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}^{k\text{а}} x_{ij}^{k\text{а}}. \quad (4)$$

Для решения поставленной задачи необходимо минимизировать целевую функцию (4). Алгоритм максимизации числа пассажирских поездов в период роста пассажиропотока рассмотрен на рисунке 1.

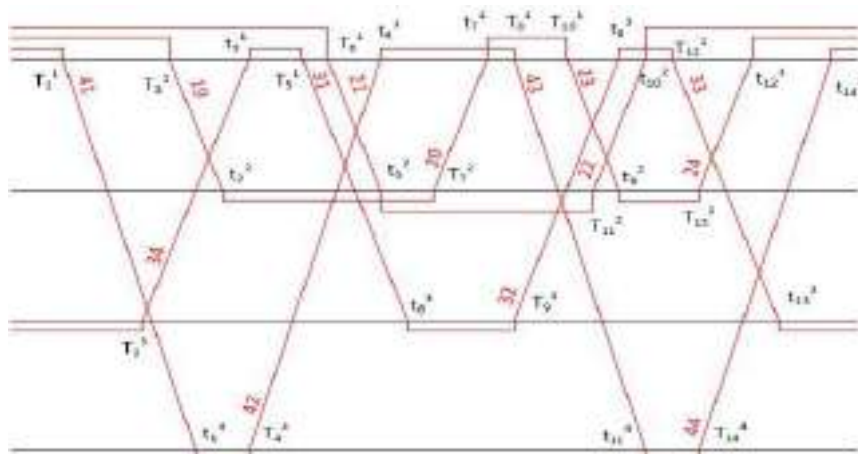


Рисунок 1 – Схематический график движения пассажирских поездов с увязкой «ниток» только по станциям формирования и оборота

Окончательный вариант увязки расписаний приведен на рисунке 2.

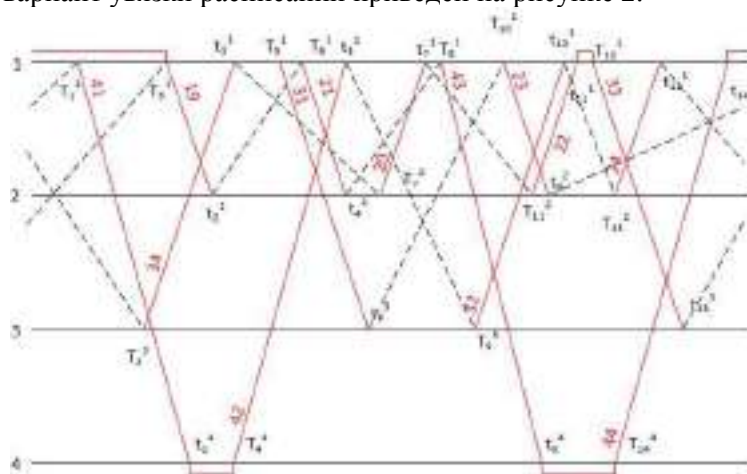


Рисунок 2 – Схематический график движения пассажирских поездов после введения дополнительных «ниток» графика

По результатам проведенных расчетов для модельного примера получилось, что при интенсификации графика с сохранением числа составов в обороте, равного 4, возможно увеличить число поездов на 5 пар.

#### Список литературы

- 1 Пазойский, Ю. О. Унификация схем составов пассажирских поездов дальнего сообщения / Ю. О. Пазойский, М. Ю. Савельев, А. Ю. Милков // Транспорт: Наука, Техника, Управление. – М., 2015. – № 5.
- 2 Пазойский, Ю. О. Увязка составов пассажирских поездов разных назначений в общий оборот / Ю. О. Пазойский, М. Ю. Савельев, А. Ю. Милков // Транспорт: Наука, Техника, Управление. – М., 2015. – № 9.

УДК 656.211

### ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПАССАЖИРСКИЙ КОМПЛЕКС И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕВОЗОК

*Р. В. ПАНК*

*Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, Российская Федерация*

На всех крупных вокзалах России безопасность пассажиров выведена на новый уровень. Вокзалы в этом вопросе почти приравниваются к аэропортам. Создаются досмотровые зоны пассажиров и ручной клади, устанавливаются камеры наблюдения, рамки-металлоискатели, модернизируются



инженерные системы и др. В соответствии с требованиями нормативных документов ОАО «РЖД» в области обеспечения безопасности движения поездов на сети железных дорог установлен единый «День безопасности» (среда), который проводится еженедельно. Проверяется организация работы вокзальных комплексов в соответствии с технологическим процессом работы.

Большое внимание уделяется созданию транспортно-пересадочных узлов, выполняющих функции по перераспределению пассажиропотоков между видами транспорта и направлениям движения. Так, для улучшения качества обслуживания, повышения безопасности пассажиров предлагается объединить крупный железнодорожный вокзал Новосибирск-Главный с автовокзалом города. Возможно разместить автовокзал (билетные кассы и зал ожидания) на первом этаже железнодорожного вокзала. Площадь предлагаемого помещения составляет 350 м<sup>2</sup>. Безопасность пассажиров повысится за счёт проведения осмотра при проходе через металлоискатели при входе в вокзал и при посадке в автобус, а также при постоянной работе охраны. Железнодорожный вокзал Новосибирск-Главный расположен в непосредственной близости от центра города и рассчитан на ежегодное обслуживание 16 млн пассажиров с широкой сферой услуг. Общая площадь пассажирских помещений – 8576,4 м<sup>2</sup>. На привокзальной площади хорошо развита транспортная развязка как городского транспорта, так и метрополитена. В четырех километрах от железнодорожного вокзала расположен автовокзал. Он находится в пятиэтажном строящемся здании и занимает два этажа. Суточный пассажиропоток составляет около 4000 пас./сут. Примерное время следования от автовокзала до железнодорожного составляет 30 мин. Стоимость билета на автобусе – 19 руб., на маршрутном такси – 30 руб. Коммерческое такси в среднем стоит 150–200 руб. В часы пик существует вероятность попасть в «пробку», что доставит дискомфорт, и последствия могут привести к опозданию на рейсовый автобус, пассажирский поезд.

В настоящее время большое значение в технологии работы вокзала играет безопасное обслуживание, адаптация вокзального комплекса для маломобильных групп населения. Анализ доступности железнодорожного вокзала Новосибирск-Главный показал, что вход в здание вокзала со стороны города оборудован пандусами, вход со стороны платформ не имеет вертикальных препятствий. В залах ожидания выделены специальные места для отдыха, обозначенные визуальными пиктограммами. В кассовом зале маломобильный пассажир может самостоятельно получить справочную информацию и оформить проездной документ в билетной кассе. В конкорсе вокзала установлены подъемные платформы для более удобного перемещения к поездам. Всё перечисленное имеет статус «доступно», статус «частично-доступно» имеет второй этаж вокзала, зал ожидания и «недоступно» – камера хранения. Повысить доступность и безопасность передвижений маломобильных пассажиров возможно за счёт установки эскалатора или лифта. Они без труда смогут подняться на второй этаж.

Таким образом, комплексное развитие транспортного пассажирского комплекса значительно повлияет на безопасность пассажирских перевозок.

УДК 656.25: 625.746.5: 614.862

## **ПОДХОД К ВОПРОСУ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ПАССАЖИРОВ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*А. Н. ПАСИЧНЫЙ*

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

*А. В. АНДРЕЙКО*

*ООО «ZDSimulator», г. Днепропетровск, Украина*

Железнодорожный и автомобильный транспорт являются объектами повышенной опасности как сами по себе, так и при взаимодействии друг с другом. При этом безусловное обеспечение безопасности движения поездов и автотранспорта является критически важным при перевозках пассажиров (в равной степени, как и грузов), и это требование зафиксировано в нормативно-правовых актах, применяемых на различных видах транспорта.

В современных условиях большую опасность для жизни пассажиров автомобильного транспорта несёт потенциальная возможность столкновения движущегося поезда с автомобилем либо автобусом в местах пересечения железнодорожных путей с автомобильными дорогами в одном уровне. Особенно это касается неохранных железнодорожных переездов, а также в условиях ограниченной видимости либо неисправности устройств СЦБ. Столкновения поездов с автотранспортом обусловлены, в основном, т. н. «человеческим фактором» (игнорированием Правил дорожного движения водителями).

Случаи столкновений поездов с автомобильным транспортом на переездах происходят в течение каждого года неоднократно. Отдельные случаи оборачивались катастрофами с большим количеством человеческих жертв. Так, в ряде стран мира за прошедшие 5 лет в результате подобных происшествий около 100 человек погибло и несколько сотен были травмированы. В Украине только за 7 месяцев текущего года на переездах погибло 14 человек, а рост количества транспортных происшествий с участием автомобильного транспорта составил 37,5 %. При этом абсолютно все эти происшествия в последние годы произошли по вине водителей автомобильного транспорта.

Исходя из сказанного выше, вопрос, которого касается данная работа, был и является актуальным.

Говоря о безопасности движения, её обеспечении и повышении, невозможно не учитывать физику процесса движения поезда – его значительную массу, которая обуславливает и значительную кинетическую энергию, для гашения которой требуется тормозной путь. С целью оценки тормозного пути разных поездов было выполнено моделирование процесса экстренного торможения с помощью человеко-машинной модели – тренажёра машиниста локомотива. Проводились опыты с моделью грузовых поездов разной массы на площадке (порожний состав массой 1250 т, смешанный массой 3000 т, гружёные массой 4000, 4600, 5000 и 6000 т). Также аналогичные эксперименты проводились и с моделями пассажирских и пригородных поездов.

При анализе полученных данных принимается во внимание, что реакция машиниста, равно как и водителя, не является мгновенной. Необходимо время на то, чтобы среагировать на возникшее препятствие и привести тормоза в действие. На основе последней редакции методических рекомендаций «Применение дифференцированного значения времени реакции водителя в экспертной практике», утверждённой научно-методическим советом ВНИИСЭ по судебной автотехнической экспертизе (НМС по САТЭ) принято нормативное значение времени реакции – 1 с. Таким образом, полученное значение тормозного пути для повышения точности моделирования нужно дополнительно увеличить. Так, при скорости 25 км/ч это дополнительное расстояние будет равно всего 7 м, при скорости 80 км/ч – 22 м, а при 120 км/ч – 33 м.

Согласно ПТЭ видимость заградительных светофоров установлена на расстоянии 1000 м на прямых и 400 м в кривых участках. Таким образом, если автомобиль с пассажирами окажется на железнодорожном переезде и будет своевременно замечен (также включён заградительный светофор), то поезд может предотвратить столкновение на невысоких скоростях (не выше 50–60 км/ч, а в кривой – порядка 40 км/ч). А значит, максимальная скорость, с которой можно безопасно остановиться и предотвратить транспортное происшествие, мала и в целом зависит от условий видимости объекта. Для полностью безопасного движения с современными скоростями это не является приемлемым.

Таким образом, для повышения безопасности перевозок пассажиров и постепенного сведения рисков их травмирования к нулю основными известными влияющими факторами являются:

1) минимизация количества пересечений железных и автомобильных дорог в одном уровне за счёт строительства путепроводов и развязок дорог в разных уровнях;

2) применение технических средств, повышающих безопасность железнодорожных переездов – заградительных устройств, перекрытие переездов автоматическими шлагбаумами по всей ширине, улучшение освещённости переездов с целью увеличения дальности их видимости, а также сокращение неохранных переездов;

3) повышение дисциплины, контроля за работой участников перевозочного процесса и их ответственности (в значительной мере) за нарушение законодательства.

Разумеется, именно первый фактор максимально повышает безопасность движения и удобство для участников перевозочного процесса. Однако же именно он требует значительных капитальных вложений. Капитальных вложений требует и переоборудование неохранных переездов в охраня-

емые и установка заградительных устройств. Для оценки вероятности транспортного происшествия и целесообразности применения тех или иных мер по повышению безопасности движения поездов и автотранспорта подход на основе человеко-машинного моделирования является достаточно перспективным.

УДК 37.017.4

## **ПРАВОВОЕ СОЗНАНИЕ КАК УСЛОВИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

*А. И. ПОПОВ*

*Тамбовский государственный технический университет, Российская Федерация*

Функционирование социально-технических систем во многом определяется поведением и личностными характеристиками включенных в них людей. Организация пассажирских перевозок предполагает не только создание системы менеджмента качества, управления процессами на уровне используемых материальных ресурсов и технологий (посредством оптимизации системы технического обслуживания фондов и их планово-предупредительного ремонта), но и творческую работу в области кадровой политики. От человеческого фактора зависит и удовлетворенность пассажиров оказываемыми им услугами и их безопасность. При этом необходимо разделить влияние человеческого фактора на процесс оказания услуги пассажирам на незначительно поддающиеся управлению компоненты (резкое ухудшение здоровья, психологическая реакция на нестандартное изменение ситуации) и управляемые, определяемые, прежде всего, сознательными решениями участников деятельности.

Во второй группе основными будут компетентностные характеристики (уровень знания, навыков, личностных качеств) и правовое сознание личности. Правовое сознание рассматривается как способность человека с позиций общественных ценностей и на основе духовности выстраивать свои взаимоотношения с другими участниками деятельности, а в ситуации с выбором решения в проблемной ситуации ориентироваться на конструктивное творчество в области правовых отношений. Важнейшим условием общественного развития является однонаправленность эго-идентичности личности, групповой идентичности и требований всего общества. При этом правовое сознание понимается как внутренне мотивированная готовность специалиста сферы пассажирских перевозок к правомерному поведению как в профессиональной деятельности, так и в обычной жизни. Высокий уровень правовой культуры предполагает, что технический специалист сферы пассажирских перевозок, для которого юриспруденция не является основной сферой деятельности, должен активно и творчески участвовать в развитии системы правовых отношений между всеми участниками дорожного движения, привнося в них как отражение общественных процессов, так и опыт, мировоззрение своих коллег по профессии [1].

Правосознание специалиста, деятельность которого непосредственно связана с жизнью и здоровьем людей, включает несколько компонентов:

– знание действующего права (прежде всего, регламентирующего пассажирские перевозки и управление транспортными средствами), его оценку и внутреннюю убежденность в совпадении норм права и духовно-нравственных идеалов, готовность к деятельности в действующем правовом поле;

– представление о положениях идеального права, совпадающих с убеждениями индивида и его представлении о созидательной роли права;

– готовность к работе по творческому совершенствованию норм права на основе стремления к справедливости и защиты всех участников дорожного движения, понимание механизма перехода от действующего права к идеальному.

Правовую компетентность специалиста по организации пассажирских перевозок можно представить в виде совокупности компонентов:

- 1) знаниевого (владение знаниями в области философии, права, психологии);
- 2) творческого (интеллект, креативность);
- 3) деятельностного;

4) мотивационного (эго-идентичность, групповая идентичность, потребности общества в инновационном развитии, потребность личности в соблюдении прав всех участников деятельности и преобразовании системы правовых отношений).

Определяющая роль в формировании правового сознания принадлежит системе воспитания на стадии обучения в школе и вузе. В организацию, осуществляющую пассажирские перевозки, приходит человек с конкретной эго-идентичностью и пониманием цели своей деятельности. Служба кадров должна, по возможности, на стадии отбора выявлять личности с потенциально девиантным поведением. Часть из приходящих специалистов не нарушают нормативно-правовые акты грубым образом, но при этом в силу определенного для наших стран менталитета внутренне убеждены, что незначительное нарушение правил и инструкций не является большой бедой. В тоже время даже на первый взгляд несущественное нарушение правил перевозок может привести к печальным последствиям на транспорте. С целью корректировки сознания таких сотрудников необходимо активизировать работу службы управления персоналом по правовому воспитанию трудового коллектива.

Повышение качества правового воспитания в процессе трудовой деятельности становится возможным при создании в учреждении правовой образовательной среды, обеспечивающей информальное образование работников транспортных предприятий и формирование у них инвариантных компетенций в области юриспруденции [2]. Данная среда должна обеспечивать информирование работников об изменениях в нормативно-правовых документах, регламентирующих пассажирские перевозки и дорожное движение. Также необходимо создать условия для обсуждения и выработки конструктивных предложений по совершенствованию данного сегмента нормативно-правового регулирования.

Интенсификация правового воспитания и актуализация знаний в области права позволит повысить уровень безопасности пассажиров, сохранит значительные материальные и финансовые ресурсы, затрачиваемые в настоящее время на ликвидацию последствий правовой безграмотности и преступной халатности.

#### Список литературы

1 **Попов, А. И.** Правовое сознание и креативность личности / А. И. Попов // Современное образование: научные подходы, опыт, проблемы, перспективы : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2015. – С. 38–41.

2 **Попов, А. И.** Формирование правового сознания студентов в процессе социальной коммуникации в олимпиадном движении / А. И. Попов // Вестник НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии. – 2015. – № 2. – С. 67.

УДК 656.2.003

## **ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

*Н. П. ТЕРЁШИНА, В. В. ЖАКОВ*

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Достижение глобальной конкурентоспособности стран-драйверов экономического роста и позитивных изменений в мировой экономике в условиях обостряющихся политических, экономических и экологических рисков требует новых системных подходов к проектированию и стратегическому прогнозированию параметров развития коммуникационной среды.

Начало XXI века с точки зрения эволюции знаний о природе и обществе характеризуется особенно продуктивными изменениями в области систем связи, цифровых и спутниковых технологий и электронных коммуникаций. Эти достижения позволили обеспечить кардинальное развитие информационного обмена, внедрение форматов электронного бизнеса в сферу политики, торговли и управления финансами.

Курс на инновационную модернизацию требует от специалистов и ученых расширения горизонта исследований при проектировании транспортно-коммуникационной среды будущего.

В 2008 г. была разработана и утверждена Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 г. (далее – Стратегия). Целью Стратегии является формирование условий для устойчивого социально-экономического развития России, возрастания мобильности населения и оптимизации товародвижения, укрепления экономического суверенитета, национальной безопасности и обороноспособности страны, снижения совокупных транспортных издержек экономики, повышения конкурентоспособности национальной экономики и обеспечения лидирующих позиций России на основе опережающего и инновационного развития железнодорожного транспорта, гармонично увязанного с развитием других отраслей экономики, видов транспорта и регионов страны. [1]

Варианты развития Стратегии направлены на решение задачи устранения инфраструктурных ограничений роста экономики. Инерционный вариант, предусматривающий сохранение дефицита транспортной инфраструктуры, в Стратегию не включен, так как не отвечает целевым задачам долгосрочного развития страны.

Минимальный вариант основан на энергосырьевом сценарии развития экономики. В рамках данного варианта предусматривается полная модернизация железнодорожной инфраструктуры и развитие необходимых провозных способностей на основных направлениях грузопотоков в соответствии с потребностями экономики и населения в перевозках по энергосырьевому сценарию развития РФ.

Максимальный вариант ориентирован на достижение инновационного сценария развития Российской Федерации и характеризуется значительной концентрацией усилий на тех научно-технологических направлениях, которые позволят резко расширить применение отечественных разработок и улучшить позиции РФ на мировом рынке высокотехнологичной продукции и услуг. Особенностью инновационного сценария развития является изменение структуры валового внутреннего продукта в сторону производства высокотехнологичной продукции.

В данном варианте предусматриваются полная ликвидация ограничений в провозных способностях на железнодорожном транспорте общего пользования и создание соответствующего мировому уровню инфраструктурного базиса для развития новых точек экономического роста в стране, обеспечение современного уровня развития инфраструктуры и транспортное обеспечение разведанных новых месторождений полезных ископаемых.

Оценка значимости и стратегическое планирование ожидаемых эффектов и экономических последствий развития системы транспортных коммуникаций должна проводиться на новом научном уровне, с учетом предвидения глобальных изменений климата, политических рисков, прогнозов экономической конъюнктуры товарных рынков, рынков труда, финансов и капитала.

Иной подход не позволит обеспечивать требуемое качество прогнозов, т. е. реально оказывать влияние на выполнение намеченных стратегических ориентиров.

#### Список литературы

- 1 Управление инновациями на железнодорожном транспорте : [монография] / Н. П. Терёшина [и др.] ; под общ. ред. Н. П. Терёшиной. – М. : МИИТ, 2014. – 304 с.
- 2 Терёшина, Н. П. Конкурентоспособность интегрированных транспортно-логистических систем / Н. П. Терёшина, А. В. Резер. – М. : ВИНТИ РАН, 2015. – 268 с.

УДК 658.345:656.0

### ЗАВИСИМОСТЬ ЗАМЕДЛЕНИЯ ОТ ВРЕМЕНИ ОПОВЕЩЕНИЯ О СМЕНЕ СИГНАЛОВ СВЕТОФОРА ПРИ ПОДЪЕЗДЕ К СТОП-ЛИНИИ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

*Д. П. ХОДОСКИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Степень информируемости водителя о смене сигналов светофора (зеленого (ЗС), зеленого мигающего (ЗМС), желтого (ЖС) и красного (КС)) реализуется посредством времени оповещения ( $t_{оп}$ ), которое зависит от замедления автомобиля ( $j$ ), начальной скорости торможения ( $v$ ), времени реакции водителя ( $t_p$ ), времени срабатывания тормозного привода ( $t_2$ ), и времени нарастания замедления ( $t_3$ ):

$$t_{\text{оп}} = t_p + t_2 + 0,5t_3 + \frac{v}{2j}.$$

Время оповещения (наряду с переходным интервалом) играет определяющую роль в предотвращении таких ДТП, как столкновения с ударом сзади, попутные, межфазные столкновения транспортных средств, наезды на пешеходов на отдаленном пешеходном переходе.

Для исследования искомой зависимости были взяты следующие данные:

– по скорости, изучались искомые зависимости для каждой ее величины в интервале от 10 до 70 км/ч (от 2,78 до 19,44 м/с) с шагом 5 км/ч (1,39 м/с);

– время срабатывания тормозного привода принято за постоянную величину, равную для легкового автомобиля 0,2 с;

– в соответствии с нормативными документами и проведенными автором экспериментальными исследованиями для дальнейшей работы были выбраны следующие значения замедлений: 3,28 м/с<sup>2</sup> – величина математического ожидания (служебное замедление); 2,24 м/с<sup>2</sup> – величина математического ожидания за вычетом среднеквадратического отклонения; 1,20 м/с<sup>2</sup> – величина математического ожидания за вычетом удвоенного среднеквадратического отклонения; 4,32 м/с<sup>2</sup> – сумма величин математического ожидания и среднеквадратического отклонения; 5,36 м/с<sup>2</sup> – сумма величин математического ожидания и удвоенного среднеквадратического отклонения; 5,8 м/с<sup>2</sup> – величина нормируемого замедления (взята для автомобилей категории М1); 8,1 м/с<sup>2</sup> – величина экстренного замедления, определенная экспериментальным путем с применением измерителя эффективности тормозных систем «Эффект»;

– по времени нарастания замедления: для величины аварийного замедления – 0,25 с; для величины служебного замедления – 0,40 с.

– в качестве значений времени реакции водителя были выбраны следующие: 0,6, 0,8 и 1 с.

В качестве примера на рисунке 1 представлена одна из исследуемых зависимостей замедления от времени оповещения для выбранных значений скоростей и времени реакции 0,8 с.

На рисунке 1 изображена зона *H*, которая предшествует инертной зоне дилеммы, наличие которой существенно зависит от продолжительности времени оповещения, переходного интервала и характеризуется экстренным и служебным замедлениями соответственно.

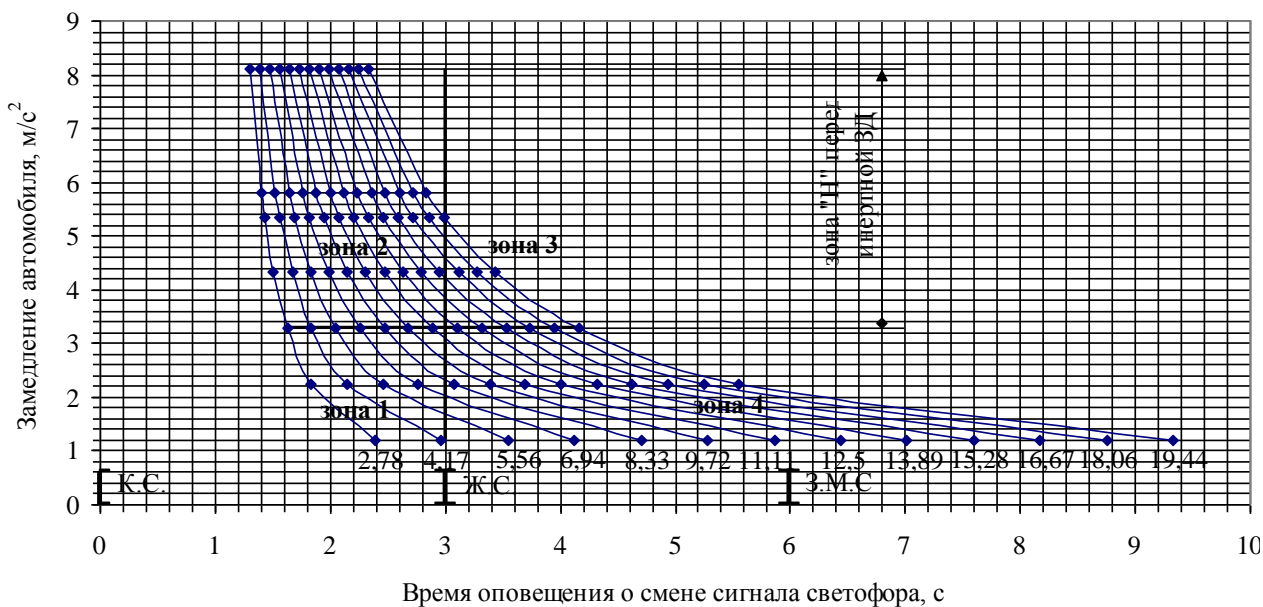


Рисунок 1 – Зависимость замедления от времени оповещения о смене сигнала светофора для различных значений скоростей и времени реакции 0,8 с

На рисунке 1 под значениями скоростей приводятся обозначения сигналов светофора (КС, ЖС, ЗМС). Причем имеется в виду, что переходной интервал реализуется продолжительностью ЖС, продолжительностью 3 с. Согласно рисунку 1: автомобиль подъезжает к РПК справа налево (по графикам), соответственно для него в промежутке с 10 до 6 с горит ЗС, с 6 до 3 с – ЗМС,

с 3 с до 0 – ЖС, а далее – КС. При анализе графиков видно, что с увеличением времени реакции водителя графики зависимостей смещаются слева направо, т. е. для одного и того же графика (точки) значение времени оповещения увеличивается.

В Республике Беларусь присутствует сочетание позволяющего и ограничивающего (2-й вариант) «желтого закона», в связи с чем многие водители предпочитают на интуитивном уровне ускориться и продолжить движение через перекресток на загорающийся ЖС. Последнее утверждение обосновывается количеством случаев проезда РПК на ЖС, зарегистрированным при исследовании движения транспортных средств в переходном интервале. Поэтому таким водителям необходимо предоставить возможность безопасного проезда РПК.

На графиках искомых зависимостей в результате нанесения на них так называемых «критических» прямых, характеризующих время оповещения 3 с и замедление автомобиля  $3,28 \text{ м/с}^2$ , получены четыре зоны (указаны цифрами 1–4, рисунок 1):

– в зоне 1 водители с характерными для этой зоны скоростями и замедлениями (меньше служебного) имеют достаточную возможность безопасно остановиться при существующем времени оповещения (3 с);

– в зоне 2 водители с характерными для этой зоны скоростями имеют небезопасную возможность остановиться при существующем времени оповещения (3 с). Возможность такой небезопасной остановки объясняется применением замедления больше служебного;

– в зоне 3 водители с характерными для этой зоны скоростями также имеют небезопасную возможность для остановки. В данном случае эта возможность выражена необходимостью применения для остановки замедления больше служебного и увеличением необходимого времени оповещения примерно до 3,7 с для скорости  $16,67 \text{ м/с}$  (см. рисунок 1);

– в зоне 4 водители с характерными для этой зоны скоростями и замедлениями (менее служебного) имеют небезопасную возможность остановиться. Это объясняется необходимостью наличия времени оповещения, существенно превышающего 3 с.

Результаты произведенных исследований доказывают, что необходимо увеличивать время оповещения водителей о смене сигналов светофора в целях уменьшения величины замедлений, применяемых для остановки (порядка  $3,28 \text{ м/с}^2$  и менее), а в общем виде – снизить число перечисленных выше ДТП путем введения зеленого перемигивающего сигнала.

УДК 656.052 : 656.224

## **РАЗВИТИЕ ЛОГИСТИКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ С УЧЕТОМ ФАКТОРА БЕЗОПАСНОСТИ**

*О. А. ХОДОСКИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Т. В. ГОРЯИНОВА*

*Государственная администрация железнодорожного транспорта Украины, г. Киев*

В современных условиях организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте должна соответствовать уровню экономического развития общества, его социальному потенциалу и потребностям. Эта концепция отражается на развитии железнодорожного транспорта Республики Беларусь, отраженная в соответствующей Государственной программе. Для выполнения перевозок пассажиров железнодорожным транспортом в региональном сообщении используются ресурсы девяти отраслевых хозяйств железной дороги: пассажирского, перевозок, локомотивного, вагонного, пути, гражданских сооружений, сигнализации и связи, электроснабжения и электрификации, водоснабжения и водоотведения. Функции управления пассажирскими перевозками выполняют обеспечивающие структурные подразделения железной дороги: информационно-вычислительные центры, центр защиты информации, конструкторско-технический центр, отделенческие расчетные центры, восстановительные и пожарные поезда, материально-технического снабжения, собственное автотранспортное хозяйство, администрации отделений и управления железной дороги, организации дорожного подчинения. Они связаны единством технологического процесса перевозки и финансо-

вого его обеспечения в соответствии с номенклатурой статей расходов по основной деятельности и созданием условий безопасной перевозки пассажиров как при выполнении самой перевозки, так и начально-конечных операций.

Функциональная схема логистики железнодорожных пассажирских перевозок предусматривает несколько видов сообщений, которые тесно связаны между собой экономико-технологически: их обслуживают одни и те же отраслевые хозяйства, используется единая железнодорожная инфраструктура и виды тяги. При этом необходимо отметить, что при увеличении скоростей движения пассажирских поездов до 160 км/ч на главных участках Белорусской железной дороги возрос уровень опасности для пассажиров, особенно находящихся на промежуточных посадочных платформах остановочных пунктов.

Использование принципов логистического распределения обеспечения перевозок пассажиров на функциональном уровне позволяет выделять финансовые потоки, направляемые железной дорогой на выполнение пассажирских перевозок по каждому виду функционально-технологической связи. При этом логистика межрегионального пассажирского сообщения по видам тяги предусматривает решение двух задач: 1) социальной – выполнение полного транспортного обслуживания населения в соответствии с социальными стандартами по транспортной доступности населения к услугам; 2) экономической – окупаемость данного вида перевозок.

Логистика межрегиональной железнодорожной пассажирской перевозки по видам тяги предусматривает широкое использование наряду с тепловозами и электровозами мотор-вагонные транспортные средства – электро- и дизельные поезда, предназначенные для выполнения межрегиональной перевозки пассажиров. Экономическая часть предусматривает дифференциацию эксплуатационных расходов отраслевых организаций железной дороги, обеспечивающих тяговое обслуживание на измерители эксплуатационной работы по каждому виду тяги. Это позволяет интегрировать расходы в логистике железнодорожных пассажирских перевозок в межрегиональном сообщении с учетом вида тяги и дифференцировать тарифы по регионам страны и участкам железной дороги. Логистика железнодорожных пассажирских перевозок в региональном сообщении будет неполной, если не рассматривать их выполнение по классу обслуживания. Такая логистическая схема выполнения пассажирских перевозок по видам сообщений с учетом дифференциации на классы обслуживания пассажиров определяет порядок их распределения по видам сообщений.

Экономические и эксплуатационные показатели вида сообщения по классу обслуживания и уровню безопасности выделены в отдельную категорию управленческого учета только в ряде высокоразвитых стран ЕС (Германия, Франция, Италия, Испания) и прорабатывается на Украине и Казахстане и в Республике Беларусь. Необходимость в таком распределении связана с формированием тарифов на железнодорожные пассажирские перевозки с учетом класса обслуживания. При этом как в Республике Беларусь, так и в других государствах бывшего социалистического блока в настоящее время не отражаются в управленческом учете: объемы выполненных перевозок пассажиров по классу обслуживания; эксплуатационные затраты на их выполнение; технологические показатели использования транспортных средств и железнодорожной инфраструктуры. При функциональном разделении пассажирских перевозок по классу обслуживания с учетом экономической составляющей можно будет говорить о завершенности формирования логистики их выполнения. При её отсутствии на некоторых маршрутах Белорусской железной дороги пассажирские перевозки выполняются по бизнес-классу с оплатой проезда по тарифу эконом-класса (маршруты Гомель – Светлогорск, Гомель – Калинковичи – Ельск, Гомель – Жлобин – Могилев и др.).

В странах ЕС логистика железнодорожной пассажирской перевозки имеет более сложную структуру, которая позволяет в значительной степени выделять расходную составляющую по каждому классу обслуживания в соответствии с технологией исполнения перевозочного процесса и используемому транспортному средству (в скоростном поезде, обычном, с использованием смешанной перевозки, выполняемой одним перевозчиком). Это связано с тем, что пассажир всегда хочет знать прозрачность калькуляции затрат по используемой форме логистики пассажирской перевозки. Логистика перевозок пассажиров в региональном сообщении в странах ЕС предусматривает три варианта исполнения:

1) интер-сити с использованием поездов модульного типа по системе бизнес-класса (когда поезд не делает ни одной остановки между городами регионального значения или в регионе) и движение осуществляется со скоростью не ниже 120–160 км/ч;



2) региональный экспресс – поезд движется между начальным и конечным населенными пунктами без промежуточных остановок, а сама перевозка выполняется на уровне эконом-класса;

3) региональный поезд, следующий со всеми остановками.

В зависимости от формирования транспортными средствами различного типа выполнение осуществляется на уровне эконом-класса или бюджетной перевозки (в старых модернизированных вагонах с минимумом комфорта). На Белорусской железной дороге используется один класс обслуживания пассажиров в региональном сообщении – эконом-класс. С поступлением на Белорусскую железную дорогу новых поездов «Stadler» для регионального сообщения, производимых в стране, и проведением электрификации железнодорожной сети Гомельского региона могут быть также введены три класса обслуживания: бизнес-, эконом- и бюджет-класс. Для каждого класса соответственно выделяются транспортные средства с различным уровнем износа, что позволит сделать градацию скоростных режимов по уровню безопасности следования региональных поездов. Соответствующую градацию получают и финансовые измерители, что создаст условия полной окупаемости перевозок пассажиров всех классов при различных тарифах, а главное – обеспечит доступность населения с различным уровнем дохода к региональной перевозке.

Постоянное повышение себестоимости железнодорожных пассажирских перевозок в региональном сообщении в условиях снижения покупательной способности населения привело к существенному падению их объемов, а при высоком уровне условно-постоянных расходов на пассажирские перевозки (45,1 %) и низкой реакции функционально-технологической системы железной дороги на резкое изменение объемов перевозок привело к повышению убыточности их выполнения (окупаемость составляет 18,2 %), что наносит значительный ущерб финансовой системе государства (выделение субсидий) и железной дороги.

УДК 658.8

## **ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ УКРАИНЫ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*О. В. ХРИСТОФОР, Т. С. МЕЛЬНИК  
ПАО «Украинская железная дорога», г. Киев*

В настоящее время в условиях сложной общеэкономической ситуации, повышенной нестабильности и конкуренции на транспортном рынке значительно повышается уровень рисков, которые могут составить угрозу эффективному функционированию отечественной транспортной системы в целом и в частности железнодорожному транспорту, где ситуация отягощается реформированием железнодорожной отрасли. Кроме того, работа транспортных систем всегда сопряжена с повышенными рисками в силу специфики транспортной услуги, а требования по обеспечению безопасности по мере развития транспорта и транспортных систем постоянно повышаются. Это и является основной причиной потребности в разработке соответствующего комплекса стабилизационных мероприятий для своевременного и действенного реагирования на потенциальные угрозы.

Для решения указанных задач в структуре Публичного акционерного общества «Украинская железная дорога» в ноябре 2016 г. был создан Департамент оперативного мониторинга, включающий на начальном этапе своего функционирования четыре отдела с такими основными направлениями деятельности:

- 1) отдел методологии и взаимодействия с органами власти и международными организациями:
  - организация взаимодействия ПАО «Украинская железная дорога» с органами власти, международными и гуманитарными организациями;
  - обеспечение методической поддержки разработки проектов нормативных документов;
  - управление кризисными ситуациями с позиций кризис-менеджмента;
- 2) отдел мониторинга производственно-технологического комплекса:
  - сбор и анализ информации об активности деятельности подразделений;
  - анализ информации о состоянии основных средств и материальных ресурсов;
  - аудит производственных процессов и технический аудит объектов железнодорожного транспорта, подразделений, находящихся в чрезвычайном состоянии;

- 3) отдел прогнозирования рисков:
- обеспечение методической основы управления рисками и преодоления кризисных явлений (ситуаций);
  - оценка уровней выявленных рисков;
  - выявление причин, несущих потенциальную опасность для стабильного и безопасного функционирования железнодорожного транспорта (включая экономические и имиджевые риски);
  - прогнозирование кризисных ситуаций и их профилактика в рамках кризис-менеджмента;
- 4) отдел координации деятельности подразделений:
- аккумулярование информации о производственной деятельности (пообъектный финансовый план, количество сданных/принятых поездов, погрузки/разгрузки вагонов и т. п.) и о причинах невыполнения планов/заданий;
  - организация исследования инфраструктуры и технических средств.

Учитывая необходимость создания корпоративной системы управления рисками ПАО «Украинская железная дорога» и отсутствие в его структуре специализированного подразделения, такие функции были возложены на Департамент оперативного мониторинга с внесением соответствующих изменений в его структуру и Положение. В частности, в июне 2017 г. отдел методологии и взаимодействия с органами власти и международными организациями был преобразован в ситуационный центр; одновременно с этим было определено, что основным направлением деятельности указанного департамента должно стать управление рисками на железнодорожном транспорте.

В перспективе предусматривается расширение сферы деятельности департамента и выполнение следующих работ:

- создание информационных баз данных по оперативному мониторингу и выявлению опасных ситуаций, в т. ч. с верификацией данных, поступающих от различных структурных подразделений;
- аналитическая работа, направленная на выявление причин негативных процессов и явлений, которые могут привести к катастрофическим последствиям;
- прогнозирование рисков возникновения неблагоприятных ситуаций и негативного воздействия на производственно-технологический комплекс ПАО «Украинская железная дорога»;
- оперативный, ситуационный, вариативный анализ и диагностика принимаемых решений в сфере поддержания безопасной и стабильной работы железнодорожного транспорта.

УДК 004.738.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ НА СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

*В. Г. ШЕВЧУК, А. Г. ПАВЛИК, А. Г. МИХАЛКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*В. А. КУДРЯШОВ*

*Петербургский университет путей сообщения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

В Республике Беларусь исследования надежности легковых автомобилей, причин наиболее частых обращений автолюбителей на станции технического обслуживания автомобилей (СТОА), предпочтения пользоваться услугами официальных СТОА не опубликованы или вовсе не проводились. Вместе с тем средний возраст легковых автомобилей, зарегистрированных за автовладельцами в Республике Беларусь, составляет около 15 лет. Это цифра выше, например, чем в РФ, но ниже, чем в Латвии и Украине (рисунок 1 [1]).

Следует отметить, что возраст легковых автомобилей влияет на их техническое состояние, что в свою очередь, может стать причиной дорожно-транспортного происшествия. По данным ГАИ Республики Беларусь около 0,23 % ДТП происходит именно из-за технической неисправности транспортных средств (рисунок 2), причем эти ДТП имеют серьезные последствия, что подчеркивает важность своевременного обращения автовладельцев в СТОА [2].

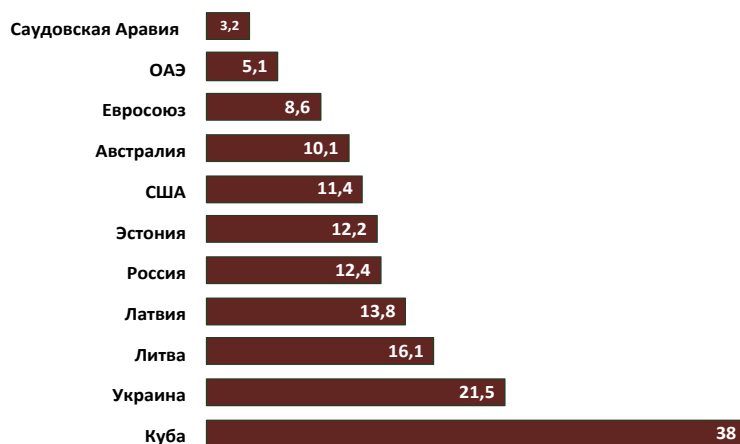


Рисунок 1 – Средний возраст автомобилей в европейских странах

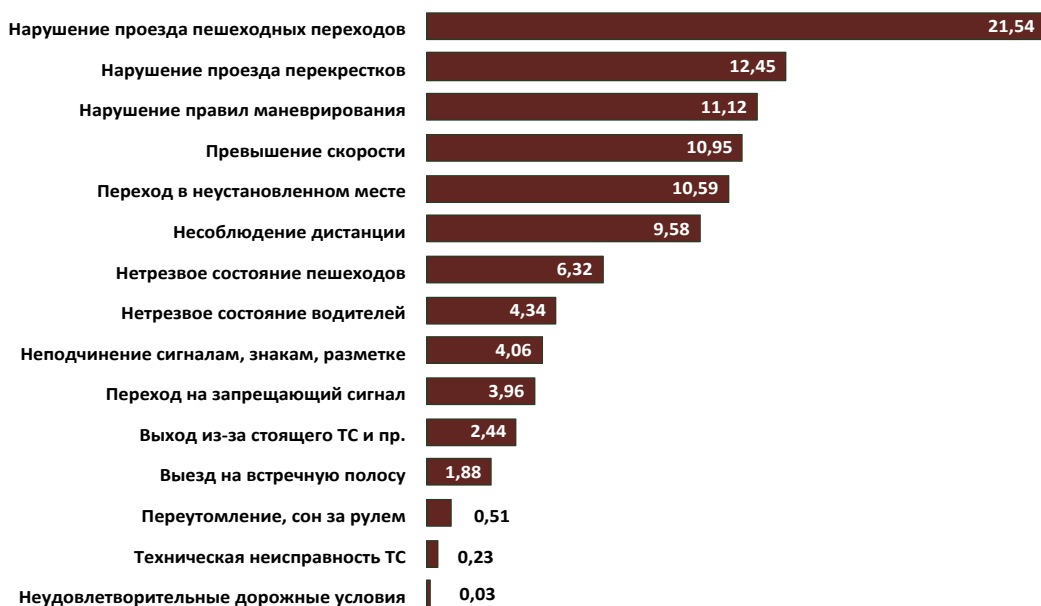


Рисунок 2 – Основные причины дорожно-транспортных происшествий в Республике Беларусь (в процентном отношении)

Видеонаблюдение на СТОА – это порядок, контроль и безопасность ведущегося бизнеса. С его помощью можно защитить персонал и имущество от посягательств злоумышленников, а также обеспечить добросовестное отношение сотрудников к своим обязанностям. Кроме того, можно предоставить клиентам возможность следить за качеством работы мастеров, что повысит уровень доверия к сервису на СТОА. Например, автомобиль заехал для ремонта в отведенное для этих целей помещение. Владелец оставляет свою машину одну на период, необходимый для проведения планового ТО или замены отказавшего узла.

Когда же приходит время забирать авто, хозяин машины (намеренно или нет) предъявляет претензии к руководству СТОА по поводу повреждения кузова авто или лакокрасочного покрытия: якобы, работники помяли дверь, поцарапали бампер или разбили стекло. Для того чтобы грамотно разрешить подобную ситуацию, необходимо купить и установить оборудование видеонаблюдения, которое позволит при необходимости прокрутить назад все события, происшедшие с автомобилем за всё время его пребывания в ремонте. И сразу станет ясно, кто виновен в повреждении машины – СТОА или забывчивый хозяин, повредивший свой автомобиль при заезде в гараж и решивший «срубить немного денег» с хозяев автосервиса. Причём слово «немного» может перерасти в круглую сумму, если дело касается элитной иномарки.

Проведенный (февраль 2016 г. – февраль 2017 г.) опрос 976 респондентов-клиентов СТОА показал следующее:

– 630, или 64,55 %, респондентов выступают за введение системы видеонаблюдения на СТОА;

– 183 (18,75 %) – также «за», но с оговоркой, чтобы это не повлияло на стоимость обслуживания на СТОА;

– 103 (10,55 %) – «против», поскольку считают, что это значительно увеличит стоимость обслуживания на СТОА;

– 43 (4,41 %) респондента не определились с конкретным ответом «за» или «против»;

– 17 (1,74 %) респондентов – отказались от участия в опросе.

Таким образом, более 83 % клиентов СТОА выступают за введение системы видеонаблюдения на СТОА. Кроме того, за введение системы видеонаблюдения на СТОА выступают 75,6 % самих работников СТОА.

Внедрение системы видеонаблюдения на станции технического обслуживания автомобилей (СТОА) позволит избежать и (или) разрешить спорные ситуации между клиентами и сотрудниками СТОА, вести дистанционный контроль за выполнением технологических процессов по осмотру и техническому обслуживанию автомобилей, усовершенствовать решения задач по маркетингу и др.

#### **Список литературы**

1 В Украине средний возраст авто в 25 раз больше, чем в ЕС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avtoshkola-indycar.com.ua>. – Дата доступа : 13.08.2017.

2 Основные причины дорожно-транспортных происшествий в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.google.by>. – Дата доступа : 13.08.2017.

## **8 ФИЗИКА, МЕХАНИКА И МАТЕМАТИКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

---

УДК 539.3

### **РЕШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ О СМЕЩЕНИИ СЛОЯ ГРУНТА ЖЕСТКИМ УПРУГИМ ТЕЛОМ**

*М. Х. АБДУЛКАДЕР*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При проектировании строительных машин необходимо иметь информацию об особенностях взаимодействия рабочих органов машин с перемещаемым грунтом. Анализ литературы показал, что процесс динамического контактного взаимодействия твердых тел с грунтом изучен недостаточно. Это объясняется сложностью моделирования упруго-пластического поведения грунта при больших деформациях. Целью представленной работы является установление напряженно-деформированного состояния грунта при его взаимодействии с твердыми телами.

В общем случае деформирование грунта описывается сложными упруго-пластическими моделями, для которых предел текучести формирует поверхность текучести, уравнение которой принимают в зависимости от критерия прочности, по которому производят расчет. Результаты исследований показали, что с высокой степенью точности описать поведение грунта позволяет модель Друкера-Прагера.

Рассматривался процесс среза грунта твердым телом, имеющим форму призмы с одной наклонной гранью. При создании конечноэлементной модели в среде программного комплекса ABAQUS применен восьмиузловой конечный элемент C3D8, который использует линейную интерполяцию в каждом направлении и представляет собой элемент первого порядка. С целью более точного определения напряжений и деформаций в месте контакта твердого тела с грунтом были введены в рассмотрение несколько объемов с разной концентрацией конечноэлементной сетки. Общее число элементов модели составило около 40000, узлов – около 45000.

Материал отвала считался линейно упругим, изотропным, с модулем упругости  $E = 200$  ГПа и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,3$ . Для материала основания использованы физические характеристики плотной глины: модуль упругости принят равным  $E_f = 600$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ , плотность  $= 2400$  кг/м<sup>3</sup>. Параметры модели Друкера-Прагера: когезия равна 2,9 МПа, угол трения равен 32°.

При создании контактной пары в обоих случаях использован контакт типа «поверхность – поверхность». Основание объема грунта было закреплено по горизонтали и вертикали. Для упругого тела задавалась постоянная скорость движения в направлении горизонтальной оси.

Были произведены расчеты напряженно-деформированного состояния основания при различных скоростях движения тела и толщинах слоя срезаемого материала. Получено, что разрушение материала инициируется не только в области острия материала, но и в средней части области контакта режущей кромки с грунтом, как это происходит и на практике.

Выполнен расчет движущих сил, которые надо приложить, чтобы обеспечить движение твердого тела с заданной скоростью. Результаты расчетов показали, что на начальной стадии движения наблюдается близкий к линейному закон изменения силы, затем градиент роста значения силы уменьшается. По истечении времени 0,1 с после начала движения сила резания достигает некоторой величины, близкой к константе. Представленные схемы демонстрируют колебательный характер изменения силы, который объясняется особенностями свойств грунта.

Рассчитаны значения максимальной силы резания в зависимости от толщины срезаемого слоя для разных скоростей движения отвала. Полученные графики показали, что увеличение скорости резания ведет к увеличению значения приложенной силы, причем увеличение скорости резания в 2 раза вызывает рост значения силы резания в 2,4–2,8 раза.

Таким образом, применение разработанной методики компьютерного моделирования контактного взаимодействия твердых тел с грунтом позволяет оптимизировать конструкции отвалов бульдозеров с целью обеспечения наибольшей эффективности их эксплуатации.

УДК 539.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ С ЗАГЛУБЛЕННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТЬЮ МЕТОДОМ ПРЯМЫХ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛОВ**

*А. М. АРУТЮНЯН, Ел. Л. КУЗНЕЦОВА, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ*  
*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),*  
*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (НИИ механики),*  
*Российская Федерация*

Рассматривается плоская нестационарная задача о распространении объемных возмущений в однородном линейно-упругом полупространстве, имеющем заглубленную полость произвольной геометрии и расположения с гладкой границей. Предполагается, что массовые силы в полупространстве отсутствуют. Используем прямоугольную декартову систему координат. Одна из осей направлена вдоль невозмущенной границы полупространства, вторая – вглубь полупространства.

Предполагается, что полость имеет бесконечную протяженность в направлении одной из осей, что приводит к плоской постановке задачи. Полагаем, что на контуре полости заданы перемещения, напряжения или смешанные граничные условия.

Движение упругого полупространства описывают уравнения Ламе в перемещениях. Также в постановку задачи включаются соотношения Коши и закон Гука. Полагаем, что в начальный момент времени полупространство с полостью находится в состоянии покоя, что приводит к нулевым начальным условиям.

Метод решения основан на динамической теореме взаимности [1], согласно которой работа системы сил первого состояния на перемещениях второго состояния равна работе системы сил второго состояния на перемещениях первого.

Перемещения и напряжения первого состояния являются искомыми, а в качестве перемещений и напряжений второго состояния используются фундаментальные решения (объемные функции влияния) для упругого пространства (в плоской постановке – для упругой плоскости).

С использованием этих фундаментальных решений и теоремы взаимности поставленная задача сводится к разрешающей системе двумерных интегральных уравнений, ядрами которых выступают упомянутые фундаментальные решения. Для её решения используется метод прямых граничных интегралов с дискретизацией по времени [2, 3], согласно которому контур полости и часть границы полупространства, до которой в данный момент времени доходят возмущения, аппроксимируются прямолинейными граничными элементами, на каждом из которых перемещения и напряжения в данный момент времени считаются постоянными. При этом контурные интегралы приближённо заменяются конечными суммами интегралов по этим граничным элементам. В результате на каждом временном шаге задача сводится к решению системы алгебраических уравнений, коэффициенты которой представляют собой интегралы от фундаментальных решений по граничным элементам. Решениями этой системы являются искомые перемещения и напряжения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-38-70024).

### **Список литературы**

- 1 **Новацкий, В.** Теория упругости / В. Новацкий. – М. : МИР, 1975. – 872 с.
- 2 **Арутюнян, А. М.** Плоская нестационарная задача о воздействии поверхностного давления на упругое полупространство с заглубленной цилиндрической полостью / А. М. Арутюнян, Ел. Л. Кузнецова, Г. В. Федотенков // Тезисы докладов IV Международного научного семинара «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы». – М. : МАИ, 2016. – С. 13–14.
- 3 **Крауч, В.** Методы граничных элементов в механике твердого тела / В. Крауч, А. Старфилд. – М. : МИР, 1987. – 328 с.

**ВЛИЯНИЕ БОЛЬШИХ НАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ  
НА ПОВЕРХНОСТНУЮ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГОГО СЛОЯ,  
КОНТАКТИРУЮЩЕГО СО СЛОЕМ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ**

А. М. БАГНО

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

В настоящей работе для проведения исследования в качестве подхода выбраны постановки задач и метод, основанные на применении представлений общих решений линеаризованных уравнений движения упругого тела и жидкости, предложенные в работах [1, 2].

В рамках принятых моделей система исходных соотношений линеаризованной теории гидроупругости для тел с начальными напряжениями, взаимодействующими с идеальной сжимаемой жидкой средой, имеет вид [1, 2]:

1) несжимаемые упругие тела –

$$\left( \tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta} \frac{\partial^2}{\partial z_i \partial z_\beta} - \delta_{j\alpha} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) u_\alpha + \tilde{q} \frac{\partial f}{\partial z_i} = 0, \quad \tilde{q}_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial z_i} = 0, \quad z_k \in V_1; \quad (1)$$

$$\tilde{Q}_j \equiv N_i^0 \left( \tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta} \frac{\partial u_\alpha}{\partial z_\beta} + \tilde{q}_{ij} f \right); \quad \tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta} = \lambda_i \lambda_\beta \kappa_{ij\alpha\beta}, \quad \tilde{q}_{ij} = \lambda_i q_{ij}, \quad \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1; \quad (2)$$

2) идеальная сжимаемая жидкость –

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0} \nabla p = 0; \quad \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho^*}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{v} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial \rho^*} = a_0^2; \quad (3)$$

$$p_{ij} = -\delta_{ij} p; \quad \tilde{P}_j = p_{ij} N_i^0; \quad a_0 = \text{const}, \quad z_k \in V_2. \quad (4)$$

При этом специфику взаимодействия упругих и жидких сред отражают динамические и кинематические граничные условия

$$\tilde{Q}_1|_{z_2=0} = 0; \quad \tilde{Q}_2|_{z_2=0} = \tilde{P}_2|_{z_2=0}; \quad \tilde{Q}_1|_{z_2=-h_2} = 0; \quad \tilde{Q}_2|_{z_2=-h_2} = 0; \quad \tilde{P}_2|_{z_2=h_1} = 0; \quad v_2|_{z_2=0} = \frac{\partial u_2}{\partial t}|_{z_2=0}. \quad (5)$$

Здесь введены такие обозначения:  $u_\alpha$  и  $v_i$  – компоненты векторов смещений твердого тела  $\mathbf{u}$  и возмущений скорости жидкости  $\mathbf{v}$ ;  $\rho$  и  $\rho_0$  – плотности материала упругого слоя и жидкости;  $\lambda_i$  – удлинения упругого слоя в направлениях координатных осей;  $\rho^*$  и  $p$  – возмущения плотности и давления в жидкости;  $h_1$  и  $h_2$  – толщины жидкого и упругого слоев;  $\tilde{Q}_j$  и  $\tilde{P}_j$  – составляющие напряжений в упругом теле и жидкости. Выражения для тензоров  $\tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta}$  и  $\tilde{q}_{ij}$ , зависящие от вида начального состояния и типа упругого потенциала материала твердого тела, приведены в работах [1].

Для анализа распространения возмущений, гармонически изменяющихся во времени, решение системы уравнений находим в классе бегущих волн. Далее решаем две задачи Штурма – Лиувилля на собственные значения для уравнений движения упругого тела и жидкости, а также определяем соответствующие собственные функции. После подстановки решений в граничные условия и выполнения ряда преобразований получаем дисперсионное уравнение.

В дальнейшем дисперсионное уравнение решалось численно. При этом расчеты проводились для гидроупругой системы, состоящей из несжимаемого упругого слоя и слоя воды. В качестве материала для упругого слоя выбиралась высокоэластичная резина, упругие свойства которой описываются упругим потенциалом Трелоара.

Было установлено, что предварительные деформации вызывают изменение частот зарождения мод Лэмба и смещение их дисперсионных кривых. Начальное сжатие ( $\lambda_1 = 0,8$ ) приводит к сдвигу критических частот и дисперсионных кривых в коротковолновую часть спектра. Численно было показано, что при сжатии и  $\lambda_1 \approx 0,54$  (более точное значение  $\lambda_1 \approx 0,543694$ ), то есть при уменьше-

нии длины высокоэластичного несжимаемого тела на 46 % величины фазовых скоростей первой и второй мод обращаются в нуль. Это свидетельствует о том, что в условиях плоского напряженно-деформированного начального состояния для высокоэластичного несжимаемого неогуковского тела при  $\lambda_1 \approx 0,54$  возникает явление поверхностной неустойчивости. Отметим, что это значение совпадает с ранее полученной величиной в теории устойчивости и соответствует значению параметра критического укорочения  $\lambda_{кр}$ .

Вычисления показали, что в гидроупругом волноводе фазовая скорость первой моды обращается в нуль при  $\lambda_1 \approx 0,543695$ . Это свидетельствует о том, что в условиях плоского напряженно-деформированного начального состояния поверхность упругого слоя гидроупругой системы, контактирующая со слоем жидкости, при  $\tilde{\lambda}_{кр} = \lambda_1 \approx 0,543695$  теряет поверхностную устойчивость. У второй поверхности упругого слоя, которая является свободной, явление поверхностной неустойчивости возникает при  $\lambda_{кр} = \lambda_1 \approx 0,543694$ . Эти различия между  $\tilde{\lambda}_{кр}$  и  $\lambda_{кр}$  свидетельствуют о том, что наличие слоя идеальной сжимаемой жидкости приводит к понижению порога поверхностной неустойчивости гидроупругого волновода и возникновению ее раньше при меньшем сжатии  $\tilde{\lambda}_{кр} > \lambda_{кр}$ .

Таким образом, развитая линеаризованная теория волн применительно к высокоэластичным несжимаемым телам позволяет исследовать волновые процессы не только в общем и ряде частных случаев, а также возможность и условия возникновения явления поверхностной неустойчивости как в упругом слое, так и в гидроупругой системе.

#### Список литературы

- 1 Гузь, А. Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями : в 2 ч. / А. Гузь. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.
- 2 Guz, A. N. Dynamics of compressible viscous fluid / A. N. Guz. – Cambridge : Cambridge Scientific Publishers, 2009. – 428 p.

УДК 62.752, 621:534;833; 888.6, 629.4.015;02

## СПОСОБ НАСТРОЙКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПОМОЩИ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Р. С. БОЛЬШАКОВ, А. В. НИКОЛАЕВ*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

**Введение.** Для стабильной эксплуатации транспортных средств при действии вибрационных нагрузений в современных условиях необходим контроль над их динамическим состоянием [1–3]. Одним из наиболее широко используемых методов является динамическое гашение колебаний [4], которое может быть получено при помощи введения в систему специальных устройств.

В предлагаемом докладе рассматриваются возможности настройки динамического состояния механической колебательной системы с твердым телом на упругих опорах с помощью дополнительно введенного рычажного механизма с дополнительной массой.

**I. Общие положения. Постановка задачи.** Рассматривается расчетная схема в виде механической колебательной системы с твердым телом на упругих опорах с дополнительно присоединенным динамическим гасителем колебания (рисунок 1, а). Возмущение представлено периодической силой  $Q_1$  (гармоническое воздействие). Введены следующие обозначения:  $y_0$  – колебания центра тяжести рабочего органа 1;  $M$  – масса твердого тела;  $J$  – момент инерции;  $y_1, y_2$  – координаты движения твердого тела;  $y_{в.о}, y_A$  – линейные колебания крепления динамического гасителя;  $\varphi$  – угловое колебание твердого тела;  $\varphi_1$  – угловое колебание динамического гасителя 10; т.  $O$  – центр тяжести; т.  $A$  – точка крепления неподвижной части динамического гасителя к твердому телу; т.  $B$  – точка крепления упругого элемента динамического гасителя к твердому телу;  $l_0$  – расстояние между крайними точками динамического гасителя;  $k_1, k_2, k_3$  – жесткости упругих элементов.



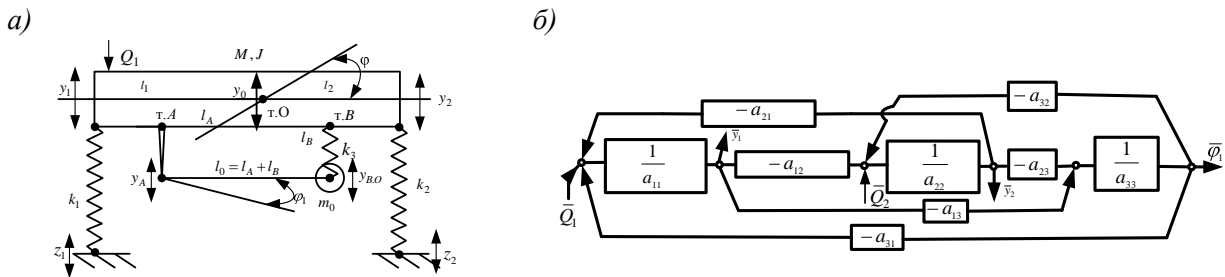


Рисунок 1 – Расчетная (а) и структурная (б) схемы системы с твердым телом с динамическим гасителем

После построения и трансформации структурной схемы системы ( $p = j\omega$  – комплексная переменная) (рисунок 2, б) и набора дифференциальных уравнений математическая модель примет вид, показанный в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты дифференциальных уравнений системы\*

$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
$Ma^2 + Jc^2 + m_0 a_1^2 p^2 + k_1 + a_2^2 k_3$	$Mab - Jc^2 + m_0 a_1 b_1 p^2 - k_3 a_2^2$	$m_0 a_1 l_0 p^2 - k_3 a_2 l_0$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$
$Mab - Jc^2 + m_0 a_1 b_1 p^2 - k_3 a_2^2$	$Mb^2 + Jc^2 + m_0 b_1^2 p^2 + k_2 + k_3 a_2^2$	$m_0 b_1 l_0 p^2 + k_3 a_2 l_0$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$
$m_0 a_1 l_0 p^2 - k_3 a_2 l_0$	$m_0 b_1 l_0 p^2 + k_3 a_2 l_0$	$m_0 l_0^2 p^2 + k_3 l_0^2$
Обобщенные силы		
$\bar{Q}_1$	0	0

\*  $a = \frac{l_2}{l_1 + l_2}$ ;  $b = \frac{l_1}{l_1 + l_2}$ ;  $c = \frac{1}{l_1 + l_2}$ ;  $a_1 = a + l_A c$ ;  $b_1 = b - l_A c$ ;  $a_2 = -c(l_A + l_B)$ ;  $l_0 = l_A + l_B$ .

**II. Особенности динамических свойств системы при перемещении динамического гасителя колебаний.** Оценка динамического состояния исследуемой механической колебательной системы может быть произведена при помощи построения передаточных функций системы по координатам  $y_1$  и  $y_2$ , которые можно получить после использования формул Крамера [2]. Оптимальный режим работы транспортного средства достигается при достижении соотношения координат  $y_2/y_1 = 1$  и поддержание такого режима возможно при изменении параметров дополнительной массы  $m_0$  и положения динамического гасителя колебаний. Графики зависимостей  $\omega_{дин}$  при различных значениях этих параметров приведены на рисунке 2.

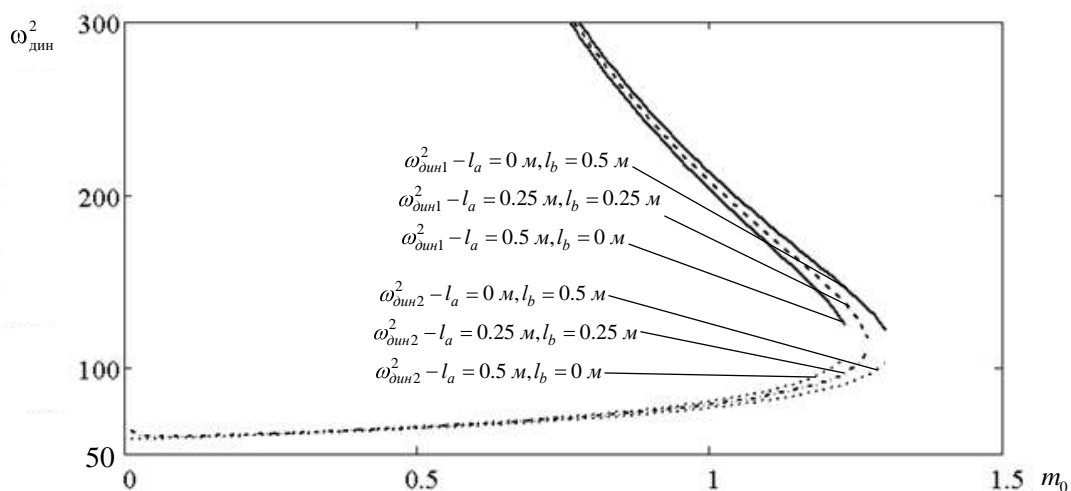


Рисунок 2 – Семейство частотных диаграмм при соотношении координат  $y_2/y_1 = 1$

**Заключение.** Анализ передаточных функций показывает, что, несмотря на насыщенность переменными и сложности их структуры, контроль над динамическими свойствами системы возможен за счет подбора параметров, к примеру, изменения значения дополнительной массы или положения динамического гасителя колебаний, что позволит регулировать значения частот динамического гашения колебаний.

#### Список литературы

- 1 Фролов, К. В. Прикладная теория виброзащитных систем / К. В. Фролов, Ф. А. Фурман. – М. : Машиностроение, 1985. – 286 с.
- 2 Елисеев, С. В. Мехатронные подходы в динамике механических колебательных систем / С. В. Елисеев, Ю. И. Резник, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2011. – 384 с.
- 3 Елисеев, С. В. Динамическое гашение колебаний: концепция обратной связи и структурные методы математического моделирования / С. В. Елисеев, А. П. Хоменко. – Новосибирск : Наука, 2014. – 357 с.
- 4 Концепция обратной связи в динамике механических систем и динамическое гашение колебаний [Электронный ресурс] / С. В. Елисеев [и др.] // technomag.edu.ru: Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – № 5. – 2012. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/378353.html>. – Дата доступа : 10.05.2012.

УДК 539.3

### ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ ДВАЖДЫ УСЕЧЕННОГО УПРУГОГО КОНУСА ПОД ДЕЙСТВИЕМ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

*Н. Д. ВАЙСФЕЛЬД, К. Д. МЫСОВ*

*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, Украина*

Рассматривается упругий дважды усеченный конус, занимающий поверхность, описываемую в сферической системе координат соотношениями  $a < r < b, -\pi \leq \varphi < \pi, -\omega \leq \theta \leq \omega$ .

Верхний торец конуса  $r = b, -\pi \leq \varphi < \pi, -\omega \leq \theta \leq \omega$  закреплен:

$$w(b, \theta, t) = 0. \quad (1)$$

На конической поверхности тела  $a \leq r \leq b, -\pi \leq \varphi < \pi, \theta = \omega$  касательные напряжения считаются равными нулю:

$$\left( \frac{\partial w(r, \omega, t)}{\partial \theta} - w(r, \omega, t) \operatorname{ctg} \theta \right) \Big|_{\theta=\omega} = 0. \quad (2)$$

На нижнем торце конуса  $r = a, -\pi \leq \varphi < \pi, -\omega \leq \theta \leq \omega$  к абсолютно жесткой накладке, сцепленной с торцом, приложен крутящий момент

$$w(a, \theta, t) = \alpha(t) l \sin \theta, \quad l = b - a, \quad (3)$$

где  $\alpha(t)$  – неизвестный угол поворота, который найден в дальнейшем из уравнения движения накладки

$$2\pi a^3 \int_0^{\omega} \sin^2 \theta \tau_{r\varphi}(a, \theta, t) d\theta + MH(t) - \alpha''(t)J = 0, \quad (4)$$

$J$  – момент инерции накладки,  $H(t)$  – функция Хэвисайда.

Требуется найти волновое поле, удовлетворяющее краевым условиям (1)–(3) и уравнению кручения

$$(r^2 w'(r, \theta, t))' + \frac{(\sin \theta w''(r, \theta, t))'}{\sin \theta} - \frac{w(r, \theta, t)}{\sin^2 \theta} = \frac{r^2}{c^2} \frac{\partial^2 w(r, \theta, t)}{\partial t^2} \quad (5)$$

при нулевых начальных условиях ( $w(r, \theta, t) = u_\varphi(r, \theta, t)$ ; штрих над символом обозначает производную по первой переменной, точка над символом – производную по второй переменной).

Для решения поставленной задачи применяется интегральное преобразование Лапласа по времени и интегральное преобразование Г. Я. Попова по угловой координате  $\theta$  [1] с формулами прямого

$$w_{sk}(r) = \int_0^{\omega} \sin \theta P_{\nu_k}^1(\cos \theta) w_s(r, \theta) d\theta \quad (6)$$

и обратного

$$w_s(r, \theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{P_{\nu_k}^1(\cos \theta) w_{sk}(r)}{\|P_{\nu_k}^1(\cos \theta)\|^2} \quad (7)$$

преобразований, где  $s$  – параметр преобразования Лапласа,  $P_{\nu_k}^1(\cos \theta)$  – присоединенные функции Лежандра первого рода,  $\nu_k$  – корни трансцендентного уравнения;

$$\left. \frac{\partial P_{\nu_k}^1(\cos \theta)}{\partial \theta} \right|_{\theta=0} - \text{ctg} \omega P_{\nu_k}^1(\cos \omega) = 0. \quad (8)$$

В результате интегральных преобразований в пространстве трансформант получена одномерная краевая задача

$$\begin{aligned} (r^2 w'_{sk})' - \nu_k(\nu_k + 1)w_{sk} - \frac{r^2}{c^2} s^2 w_{sk} &= 0; \\ w_{sk}(a) &= \alpha_s l \gamma_k, \quad w_{sk}(b) = 0; \\ \alpha_s &= \int_0^{\infty} e^{-st} \alpha(t) dt, \quad \gamma_k = \int_0^{\omega} \sin^2 \theta P_{\nu_k}^1(\cos \theta) d\theta. \end{aligned} \quad (9)$$

Для указанной задачи построена функция Грина  $G_k(r, \xi)$ . В пространстве трансформант построено точное решение задачи (9)

$$w_{sk}(r) = r^{-\frac{1}{2}} a^{\frac{1}{2}} \frac{Y_{\nu_k + \frac{1}{2}}(rq) J_{\nu_k + \frac{1}{2}}(bq) - Y_{\nu_k + \frac{1}{2}}(bq) J_{\nu_k + \frac{1}{2}}(rq)}{Y_{\nu_k + \frac{1}{2}}(aq) J_{\nu_k + \frac{1}{2}}(bq) - Y_{\nu_k + \frac{1}{2}}(bq) J_{\nu_k + \frac{1}{2}}(aq)} \alpha_s l \gamma_k. \quad (10)$$

Здесь  $J_{\nu_k + \frac{1}{2}}(bq)$ ,  $Y_{\nu_k + \frac{1}{2}}(rq)$  – функции Бесселя первого и второго рода соответственно.

К выражению (10) применяется обратное преобразование (7). Таким образом, в пространстве трансформант Лапласа построено точное решение исходной начальной краевой задачи (1)–(3), (5). Угол поворота, входящий в полученную формулу, найден из условия (4).

Численная реализация поставленной задачи детализирована для случая установившихся колебаний, для чего в полученных формулах нужно положить  $s = i\omega$ , где  $\omega$  – частота колебаний.

Проведен численный анализ волнового поля конуса в зависимости от частоты колебаний, выявлены собственные частоты.

#### Список литературы

1 Попов, Г. Я. Новые интегральные преобразования с применением к некоторым краевым задачам математической физики / Г. Я. Попов // Украинский математический журнал. – 2002. – Т. 54, № 12. – С. 1642–1652.

УДК 539.3

### КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ КОНЦОВ ПОПЕРЕЧНОЙ ТРЕЩИНЫ В ПОЛУПОЛОСЕ

*Н. Д. ВАЙСФЕЛЬД, В. В. РЕУТ, З. Ю. ЖУРАВЛЁВА*  
*Одесский национальный университет им. П. П. Мечникова, Украина*

Рассматривается упругая полуполоса, которая занимает область, описываемую в декартовой системе координат соотношениями  $0 < x < a, 0 < y < \infty$ . Левая боковая грань закреплена – и  $0, y = 0, \nu = 0, y = 0$ , а правая находится в условиях гладкого контакта с окружающей средой – и  $a, y = 0, \tau_{xy} = 0, y = 0$ . По короткому торцу полуполосы заданы условия

$$\begin{aligned} \sigma_y|_{y=0} = p x, \quad \tau_{xy}|_{y=0} = 0, \quad a_0 < x < a \\ v|_{y=0} = 0, \quad \tau_{xy}|_{y=0} = 0, \quad 0 < x < a_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Внутри полуполосы по линии  $c_0 < x < c_1, y = B$  расположена поперечная трещина

$$u(x, B-0) - u(x, B+0) = \langle u(x, B) \rangle = \psi_1(x) \neq 0, \quad c_0 < x < c_1; \quad (2)$$

$$v(x, B-0) - v(x, B+0) = \langle v(x, B) \rangle = \psi_2(x) \neq 0, \quad c_0 < x < c_1;$$

$$\tau_{xy}(x, B-0) - \tau_{xy}(x, B+0) = \langle \tau_{xy}(x, B) \rangle = 0, \quad c_0 < x < c_1; \quad (3)$$

$$\sigma_y(x, B-0) - \sigma_y(x, B+0) = \langle \sigma_y(x, B) \rangle = 0, \quad c_0 < x < c_1.$$

Необходимо определить смещения и напряжения, которые удовлетворяют краевым условиям на боковых гранях, на коротком торце (1), условиям на трещине (2)–(3) и уравнениям равновесия Ламе.

Исходная задача сводится к одномерной путём применения полубесконечного  $\sin$ -,  $\cos$ -преобразования Фурье по переменной  $y$  по обобщённой схеме [1]. Задача в пространстве трансформант формулируется в векторном виде. Её решение ищется в виде суперпозиции общего и частного решений [2]. Общее решение задачи строится с помощью аппарата матричного дифференциального исчисления, а частное – с помощью матричной функции Грина, полученной в билинейной форме.

После обращения интегрального преобразования получаем выражения для функций перемещений, зависящие от неизвестных функций  $\chi(x), \psi_1(x), \psi_2(x)$ , где  $\chi(x) = v(x, 0)$ .

Подставляя выражения для функций перемещений в условия

$$\sigma_y|_{y=0} = p x, \quad \tau_{xy}|_{y=B-0} = 0, \quad \sigma_y|_{y=B-0} = 0,$$

приходим к системе трёх интегро-дифференциальных уравнений [3]

$$\begin{cases} \frac{d^2}{dx^2} \int_{-1}^1 \tilde{\chi}(\xi) \ln \frac{1}{|\xi-x|} d\xi + \tilde{K}_0(x) = \tilde{r}(x), & -1 < x < 1; \\ \frac{d^2}{dx^2} \int_{-1}^1 \tilde{\psi}_1(\xi) \ln \frac{1}{|\xi-x|} d\xi + \tilde{K}_1(x) = 0, & -1 < x < 1; \\ \frac{d^2}{dx^2} \int_{-1}^1 \tilde{\psi}_2(\xi) \ln \frac{1}{|\xi-x|} d\xi + \tilde{K}_2(x) = 0, & -1 < x < 1, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\tilde{\chi}(\xi) = \chi\left(\frac{a-a_0\xi + a_0+a}{2}\right)$ ,  $\tilde{\psi}_i(\xi) = \psi_i\left(\frac{c_1-c_0\xi + c_0+c_1}{2}\right)$ ,  $i=1,2$ ,  $\tilde{r}(x)$ ,  $\tilde{K}_i(x)$ ,  $i=1,2,3$  –

известные регулярные функции при  $c_0 > \varepsilon_0$ ,  $c_1 < a - \varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_0, \varepsilon_1 > 0$ .

Система уравнений (4) решается методом ортогональных многочленов, для чего неизвестные функции раскладываются в ряды по многочленам Чебышёва второго рода:

$$\tilde{\chi}(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} s_n^0 \sqrt{1-\xi^2} U_n(\xi), \quad \xi \in -1; 1; \quad (5)$$

$$\tilde{\psi}_i(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} s_n^i \sqrt{1-\xi^2} U_n(\xi), \quad \xi \in -1; 1, \quad i=1, 2. \quad (6)$$

Выражения (5), (6) подставляются в систему уравнений (4) и применяется стандартная схема метода ортогональных многочленов. В результате решение системы (4) сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений

$$\vec{S}_m + \sum_{n=0}^{\infty} D_{mn} \vec{S}_n = \vec{f}_m, \quad m=0,1,2,\dots, \quad (7)$$

где  $\vec{S}_m = \begin{pmatrix} s_m^0 \\ s_m^1 \\ s_m^2 \end{pmatrix}$ , компоненты  $D_{mn} = d_{mn}^{ij}$ ,  $i, j=0,1,2$ ,  $\vec{f}_m = \begin{pmatrix} f_m^0 \\ f_m^1 \\ f_m^2 \end{pmatrix}$  являются известными постоянными.

Решая систему (7) и подставляя найденные постоянные в представления (5), (6), получаем выражения для функций перемещений и напряжений.

Для подсчёта коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) на концах трещины используются следующие формулы:

$$K_{I-} = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^2 \frac{\sqrt{\pi c_1 - c_0} n+1 -1^k}{\sqrt{2}}, \quad K_{I+} = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^2 \frac{\sqrt{\pi c_1 - c_0} n+1}{\sqrt{2}}; \quad (8)$$

$$K_{II-} = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^1 \frac{\sqrt{\pi c_1 - c_0} n+1 -1^k}{\sqrt{2}}, \quad K_{II+} = \sum_{k=0}^{\infty} s_k^1 \frac{\sqrt{\pi c_1 - c_0} n+1}{\sqrt{2}}.$$

В работе представлена новая методика решения плоской задачи теории упругости для полубесконечной полосы с поперечной трещиной, основанная на сведении исходной задачи к одномерной путём применения интегрального преобразования по обобщённой схеме. Подсчитаны КИН на концах трещины. Установлены границы применимости метода ортогональных многочленов.

#### Список литературы

1 **Попов, Г. Я.** Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений / Г. Я. Попов. – М. : Наука, 1982. – 344 с.

2 **Vaysfel'd, N.** On one new approach to the solving of an elasticity mixed plane problem for the semi-strip / N. Vaysfel'd, Z. Zhuravlova // Acta Mechanica. – 2015. – Vol. 226, № 12. – P. 4159–4172. – DOI: 10.1007/s00707-015-1452-x.

3 **Zhuravlova, Z.** Stress analysis near the tips of a transverse crack in an elastic semi-strip / Z. Zhuravlova // Applied Mathematics and Mechanics (English edition). – 2017. – P. 1–22. – DOI: 10.1007/s10483-017-2217-6.

УДК 539.3

### НЕСТАЦИОНАРНАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ В УПРУГОМ СТЕРЖНЕ

*Я. А. ВАХТЕРОВА, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ*

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, (НИИ механики),  
Российская Федерация*

Рассматривается однородный упругий прямолинейный стержень конечной длины  $l$  в прямоугольной декартовой системе координат  $Oxuz$ . Сечение стержня с координатой  $x=0$  жестко закреплено, а на противоположном конце стержня задана внешняя осевая сила  $P(t)$ , зависящая от времени. Требуется решить прямую задачу о нестационарных колебаниях стержня и обратную задачу по идентификации дефектов (изменений площади поперечного сечения) стержня.

В прямой задаче о нестационарных колебаниях полагается, что стержень имеет переменную площадь поперечного сечения  $F(x)$ , незначительно отличающуюся от некоторой постоянной величины  $F_0$ :

$$F(x) = F_0 + F_1(x), \quad \left| \frac{F_1(x)}{F_0} \right| \ll 1. \quad (1)$$

Математическая постановка прямой задачи включает в себя уравнение движения стержня переменного поперечного сечения, граничные и начальные условия:

$$\rho F(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial}{\partial x} \left[ F(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right]; \quad (2)$$

$$u(x,t) \Big|_{x=0} = 0, \quad EF(l) \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=l} = -P(t); \quad (3)$$

$$u(x,t) \Big|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad (4)$$

где  $u$  – продольные перемещения;  $E$ ,  $\rho$  – модуль Юнга и плотность материала стержня.

С целью линеаризации поставленной задачи [1] введём малый параметр  $\varepsilon$  следующим образом:

$$\frac{F(x)}{F_0} = 1 + \varepsilon \eta(x). \quad (5)$$

Искомые перемещения разложим в ряд по малому параметру  $\varepsilon$ :

$$u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(x, t) \varepsilon^n = \sum_{n=0}^{\infty} u_n \varepsilon^n. \quad (6)$$

Подстановка (6) в (2)–(3) приводит к рекуррентной последовательности задач для определения коэффициентов ряда (6):

$$n = 0$$

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2}, \quad u_0|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial u_0}{\partial x} \Big|_{x=l} = -P_*(t), \quad u_0|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u_0}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0. \quad (7)$$

$$n > 0$$

$$\frac{\partial^2 u_n}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u_n}{\partial x^2} + p_n(x, t), \quad u_n|_{x=0} = 0, \quad \frac{\partial u_n}{\partial x} \Big|_{x=l} = -\eta(x) \frac{\partial u_{n-1}}{\partial x} \Big|_{x=l}, \quad u_n|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u_n}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0. \quad (8)$$

где  $c^2 = \frac{E}{\rho}$ ,  $P_*(t) = -\frac{P(t)}{EF_0}$ ,  $p_n(x, t) = c^2 \left[ \eta'(x) \frac{\partial u_{n-1}}{\partial x} + \eta(x) \left( \frac{\partial^2 u_{n-1}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u_{n-1}}{\partial t^2} \right) \right]$ .

Для решения этих задач используются граничные и объёмные функции Грина для волнового уравнения движения однородного стержня постоянного поперечного сечения [2, 3].

В обратной задаче полагается, что перемещения конца стержня  $u_d(t) = u(l, t)$  известны. На практике эта информация может поступать с датчика перемещений, установленного в сечении  $x = l$  стержня. Функция  $\eta(x)$ , характеризующая относительное изменение площади поперечного сечения, является искомой. Используя решение прямой задачи, обратная задача сводится к двумерному интегральному уравнению типа Вольтера относительно искомой функции  $\eta(x)$ . Для его решения используется регуляризация А. Н. Тихонова и метод механических квадратур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-38-50034).

#### Список литературы

- 1 Ватульян, А. О. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела / А. О. Ватульян. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 224 с.
- 2 Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков [и др.]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 3 Вахтерова, Я. А. Обратная задача об идентификации нестационарной нагрузки для балки Тимошенко / Я. А. Вахтерова, Е. В., Серпичева, Г. В. Федотенков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 4. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 82–92.

УДК: 539.3

### ОБ ОДНОЙ СВЯЗАННОЙ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТОУПРУГОСТИ ДЛЯ ПОЛУПЛОСКОСТИ

*В. А. ВЕСТЯК, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ*

*Московский авиационный институт, НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова,  
Российская Федерация*

Рассматривается нестационарное движение электромагнитоупругой изотропной полуплоскости  $z \geq 0$  в декартовой системе координат в предположении, что происходящие процессы являются плоскими. Предполагается, что в начальный момент времени полуплоскость находится в невозмущённом состоянии. На её поверхности заданы перемещения или напряжённость электрического

поля. В качестве массовой силы в уравнениях движения выступает сила Лоренца. Совместно с соотношениями на ненулевую компоненту вектора напряжённости магнитного поля, на плотность электрических зарядов вместе с уравнениями Максвелла относительно ненулевых компонент вектора напряжённости электрического поля и условиями ограниченности всех функций все упомянутые соотношения образуют начально-краевую задачу. Для ее решения используются преобразования Лапласа по времени и преобразования Фурье по координате  $x$ , направленной вдоль границы полуплоскости. Показано, что даже для одномерного варианта оригиналы решения этой задачи аналитически найти невозможно. Поэтому используется разложение в степенные ряды по малому параметру, характеризующему связь механических и электромагнитных полей. Подстановка упомянутых рядов в исходную задачу приводит к рекуррентной последовательности краевых задач относительно ограниченных изображений коэффициентов рядов. Решение последней системы на коэффициенты рядов осуществляется поэтапно, записывая неизвестные функции механической и электрической частей в виде свёрток с соответствующими ядрами, которые являются функциями Грина. Функцию Грина электрической части задачи удаётся найти точно с помощью таблиц оригиналов. Построение решения краевых задач механической части задачи достаточно громоздко, но находится с помощью стандартных методов. Основная сложность связана с построением оригиналов. Их нахождение реализовано с помощью совместного обращения преобразования Фурье и Лапласа с использованием специального алгоритма, основанного на нахождении аналитического представления оригинала. Результатом реализации описанного алгоритма является нахождение точного решения рекуррентной системы на коэффициенты степенных рядов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-08-00788).

УДК 539.21:531.43/46:539.3

## КИНЕМАТИКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ УЧЕТЕ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ СЛОЕВ

С. А. ВОРОБЬЕВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Силы внутреннего трения в конструкционных материалах, несмотря на их сравнительно малые величины, могут заметно проявлять себя при динамическом нагружении элементов конструкций и деталей машин.

Выполнена постановка задачи о динамическом нагружении круговой цилиндрической оболочки из изотропных материалов в виде трехслойного пакета. Пакет несимметричен по высоте относительно срединной поверхности жесткого несжимаемого в поперечном направлении заполнителя. На первом этапе постановки задачи материалы слоев считаются линейно упругими. Применив вариационный принцип Гамильтона-Остроградского, используя кинематические гипотезы С. П. Тимошенко для каждого слоя и условия непрерывности перемещений на границах контакта слоев, получены уравнения движения оболочки в перемещениях для малых деформаций.

Демпфирующие свойства материалов слоев трехслойной оболочки учитываются на основе концепции комплексного модуля упругости  $E_k^* = E_k(a_k + ib_k)$ ,  $G_k^* = G_k(a_k + ib_k)$ , где  $E_k, G_k$  – модули упругости материала,  $a_k = (4 - \gamma_k^2) / (4 + \gamma_k^2)$ ,  $b_k = 4\gamma_k^2 / (4 + \gamma_k^2)$ ,  $\gamma_k$  – коэффициент внутреннего трения материала  $k$ -го слоя ( $k = 1, 2, 3$ ),  $i$  – мнимая единица. Уравнения движения оболочки в этом случае получаются заменой в уравнениях идеально упругой конструкции модулей упругости  $E_k, G_k$  на соответствующие операторы  $E_k^*, G_k^*$ :

$$[M]\{\ddot{U}\} + [\tilde{L}]\{U\} = \{F\},$$

где  $[M]$  – матрица масс;  $\{U\}^T = \{u, v, w, \psi_1^{(k)}, \psi_2^{(k)}\}$  – искомая вектор-функция перемещений;  $u(x_1, x_2, t), v(x_1, x_2, t)$  – тангенциальные перемещения точек срединной поверхности заполнителя

в направлении координатных осей (линий главных кривизн оболочки)  $x_1 \equiv \varphi$  и  $x_2 \equiv x$  (в окружном и продольном направлениях соответственно);  $w(x_1, x_2, t)$  – прогиб;  $\psi_1^{(k)}(x_1, x_2, t)$  и  $\psi_2^{(k)}(x_1, x_2, t)$  – углы поворота прямолинейного элемента  $k$ -го слоя в координатных плоскостях  $x_1Oz$  и  $x_2Oz$ ;  $[\tilde{L}] = [\tilde{l}_{ij}]$  ( $i, j = 1, \dots, 9$ ) – квадратная матрица, элементами которой являются линейные дифференциальные операторы по координатам  $x_1$  и  $x_2$  с постоянными комплексными коэффициентами;  $\{F\}$  – вектор нагрузок.

Рассмотрена модельная задача: воздействие мгновенного импульса  $q_n(x_1, x_2, t) = \delta(t)q(x_1, x_2)$ ,  $q(x_1, x_2) = \text{const}$  на верхний несущий слой оболочки. Здесь  $\delta(x)$  – дельта-функция Дирака. Решение сформулированной начально-краевой задачи построено на основе комбинации методов: комплексных амплитуд, Фурье и преобразования Лапласа по времени. Решение начально-краевой задачи строим в перемещениях, представляя компоненты вектор-функции  $\{U\}$  в следующем виде:

$$u = \sum_{m,n} \tilde{U}_{mn}(t) \cos(m\varphi) \sin \hat{n}x ; \quad v = \sum_{m,n} \tilde{V}_{mn}(t) \sin(m\varphi) \cos(\hat{n}x) ; \quad (1)$$

$$w = \sum_{m,n} \tilde{W}_{mn}(t) \sin(m\varphi) \sin \hat{n}x \quad (k = 1, 2, 3) ;$$

$$\psi_1^{(k)} = \sum_{m,n} \tilde{\Psi}_{1mn}^{(k)}(t) \cos(m\varphi) \sin \hat{n}x ; \quad \psi_2^{(k)} = \sum_{m,n} \tilde{\Psi}_{2mn}^{(k)}(t) \sin(m\varphi) \cos \hat{n}x ,$$

где  $m = 1, 2, \dots, \infty$ ;  $\hat{n} = n\pi / L$ ;  $n = 1, 2, \dots, \infty$ ;  $\tilde{U}_{mn}(t)$ ,  $\tilde{V}_{mn}(t)$ ,  $\tilde{W}_{mn}(t)$ ,  $\tilde{\Psi}_{1mn}^{(k)}(t)$ ,  $\tilde{\Psi}_{2mn}^{(k)}(t)$  – искомые комплексные функции действительной переменной  $t$ .

Однородные граничные условия свободного опирания кромок оболочки на жесткие неподвижные опоры при  $x = 0$ ;  $x = L$  ( $L$  – длина оболочки) можно представить так:

$$u_{,1} = v_{,2} = w = \psi_1^{(k)}{}_{,1} = \psi_2^{(k)}{}_{,2} = 0 \quad (k = 1, 2, 3). \quad (2)$$

Здесь запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате. Выражения (1) обеспечивают автоматическое выполнение граничных условий (2) на торцах оболочки  $x = 0$  и  $x = L$ .

Сделана оценка влияния демпфирующих свойств материалов слоев на кинематические параметры (перемещения, скорости, ускорения) колебаний оболочки.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T16P-010).

УДК 539.3

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ КВАЗИПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ С НАЧАЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

А. Ю. ГЛУХОВ

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

В данной работе в рамках трехмерной линеаризованной теории упругости для тел с начальными напряжениями [2] рассмотрены задачи о распространении осесимметричных волн в слоистом несжимаемом композитном материале с начальными напряжениями.

Рассматривается слоистый композитный материал с начальными напряжениями, который состоит из чередующихся слоев двух типов, в каждом из которых материалы и начальные напряженно-деформированные состояния являются одинаковыми для рассматриваемого типа слоев. Материалы слоев – гиперупругие изотропные с произвольной структурой упругих потенциалов, начальное напряженное состояние – однородное.

Рассматриваются два случая контакта между слоями композитного материала: полный (жесткий) контакт и полное проскальзывание (нежесткий контакт).

В соответствии с [1, 3] исследование закономерностей распространения осесимметричных упругих волн в слоистых композитных материалах с начальными напряжениями сводится к по-



строению решений дифференциального уравнения 4-го порядка в частных производных при удовлетворении граничных условий на плоскостях раздела слоев и условий периодичности, соответствующих теории Флоке.

Дисперсионное уравнение для полного контакта между слоями композитного материала получено в работе [3], для контакта с проскальзыванием – в работе [1].

Для материала с упругим потенциалом типа Трелоара [2]

$$w^j = 2c_{10}^j A_1^j, \quad (1)$$

при начальном состоянии

$$S_{11}^{0j} = S_{22}^{0j} \neq 0; \quad S_{33}^{0j} = 0; \quad \lambda^j = \lambda_1^j = \lambda_2^j; \quad \lambda_3^j = \lambda^{j-2}, \quad (2)$$

и для соотношений механических характеристик слоев композита

$$c_{10}^1 / c_{10}^2 = 5; \quad \rho^2 / \rho^1 = 0,7. \quad (3)$$

проведены численные исследования влияния начальных напряжений и условий сопряжения слоев композитного материала на фазовую скорость осесимметричных квазипоперечных волн.

В формулах (1)–(3)  $c_{10}^j$  – упругая постоянная,  $A_1^j$  – алгебраический инвариант,  $S_{\mu}^{0j}$  – компоненты тензора обобщенных напряжений Лагранжа,  $\lambda_i^j$  – коэффициенты удлинения вдоль соответствующих осей,  $\rho^j$  – плотность слоев в ненапряженном состоянии.

На рисунке 1 показано сравнение первых пяти мод (0–4) квазипоперечной волны, распространяющейся в слоистом композитном материале при полном контакте слоев и при контакте с проскальзыванием при ненапряженном начальном состоянии. Штриховая линия соответствует полному контакту, а сплошная – контакту с проскальзыванием. Соотношение толщин слоев принято равным единице.

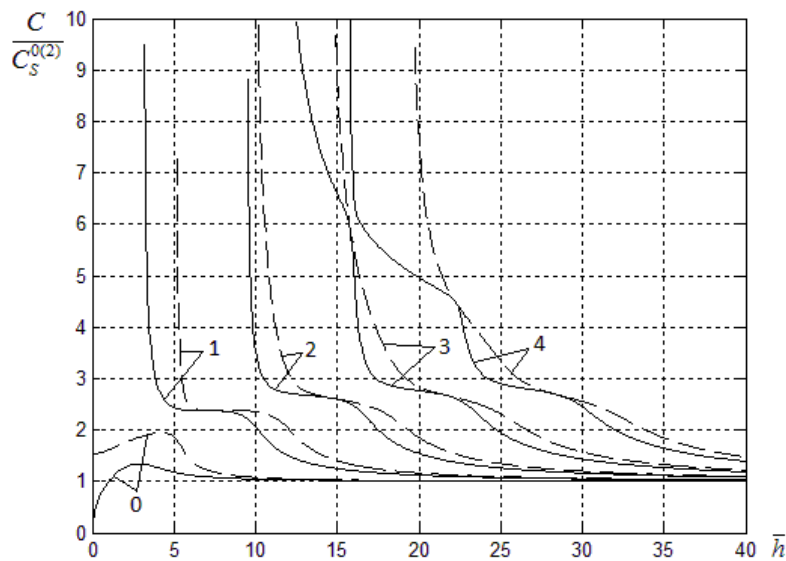


Рисунок 1

На рисунке 1 введены следующие обозначения:  $C/C_S^{(2)}$  – безразмерная скорость распространения волны в слоистом композитном материале,  $\bar{h}$  – приведенная частота ( $\bar{h} = k_S^{0,2} h^2$ ),  $k_S^{0,2}$  – волновое число,  $h^2$  – толщина второго слоя,  $C_S^{(2)}$  – скорость поперечных волн в изотропном материале второго слоя без начальных напряжений.

Анализируя влияние начальных напряжений и условий контакта слоев на фазовую скорость квазипоперечной волны, можно сделать следующие выводы:

- начальные напряжения существенно влияют на фазовые скорости осесимметричных волн в слоистом несжимаемом композитном материале;
- зависимость фазовой скорости от начальных напряжений для каждой моды определяется диапазоном частот;

- значительное влияние начальные напряжения имеют на фазовую скорость зарождающихся волн;
- как правило, начальные напряжения изменяют значения критических частот;
- критические частоты при жестком сцеплении слоев больше, чем при нежестком;
- условие контакта между слоями композитного материала существенно влияет на частоты зарождения волн;
- для разных мод существуют диапазоны частот, при которых влияние условий контакта слоев незначительное;
- для рассмотренных начальных состояний влияние начальных напряжений и условий контакта между слоями больше при растяжении, чем при сжатии.

#### Список литературы

- 1 Глухов, А. Ю. Вісесиметричні хвилі в шаруватих композитних нестисливих матеріалах з початковими напруженнями при проковзуванні шарів / А. Ю. Глухов // Доп. НАН України. – 2016. – № 10. – С. 42–46.
- 2 Гузь, А. Н. Упругие волны в телах с начальными напряжениями. В 2 т. Т. 1. Общие вопросы / А. Н. Гузь. – Киев : Наукова думка, 1986. – 374 с.
- 3 Гузь, А. Н. Упругие волны в телах с начальными напряжениями. В 2 т. Т. 2. Закономерности распространения / А. Н. Гузь. – Киев : Наукова думка, 1986. – 536 с.

УДК 539.3

### ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛИТЫ С НАЧАЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ

*Ю. П. ГЛУХОВ*

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

При решении пространственных задач об установившемся движении многослойного предварительно напряженного полупространства при воздействии подвижной нагрузки с использованием интегрального преобразования Фурье представление решений зависит от корней характеристических уравнений трансформированных дифференциальных уравнений, описывающих движение элементов многослойной среды.

Общая постановка исследуемого класса задач выглядит следующим образом [1, 2].

Рассматривается многослойная плита, лежащая на упругом полупространстве или жестком основании.

Элементы слоистой среды состоят из сжимаемых или несжимаемых предварительно напряженных изотропных нелинейно-упругих материалов с произвольной формой упругого потенциала. В случае ортотропного тела будем считать, что упруго-эквивалентные направления совпадают с направлениями осей выбранной системы координат.

Граничные поверхности элементов многослойной среды плоские и параллельные между собой.

Считаем, что начальное напряженно-деформированное состояние слоистой среды является однородным.

К свободной границе верхнего слоя приложена нагрузка, движущаяся с постоянной скоростью в течение большого промежутка времени и не зависящая от координаты, перпендикулярной границам слоев. Относительно системы координат, связанной с этой нагрузкой, существует установившееся плоское деформированное состояние.

Также предполагаем, что напряжения, возникающие за счет действия нагрузки, значительно меньше начальных напряжений. Указанное предположение позволяет применять линеаризованную теорию упругости для описания дополнительного напряженного состояния, вызванного действием нагрузки.

При таких предположениях имеем задачу об установившемся движении слоистой среды.

Исследования проведены в рамках трехмерной линеаризованной теории упругости для тел с начальными напряжениями [3].

Рассмотрено начальное напряженное состояние двух типов:  
общее

$$\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3; S_0^{11} = S_0^{22} \neq S_0^{33}, \quad (1)$$

и симметричное

$$\lambda_1 = \lambda_2 \neq \lambda_3; S_0^{11} = S_0^{22} \neq S_0^{33}. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2)  $\lambda_j$  – коэффициенты удлинений вдоль соответствующих осей,  $S_0^{jj}$  – составляющие тензора обобщенных напряжений.

В общем случае (1) движение такого многослойного объекта описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных шестого порядка. Характеристические уравнения представляют собой бикубические алгебраические уравнения.

При симметричном начальном напряженном состоянии (2) с учетом общих решений [3] уравнения движения элемента слоистой среды распадается на два дифференциальных уравнения второго и четвертого порядка. Характеристические уравнения представляют собой квадратное и биквадратное алгебраические уравнения.

Исследовано влияние начальных напряжений и скорости движения поверхностной нагрузки на значения корней характеристических уравнений для сжимаемых и несжимаемых элементов слоистой среды для начальных напряженных состояний (1) и (2). Проведена оценка возможных значений корней характеристических уравнений.

Численные расчеты выполнены для материала с упругим потенциалом гармонического типа и упругим потенциалом типа Бартенева-Хазановича.

В общем случае значения характеристических корней определяются параметрами движения нагрузки, свойствами материала элемента слоистой среды, начальным напряженным состоянием и значениями параметров двойного интегрального преобразования Фурье.

#### Список литературы

1 Глухов, Ю. П. Об одной задаче о воздействии подвижной нагрузки на многослойное основание / Ю. П. Глухов // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій : зб. наук. пр. Вип. 14. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2010. – С. 102–108.

2 Глухов, Ю. П. Об одной динамической задаче для многослойной плиты на жестком основании / Ю. П. Глухов // Доповіді НАН України. – 2011. – № 8. – С. 48–53.

3 Гузь, А. Н. Механика хрупкого разрушения материалов с начальными напряжениями / А. Н. Гузь. – Киев : Наук. думка, 1983. – 296 с.

УДК 539.4:621.6

### ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШИНЫ КОЛЕСА С ДОРОЖНЫМ ПОКРЫТИЕМ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И РЕЛАКСАЦИИ

*Е. А. ГОЛУБЕВА, М. Ю. БОКИЙ, Р. А. АЛЬ-АБСИ*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

В настоящее время композиты нашли широкое применение в качестве конструкционных материалов, разработаны методы оценки поведения этих материалов и конструкций при статических нагрузках, но недостаточно инженерных эффективных методов расчета, которые предлагают описания поведения конструкций слоистых элементов машин из композитов и армированных резин при контактных взаимодействиях с учетом явлений ползучести и релаксации.

В данной работе рассмотрены новые методики и методы расчета контактных взаимодействий шины колеса с покрытием дорог и описания ползучести и релаксации в покрытиях из композитов (рисунок 1).

Для реализации решения данной задачи используем аналитические подходы, с помощью которых определяем напряженно-деформированное состояние контактирующих тел.

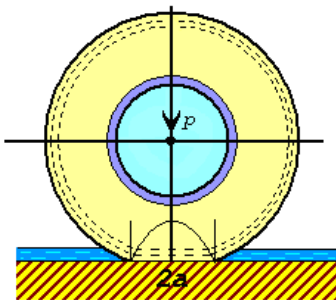


Рисунок 1 – Взаимодействие шины колеса с дорожным покрытием

В процессе движения, например, автотранспорта, на шину колеса и дорожные покрытия действуют сразу несколько различных по направлению и значению сил. Под действием этих сил шина в различных ее зонах и дорожное покрытие непрерывно деформируются. Закон деформирования обычно задается реологической моделью в дифференциальной или наиболее общей интегральной форме. Для описания процессов ползучести и релаксации использовали различные ядра интегральных уравнений физических соотношений теории вязкоупругости. Представлена методика определения параметров ядер ползучести и релаксации

с помощью контактного деформирования. Наиболее общей формой выражения связи между напряжениями и деформациями в условиях сложного напряженного состояния в рамках теории линейной вязкоупругости являются интегральные уравнения Больцмана-Вольтерра. Для вязкоупругого покрытия из композита задача решается на основе упругих решений с помощью принципа Вольтерра и методики определения параметров наследственных ядер Ржаницына, Работнова, Колтунова в вязкоупругой модели.

Вследствие ползучести резины шины колеса происходит деформирование контактных тел и определяется изменение параметров контакта во времени. Разработана математическая модель и построена программа расчета взаимодействия шины с упругим покрытием. Предлагаемые подходы могут быть использованы в построении механических моделей работы транспорта с учетом ползучести и релаксации.

#### Список литературы

- 1 **Можаровский, В. В.** Прикладная механика слоистых тел из композитов / В. В. Можаровский, В. Е. Старжинский. – Минск, 1988. – 271 с.
- 2 **Tutuncu, N.** Exact solutions for stresses in functionally graded pressure vessels / N. Tutuncu, M. Ozturk // Composites: Part B 32.– 2001. – P. 683–686.

УДК 624.04+624.072.2

### ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ СИСТЕМЫ «БАЛКА – ОСНОВАНИЕ»

*В. А. ГОРДОН, Т. В. ПОТУРАЕВА*

*Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, Российская Федерация*

В настоящей работе поставлена задача построения математической модели переходных динамических процессов в балке на упругом основании при внезапном образовании дефекта в виде изменения граничных условий. До образования дефекта реакция конструкции определяется статическим воздействием. Внезапное образование дефекта приводит к снижению общей жесткости конструкции, которая не обеспечивает статическое равновесие системы. Возникшие инерционные усилия вызывают динамическую реакцию, перераспределение и рост деформаций и напряжений. В результате возможно нарушение штатного функционирования конструкции либо потеря несущей способности и разрушение.

К настоящему времени в научной литературе, относящейся к проблемам динамики систем «балка – основание», имеется множество решенных задач. Подавляющее большинство работ по динамике взаимодействия балки и основания посвящено анализу собственных колебаний. Причем рассматриваются в этих работах собственные и вынужденные колебания балок на упругих основаниях лишь для случаев, когда расчетная схема системы «балка-основание» в нагруженном состоянии не изменяется. Проявление конструктивной нелинейности, т. е. изменения расчетной схемы нагруженной балки на упругом основании и последствия их, описаны лишь в нескольких работах, в которых рассматривалось внезапное частичное или полное разрушение основания.

*Постановка задачи.* Упругая балка с изгибной жесткостью  $EI$  опирается по всей длине  $l$  на упругое основание Винклера с коэффициентом жесткости  $k$ , жестко закреплена по концам. На внешние слои балки действует равномерно распределенная нагрузка интенсивности  $q$  и реакция основания. Обобщенная жесткость системы «балка – основание» характеризуется параметром  $\lambda = kl^4/EI$ . Предполагается, что в некоторый момент времени  $t=0$  у статически деформированной балки связи, препятствующие повороту конечных сечений в опорах, внезапно разрушились, образовав на местах заделки шарниры. Статическое состояние нагруженной балки перестает быть равновесным, и балка перейдет в движение, в ходе которого деформации и напряжения в балке получают динамические приращения.

Решение поставленной задачи строится в следующей последовательности:

1) определяется статический прогиб закремленной по концам («неповрежденной») балки на упругом основании, который используется в дальнейшем как начальное условие динамического процесса, инициированного в системе внезапным преобразованием граничных условий;

2) определяются частоты и формы собственных изгибных колебаний шарнирно опертой по концам («поврежденной») балки на упругом основании;

3) исследуются вынужденные изгибные колебания нагруженной балки. При этом нагрузка, статический прогиб «неповрежденной» балки и искомый динамический прогиб раскладываются в ряды по формам собственных колебаний «поврежденной» балки.

Ряд численных результатов для различных сочетаний свойств балки и основания представлены на рисунках 1–3 и в таблице 1.

На рисунке 1 приведены эпюры изгибающих моментов  $M_{ст}$  в балке в исходном состоянии, когда концы балки жестко закремлены. Наибольший момент развивается в заделке. Обобщенная жесткость представлена в двух вариантах. На рисунке 2 изображены эпюры изгибающих моментов  $M_{кв}$  в балке при квазистатическом преобразовании заделок в шарниры. На рисунке 3 показаны эпюры изгибающих моментов  $M_{дин}$  в ходе вынужденных колебаний, вызванных внезапными преобразованиями граничных условий (в конкретные моменты времени).

В таблице 1 приведены два коэффициента динамичности  $K_1 = M_{дин}/M_{ст}$  и  $K_2 = M_{дин}/M_{кв}$ .

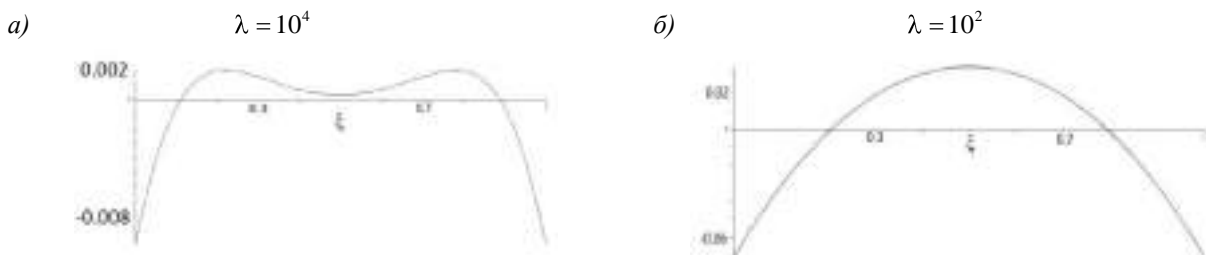


Рисунок 1

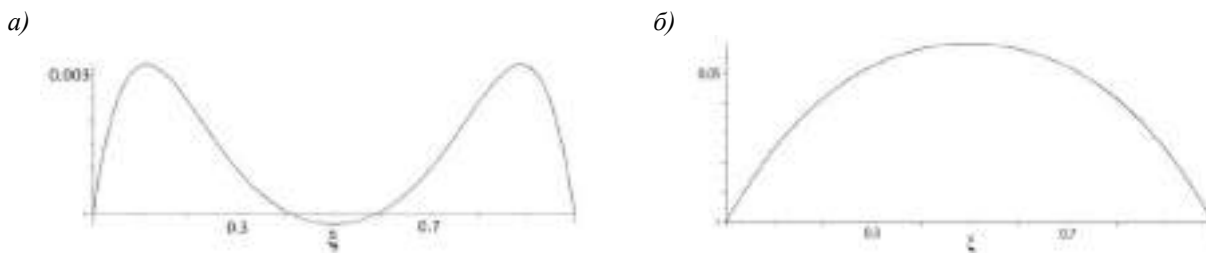


Рисунок 2

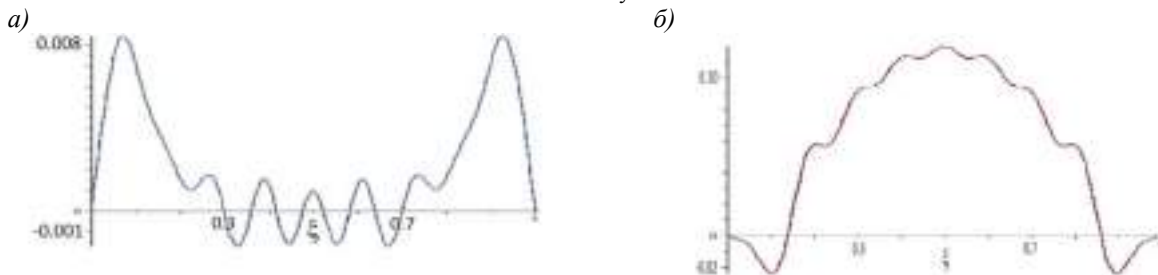


Рисунок 3

Таблица 1

$\lambda$	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$
$\alpha$	1,257	2,236	3,976	7,071
$M_{ст}$	0,082	0,071	0,031	0,01
$M_{кв}$	0,112	0,06	0,014	0,0033
$M_{дин}$	0,224	0,128	0,034	0,0085
$K_1$	2,73	1,8	1,09	0,85
$K_2$	2	2,13	2,43	2,57

Расчеты показывают, что с ростом обобщенной жёсткости системы «балка-основание» наибольшие моменты смещаются из центральной части в концевые четверти балки. Кроме того, чувствительность системы к внезапным преобразованиям граничных условий снижается с повышением обобщенной жесткости.

УДК 539.3

### ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ЗАДАЧА КРУЧЕНИЯ УСЕЧЁННОГО КОНУСА В СФЕРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

*А. В. ГУТОВСКИЙ, А. В. ТОЛКАЧЁВ*

*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, Украина*

Рассматривается усечённый конечный сферический конус, который занимает область, описываемую в сферической системе координат соотношениями  $r_0 < r < R, 0 < \theta < \alpha < \frac{\pi}{2}, 0 < \phi < 2\pi$ . Нижнее основание конуса закреплено, верхнее – свободно от напряжений, к боковой поверхности прилагается скручивающее усилие, не зависящее от  $r$ .

Необходимо определить смещения, которые удовлетворяют краевым условиям и уравнениям равновесия Ламе:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial u_\phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial u_\phi}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{\sin^2 \theta} u_\phi = 0 & r_0 < r < R \\ u_\phi|_{r=r_0} = 0 & \left( r \frac{\partial u_\phi}{\partial r} - u_\phi \right)|_{r=R} = 0 \\ u_\phi|_{\theta=0} = 0 & \left( \frac{\partial u_\phi}{\partial \theta} - \text{ctg} \theta u_\phi \right)|_{\theta=\alpha} = \bar{f}(r) \end{cases} \quad (1)$$

Исходная задача сводится к одномерной путём применения специального интегрального преобразования, выведенного из решения соответствующей задачи Штурма-Лиувилля:

$$\begin{cases} v'' + v' - (q^2 - 1/4)v = 0 & -\infty < \ln r_0 = a < t < b = \ln R < +\infty \\ v|_{t=a} = 0 & (v' - v)|_{t=b} = 0 \Leftrightarrow (\ln v)'|_{t=b} = 1, v \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Собственные функции этой задачи :

$$K(r, q_k) = \frac{1}{\sqrt{r}} \cdot \begin{cases} \left[ \begin{array}{l} \text{sh} \left( q_k \ln \frac{r}{r_0} \right), \frac{R}{r_0} > e^{2/3} \\ \ln \frac{r}{r_0}, \frac{R}{r_0} = e^{2/3} \end{array} \right. & k = 0 \\ \left. - \sin \left( q_k \ln \frac{r}{r_0} \right), k = \overline{1, \infty} \right. \end{cases} \quad (3)$$

А собственные числа находятся из нелинейных уравнений:

$$q_k: \begin{cases} 3 \cdot \operatorname{sh}\left(q \ln \frac{R}{r_0}\right) = 2q \cdot \operatorname{ch}\left(q \ln \frac{R}{r_0}\right), q > 0, \frac{R}{r_0} > e^{2/3} & \frac{R}{r_0} \geq e^{2/3}, k = 0 \\ 0, \frac{R}{r_0} = e^{2/3} & \\ 3 \cdot \sin\left(q \ln \frac{R}{r_0}\right) = 2q \cdot \cos\left(q \ln \frac{R}{r_0}\right), q > 0 & k = \overline{1, \infty} \end{cases} \quad (4)$$

После применения интегрального преобразования, одномерная задача принимает вид

$$\begin{cases} \frac{1}{\sin \theta} \left( \sin \theta \frac{d u_{\phi q}}{d \theta} \right) - \frac{1}{\sin^2 \theta} u_{\phi q} + (q^2 - 1/4) u_{\phi q} = 0 & 0 < \theta < \alpha < \frac{\pi}{2} \\ u_{\phi q} \Big|_{\theta=0} = 0 & \left( \frac{d u_{\phi q}}{d \theta} - \operatorname{ctg} \theta u_{\phi q} \right) \Big|_{\theta=\alpha} = f_q \end{cases} \quad (5)$$

Её решением является функция

$$\begin{aligned} u_{\phi q} &= \sin \alpha f_q \frac{P_v^1(\cos \theta)}{v P_{v+1}^1(\cos \alpha) - (v+2) \cos \alpha P_v^1(\cos \alpha)} = \\ &= f_q \sin \theta {}_2F_1\left(v+2; 1-v; 2; \frac{1-\cos \theta}{2}\right) \times \\ &\times \left( (v+2) \left( {}_2F_1\left(v+3; -v; 2; \frac{1-\cos \alpha}{2}\right) - \cos \alpha {}_2F_1\left(v+2; 1-v; 2; \frac{1-\cos \alpha}{2}\right) \right) \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Было доказано, что особая точка решения  $v = -2$  не входит в область определения решения. После обратного интегрального преобразования приходим к необходимости подсчёта ряда:

$$u_{\phi} = \sum_{j=0}^{\infty} u_{\phi q} \cdot \frac{\mathbf{K}(r, q_j)}{\|\mathbf{K}(r, q_j)\|^2}. \quad (7)$$

Одним из основных результатов решения данной задачи было обнаружение существования особых решений, зависящих от соотношения площади поверхности конуса и его объёма. Эти решения были истолкованы с помощью аппарата дифференциальной геометрии, в частности [4] и [5], как необходимые для сохранения изоморфности деформации.

#### Список литературы

- 1 **Попов, Г. Я.** Построение точного решения одной задачи кручения упругого вала переменного поперечного сечения / Г. Я. Попов // Прикл. математика и механика. – 2002. – 38, № 8. – С. 83–89.
- 2 **Попов, Г. Я.** О расширении возможностей метода интегральных преобразований при решении задач механики / Г. Я. Попов // Прикл. математика и механика. – 1980. – 44, № 1. – С. 130–142.
- 3 **Попов, Г. Я.** Осесимметричная смешанная задача теории упругости для усечённого кругового полого конуса / Г. Я. Попов // Прикл. математика и механика. – 2000. – 64, № 3. – С. 431–433.
- 4 **Погорелов А. И.** Дифференциальная геометрия / А. И. Погорелов. – 6-е изд. – М.: Наука, 1974.
- 5 **Рашевский, П. К.** Курс дифференциальной геометрии / П. К. Рашевский. – 3-е изд. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1950.

УДК 539.3, 539.8

### МОДЕЛЬ ТЕРМОМЕХАНОДИФФУЗИИ С КОНЕЧНОЙ СКОРОСТЬЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ И ДИФФУЗИОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

*С. А. ДАВЫДОВ, А. В. ЗЕМСКОВ, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ*

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация*

Рассматривается одномерная нестационарная задача термоупругой диффузии для однородного  $N$ -компонентного слоя, ограниченного поверхностями  $x_1 = 0$  и  $x_1 = L$  ( $Ox_1x_2x_3$  – прямоугольная декартова система координат), с учётом ненулевых времён релаксации. Одномерные физико-

механические процессы в среде описываются локально-равновесной моделью связанной термоупругой диффузии [1–9] (штрих обозначает производную по пространственной переменной  $x$ , а точки – производные по времени  $\tau$ ):

$$\ddot{u} = u'' - b_u \theta' - \sum_{q=1}^N \alpha_q \eta'_q, \quad \dot{\theta} + \tau_T \ddot{\theta} = k \theta'' - b_T \dot{u}' + \tau_T \ddot{u}' - \sum_{q=1}^N \beta_q \dot{\eta}_q + \tau_T \ddot{\eta}_q; \quad (1)$$

$$\dot{\eta}_q + \tau_{\eta} \ddot{\eta}_q = D_q \eta''_q - \Lambda_q u''' - M_q \theta'' \quad q = \overline{1, N};$$

$$u|_{x=0} = f_1 \tau, \quad \theta|_{x=0} = f_2 \tau, \quad \Lambda_q u'' - M \theta' - D_q \eta'_q \Big|_{x=0} = f_3 \tau; \quad (2)$$

$$u|_{x=1} = 0, \quad \theta|_{x=1} = 0, \quad \Lambda_q u'' - M \theta' - D_q \eta'_q \Big|_{x=1} = 0;$$

$$u|_{\tau=0} = \dot{u}|_{\tau=0} = \theta|_{\tau=0} = \eta_q|_{\tau=0} = 0. \quad (3)$$

Здесь и далее используются следующие безразмерные величины в (1)–(3) (при одинаковом начертании они обозначены звёздочкой, которая в остальных формулах опускается):

$$x = \frac{x_1}{L}, \quad u = \frac{u_1}{L}, \quad \tau = \frac{Ct}{L}, \quad C^2 = \frac{C_{1111}}{\rho}, \quad \alpha_q = \frac{\alpha_{11}^{(q)}}{C_{1111}}, \quad D_q = \frac{D_{11}^{(q)}}{CL}, \quad \tau_T = \frac{Ct_T}{L}, \quad \tau_{\eta} = \frac{Ct_{\eta}^{(q)}}{L},$$

$$\theta^* = \frac{\theta}{T_0}, \quad \Lambda_q = \frac{m^q n_0^q D_{11}^{(q)} \alpha_{11}^{(q)}}{\rho R T_0 C L}, \quad M_q = \frac{n_0^q D_{11}^{(q)} \ln[n_0^q \gamma^q]}{C L}, \quad \kappa = \frac{\kappa_{11}}{\rho c_0 L C}, \quad \beta_q = \frac{n_0^q R \ln[n_0^q \gamma^q]}{m^{(q)} c_0},$$

$$b_u = \frac{b_{11} T_0}{C_{1111}}, \quad b_T = \frac{b_{11}}{\rho c_0}, \quad f_{1k} \tau = \frac{f_{1k}^* t}{L}, \quad f_{2k} \tau = \frac{L f_{2k}^* t}{T_0}, \quad f_{q+2,k} \tau = \frac{f_{q+2,k}^* t}{n_{0q} c} \quad k = 1, 2,$$

где  $t$  – время;  $x_1$  – декартова координата;  $u_1$  – компонента вектора перемещений;  $L$  – толщина слоя;  $q$  – номер компоненты вещества в составе  $N$ -компонентной среды;  $\eta^q = n^q - n_0^q$  – приращение концентрации;  $n_0^q$  и  $n^q$  – начальная и актуальная концентрации;  $t_T$  – время тепловой релаксации;  $t_{\eta}^{(q)}$  – время диффузионной релаксации;  $C_{1111}$  – упругая постоянная;  $\rho$  – плотность;  $b_{11}$  – температурная постоянная, характеризующая тепловые деформации;  $\alpha_{11}^{(q)}$  – коэффициенты, характеризующие объёмное изменение среды за счёт диффузии;  $D_{11}^{(q)}$  – коэффициент самодиффузии;  $m^{(q)}$  – молярная масса;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $\theta^* = T - T_0$  – приращение температуры;  $T$  и  $T_0$  – актуальная и начальная температура;  $\kappa_{11}$  – коэффициент теплопроводности;  $\gamma^q$  – коэффициент активации (для твёрдых растворов  $\gamma^q = 1$ );  $c_0$  – удельная теплоёмкость при постоянной концентрации и деформации.

Решение ищется в интегральной форме, которая представляет собой свёртку по времени функций Грина с правыми частями граничных условий. Для нахождения функций Грина используется преобразование Лапласа по времени и разложение искомым функций в неполные ряды Фурье. Трансформанты искомым функций являются рациональными функциями параметра преобразования Лапласа. Их оригиналы находятся с помощью известных теорем операционного исчисления. Выполнен тестовый расчёт.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 17-08-00663 А).

#### Список литературы

- 1 Aifantis, E. C. On the problem of diffusion in solids / E. C. Aifantis // Acta Mechanica. – 1980. – Vol. 37, № 3–4. – P. 265–296.
- 2 Еремеев, В. С. Диффузия и напряжения / В. С. Еремеев. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 182 с.
- 3 Подстригач, Я. С. Диффузионная теория неупругости металлов / Я. С. Подстригач // Прикладная механика и техническая физика. – 1965. – № 2. – С. 67–72.
- 4 Nowacki, W. Dynamical Problems of Thermomdiffusion in Solids / W. Nowacki // Proc. Vib. Prob. – 1974. – Vol. 15. – P. 105–128.
- 5 Князева, А. Г. Задачи теории термоупругой диффузии в процессах поверхностной обработки материалов / А. Г. Князева, Е. С. Ильина, В. Н. Демидов // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Казань, 20–24 августа 2015 г. – Казань, 2015. – С. 1818–1820.



6 **Zemskov, A. V.** Approximate solution of three-dimensional problem for elastic diffusion in orthotropic layer / A. V. Zemskov, D. V. Tarlakovskiy // Journal of Mathematical Sciences, **203**, Issue 2 (2014) 221.

7 **Hany H. Sherief.** A Thick Plate Problem in the Theory of Generalized Thermoelastic Diffusion / Hany H. Sherief, Nasser M. El-Maghraby // Int J Thermophys (2009) 30: P. 2044–2057.

8 **Tarlakovskii, D. V.** Dynamic Processes in Thermoelastomagnetoelastic and Thermoelastodiffusive Media / D. V. Tarlakovskii, V. A. Vestiyak, A. V. Zemskov // Encyclopedia of thermal stress. – Volume 2, C-D, Springer Dordrecht Heidelberg New York London, Springer reference. – 2014. – P. 1064–1071.

9 **Давыдов, С. А.** Поверхностные функции Грина в нестационарных задачах термомеханоидиффузии / С. А. Давыдов, А. В. Земсков, Д. В. Тарлаковский // Проблемы прочности и пластичности. – 2017. – Т. 79, № 1. – С. 38–47.

УДК 539.3

## УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СЖИМАЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Ю. В. ЗАХАРЧУК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В последнее время значительно возрос спрос на использование слоистых тонкостенных элементов конструкций в авиа-, ракето-, машино-, приборо- и судостроении, добыче и транспортировке энергоносителей. Это обуславливает необходимость разработки математических моделей и методов их расчета на различные виды и типы нагрузок.

Рассматривается упругая круговая трехслойная пластина со сжимаемым-растягиваемым заполнителем. Постановку задачи и ее решение проведем в цилиндрической системе координат  $r, \phi, z$ . Систему координат свяжем со срединной плоскостью заполнителя. В тонких несущих слоях с толщинами  $h_1 \neq h_2$  справедливы гипотезы Кирхгофа: нормаль остается несжимаемой, прямолинейной и перпендикулярной к деформированной срединной поверхности. В заполнителе, воспринимающем нагрузку в тангенциальном направлении, нормаль остается прямолинейной, поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(r)$ , деформируемость по толщине принимается линейной.

На внешний слой стержня действует симметричная равномерно распределенная нагрузка с вертикальной  $q = q(r)$  и горизонтальной  $p = p(r)$  составляющими. На контуре пластинки предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев и обжатию заполнителя ( $\psi = 0, v = 0$  при  $r = r_0$ ). Через  $w(r)$  и  $u(r)$  обозначены прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя,  $v(r)$  – функция, характеризующая сжимаемость заполнителя. Обозначим через  $h_k$  толщину  $k$ -го слоя ( $k = 1, 2, 3$  – номер слоя), при этом  $h_3 = 2c$ .

Продольные и поперечные перемещения в слоях  $u^{(k)}(r, z)$  и  $w^{(k)}(r, z)$  можно выразить через четыре искомые функции  $w(r), u(r), \psi(r)$  и  $v(r)$  следующими соотношениями:

– в несущих слоях 1, 2 –

$$\begin{aligned} u_r^{(1)} &= u + c\psi - z w_{,r} + v_{,r} c, & w^{(1)} &= w r + v r c, & c \leq z \leq c + h_1; \\ u_r^{(2)} &= u - c\psi - z w_{,r} - v_{,r} c, & w^{(2)} &= w r - v r c, & -c - h_2 \leq z \leq -c; \end{aligned}$$

– в заполнителе 3 –

$$u_r^{(3)} = u + z\psi - z w_{,r} + v_{,r} z, \quad w^{(3)} r, z = w r + v r z, \quad -c \leq z \leq c, \quad (1)$$

где  $z$  – расстояние от рассматриваемого волокна до срединной поверхности заполнителя; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Компоненты тензора деформаций в слоях получим из перемещений (1), применяя соотношения Коши. Напряжения связаны с деформациями законом Гука:

$$\sigma_{ij}^{(k)} = s_{ij}^{(k)} + \sigma^{(k)} \delta_{ij}, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} s_{ij}^{(k)} &= 2G_k \varepsilon_{ij}^{(k)}; \quad \varepsilon_{ij}^{(k)} = \varepsilon_{ij}^{(k)} - \varepsilon^{(k)} \delta_{ij}; \quad \sigma^{(k)} = K_k \theta^{(k)} = 3K_k \varepsilon^{(k)}; \\ \varepsilon^{(k)} &= \frac{1}{3} (\varepsilon_r^{(k)} + \varepsilon_\phi^{(k)} + \varepsilon_z^{(k)}) \quad (i, j = r, \phi, z; k = 1, 2, 3). \end{aligned}$$

Используя вариационный принцип Лагранжа, соотношения (1), (2), получим следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений для определения искомых функций  $w(r)$ ,  $u(r)$ ,  $\psi(r)$  и  $v(r)$ :

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r} - a_5 v_{,r}) + 2cK_3^- v_{,r} &= -p, \quad L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r} - a_7 v_{,r}) - 2cG_3 \psi = 0; \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r} - a_8 v_{,r}) &= -q; \\ L_3(a_5 u + a_7 \psi - a_8 w_{,r} - a_9 v_{,r}) + \frac{2}{3} c^3 \left( v_{,rr} + \frac{v_{,r}}{r} \right) \left( 2K_3 - \frac{1}{3} G_3 \right) - 2cK_3^+ v - 2cK_3^- \left( u_{,r} + \frac{u}{r} \right) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь запятая в нижнем индексе обозначает дифференцирование по следующей за ней координате, коэффициенты  $a_i$  и дифференциальные операторы  $L_2$  (оператор Бесселя),  $L_3$  определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} K_k^+ &= K_k + \frac{4}{3} G_k, \quad K_k^- = K_k - \frac{2}{3} G_k, \quad a_1 = \sum_{k=1}^3 h_k K_k^+, \quad a_2 = c(h_1 K_1^+ - h_2 K_2^+); \\ a_3 &= h_1 c + \frac{1}{2} h_1 K_1^+ - h_2 c + \frac{1}{2} h_2 K_2^+, \quad a_4 = c^2 h_1 K_1^+ + h_2 K_2^+ + \frac{2}{3} c K_3^+; \\ a_5 &= c \left[ h_1 c + \frac{1}{2} h_1 K_1^+ + h_2 c + \frac{1}{2} h_2 K_2^+ + \frac{2}{3} c^2 K_3^+ \right]; \\ a_6 &= h_1 c^2 + ch_1 + \frac{1}{3} h_1^2 K_1^+ + h_2 c^2 + ch_2 + \frac{1}{3} h_2^2 K_2^+ + \frac{2}{3} c^3 K_3^+, \quad a_7 = c^2 \left[ h_1 c + \frac{1}{2} h_1 K_1^+ - h_2 c + \frac{1}{2} h_2 K_2^+ \right]; \\ a_8 &= c \left[ h_1 c^2 + ch_1 + \frac{1}{3} h_1^2 K_1^+ - h_2 c^2 + ch_2 + \frac{1}{3} h_2^2 K_2^+ \right]; \\ a_9 &= c^2 \left( h_1 \left( c^2 + ch_1 + \frac{h_1^2}{3} \right) K_1^+ + h_2 \left( c^2 + ch_2 + \frac{h_2^2}{3} \right) K_2^+ + \frac{2}{5} c^3 K_3^+ \right); \\ L_2(g) &\equiv \left( \frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r} r L_2(g)_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}. \end{aligned}$$

Краевая задача замыкается добавлением к (3) кинематических граничных условий. При жесткой заделке контура пластины должны выполняться условия

$$u = \psi = w = v = w_{,r} = 0 \quad \text{при } r = r_0.$$

При шарнирном опирании контура пластины

$$u = \psi = w = v = M_r = 0 \quad \text{при } r = r_0.$$

В случае свободного контура

$$\psi = v = 0, \quad T_r = M_r = M_{r,r} = 0.$$

Решение поставленной краевой задачи в дальнейшем предполагается проводить с помощью программного комплекса Maple либо приближенными методами.

УДК 539.3

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБ ИЗГИБЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СЖИМАЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

А. С. ЗЕЛЕНАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современном строительстве многочисленные наблюдения показывают эффективность использования многослойных конструкций, частным случаем которых являются трехслойные элементы конструкций.

В монографии [1] исследованы вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки. Статья [2] посвящена исследованию статического деформирования трехслойных пластин, связанных с упругим основанием. В статье [3] рассмотрен цилиндрический изгиб трехслойных пластин в температурном поле.

Здесь выполнена постановка задачи о статическом деформировании и получены уравнения равновесия в усилиях физически нелинейной прямоугольной трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем.

Рассматривается изгиб несимметричной по толщине трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем. Несущие слои пластины выполнены из упругопластического материала, а наполнитель – нелинейно-упругий. В слоях пластины применяем физические уравнения состояния, соответствующие теории малых упругопластических деформаций:

$$s_{ij}^{(k)} = 2G_k (1 - \omega^{(k)}) \varepsilon_u^{(k)} \varepsilon_{ij}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = 3K_k \varepsilon^{(k)} \quad (i, j = x, y, z, k = 1, 2, 3). \quad (1)$$

Здесь  $s_{ij}^{(k)}$ ,  $\sigma^{(k)}$  – девиаторная и шаровая части тензора напряжений;  $\varepsilon_{ij}^{(k)}$ ,  $\varepsilon^{(k)}$  – девиаторная и шаровая части тензора деформаций;  $\varepsilon_u^{(k)}$  – интенсивность деформации в  $k$ -м слое;  $\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)})$  – функции пластичности Ильюшина в несущих слоях, которые в случае  $\varepsilon_u^{(k)} \leq \varepsilon_T^{(k)}$  следует положить равными нулю,  $\varepsilon_T^{(k)}$  – предел текучести материала;  $\omega^{(3)}(\varepsilon_u^{(3)})$  – универсальная функция, описывающая физическую нелинейность материала наполнителя, причем  $\omega^{(3)} \equiv 0$  при  $\varepsilon_u^{(3)} \leq \varepsilon_s^{(3)}$ ;  $\varepsilon_s^{(3)}$  – предел физической нелинейности наполнителя;  $G_k$  – сдвиговой модуль упругости материалов,  $K_k$  – объемный модуль упругости материалов.

Силовые уравнения равновесия и соответствующие граничные условия не зависят от физических уравнений состояния и были получены ранее [4].

Применим соотношения (1) и выделим в тензоре напряжений упругие (с индексом «0») и нелинейные (с индексом « $\omega$ ») слагаемые:

$$\sigma_{ij}^{(k)} = \sigma_{ij}^{(k)0} - \sigma_{ij}^{(k)\omega}, \quad \sigma_{ij}^{(k)0} = 2G_k \varepsilon_{ij}^{(k)} + 3K_k \varepsilon^{(k)} \delta_{ij}, \quad \sigma_{ij}^{(k)\omega} = 2G_k \omega^{(k)} \varepsilon_{ij}^{(k)}. \quad (2)$$

Аналогичные операцию проведем с внутренними и обобщенными усилиями, также разбивая на линейные и нелинейные составляющие. Подставив обобщенные усилия в систему уравнений равновесия для упругой пластины и преобразовав, путем переноса нелинейных составляющих в правую часть, получим систему уравнений физически нелинейной трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым наполнителем:

$$\begin{aligned} H_{1x}^0 - V_{1,y}^0 - P_{1x,x}^0 &= p_x + H_{1x}^\omega - V_{1,y}^\omega - P_{1x,x}^\omega, & H_{1x}^0 + V_{2,y}^0 + P_{2x,x}^0 &= H_{1x}^\omega + V_{2,y}^\omega + P_{2x,x}^\omega, \\ H_{1y}^0 - V_{1,x}^0 - P_{1y,y}^0 &= p_y + H_{1y}^\omega - V_{1,x}^\omega - P_{1y,y}^\omega, & H_{1y}^0 + V_{2,x}^0 + P_{2y,y}^0 &= H_{1y}^\omega + V_{2,x}^\omega + P_{2y,y}^\omega, \\ S_{1x,xx}^0 + H_2^0 - T_{1x,x}^0 - U_{1,xy}^0 + S_{1y,yy}^0 - T_{1y,y}^0 &= q + \frac{p_{x,x} h_1}{2} + \frac{p_{y,y} h_1}{2} + S_{1x,xx}^\omega + H_2^\omega - T_{1x,x}^\omega - U_{1,xy}^\omega + S_{1y,yy}^\omega - T_{1y,y}^\omega, \\ S_{2x,xx}^0 - H_2^0 - T_{2x,x}^0 - U_{2,xy}^0 + S_{2y,yy}^0 - T_{2y,y}^0 &= S_{2x,xx}^\omega - H_2^\omega - T_{2x,x}^\omega - U_{2,xy}^\omega + S_{2y,yy}^\omega - T_{2y,y}^\omega, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $H_{kx}$ ,  $H_{ky}$ ,  $V_k$ ,  $P_{kx}$ ,  $P_{ky}$ ,  $S_{kx}$ ,  $S_{ky}$ ,  $H_k$ ,  $T_{kx}$ ,  $T_{ky}$ ,  $U_k$  – обобщенные усилия (упругие – с индексом «0», нелинейные – с индексом « $\omega$ »).

С силовыми граничными условиями поступим аналогично, т. е. при  $x=0, a$  должны выполняться требования:

$$\begin{aligned} P_{1x}^0 &= N_{px}^{(1)} + P_{1x}^\omega, & P_{2x}^0 &= N_{px}^{(2)} + P_{2x}^\omega, & V_1^0 &= Q_{pxy}^{(1)} + V_1^\omega, & V_2^0 &= Q_{pxy}^{(2)} + V_2^\omega, \\ T_{1x}^0 - S_{1x,x}^0 - U_{1,y}^0 &= Q_{px}^{(1)} + (T_{1x}^\omega - S_{1x,x}^\omega - U_{1,y}^\omega), \\ T_{2x}^0 - S_{2x,x}^0 - U_{2,y}^0 &= Q_{px}^{(1)} + (T_{2x}^\omega - S_{2x,x}^\omega - U_{2,y}^\omega), & S_{1x}^0 &= M_{px}^{(1)} + S_{1x}^\omega, & S_{2x}^0 &= M_{px}^{(2)} + S_{2x}^\omega. \end{aligned}$$

При  $y=0, b$

$$\begin{aligned} P_{1y}^0 &= N_{ly}^{(1)} + P_{1y}^\omega, & P_{2y}^0 &= N_{ly}^{(2)} + P_{2y}^\omega, & V_1^0 &= Q_{lyx}^{(1)} + V_1^\omega, & V_2^0 &= Q_{lyx}^{(2)} + V_2^\omega, \\ T_{1y}^0 - S_{1y,y}^0 &= Q_{ly}^{(1)} + (T_{1y}^\omega - S_{1y,y}^\omega), & T_{2y}^0 - S_{2y,y}^0 &= Q_{ly}^{(2)} + (T_{2y}^\omega - S_{2y,y}^\omega), \\ S_{1y}^0 &= M_{ly}^{(1)} + S_{1y}^\omega, & S_{2y}^0 &= M_{ly}^{(2)} + S_{2y}^\omega, & U_1^0 &= Q_{lyx}^{(1)} + U_1^\omega, & U_2^0 &= Q_{lyx}^{(2)} + U_2^\omega. \end{aligned}$$

Здесь  $N_{px}^{(1)}$ ,  $Q_{pxy}^{(1)}$ ,  $Q_{px}^{(1)}$ ,  $M_{px}^{(1)}$ ,  $N_{ly}^{(1)}$ ,  $Q_{lyx}^{(1)}$ ,  $Q_{ly}^{(1)}$ ,  $M_{ly}^{(1)}$  – заданные усилия на торцах пластины в первом несущем слое (с индексом «2» – во втором несущем слое). Индекс  $p$  принимает значения  $0, a$ , индекс  $l$  –  $0, b$ , указывая, на каком конце пластины задано усилие.

#### Список литературы

- 1 Старовойтов, Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 343 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Изгиб прямоугольной трехслойной пластины на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Е. П. Доровская // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2006. – № 3. – С. 21–28.
- 3 Старовойтов, Э. И. Цилиндрический изгиб прямоугольной трехслойной пластины в температурном поле / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки : Междунар. сб. науч. тр. – Гомель, 2014. – Вып. 8. – С. 179–185.
- 4 Зеленая, А. С. Уравнения равновесия прямоугольной трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем / А. С. Зеленая // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXIII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова, Вятчи, 13–17 февр. 2017 г. – М. : ООО «ТР-принт», 2017. – Т. 2. – С. 33–36.

УДК 539.3

### ДЕЙСТВИЕ ПЛОСКОЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ НА КОНСОЛЬНО ЗАКРЕПЛЕННУЮ ПЛАСТИНУ

С. И. ИВАНОВ, Н. А. ЛОКТЕВА

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Российская Федерация*

В настоящее время наиболее широко в качестве звукоизолирующих преград, сокращающих вредное воздействие транспортных магистралей на окружающую среду и человека, используются пластины, выполненные из однородного материала, которые наиболее просты в изготовлении и экономически оправданны. В работе исследуются звукопоглощающие свойства однородной консольно-закрепленной пластины, на которую воздействует плоская гармоническая звуковая волна. Результатом решения данной задачи является возможность построения зависимости перемещений и параметра звукоизоляции от частоты набегающей волны.

Рассматривается консольно-закрепленная бесконечная в одном направлении пластина высотой  $l$ , окруженная акустической средой. Используется прямоугольная декартова система координат  $Oxyz$ , начало которой помещено в точке крепления пластины. Со стороны отрицательного направления оси  $Oz$  на препятствие набегают плоская гармоническая волна с амплитудой давления на фронте  $p_*$  и частотой  $\omega$ . Компоненты напряженно-деформированного состояния оболочки и параметры акустической среды не зависят от координаты  $y$ . В результате ее взаимодействия с оболочкой в акустической среде возбуждается давление с амплитудой  $p_2$ . Основной целью является вычисление перемещения  $w$  как функции частоты  $\omega$  и пространственных координат  $x$  и  $z$ .

Математическая постановка задачи включает в себя задание давления  $p_*$ , уравнения для пластины и акустической среды, краевые условия для пластины, условия на бесконечности, а также условия контакта акустической среды с препятствием и неподвижной полуплоскостью  $x=0$ . В качестве последних принимаем требование непротекания.

Движение пластины с учетом плоской постановки задачи описывается уравнением

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + p, \quad D = I(\lambda + 2\mu).$$

где  $\rho$  – плотность материала пластины;  $h$  – толщина пластины;  $\lambda$  и  $\mu$  – параметры Ламе;  $w$  – нормальные перемещения пластины. Пластина закреплена консольно. Согласно постановке задачи, функции перемещения изменяются по гармоническому закону.

Воздействие плоской гармонической волны на пластину задается следующим образом:

$$p = p_1 - p_2, \quad p_1 = p_* + p_{1w}, \quad p_* = -i\omega \rho_1 A_\phi.$$

В данном случае  $\rho_1$  – плотность акустической среды, а  $A_\Phi$  – произвольная постоянная.

Для определения нормальные перемещений пластины находится значение функции Грина  $G_0(x)$ .

Для задания воздействия на преграду звуковой волны необходимо определить связь амплитуд давлений с кинематическими параметрами пластины. Для этого решается вспомогательная задача. Предполагается, что рассматривается четверть акустического пространства, ограниченного  $0 \leq x < \infty$  и  $0 \leq z < \infty$ , на границе которого при  $z=0$  задается нормальное перемещение, изменяющееся по времени по гармоническому закону. Требуется найти давление на границе пространства. В результате решения волнового уравнения в потенциалах получаем следующую зависимости

$$p_{1w} = -w_0\Gamma, \quad p_2 = w_0\Gamma; \quad \Gamma = -\omega^2\rho_0 \int_0^l G(x, z, \xi) d\xi;$$

$$G(x, z, \xi) = \frac{1}{\pi} \left[ K_0(\omega|x-\xi|) + K_0(\omega|x+\xi|) \right],$$

где  $G(x, z, \xi)$  – функция влияния Грина;  $K_0$  – модифицированная функция Бесселя 2-го рода;  $\xi$  – координата приложения дельта-функции Дирака.

Для решения данной связанной задачи необходимо учитывать взаимосвязь кинематических параметров пластины и амплитуды давления набегающей волны, что в результате дает интегро-дифференциальное уравнение

$$\rho h \omega^2 w = -D \frac{d^4 w}{dx^4} - 2w\Gamma + p.$$

Для решения уравнения (13) применяется метод последовательных приближений:

$$w_0 = G_0(x) P_*,$$

$$w_1 = G_0(x) [2w_0\Gamma + P_*],$$

...

$$w_n = G_0(x) [2w_{n-1}\Gamma + P_*].$$

В результате полученное значение  $w_n$ , после выполнения  $n$  операций, позволяет определить амплитуды давлений в прошедшей и отраженной волнах, а также коэффициент звукопоглощения и показатель звукоизоляции. Таким образом, становится возможным выбирать оптимальные параметры материала, из которого выполнена пластина, и ее геометрию, что представляет существенный практический интерес.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-58-00034).

#### Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах : учеб. пособ. для вузов / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 Полянин, А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / А. Д. Полянин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.

УДК 539.3

## ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В КРУГОВОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЕ НА СЛОЖНОМ ОСНОВАНИИ

*А. Г. КОЗЕЛ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Распространённой расчётной моделью трёхслойных конструкций является круглая пластина на упругом основании. Подобный конструктивный элемент присутствует в объектах аэрокосмической техники, судостроения, машиностроения, радиоэлектроники, а также в строительстве. Поэтому возникает актуальная проблема разработки эффективных методик расчёта напряжённо-деформированного состояния трёхслойных конструкций, связанных со сложным основанием.

Здесь рассмотрена краевая задача об осесимметричном деформировании несимметричной по толщине упругой трехслойной пластины с легким наполнителем на основании Пастернака. В тонких несущих слоях принимаются гипотезы Кирхгофа, в несжимаемом по толщине наполнителе нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(r)$ . Постановка задачи проводится в цилиндрической системе координат, связанной со срединной плоскостью наполнителя. На внешние слои стержня действует распределенная нагрузка  $q_0(r)$  и реакция основания модели Пастернака:

$$q_r(r) = -\kappa_0 w + t_f \Delta w, \quad (1)$$

где  $\kappa_0, t_f$  – коэффициенты сжатия и сдвига,  $\Delta$  – оператор Лапласа.

Уравнения равновесия и граничные условия в усилиях получены из вариационного принципа Лагранжа:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r}) &= -p, \quad L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r}) = 0; \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r}) &= -(q_0 + q_R), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $q_0$  – интенсивность внешней распределенной нагрузки;  $w(r)$  – прогиб;  $u(r)$  – радиальное перемещение координатной плоскости;  $h_k$  – толщина  $k$ -го слоя;  $L_k$  – линейные дифференциальные операторы,

$$\begin{aligned} a_1 &= \sum_{k=1}^3 h_k K_k^+; \quad a_2 = c(h_1 K_1^+ - h_2 K_2^+), \quad a_3 = h_1 c + \frac{1}{2} h_1 K_1^+ - h_2 c + \frac{1}{2} h_2 K_2^+; \\ a_4 &= c^2 h_1 K_1^+ + h_2 K_2^+ + \frac{2}{3} c K_3^+, \quad a_5 = c \left[ h_1 c + \frac{1}{2} h_1 K_1^+ + h_2 c + \frac{1}{2} h_2 K_2^+ + \frac{2}{3} c^2 K_3^+ \right]; \\ a_6 &= h_1 c^2 + c h_1 + \frac{1}{3} h_1^2 K_1^+ + h_2 c^2 + c h_2 + \frac{1}{3} h_2^2 K_2^+ + \frac{2}{3} c^3 K_3^+; \\ L_3(g) &\equiv \frac{1}{r} r L_2(g), \quad ,_r \equiv g_{,rr} + \frac{2g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2} + \frac{g}{r^3}, \quad L_2(g) \equiv \left( \frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}. \end{aligned}$$

С помощью первых двух уравнений системы (2) в третьем уравнении обнуляем коэффициенты перед функциями  $u$  и  $\psi$ . После некоторых преобразований выделим дифференциальное уравнение четвертого порядка и введем в нем замену переменной  $x = kr$  для определения прогиба  $w(x)$ :

$$w_{,xxxx} + \frac{2}{x} w_{,xxx} - \frac{1}{x^2} w_{,xx} + \frac{1}{x^3} w_{,x} - 2t_0^2 (w_{,xx} + \frac{1}{r} w_{,x}) + w = 0$$

или

$$\Delta^2 w - 2t_0^2 \Delta w + w = 0, \quad (3)$$

где  $\kappa^4 = \kappa_0 D$ ;  $q = q_0 D$ ;  $2t_0^2 = t_{f1} / \kappa^2$ ;  $t_{f1} = t_f D$ ;  $D = \frac{a_1(a_1 a_4 - a_2^2)}{(a_1 a_6 - a_3^2)(a_1 a_4 - a_2^2) - (a_1 a_5 - a_2 a_3)^2}$ .

Общий интеграл основного дифференциального уравнения (3) может быть теперь представлен в виде

$$w = w_1 + w_2 + w_p, \quad (4)$$

где  $w_p$  – частный интеграл, соответствующий уравнению (3);  $w_1$  и  $w_2$  – фундаментальная система частных интегралов, удовлетворяющая уравнениям

$$w_{1,xx} + \frac{1}{x} w_{1,x} + a w_1 = 0, \quad w_{2,xx} + \frac{1}{x} w_{2,x} + \bar{a} w_2 = 0.$$

После ряда преобразований решение сводится к виду

$$w = B_1 J_0(\sqrt{ax}) + B_2 H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) + B_3 J_0(\sqrt{ax}) + B_4 H_0^{(2)}(\sqrt{ax}) + w_p, \quad (5)$$

где  $J_0(\sqrt{ax})$  и  $J_0(\sqrt{ax})$  – функции Бесселя первого рода, нулевого порядка, аргументов  $\sqrt{ax}$  и  $\sqrt{ax}$ ;  $H_0^{(1)}(\sqrt{ax})$  и  $H_0^{(2)}(\sqrt{ax})$  – функции Ганкеля первого и второго рода, нулевого порядка от тех же аргументов.

Так как функции  $I_0(\sqrt{ax})$ ,  $I_0(\sqrt{ax})$ ,  $H_0^{(1)}(\sqrt{ax})$ ,  $H_0^{(2)}(\sqrt{ax})$  являются комплексными, а функция прогибов пластины  $w$  должна быть действительной, то постоянные интегрирования  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$  также должны быть комплексными числами. Для того чтобы выразить решение задачи через действительные функции, перепишем интеграл (5) в другой форме:

$$w = C_1 u_0(x) + C_2 v_0(x) + C_3 f_0(x) + C_4 g_0(x) + w_p, \quad (6)$$

где введены следующие обозначения:

$$u_0(x) = \operatorname{Re} J_0(\sqrt{ax}) = \frac{J_0(\sqrt{ax}) + J_0(\sqrt{ax})}{2}; \quad v_0(x) = \operatorname{Im} J_0(\sqrt{ax}) = \frac{J_0(\sqrt{ax}) - J_0(\sqrt{ax})}{2i};$$

$$f_0(x) = \operatorname{Re} H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) = \frac{H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) + H_0^{(2)}(\sqrt{ax})}{2}; \quad g_0(x) = \operatorname{Im} H_0^{(2)}(\sqrt{ax}) = \frac{H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) - H_0^{(2)}(\sqrt{ax})}{2i}.$$

Из выражений (6) следует, что функции  $u_0(x)$ ,  $f_0(x)$  представляют собой действительные, а функции  $v_0(x)$ ,  $g_0(x)$  – мнимые части функций Бесселя и Ганкеля нулевого порядка. Так как эти функции действительны, то действительными будут и произвольные постоянные  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , которые определяются из граничных условий.

Полученное в работе общее решение системы дифференциальных уравнений можно использовать для исследования любого случая симметричного изгиба трёхслойной круговой пластины при опирании ее на упругое основание Пастернака.

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т16Р-010).*

УДК 539.374

## ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время деформирование упругих трехслойных элементов конструкций при статических нагрузках достаточно хорошо изучено, однако их поведение при динамических воздействиях в условиях мгновенного импульсного приложения нагрузок исследовано мало. Подобные проблемы безопасности конструкций возникают в условиях природных катаклизмов, при сейсмических воздействиях, вследствие ударных взрывных волн.

Ранее [1] были исследованы колебания трехслойных стержней, не связанных с упругим основанием. Здесь рассматриваются свободные и вынужденные колебания трехслойного стержня на винклеровском основании под действием импульсных нагрузок.

Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Бернулли, в жёстком заполнителе справедливости точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты  $z$ . На границах контакта слоёв используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоёв несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается обжатие. Деформации малые.

Система координат  $x, y, z$  связывается со срединной плоскостью заполнителя. Распределенная поверхностная нагрузка  $q(x)$  приложена перпендикулярно внешней плоскости первого слоя. На нижнюю поверхность второго несущего слоя действует реакция основания  $q_r(x, t)$ . Через  $w_k(x)$  и  $u_k(x)$  обозначены прогибы и продольные перемещения срединных поверхностей несущих слоёв.

Считаем, что стержень прикреплен к основанию вторым слоем и выполняется следующее соотношение:

$$q_r = \kappa_0 w_2.$$

Уравнения движения рассматриваемого трехслойного стержня имеют вид

$$a_1 u_1 - a_1 u_2 - a_4 u_{1,xx} - a_5 u_{2,xx} + a_2 w_{1,x} + a_3 w_{2,x} - 2a_6 w_{1,xxx} + a_7 w_{2,xxx} + m_1 \ddot{u}_1 = 0;$$

$$\begin{aligned}
& -a_1 u_1 + a_1 u_2 - a_5 u_{1,xx} - a_9 u_{2,xx} - a_{10} w_{1,x} - a_{17} w_{2,x} - a_6 w_{1,xxx} + 2a_7 w_{2,xxx} + m_2 \ddot{u}_2 = 0; \\
& -a_2 u_{1,x} + a_{10} u_{2,x} + 2a_6 u_{1,xxx} + a_6 u_{2,xxx} + a_{11} w_{1,xx} - a_{12} w_{2,xx} + \\
& + a_{15} w_{1,xxx} - a_{16} w_{2,xxx} + a_8 w_1 - a_8 w_2 + m_1 \ddot{w}_1 - m_3 \ddot{w}_{1,xx} = q; \\
& -a_3 u_{1,x} + a_{17} u_{2,x} - a_7 u_{1,xxx} - 2a_7 u_{2,xxx} - a_{12} w_{1,xx} + a_{14} w_{2,xx} - \\
& - a_{16} w_{1,xxx} + a_{13} w_{2,xxx} - a_8 w_1 + a_8 + \kappa_0 w_2 + m_2 \ddot{w}_2 - m_4 \ddot{w}_{2,xx} = 0.
\end{aligned}$$

В качестве граничных принимаются условия свободного опирания стержня по торцам на неподвижные в пространстве жесткие опоры. Соответствующие ограничения для перемещений в сечениях  $x = 0, l$  имеют вид

$$w_k = u_{k,x} = w_{k,xx} = 0 \quad k = 1, 2 .$$

Начальные условия движения будут ( $t = 0$ )

$$u_k(x, 0) = u_{k0}(x); \quad \dot{u}_k(x, 0) = \dot{u}_{k0}(x); \quad w_k(x, 0) = w_{k0}(x); \quad \dot{w}_k(x, 0) = \dot{w}_{k0}(x) .$$

Решение начально-краевой задачи проводится методом Бубнова – Галеркина. Для этого искомые перемещения  $u_1(x), u_2(x), w_1(x), w_2(x)$  и нагрузка  $q(x, t)$  представляются в виде разложения в ряды по системам базисных функций, удовлетворяющей принятым граничным условиям:

$$\begin{aligned}
u_1(x, t) &= \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m1}(t); \quad u_2(x, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m2}(t); \quad q(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} q_m(t); \\
w_1(x, t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m3}(t); \quad w_2(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m4}(t).
\end{aligned}$$

Функции времени  $T_{mk}(t)$  представляются в виде разложения по собственным формам  $\delta_{mki}$ :

$$T_{mk} = \sum_{i=1}^4 \delta_{mki} \zeta_{mi} \quad \left( \sum_{i=1}^4 \delta_{mki}^2 = 1 \right),$$

где  $\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi} t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi} t) + \frac{1}{\omega_{mi}} \int_0^t \sin(\omega_{mi}(t-\tau)) \tilde{q}_{mi}(\tau) d\tau$ .

В случае воздействия мгновенного локального импульса интенсивностью  $q_1 = \text{const}$  аналитический вид нагрузки будет

$$q(x, t) = q_1 \delta(t) (H_0(b-x) - H_0(a-x)),$$

где  $\delta(t)$  – импульсная функция Дирака [2].

Параметры разложения нагрузки в ряд

$$q_m = \frac{2q_1 \delta(t)}{\pi m} \left( \cos \frac{\pi m a}{l} - \cos \frac{\pi m b}{l} \right).$$

Искомая функция времени

$$\zeta_{mi}(t) = \frac{2q_1 \delta_{m3i} \sin(\omega_{mi} t)}{\pi m \omega_{mi} \sum_{k=1}^4 M_{mkk} \delta_{mki}^2} \left( \cos \frac{\pi m a}{l} - \cos \frac{\pi m b}{l} \right).$$

Проведен численный параметрический анализ полученных решений.

Полученные аналитические и численные результаты позволяют сделать вывод о существенном влиянии упругого основания средней и высокой жесткости на частоты и перемещения. При колебаниях элементов конструкций на основаниях малой жесткости его влиянием в ряде случаев можно пренебречь.

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т16Р-010).*

#### Список литературы

- 1 Леоненко, Д. В. Колебания трехслойного стержня под действием импульсных нагрузок различных форм / Д. В. Леоненко // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 23–27.
- 2 Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.



## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛОСКОЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ С ТРЕХСЛОЙНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНОЙ В ГРУНТЕ

Н. А. ЛОКТЕВА, Н. А. СИНОДОВ, А. Н. УЛЬЯШИНА

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Российская Федерация*

Одним из наиболее эффективных средств защиты от негативного воздействия колебаний, создаваемого подземным транспортом, являются вибропоглощающие преграды. В данной работе в качестве такого препятствия рассматривается прямоугольная трёхслойная пластина. Для её расчёта была разработана математическая модель взаимодействия пластины с окружающей её упругой средой.

Трёхслойная пластина, окружена с двух сторон заполненными грунтом полупространствами «1» и «2». Используется прямоугольная декартова система координат  $Oxyz$ . При этом предполагается, что плоскость  $Oxy$  для пластины является срединной, вдоль оси  $Ox$  и  $Oy$  ограничена и имеет длину  $l$ . В качестве модели грунта была использована однородная упругая изотропная среда. Математическая постановка задачи включает в себя задание набегающей волны, уравнений движения грунта и пластины, краевых условий для пластины и грунта, условий на бесконечности, а также условий контакта грунта с препятствием.

Целью является определение суммарного векторного поля ускорений  $a$  (виброускорений) во втором полупространстве как функции частоты  $\omega$  и пространственных координат  $x, y$  и  $z$  в зависимости от параметров пластины:

$$a_x = -\omega^2 u_1^2, \quad a_y = -\omega^2 u_2^2, \quad a_z = -\omega^2 w^2, \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Для описания движения грунта используется замкнутая система уравнений, описывающая её плоское движение. Она включает в себя уравнения движения, соотношения Коши, физический закон, связывающий компоненты напряжения и деформации через параметры Ламе. Кроме того, используются эквивалентные уравнения в перемещениях (уравнения Ламе). Также перемещения выражаются через скалярные и векторные потенциалы [1].

Движение пластины описывается системой уравнений Паймушина В. Н. [2]. На несущие слои действуют нормальные внешние давления  $p_1$  и  $p_2$ .

В качестве граничных условий было рассмотрено шарнирное закрепление краёв:

$$\begin{aligned} w_c|_{0,l_1} = 0; \quad w_c|_{0,l_2} = 0; \quad w_a|_{0,l_1} = 0; \\ w_a|_{0,l_2} = 0; \quad \frac{\partial^2 w_c}{\partial x^2}|_{0,l_1} = 0; \quad \frac{\partial^2 w_c}{\partial y^2}|_{0,l_2} = 0; \quad \frac{\partial^2 w_a}{\partial x^2}|_{0,l_1} = 0; \quad \frac{\partial^2 w_a}{\partial y^2}|_{0,l_2} = 0. \end{aligned}$$

Через  $u_1^k$  и  $u_2^k$  обозначаем тангенциальные перемещения вдоль осей  $Ox$  и  $Oy$  соответственно, а через  $w^k$  – нормальное перемещение  $k$ -го несущего слоя.

Кинематические параметры пластины представлены в виде тригонометрических рядов, удовлетворяющих граничным условиям [3]. Применяя аналогичные преобразования к выражениям для деформаций, напряжений, перемещений и потенциалов для упругой среды, получаем тангенциальные и нормальные перемещения грунта. Поскольку занимаемая грунтом область неограниченна, то потенциалы решения уравнений движения упругой среды должны удовлетворять условиям излучения Зоммерфельда. Из условий контакта среды и пластины определяются константы:

$$\begin{aligned} p_1 = \sigma_{33}^1 + \sigma_{33}^* \Big|_{z=0}, \quad p_2 = -\sigma_{33}^2 \Big|_{z=0}; \\ w^1 + w_* \Big|_{z=0} = w^2 \Big|_{z=0} = w_0, \quad \sigma_{13}^1 \Big|_{z=0} = \sigma_{13}^2 \Big|_{z=0} = 0, \quad \sigma_{23}^1 \Big|_{z=0} = \sigma_{23}^2 \Big|_{z=0} = 0. \end{aligned}$$

На основании полученных значений констант находятся нормальные и касательные перемещения. Далее вычисляются виброускорения по осям  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$ , а также модуль виброускорения.

В качестве примера получена зависимость виброускорения  $a$  на границе пластины при  $z = 0$  от частоты волны  $\omega$  и длины пластины  $x$  при толщине пластины  $h = 0,1$  м, длине  $l = 5$  м и диапазоне частот  $\omega = 1 - 200$  Гц (рисунок 1, где 1 – модуль виброускорения  $a$  на границе пластины; 2 – модуль виброускорения  $a \cdot 10^{28}$  на расстоянии 10 м).

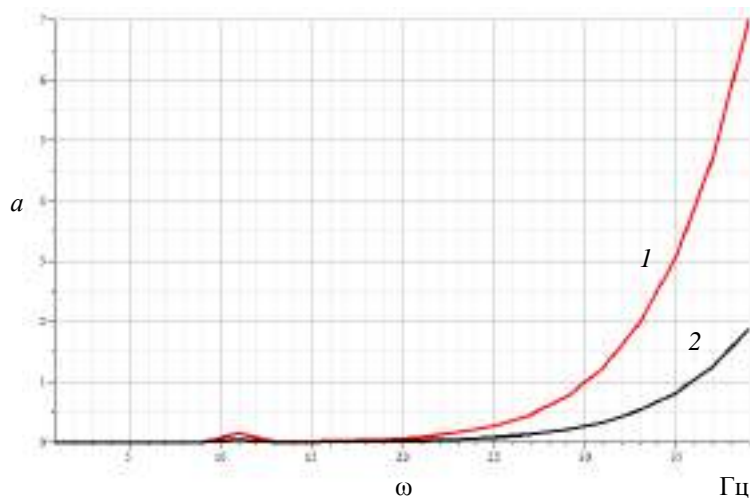


Рисунок 1

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-58-00034).

#### Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах : учеб. пособ. / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 **Иванов, В. А.** Уточненная теория устойчивости трехслойных конструкций (линеаризованные уравнения нейтрального равновесия и простейшие одномерные задачи) / В. А. Иванов, В. Н. Паймушин, Т. В. Полякова // Изв. вузов. Матем. – 1995. – № 3. – С. 15–24.
- 3 Справочник по специальным функциям / под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. – М. : Наука, 1979. – 830 с.
- 4 Свод правил по проектированию и строительству СП 23-105–2004 «Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена». – М. : ГОССТРОЙ РОССИИ. – 2014.

УДК 539.37

### О СХОДИМОСТИ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОРОИДАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

*И. В. ЛУЦКАЯ, В. А. МАКСИМЮК, И. С. ЧЕРНЫШЕНКО*  
 Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Оболочки некругового поперечного сечения широко применяются в современном инженерном деле. Так, в строительстве эллиптические полые профили сочетают в себе преимущества круглых и прямоугольных профилей. Замкнутые тонкие тороидальные оболочки представляют интерес как элементы наземных и космических конструкций. К последним [1] относятся сверхлегкие надувные спутниковые компоненты, которые служат поддерживающими конструкциями космических телескопов и антенн.

Тороидальные оболочки представляют также теоретический интерес с точки зрения тестирования методов расчета оболочек, поскольку при определенном соотношении их параметров они принимают форму таких конструкций, в некоторых частях которых напряженно-деформированное состояние (НДС) оказывается очевидным [2]. Кроме того, такие оболочки представляют методологический интерес как объект тестирования на так называемое мембранное запираание (locking). Дело в том, что подобные тесты являются преимущественно двумерными. Осесимметричное деформирование оболочек вращения двойкой кривизны вследствие,

по-видимому, присущему им самоподкрепляющему эффекту происходит, в основном, без мембранного запираания. Однако в замкнутой тороидальной оболочке эллиптического поперечного сечения под действием внутреннего давления [2] мембранное запираание может возникнуть. В этом случае поперечное сечение, подобно, как и в длинной цилиндрической оболочке [3], будет стремиться приобрести близкую к окружности форму, что приведет при небольших растяжениях к значительным изгибам возле большой и малой полуосей эллипса. Тогда в расчетах численными методами без применения целенаправленных подходов против запираания может наблюдаться замедленная сходимость [2].

Ускорить сходимость можно на основе смешанных функционалов, в которых дополнительно варьируются заведомо малые компоненты деформаций [4]. Этот подход является достаточно универсальным. Так, чтобы избежать мембранного запираания можно построить смешанный функционал  $\Pi u, \varepsilon^f$ , в котором дополнительно варьируются мембранные  $(\varepsilon_{11}^f, \varepsilon_{22}^f, \varepsilon_{12}^f)$  деформации. Его можно представить [4] через функционал  $\Pi u$ , в котором варьируются только перемещения  $u_1, u_2, u_3$ , следующим образом:

$$\Pi u, \varepsilon^f = \Pi u - \frac{1}{2} \iint_{\Omega} [G_{11}(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{11}^f)^2 + G_{22}(\varepsilon_{22} - \varepsilon_{22}^f)^2 + G_{12}(\varepsilon_{12} - \varepsilon_{12}^f)^2] d\Omega.$$

Следует отметить использование обозначений для деформаций, которое подчеркивает различие между деформациями-формулами  $(\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12})$  и деформациями-функциями  $(\varepsilon_{11}^f, \varepsilon_{22}^f, \varepsilon_{12}^f)$ .

Численно исследовано НДС тороидальной оболочки, поперечное сечение которой представляет гладкую плоскую кривую  $F(x, y) = 0$  и описывается уравнением

$$F(x, y) = \left(\frac{x-c}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 - 1 = 0,$$

где  $a$  и  $b$  – полуоси эллипса;  $c$  – удаление центра поперечного сечения от оси вращения.

Срединная поверхность оболочки, находящейся под действием внутреннего давления ( $q$ ) и несенная к полугеодезической криволинейной системе координат  $(s, \theta, \gamma)$ , имеет следующие геометрические параметры:  $\tilde{a} = a/h = 100$ ;  $\tilde{b} = b/h = 1000$ ;  $\tilde{c} = c/h = 200$ ;  $\tilde{s} = s/s_k = 2032$  – половина дуги эллипса, т.е. поперечное сечение, сильно вытянутое вдоль оси симметрии, а протяженная часть тороидальной оболочки представляет собой две соединенные по торцам коаксиальные цилиндрические оболочки с характерными величинами напряжений для них. Поперечное сечение разбивалось на ряд равностоящих узловых точек при помощи алгоритма типа касательной [2, 4]. Численные расчеты выполнялись на основе вариационно-разностного метода (ВРМ) [4]. Количество узловых точек последовательно удваивалось до совпадения максимальных компонент НДС с точностью до трех значащих цифр. Кроме того, применялся также интегральный критерий точности, заключающийся в равенстве величин внутренних ( $F$ ) и внешних ( $P$ ) сил, вычисляемых согласно формулам

$$F = h \int_0^{s_k} \sigma_{\theta\theta} ds ; \quad P = \frac{1}{2} \pi abq.$$

Ранее [2] для достижения указанной точности расчетов ВРМ на основе классического функционала Лагранжа, т. е. без применения целенаправленных подходов против запираания, потребовалось разбиение половины дуги эллипса на 20000 узловых точек. При этом наблюдалась замедленная, но устойчивая сходимость. Применение смешанного функционала, в котором дополнительно варьируется меридиональная деформация  $(\varepsilon_{ss})$ , позволило несколько ускорить сходимость и уменьшить разбиение до 5000 узловых точек. Столь незначительный по сравнению с другими более показательными примерами [4] эффект можно объяснить сложным характером НДС в такой сильно вытянутой тороидальной оболочке, в одних частях которой имеют место большие изгибы, а в других – растяжения.

#### Список литературы

- 1 Pазhoooh, M. Danesh. Finite Element Modal Analysis of an Inflatable, Self-rigidizing Toroidal Satellite Component / Pазhoooh M. Danesh, Dokainish M. A., Ziada S. // Experimental and Applied Mechanics. – 2011. – 6, No. 1. – P. 281–288.

2 Chernyshenko, I. S. On the stress-strain state of toroidal shells of elliptical cross section formed from nonlinear elastic orthotropic materials / I. S. Chernyshenko, V. A. Maksimyyuk // Int. Appl. Mech. – 2000. – 36, No. 1. – P. 90–97.

3 Аброров, Ю. Ю. Деформування довгої тонкої циліндричної оболонки еліптичного перерізу / Ю. Ю. Аброров, В. А. Максимюк, В. С. Тарасюк // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. – 2015. – № 2. – С. 5–10.

4 Maksimyyuk, V. A. Variational finite-difference methods in linear and nonlinear problems of the deformation of metallic and composite shells (review) / V. A. Maksimyyuk, E. A. Storozhuk, I. S. Chernyshenko // Int. Appl. Mech. – 2012. – 48, No. 6. – P. 613–687.

УДК 539.3

## К ПОСТАНОВКЕ И ЧИСЛЕННОМУ РЕШЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ПОДКРЕПЛЕННЫХ КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК В НЕОРТОГОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

В. Ф. МЕЙШ, Е. Д. БЕЛОВ

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Ю. А. МЕЙШ

Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

Рассматривается задача о нестационарном деформировании усеченной дискретно подкрепленной конической оболочки эллиптического сечения в рамках модели теории оболочек и стержней Тимошенко [1, 3] при распределенной внутренней импульсной нагрузке. Уравнения срединной поверхности оболочки в параметрическом виде задаются согласно соотношениям [2]

$$X = k_1 x^1 \cos x^2, \quad Y = x^1 \sin x^2, \quad Z = k_2 x^1, \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  – декартова система координат;  $x^1, x^2$  – координаты на срединной поверхности оболочки;  $k_1 = a/b$ ;  $k_2 = c/b$ . Схематически объект представлен на рисунке 1, где  $H$  – высота усеченного конуса. Уравнения линии центра тяжести продольного ребра в параметрическом виде задаются согласно формулам (1) при фиксированном значении  $x^2$  (в нашем случае  $x^2 = (l-1)\pi/2$ ,  $l = \overline{1, 4}$ ).

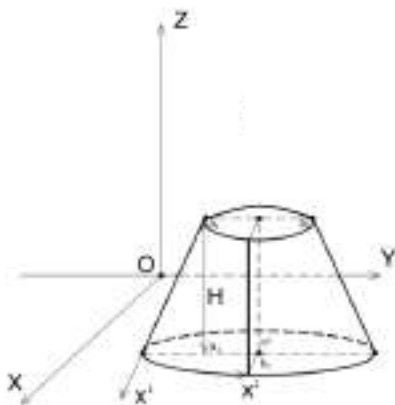


Рисунок 1

Уравнения (1) определяют коэффициенты первой и второй квадратичной формы срединной поверхности рассматриваемой оболочки согласно формулам

$$a_{ij} = \frac{\partial X}{\partial x^i} \frac{\partial X}{\partial x^j} + \frac{\partial Y}{\partial x^i} \frac{\partial Y}{\partial x^j} + \frac{\partial Z}{\partial x^i} \frac{\partial Z}{\partial x^j}, \quad (i, j = 1, 2); \quad (2)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{\sqrt{g}} \left[ \left( \frac{\partial Y}{\partial x^i} \frac{\partial Z}{\partial x^j} - \frac{\partial Z}{\partial x^i} \frac{\partial Y}{\partial x^j} \right) \frac{\partial^2 X}{\partial x^i \partial x^j} + \left( \frac{\partial Z}{\partial x^i} \frac{\partial X}{\partial x^j} - \frac{\partial X}{\partial x^i} \frac{\partial Z}{\partial x^j} \right) \frac{\partial^2 Y}{\partial x^i \partial x^j} + \left( \frac{\partial X}{\partial x^i} \frac{\partial Y}{\partial x^j} - \frac{\partial Y}{\partial x^i} \frac{\partial X}{\partial x^j} \right) \frac{\partial^2 Z}{\partial x^i \partial x^j} \right].$$

При этом, согласно (1),

$$a_{11} = k_1^2 \cos^2 x^2 + \sin^2 x^2 + k_2^2; \quad a_{22} = (x^1)^2 (k_1^2 \sin^2 x^2 + \cos^2 x^2); \quad a_{12} = 0, 5x^1(1 - k_1^2) \sin 2x^2; \\ b_{11} = 0, \quad b_{12} = 0, \quad b_{22} = k_1 k_2 (x^1)^2 / \sqrt{g},$$

где  $g$  – фундаментальный определитель метрического тензора,  $g = a_{11}a_{22} - a_{12}^2$ . Аналогично определяются коэффициенты для линии центра тяжести поперечного сечения продольного ребра при условии  $x^2 = \text{const}$ .

Для описания динамического поведения конических оболочек принимается линейный вариант уточненной теории тонких оболочек типа Тимошенко [1, 3]. Для вывода уравнений колебаний

конических оболочек используется вариационный принцип Гамильтона – Остроградского  $\int_{t_1}^{t_2} (\delta K - \delta \Pi + \delta A) dt = 0$ , где  $\Pi$ ,  $K$  – полные потенциальная и кинетическая энергии оболочки и ребер,  $A$  – работа внешних сил. После стандартного преобразования в вариационном функционале получаем соответствующие уравнения колебаний исходной гладкой конической оболочки и подкрепляющих ребер. В частности, уравнения колебаний конической оболочки в общем виде имеют вид

$$\begin{aligned} \rho h \frac{\partial^2 u^i}{\partial t^2} &= \nabla_i T^{ij} - b_j^i T^{i3} + P^i, \quad (i, j = 1, 2); \\ \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} &= \nabla_i T^{i3} + b_{ij} T^{ij} + P_3; \\ \rho I \frac{\partial^2 \phi^i}{\partial t^2} &= \nabla_i M^{ij} - T^{i3} + m^i; \\ \nabla_k T^{ik} &= \frac{1}{\sqrt{g}} \partial_k \sqrt{g} T^{ik} + \Gamma_{\alpha k}^i T^{\alpha k}; \\ \nabla_k M^{ik} &= \frac{1}{\sqrt{g}} \partial_k \sqrt{g} T^{ik} + \Gamma_{\alpha k}^i T^{\alpha k}; \quad g = a_{11} a_{22} - a_{12}^2; \quad a_{12} \neq 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В формулах (3) индексами 1, 2 обозначены переменные по координатам  $x^1, x^2$ :  $u^1, u^2, u_3, \phi^1, \phi^2$  – контрвариантные компоненты обобщенного вектора перемещений срединной поверхности оболочки;  $T^{ij}, T^{i3}, M^{ij}$  – контрвариантные компоненты тензоров усилий и моментов;  $P^i, P_3, m^i$  – компоненты усилий на поверхности оболочки;  $\nabla_i$  – контрвариантная производная;  $\rho$  – плотность материала оболочки;  $h$  – толщина оболочки;  $I = h^3 / 12$ .

Уравнения колебаний (3) дополняются соответствующими граничными и начальными условиями. Для построения численного алгоритма используется интегро-интерполяционный подход построения конечно-разностных схем по пространственным координатам  $x^1, x^2$  и явной разностной аппроксимации по временной координате  $t$  [1].

#### 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 : Изд.-полиграф. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.
- 2 Гуляев, В. Н. Устойчивость нелинейных механических систем / В. Н. Гуляев, В. А. Баженов, Е. А. Гоцуляк. – Львов : Вища школа, 1982. – 255 с.
- 3 Теория оболочек с учетом поперечного сдвига / под ред. К. З. Галимова. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1977. – 212 с.

УДК 539.3

### К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧ О ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССАХ (СФЕРИЧЕСКАЯ СИММЕТРИЯ) В ДВУХСЛОЙНЫХ ГРУНТОВЫХ СРЕДАХ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗОК

*В. Ф. МЕЙШ*

*Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

*Ю. А. МЕЙШ*

*Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина*

Рассматривается задача распространения сферических волн в двухслойной грунтовой среде. Предполагается, что к границе замкнутой сферической полости радиуса  $r = r_0$  приложена импульсная нагрузка  $F(t)$ . Для описания поведения слоев грунтовой среды используется модель нелинейной жидкой многокомпонентной среды согласно В. М. Ляхову [1, 2]. Уравнение состояния данной модели записываются в виде

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \left[ \frac{\gamma_i (P - P_0)}{\rho_{i0} c_{i0}^2} + 1 \right]^{-\chi_i}, \quad (1)$$

где  $\chi_i = 1/\gamma_i$ ,  $\gamma_i$  – показатель изэнтропы  $i$ -й компоненты.

Для уравнения состояния трехкомпонентной среды (водонасыщенного грунта) (1) вводятся следующие обозначения:  $\alpha_i$  – содержание по объему компонент;  $\rho_{i0}$  – плотность;  $V_{i0}$  – их удельный объем;  $c_{i0}$  – скорость звука в компонентах при атмосферном давлении  $P_0$ ;  $i$  – номер компоненты (1 – воздух, 2 – жидкость, 3 – твердые частички). При давлении  $P = P_0$  плотность среды  $\rho_0$  и удельный объем  $V_0$  определяется по формулам

$$\rho_0 = \frac{1}{V_0} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \rho_{i0}, \quad \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1.$$

Характеристика каждого слоя определяется величинами  $\alpha_i$ ,  $\rho_{i0}$  [1, 2].

Движение двухслойной грунтовой среды для случая распространения сферических волн описывается системой уравнений в эйлеровых координатах [3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho U + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 \rho U^2 + P \right] - \frac{2}{r} P &= 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 \rho U \right] &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

В уравнениях (2)  $r$  – пространственная координата,  $t$  – временная координата,  $U$  – скорость,  $\rho$  – плотность,  $P$  – давление.

Уравнения движения грунтовой среды (2) дополняются уравнением состояния (1) вида  $F(P, \rho) = 0$ , где

$$F(P, \rho) = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \left[ \frac{\gamma_i (P - P_0)}{\rho_{i0} c_{i0}^2} + 1 \right]^{-1/\gamma_i} - \frac{\rho_0}{\rho}. \quad (3)$$

Предполагаемый алгоритм решения основывается на использовании разностных схем Мак – Кормака для численного решения динамических задач о поведении сжимаемой жидкости [4, 5].

#### Список литературы

- 1 Ляхов, В. М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах / В. М. Ляхов. – М. : Недра, 1982. – 288 с.
- 2 Механический эффект взрыва в грунтах / И. А. Лучко [и др.] – Киев : Наук. думка, 1989. – 232 с.
- 3 Рождественский, Б. Л. Системы квазилинейных уравнений и их приложение к газовой динамике / Б. Л. Рождественский, Н. И. Яненко. – М. : Наука, 1978. – 688 с.
- 4 Головкин, К. Г. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках : [моногр.] / К. Г. Головкин, П. З. Луговой, В. Ф. Мейш ; под ред. акад. НАН Украины А. Н. Гузя. – Киев : Изд.-полигр. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.
- 5 Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 2 / К. Флетчер. – М. : Мир, 1991. – 526 с.

УДК 539.3

### УДАР СИСТЕМЫ ОБОЛОЧЕК СО СЛОЕМ ЖИДКОСТИ ПО АБСОЛЮТНО ЖЕСТКОЙ ПРЕГРАДЕ

*Е. Ю. МИХАЙЛОВА, Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, А. Н. УЛЬЯШИНА, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ*  
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (НИИ),  
Российская Федерация

В работе исследуется удар системы концентрических оболочек со слоем жидкости между ними (ударник) по жесткой преграде (основание). Здесь рассматриваются оболочки типа Тимошенко. В начальный момент времени ударник движется со скоростью  $v_0$  нормально к поверхности основания.

Математическая модель процесса включает в себя:

– уравнения движения системы оболочек в перемещениях [1]:

$$\ddot{\mathbf{w}}_k = \mathbf{L}^k \mathbf{w}_k + \tilde{\mathbf{p}}_k, \quad \mathbf{w}_k = u_k, w_k, \chi_k, \quad \mathbf{L}^k = L_{ij}^k, \quad \tilde{\mathbf{p}}_k = 0, \kappa_k \tilde{p}_k, 0^T, \quad (1)$$

$$L_{11}^{(k)} = \frac{\alpha_k^2 l_2 - \sin^2 \theta + \beta_k^2 2 - k^2}{R_k^2}, \quad L_{12}^{(k)} = \frac{[2 \alpha_k^2 - \beta_k^2 + \beta_k^2 k^2] \frac{\partial}{\partial \theta}}{R_k^2}, \quad L_{13}^{(k)} = \frac{\gamma_k^2 \alpha_k^2 \sin^2 \theta - l_2 + \beta_k^2 k^2}{R_k},$$

$$L_{21}^{(k)} = -\frac{[2 \alpha_k^2 - \beta_k^2 + \beta_k^2 k^2] l_1}{R_k^2}, \quad L_{22}^{(k)} = \frac{\beta_k^2 k^2 l_2 - 4 \alpha_k^2 - \beta_k^2}{R_k^2}, \quad L_{23}^{(k)} = \frac{\beta_k^2 k^2 l_1}{R_k}, \quad L_{31}^{(k)} = \gamma_k^{-2} R_k^{-2} L_{13}^{(k)},$$

$$L_{32}^{(k)} = -\frac{\beta_k^2 k^2}{\gamma_k^2 R_k^3} \frac{\partial}{\partial \theta}, \quad L_{33}^{(k)} = -\gamma_k^{-2} R_k^{-1} L_{13}^{(k)}, \quad l_1 = \frac{\partial}{\partial \theta} + \text{ctg} \theta, \quad l_2 = \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial}{\partial \theta} \text{ctg} \theta, \quad k^2 = \frac{5}{6};$$

– уравнение движения акустической среды (жидкости) [1]

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \tau^2} = \alpha_2^2 \left( \frac{2}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} l_2 \Phi \right); \quad (2)$$

– физическое соотношение

$$p_2 = -\tilde{\gamma}_2 \frac{\partial \Phi}{\partial \tau}; \quad (3)$$

– соотношение, связывающее скорость жидкости в точке с потенциалом скоростей,

$$v_2 = \text{grad} \Phi. \quad (4)$$

Контакт между оболочками и заполнителем (5), ударником и преградой (6) осуществляется в условиях свободного проскальзывания:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=R_0} = \frac{\partial w_0}{\partial \tau}, \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=1} = \frac{\partial w_1}{\partial \tau}, \quad (5)$$

$$w_1 = 1 - \cos \theta - V_0 \tau, \quad \theta \in [0, \theta^*]; \quad p_1 \theta, \tau < 0, \quad \theta \in [0, \theta^*]; \quad p_1 \theta, \tau = 0, \quad \theta \notin [0, \theta^*]. \quad (6)$$

Замыкают постановку задачи начальные условия

$$u_k|_{\tau=0} = 0, \quad w_k|_{\tau=0} = 0, \quad \chi_k|_{\tau=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{\tau=0} = V_0 \cos \theta, \quad \left. \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right|_{\tau=0} = -V_0 \sin \theta, \quad (7)$$

$$\dot{\chi}_k|_{\tau=0} = 0, \quad \dot{u}_k|_{\tau=0} = -V_0 \sin \theta, \quad \dot{w}_k|_{\tau=0} = V_0 \cos \theta.$$

Все переменные и параметры приводятся к безразмерному виду (параметры с индексом  $k=0, 1$  относятся к оболочкам, а с индексом  $k=2$  – к жидкости). Здесь  $\tau$  – безразмерное время,  $u_k, w_k$  – тангенциальные, нормальные перемещения оболочки;  $\chi_k$  – угол отклонения ортогонального к срединной поверхности до деформации материального волокна за счёт сдвиговых деформаций,  $R_k$  – радиус оболочки,  $p_k$  – нормальное давление на оболочку и в жидкости,  $\Phi$  – потенциал скоростей акустической среды,  $r$  – радиус-вектор,  $v_2$  – скорость жидкости.

Для исследования контактного взаимодействия системы оболочек с жесткой преградой получена система разрешающих уравнений, основное уравнение которой вытекает из граничного условия (6) и интегрального соотношения, базирующегося на принципе суперпозиции [2] и связывающего нормальные перемещения внешней оболочки с контактным давлением

$$w_1 \theta, \tau = 2\pi \int_0^{\tau} \int_0^{\theta^*} G_2 \theta, \xi, \tau - t p \xi, t \sin \xi d\xi dt, \quad (8)$$

где  $G_2 \theta, \xi, \tau$  – функция влияния для ударника.

Дополняют данную систему начальные условия. Для ее решения используется численно-аналитический алгоритм, основанный на методе квадратур. С учетом гиперболического типа уравнений движения оболочки и полупространства применяется явная схема интегрирования.

Функция влияния для ударника, входящая в интегральное соотношение (8), представляет собой нормальные перемещения системы оболочек как решение задачи (1)–(5) при однородных началь-

ных условиях и при воздействии сосредоточенного мгновенного давления  $p = \delta(\tau)\delta(\theta - \xi)$ , где  $\delta(\tau)$ ,  $\delta(\theta - \xi)$  – дельта-функции Дирака. При этом в формуле (1) полагаем  $\tilde{p}_1 = p - p_2|_{r=1}$ ,  $\tilde{p}_0 = p_2|_{r=R_0}$ . Для решения системы уравнений (1)–(5) используется метод Фурье разделения переменных, при котором все искомые функции, зависящие от радиальной и временной переменных, раскладываются в ряды по полиномам Лежандра и их производным. При подстановке этих разложения в (1)–(5) получаем бесконечную систему дифференциальных уравнений относительно неизвестных коэффициентов, зависящих от времени и угловой координаты, для решения которой применяется преобразование Лапласа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-08-00260).

#### Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах : учеб. пособие для вузов / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 632 с.
- 2 Михайлова, Е. Ю. Нестационарный контакт сферической оболочки и упругого полупространства / Е. Ю. Михайлова, Г. В. Федотенков, Д. В. Тарлаковский [Электронный ресурс] // Труды МАИ : электронный журнал. – 2014. – Вып. 78. – Режим доступа : <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53499>. – Дата доступа : 10.08.2017.

УДК 539.4:621.6

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В УПРУГОМ ТЕЛЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ШИНЫ КОЛЕСА

*В. В. МОЖАРОВСКИЙ, Д. С. КУЗЬМЕНКОВ*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Перспективы прогресса в машиностроении и строительстве в основном связываются с разработкой и широким применением композиционных материалов (композитов).

Применение в мировой практике высокоскоростного и надежного промышленного транспорта с массивными шинами (автомобильные, электропогрузчики, подвесные канатные дороги, эскалаторы метро и др.), а также новых способов передачи движений требует создания новых армирующих материалов и инженерных методик расчета. Недостаточно изученное влияние конструктивной анизотропии на напряженно-деформированное состояние дорожного покрытия при силовом квазистатическом воздействии не позволяет обосновать практику их проектирования; не существует сравнимых по эффективности методов расчета поведения конструкций из композитов при контакте по ним внешними объектами. В связи с этим есть необходимость в разработке математической модели и компьютерных программ расчета напряжений при статическом контакте штампа (моделирующего шину колеса) с телом (или покрытием) из композита при различных физических параметрах взаимодействия.

В данном случае особенно важно исследовать механические свойства армированных материалов, работающих в процессе:

- статического контактного взаимодействия цилиндрического тела (моделирующего шину) и слоистого основания;
- зависимости напряженного состояния упругих тел из композитов (при статическом контакте) от типа ориентации волокон материала, например армированного кордом.

Анализ применения анизотропных композиционных материалов нельзя производить без учета их взаимодействия с другими телами сопряжения, а также материала матрицы и армирующих элементов, геометрии компонентов и структуры, и расположению компонентов. Важно учитывать также и метод изготовления материала, что является весьма сложной и многопараметрической задачей.

В связи с этим возникает цель исследований – создание математических моделей и алгоритмов расчета напряженно-деформированного состояния слоистых систем при силовом статическом воздействии, а также методики, реализующей определение напряжений и перемещений в объемном теле при заданных областях контакта и действующего давления.

На основании работ [1, 2] представлен алгоритм и создана программа, реализующая определение напряжений и перемещений в объемном теле заданной формы. Для решения поставленной задачи был использован и успешно запрограммирован метод конечных элементов. Применялись пря-



моугольные конечные элементы. Данная программа позволяет находить напряженно-деформированное состояние в упругом теле при изменяющейся зоне контакта и действующем давлении во времени. Метод основан на считывании цвета в зоне контакта (каждому давлению в точке соответствует свой цвет). Например, экспериментально полученные результаты можно обработать и получить картину изменения НДС.

Ведется работа по распознаванию цветов загруженного из файла изображения, т. е. загружаем изображение, его разбиваем на КЭ и определяем средний цвет в КЭ и соотносим его к одному из выбранных в программе цветов, которому соответствует определенное значение нагрузки (рисунок 1).

Разработанный программный пакет расчета позволяет строить объемные графики напряжений и перемещений как на поверхности основания (рисунок 2), так и внутри его, а также изменения компонент напряжений или перемещений с течением времени.

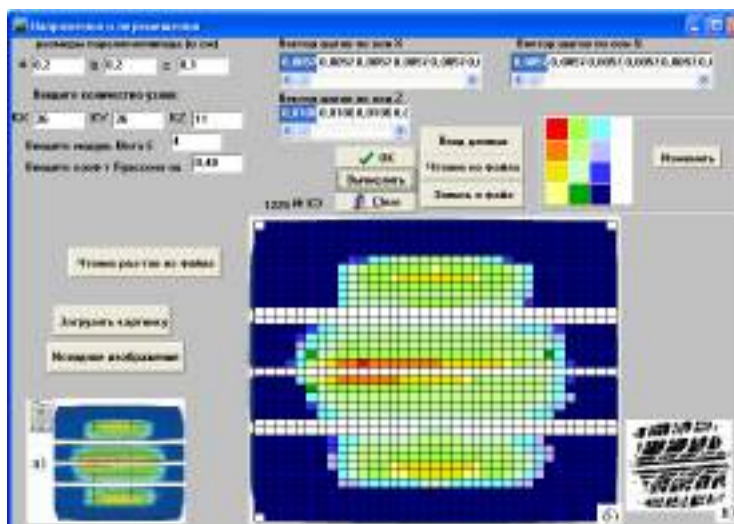


Рисунок 1 – Схема расчета при действии нагрузки (шины колеса) на основание:  
*a* – численный расчет [1]; *б* – программная реализация; *в* – эксперимент в черно-белом свете [2]

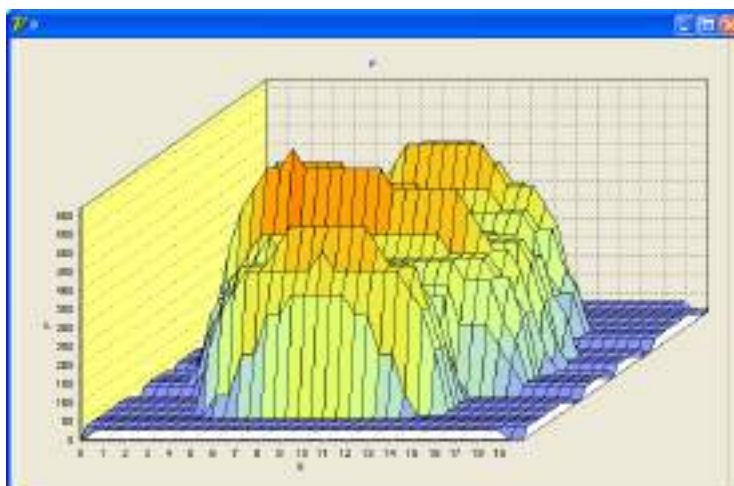


Рисунок 2 – Качественная картина, показывающая расчет изменения давления на верхней границе

В перспективе исследования будут касаться построения методик определения напряженного и деформированного состояний покрытий дорог, механические свойства которых изменяются по глубине.

#### Список литературы

- 1 Рыжов, С. А. Проектирование шин с использованием программного комплекса ABAQUS / С. А. Рыжов, К. А. Ильин, А. Н. Варюхин // САПР и графика. – 2006. – № 1. – С. 20–40.
- 2 Анализ контактного взаимодействия автомобильной шины с колесным диском и дорожным покрытием / В. В. Можаровский [и др.] // Доклады Белорусского конгресса по механике: сборник научных трудов. – Минск, 2007. – С. 135–142.

## FLOW DYNAMICS CAUSED BY THE SUDDEN WATER DISCHARGE INTO THE RIVER

F. B. NAGIYEV, G. A. AKHUNDOVA

*Azerbaijan State Marine Academy, Baku, Azerbaijan*

Flow in rivers and channels under non-stationary increasing runoff from the reservoir or the zone of precipitation was modeled in [1–3]. In this case, the phenomenon is accompanied by a sharp change in the shape of the leading edge at considerable distances from the source.

A similar conclusion in the use of various computer models was made in [4, 5].

*Problem Statement.* Let consider the process of increasing the level of the river. Under sudden discharge of water define the time for which a sudden discharged volume of water will reach the ship.

Let we divide the river basin between the place of discharge of water and the vessel on the river into intervals with the lengths  $l_p$  and widths  $b_p$  using the longitudinal lines of the HEC RAS program (figure 1).

We choose the partition interval so that within each interval the angle of inclination of the river bed to the horizon  $\alpha_p$  does not change. In view of the strong turbidity of the river water due to the presence of silt and various inclusions, we will consider water as viscous and incompressible fluid.

Following [1], we adopt a laminar two-layer flow model. We assume that in the case of a two-layer flow the lower first layer is the steady flow of liquid of height  $z_{0p}$  and velocity  $v_{0p}$ .

The velocity of propagation of the upper second layer of water in the  $p$ -th section of the river of the given height  $z_{1p}$  and the thickness  $\Delta z_p = z_{1p} - z_{0p}$  of the rectangular cross section of the river will be denoted by  $v_{xp}$ .  $\Delta z_p$  can be determined by the volume of water discharged in the first interval  $\Delta z_p = Q / l_p b_p$ . The velocity at the boundary of the two layers is assumed to be equal to the velocity on the surface of the first layer (figure 2).

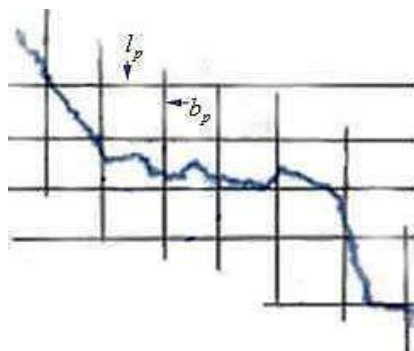


Figure 1 – Splitting the river bed into intervals

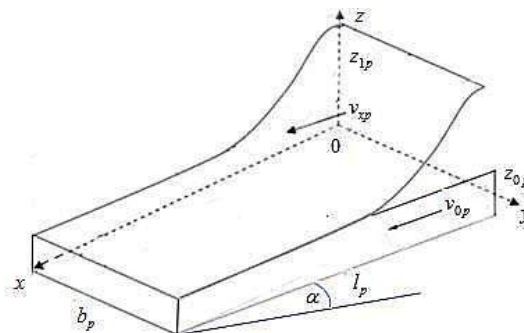


Figure 2 – Two-layer flow in a channel of rectangular cross-section

In [1] the mathematical formulation of the problem is given in the form of the Poisson equation

$$\frac{\partial^2 v_{xp}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_{xp}}{\partial z^2} = -D_p, \quad D_p = \frac{g}{\nu} \left( \frac{\Delta z_p}{l_p} + \frac{\Delta H}{l} \right), \quad (1)$$

where  $\Delta H / l = \sin \alpha$  is the sinus of the slope of the straight line connecting the beginning and the end of the section of the river,  $\nu$  is the coefficient of kinematic viscosity of the liquid,  $g$  is the acceleration of free fall.

The boundary conditions are taken as follows:

$$v_{xp}(y, z_{0p}) = v_{0p}, \quad v_{xp}(0, z) = v_{xp}(b_p, z) = 0, \quad \partial v_{xp}(y, z) / \partial z \Big|_{z=z_{1p}} = 0.$$

Here  $v_{0p}$  was set as the mean  $0 \leq y \leq b_p$  value over the width of the river of water flow rate in the lower layer. In contrast to this work, we take a slightly different formulation.

As is known, the velocity profile of a viscous liquid has a parabolic form

$$v_{xp}(y, z_{0p}) = \sigma_p y(y - b_p). \quad (2)$$

An unknown parameter  $\sigma_p$  can be determined if we take into account that

$$\langle v_{xp}(y, z_{0p}) \rangle = v_{0p} = \frac{1}{b_p} \int_0^{b_p} v_{xp}(y, z_{0p}) dy. \quad (3)$$

Substituting (2) in (3) and integrating, we find the value of the parameter  $\sigma_p$ :  $\sigma_p = 6v_{0p} / b_p^2$ .

Thus, we obtain the boundary condition for equation (1) in the form:  $v_{xp}(y, z_{0p}) = \frac{6v_{0p}}{b_p^2} y(b-y)$ .

*The method of the solution.* We seek the solution of the problem in the form of a sum of two functions  $v_{xp}(y, z) = U(y, z) + \frac{D_p y(b_p - y)}{2}$ , where  $U(y, z)$  is the solution of the Laplace equation  $\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$ .

To illustrate the profile of the dimensionless velocity in each  $p$ -th section between the dividing lines at the points  $z_{pj} = z_{0p} + j \frac{\Delta z_p}{m}$ ,  $y_{pi} = i \frac{b_p}{M}$ ,  $0 \leq i \leq m$ ,  $0 \leq j \leq M$  we obtain the relation for  $v_{xpij}(y_i, z_j) / v_{0p}$ :

$$\frac{v_{xpij}(y_i, z_j)}{v_{0p}} = \sum_{n=1}^{\infty} \left( 1 - \frac{\text{ch} \left[ k_2 n \left( 1 - \frac{j}{m} \right) \right]}{\text{ch}(k_2 n)} \right) \left( 1 - \frac{12}{\gamma_p} \right) \frac{2\gamma_p}{\pi n^3} [1 - (-1)^n] \sin \frac{\pi n i}{M}. \quad (4)$$

Here  $m$  and  $M$  are, respectively, the number of partitions of the intervals  $(0, b_p)$  and  $(z_{0p}, z_{1p})$ .

*Results.* The results of calculations using formula (4) for the first sector of the selected section of the river are shown in the table below. Figure 3 shows the diagram of velocity distribution in the second layer of the river.

Knowing the size of the sections of the partition  $l_p$  and the value of  $\langle v_x(z, y) \rangle$ , we can determine the time of passage of the liquid particles through each  $p$ -th section of the partition  $t_p = l_p / \langle v_{xp}(z, y) \rangle$ .

The time  $t$  to reach the flow to the ship will be equal to

$$t = \sum_{p=1}^q t_p, \text{ where } q \text{ is the number of segments of the partitions.}$$

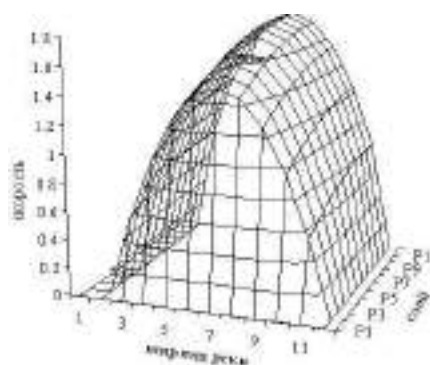


Figure 3 – Diagram of velocity distribution in the second layer of the river

i/j	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	i=6	i=7	i=8	i=9	i=10
j=0	0.00	0.54	0.96	1.26	1.44	1.50	1.44	1.26	0.96	0.54	0.00
j=1	0.00	0.59	1.01	1.31	1.49	1.55	1.49	1.31	1.01	0.59	0.00
j=2	0.00	0.64	1.06	1.36	1.54	1.60	1.54	1.36	1.06	0.64	0.00
j=3	0.00	0.68	1.10	1.40	1.58	1.64	1.58	1.40	1.10	0.68	0.00
j=4	0.00	0.72	1.14	1.44	1.62	1.55	1.62	1.44	1.14	0.72	0.00
j=5	0.00	0.75	1.17	1.47	1.65	1.71	1.65	1.47	1.17	0.75	0.00
j=6	0.00	0.77	1.19	1.49	1.67	1.73	1.67	1.49	1.19	0.77	0.00
j=7	0.00	0.79	1.21	1.51	1.69	1.75	1.69	1.51	1.21	0.79	0.00
j=8	0.00	0.81	1.23	1.53	1.71	1.77	1.71	1.53	1.23	0.81	0.00
j=9	0.00	0.81	1.24	1.54	1.72	1.78	1.72	1.54	1.24	0.81	0.00
j=10	0.00	0.82	1.24	1.54	1.72	1.78	1.72	1.54	1.24	0.82	0.00

### References

- 1 **Lapin, V. G.** Mathematical modeling of the frontal part of the flow in canals and rivers with nonstationary flow: candidate dissertation. – Stavropol, 2005.
- 2 **Kaplan, L. G.** On the formation of a shock front for a viscous incompressible fluid moving along an inclined plane, proc. Regional scientific conference "Theoretical and applied problems of modern physics" / L. G. Kaplan, V. G. Lapin. – Stavropol, September, 20–23. – 2002. – P. 214–219.

3 Starovoitov, E. I. Foundations of the theory of elasticity, plasticity and viscoelasticity / E. I. Starovoitov, F. B. Nagiyev // Apple Academic Press. – Toronto, New Jersey, Canada, USA. – 2012. – 346 p.

4 Lalander, E. Evaluation of a Model for Predicting the Tidal Velocity in Fjord Entrances / E. Lalander, P. Thomassen, M. Leijon // Energies. – Vol. 6. – № 4. – 2013. – P. 2031–2051.

5 Weiming, Wu. Computational river dynamics / Wu. Weiming. – London : Taylor & Francis Group, 2007. – 494 p.

УДК 625.1.001.891.573

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПЕТЛИ ДЛЯ РАЗВОРОТА ВАГОНОВ

С. П. НОВИКОВ, А. К. ГОЛОВНИЧ, П. И. КАПИТАНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При выполнении некоторых технологических операций по обслуживанию вагонов рабочего парка и испытанию новых вагонов требуется разворот подвижного состава. Основные конструкции данных устройств связаны с сооружением разворотных треугольников и петлевых ходов. Расчетная схема петлевого разворота представлена на рисунке 1.

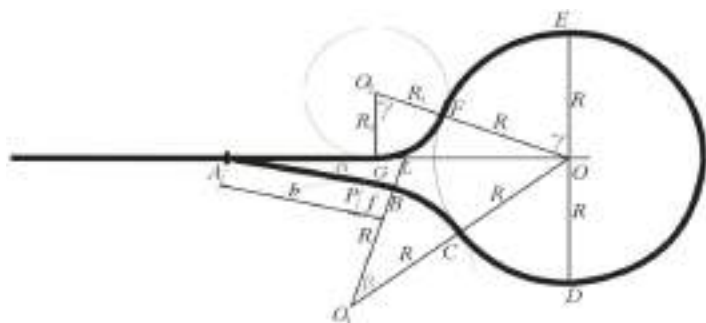


Рисунок 1 – Схема петлевого разворота вагонов

Длина маршрута перемещения вагона  $L$  с локомотивом по петлевому ходу определяется от точки  $G$  (начала кривой при движении по прямому пути за стрелку) по круговой кривой через точки  $E$  и  $D$  до точки  $P$  (заднего стыка крестовины стрелочного перевода). Формулы для вычисления длины пути представлены в [1]. Согласно приведенным расчетам

$$\beta = \arccos \frac{R \cos \alpha + (b + f) \sin \alpha}{2R} - \alpha.$$

$$R_1 = \frac{\left( \frac{b + f}{\cos \alpha} + \frac{2R \sin \beta}{\cos \alpha} - b \right)^2 - R^2}{2R}, \quad \gamma = \arccos \left( \frac{R_1}{R_1 + R} \right).$$

Длина искомого маршрута  $L = \gamma R_1 + \gamma R + \pi R + (\alpha + \beta)R + \beta R + f$ .

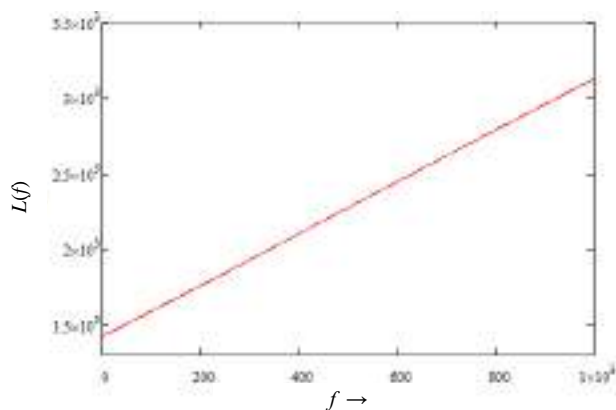


Рисунок 2 – График зависимости длины пути от вставки

Таким образом, задача определения оптимальной траектории петли сводится к нахождению экстремума функции одной переменной  $f$ , которая легко решается с помощью пакета прикладных программ, например MATHCAD. В качестве иллюстрации найдем, при какой длине прямой вставки длина пути по петле будет наименьшей, если радиус  $R_1$  дуги, по которой вагон вписывается в прямой участок пути, будет не меньше 180 м,  $b = 15,64$  м,  $\text{tg} \alpha = 1/9$ ,  $R = 200$  м. Зависимость длины пути от величины прямой вставки приведена на рисунке 2.

Ввиду возрастания функции  $L(f)$  очевидно, что длина пути по петле будет минимальной при наименьшей возможной длине прямой вставки. Зависимость радиуса  $R_1$  от длины  $f$  прямой вставки

представлена на рисунке 3. Поскольку функция  $R1(f)$  на отрезке  $[0;1000]$  возрастает, то искомое значение длины прямой вставки  $f$  будет при условии  $R1(f) = 180$  м. Найдем его с использованием вспомогательной функции  $R2(f) = R1(f) - 180$ , график которой изображен на рисунке 4. Из графика заключаем, что корень уравнения  $R2(f) = 0$  приблизительно равен 10. Найдем его с использованием команды `root`.

$$f := 10, f_1 := \text{root}(R2(f), f), f_1 = 11.539. \text{ Проверка: } R2(11.539) = -8.527 \cdot 10^{-13}, L(f_1) = 1444.$$

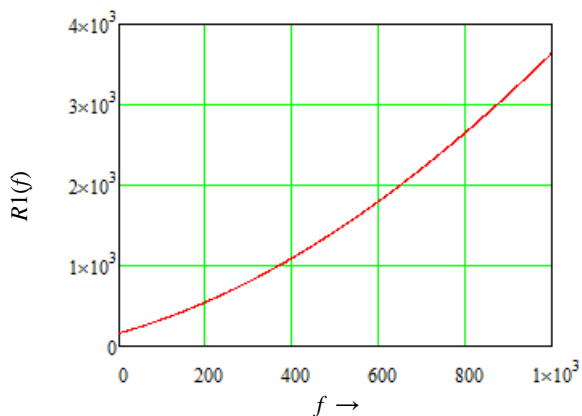


Рисунок 3 – График зависимости радиуса  $R_1$  от длины прямой вставки  $f$

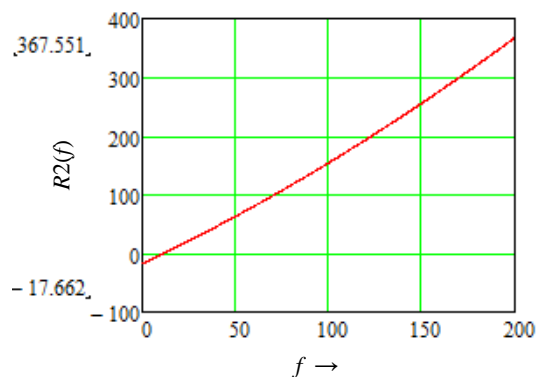


Рисунок 4 – График вспомогательной функции

Расчет соответствующих параметров петлевого разворота показывает, что траектория петли при данных условиях будет оптимальной, если длина прямой вставки  $f$  будет 11,54 м. При этом длина пути по петле составит 1444 м.

#### Список литературы

1 Головнич, А. К. Расчет основных параметров устройств на станции : учеб.-метод. пособие / А. К. Головнич, С. П. Новиков. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 70 с.

УДК 629.4, 62.752, 621.534

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ НЕУДЕРЖИВАЮЩИХ СВЯЗЕЙ

*А. И. ОРЛЕНКО, О. А. БУЛАВКО*

*Красноярский институт железнодорожного транспорта, Российская Федерация*

*А. В. ЕЛИСЕЕВ*

*Иркутский университет путей сообщения, Российская Федерация*

**Введение.** Динамике тяговых двигателей уделяется значительное внимание, как объекту, состояние которого во многом определяет надежность работы средств железнодорожного транспорта [1, 2].

В докладе предлагается метод построения математических моделей для систем с неударными связями. Рассматриваются возможности подхода оценки динамических свойств на основе определения условий граничного типа, когда реакция взаимодействия двух тел в контакте принимает нулевое значение. Развиваются обобщенные представления о безззорных взаимодействиях между составными элементами механической колебательной системы с упругими связями, в том числе с опорой на вибрирующую поверхность (рисунок 1). Получены аналитические формы граничных соотношений. Вводится понятие о полной, статической и динамической реакциях связи. Приведены графики зависимостей амплитуды колебания динамической реакции (линии 1–4) при различных параметрах колебания опорной поверхности в сравнении со статической реакцией (линия 5).

**I. Математическая модель взаимодействия.** В зависимости от параметров механической системы условие сохранения безззорного движения принимает вид

$$\sqrt{\frac{(m_2 k_1 \omega_1^2)^2 + (p_2 k_1 \omega_1)^2}{(k_1 - (m_1 + m_2) \omega_1^2)^2 + ((p_1 + p_2) \omega_1)^2}} \cdot A_1 < m_2 g + f_c, \quad (1)$$

где  $p_i$  – коэффициенты вязкого трения;  $k_i$  – коэффициенты жесткости;  $f_c$  – постоянная сила,  $m_i$  – массы элементов;  $\omega_1$ ,  $A_1$  – частота и амплитуда колебания поверхности.

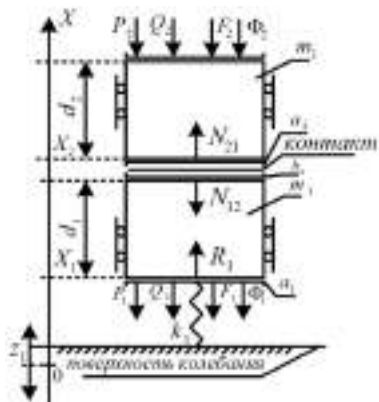


Рисунок 1 – Составное твердое тело на упругом колеблющемся основании  $Z_1$ :

$P_i$  – силы вязкого трения;  $Q_i$  – силы тяжести;  $F_i$  – постоянные силы;  $N_{12}$ ,  $N_{21}$  – полные контактные реакции

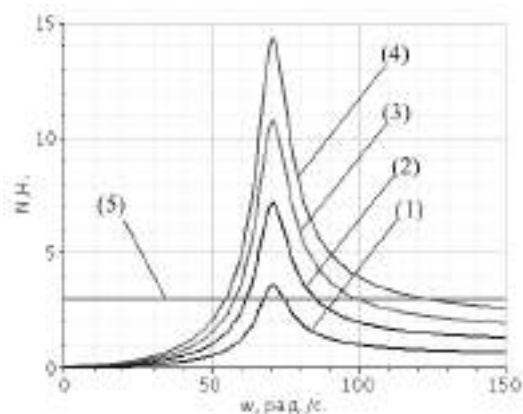


Рисунок 2 – Оценки амплитуды колебания динамической компоненты реакции:

1–4 – оценки динамической компоненты для амплитуд кинематического возмущения  $A_1$  от 1 до 4 мм; 5 – уровень статической реакции

Найдены достаточные условия безззорных колебаний составных элементов механической колебательной системы в установившемся режиме. Показано, что в качестве факторов безззорного движения системы могут рассматриваться не только частоты и амплитуды, но и соотношения масс составных элементов, жесткостей упругих связей, коэффициентов вязкого трения и внешних сил. Более сложная задача, представленная математической моделью с несколькими степенями свободы, рассматривается в работах [3–5].

При действии вибраций со стороны опорных поверхностей в таких структурах из нескольких составных частей, объединяемых неудерживающими связями, важным является исключение возможностей возникновения зазоров.

Показано, что для случая с несколькими степенями свободы достаточным условием безззорного движения является неравенство

$$A_1 < \min_q \left\{ \frac{N_q^\Sigma}{A_{(q)}(\omega_1)} \right\}. \quad (2)$$

**Заключение.** Разработан метод построения математических моделей и определения условий безззорного движения системы элементов или твердых тел, включающий определение функции критической амплитуды для простого контакта и аналитико-графическое представление функции критической амплитуды и параметров, удовлетворяющих условиям движения без возникновения зазоров в режиме установившихся колебаний.

#### Список литературы

- 1 Орленко, А. И. Комплексная диагностика тягового электродвигателя электровоза : [моногр.] / А. И. Орленко, М. Н. Петров, О. А. Терегулов. – Красноярск, 2016. – 218 с.
- 2 Орленко, А. И. Исследование повреждений подвижного состава железной дороги Сибирского региона : [моногр.] / А. И. Орленко, М. Н. Петров, О. А. Терегулов. – Красноярск, 2016. – 198 с.
- 3 Елисеев, А. В. Динамика вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неудерживающих связей : [моногр.] / А. В. Елисеев, В. В. Сельвинский, С. В. Елисеев. Новосибирск : Наука, 2015. – 332 с.
- 4 Елисеев, А. В. Методические основы определения допустимых режимов колебаний системы в оценке параметров контактных взаимодействий элементов для объекта в виде составного твердого тела [Электронный ресурс] / А. В. Елисеев // Инженерный вестник / МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2013. – № 12. – Режим доступа : <http://engbul.bmstu.ru/doc/657422.html>. – Дата доступа : 26.11.2014.
- 5 Елисеев, А. В. Технология оценки свойств динамических взаимодействий в контактах составных твердых тел / А. В. Елисеев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 1–2. – С. 179–183.

## ДИНАМИКА КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА: УЧЕТ НЕУДЕРЖИВАЮЩИХ СВЯЗЕЙ

А. И. ОРЛЕНКО

*Красноярский институт железнодорожного транспорта, Российская Федерация*

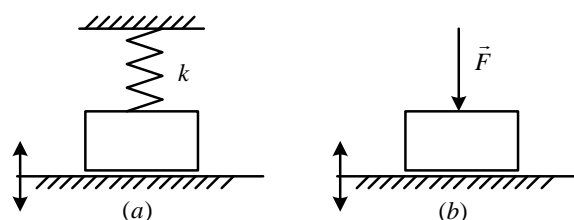
А. В. ЕЛИСЕЕВ

*Иркутский университет путей сообщения, Российская Федерация*

**Введение.** Обеспечение надежности тяговых двигателей электровозов относится к числу комплексных проблем [1, 2], в которых динамика коллекторно-щеточного узла имеет большое значение.

Рассматриваются вопросы построения математических моделей с учетом действия различных сил при наличии неударных связей. Принципиальная схема коллекторно-щеточного узла приведена на рисунок 1 а, б.

Рисунок 1 – Принципиальная схема коллекторно-щеточного узла



**I. Особенности построения математической модели.** Для обобщенного рассмотрения динамики коллекторно-щеточных взаимодействий вводится понятие обобщенной функции зазора. В таблице 1 представлены основные элементы аналитического подхода: базовая модель, связи с параметрами, семейство возможных траекторий в фазе полета, функция зазора, условия отрыва.

Обобщенный подход на основе использования функции зазора предполагает рассмотрение семейства возможных траекторий в фазе свободного полета.

В рамках представлений о функции зазора условия отрыва щетки определяются не только положением щетки или фазовыми параметрами движения коллектора, но и определенными соотношениями между смещением, скоростью, ускорением щетки. Обоснованность применения и использования функции зазора опирается на предложенные теоремы о необходимых и достаточных условиях реализации отрыва щетки [2].

Таблица 1 – Элементы аналитического подхода

I. Базовая модель	II. Параметрическая модель	III. Семейство возможных траекторий: 1 – траектория отрыва, $A = 0,0005$ м, $\omega = 200$ рад/с
$\begin{cases} \ddot{X}(t) = -g, t \geq t_0 \\ \dot{X}(t_0) = \dot{H}(t_0) \\ X(t_0) = H(t_0) \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{\partial^2 X_H(t, t_0)}{\partial t^2} = -g, t \geq t_0 \\ \left. \frac{\partial X_H(t, t_0)}{\partial t} \right _{t=t_0} = \omega A \cos(\omega t_0) \\ X_H(t, t_0) _{t=t_0} = A \sin(\omega t_0) \end{cases}$	
IV. Функция зазора	V. Дифференциальные условия отрыва $k$ -го порядка	
$\begin{aligned} R_H(t, t_0) &= \\ &= X_H(t, t_0) - H(t) \end{aligned}$	$\begin{cases} \left. \frac{\partial^i R_H(t, t_0)}{\partial t^i} \right _{t=t_0} = 0, i < k \\ \left. \frac{\partial^k R_H(t, t_0)}{\partial t^k} \right _{t=t_0} > 0 \end{cases}$	

Для решения задач сравнительного анализа возможностей возникновения взаимодействий вводится также понятие «порядок точки отрыва». Физический смысл понятия «порядок точки отрыва» связан с особенностями соотношений элементов набора кинематических параметров движения. Более сложные движения с отрывом в рамках данной работы не рассматриваются, но они возможны и определяются законом периодического движения поверхности и особенностями действующих дополнительных сил.

**Заключение.** На основе использования функции зазора и условий отрыва получен ряд аналитических выражений для характеристик траекторий движения щетки после отрыва в точках второго и третьего порядка. На основе обобщенного подхода исследованы закономерности формирования траектории с непрерывным подбрасыванием.

Получены аналитические соотношения ряда ключевых характеристик: условия отрыва щетки от поверхности колебания, оценки длительности полета, зависимости от постоянных дополнительных сил и возможных сил сопротивления. Установлена роль кратности периода свободного полета в формировании свойств режимов с непрерывным подбрасыванием и др.

#### Список литературы

1 Орленко, А. И. Комплексная диагностика тягового электродвигателя электровоза : [моногр.] / А. И. Орленко, М. Н. Петров, О. А. Терегулов. – Красноярск, 2016. – 218 с.

2 Елисеев, А. В. Динамика вибрационных взаимодействий элементов технологических систем с учетом неударных связей : [моногр.] / А. В. Елисеев, В. В. Сельвинский, С. В. Елисеев. – Новосибирск : Наука, 2015. – 332 с.

УДК 539.3

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГЛОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ УПРУГОЙ СТУПЕНЧАТОЙ ПЛАСТИНЫ

В. С. ПАРФЕНОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассматривается несимметричная по толщине круглая ступенчатая упругая трехслойная пластина с жестким наполнителем. Система координат  $r, \varphi, z$  связывается со срединной плоскостью наполнителя. Для описания кинематики пакета используется гипотеза «ломаной» линии: в тонких несущих слоях 1, 2 справедливы гипотезы Кирхгофа, в жестком несжимаемом по толщине сравнительно толстом наполнителе 3 нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(x)$ . Между слоями склейка, не допускающая взаимного проскальзывания. Деформации считаются малыми.

Считаем, что к наружной поверхности первого несущего слоя приложены произвольные распределенные нагрузки  $q(r), p(r)$ , к контуру пластины – погонные усилия и моменты  $T_r^0, H_r^0, M_r^0, Q^0$ . В силу симметрии нагрузки тангенциальные перемещения в слоях отсутствуют:  $u_\varphi^{(k)} = 0$  ( $k$  – номер слоя), а прогиб пластины  $w$ , относительный сдвиг в наполнителе  $\psi$  и радиальное перемещение координатной поверхности  $u$  не зависят от координаты  $\varphi$ , то есть  $w = w(r), u = u(r), \psi = \psi(r)$ . В дальнейшем эти функции считаем искомыми. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев ( $\psi = 0$  при  $r = 1$ ). Все перемещения и линейные размеры пластины отнесены к ее радиусу  $R$ , силовые характеристики – к 1 Па. Толщины несущих слоёв – ступенчато-переменные.

Через  $h_k$  обозначена толщина  $k$ -го слоя ( $k = 1, 2, 3$  – номер слоя), при этом

$$h_1 = h_{10} + h_{11}H_0(r - r_0); \quad h_3 = 2c, \quad h_2 = h_{20} + h_{21}H_0(r - r_0),$$

где  $h_{10}, h_{11}, h_{20}, h_{21}, c$  – константы;  $r_0$  – координата сечения, в которой изменяется толщина пластины;  $H_0(x)$  – функция Хевисайда.



Используя вариационный принцип Лагранжа, получаем следующую систему дифференциальных уравнений равновесия для рассматриваемой пластины:

$$\begin{aligned} L_2 a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r} + H r - r_0 L_2 a_{10} u + a_{20} \psi - a_{30} w_{,r} &= -p, \\ L_2 a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r} + H r - r_0 L_2 a_{20} u + a_{40} \psi - a_{50} w_{,r} - 2cG_3 \psi &= 0, \\ L_3 a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r} + H r - r_0 L_3 a_{30} u + a_{50} \psi - a_{60} w_{,r} &= -q. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь коэффициенты  $a_k$  определяются через упругие и геометрические характеристики слоёв; дифференциальные операторы  $L_2$  (оператор Бесселя),  $L_3$  определяются соотношениями

$$L_2(g) \equiv \left( \frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} = g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r} r L_2(g)_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

В системе дифференциальных уравнений (1) коэффициенты  $a_k$  являются кусочно-непрерывными. Поэтому решение системы проводим отдельно во всех областях непрерывности ее коэффициентов: I – до точки изменения толщины ( $r < r_0$ ); II – после нее ( $r \geq r_0$ ). В первой области функция Хевисайда обращается в ноль и для несущих слоёв:  $h_1 = h_{10}$ ,  $h_2 = h_{20}$ ,  $K_k^+ = K_{k0}^+$ . Искомые перемещения и операторы в этой области пометим индексом «1» внизу. Система (1) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u_1 + a_2 \psi_1 - a_3 w_{1,r}) &= -p, \\ L_2(a_2 u_1 + a_4 \psi_1 - a_5 w_{1,r}) - 2cG_3 \psi_1 &= 0; \\ L_3 a_3 u_1 + a_5 \psi_1 - a_6 w_{1,r} &= -q. \end{aligned} \quad (2)$$

Решением системы (2) при  $p = 0$ ,  $q = \text{const}$  будет

$$\begin{aligned} \psi_1 &= C_{21} I_1 \beta_1 r - \frac{b_{21} q}{4cb_{31} G_3} r; \\ w_1 &= \frac{1}{b_{31}} \left[ (b_{21} + 1) \frac{C_{21}}{\beta_1} I_0(\beta_1 r) - \frac{b_{21} q r^2}{8cb_{31} G_3} + \frac{r^3 q}{16} + \frac{C_{51} r^2}{4} + C_{41} \right], \\ u_1 &= \frac{a_3}{a_1 a_6 - a_3^2} \left[ \frac{r^3 q}{16} + (a_5 - \frac{a_2 a_6}{a_3}) (C_{21} I_1(\beta_1 r) - \frac{b_{21} q}{4cb_{31} G_3} r) + C_{71} r \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Теперь рассмотрим систему уравнений равновесия стержня (1) во второй области, где функция Хевисайда равна единице ( $r \geq r_0$ ) и для несущих слоёв:  $h_1 = h_{10} + h_{11}$ ,  $h_2 = h_{20} + h_{21}$ . Искомые перемещения и операторы в этой области пометим индексом «2» внизу. Общее решение данной системы будет

$$\begin{aligned} \psi_2 &= C_{22} I_1 \beta_2 r + C_{32} K_1 \beta_2 r - K_1 \beta_2 r \int I_1 \beta_2 r f_2 r r dr + I_1 \beta_2 r \int K_1 \beta_2 r f_2 r r dr; \\ w_2 &= \frac{b_{22}}{b_{32}} \int \psi_2 dr - \frac{a_{31}}{b_{32} a_{11}} \int L_2^{(-1)} p dr + \frac{1}{b_{32}} \int L_3^{(-1)}(q) dr - \frac{1}{4b_{32}} C_{12} r^2 (\ln r - 1) + \frac{C_{52} r^2}{4b_{32}} + C_{62} \ln r + C_{42},; \\ u_2 &= \frac{a_{31}}{a_{11}} w_{2,r} - \frac{a_{21}}{a_{11}} \psi_2 - \frac{1}{a_1} L_2^{-1} p + \frac{C_{72} r}{2} + \frac{C_{82}}{r}. \end{aligned} \quad (4)$$

Искомое решение исходной системы дифференциальных уравнений (1) можно теперь записать в виде суммы решений (3), (4):

$$\begin{aligned} \psi(r) &= \psi_1(r) + (\psi_2(r) - \psi_1(r)) H(r - r_0); \\ u(r) &= u_1(r) + (u_2(r) - u_1(r)) H(r - r_0); \\ w(r) &= w_1(r) + (w_2(r) - w_1(r)) H(r - r_0). \end{aligned}$$

Подобным образом можно построить решение краевой задачи об изгибе пластины с любым количеством областей регулярности – постоянства толщины несущих слоёв.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т16Р-010).

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ, ЛЕЖАЩЕЙ ДВУМЯ УЧАСТКАМИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

*А. А. ПОДДУБНЫЙ, А. В. ЯРОВАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На практике приходится сталкиваться со случаями, когда балка опирается на основание двумя участками. Причиной появления зазора между конструкцией и основанием могут быть как техногенные условия в зоне строительства, так и природные условия. Это приводит к изменению расчетной схемы и напряженно-деформированного состояния рассматриваемого элемента, что в ряде случаев может привести к его преждевременному разрушению. Вопросам расчета напряженно-деформированного состояния слоистых стержней, пластин и оболочек уделяется большое внимание, так как во многих случаях эти конструкции являются элементами сложных и ответственных сооружений [1, 2].

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 балки; в заполнителе за счет сдвига она поворачивается на дополнительный угол. Слои несжимаемы по толщине, между ними предусмотрена склейка. Деформации малые. Материалы слоев проявляют упругие свойства, для них справедлив закон Гука.

В качестве искомых величин принимаются три функции: прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя, а также угол поворота нормали в заполнителе за счет сдвига на каждом участке.

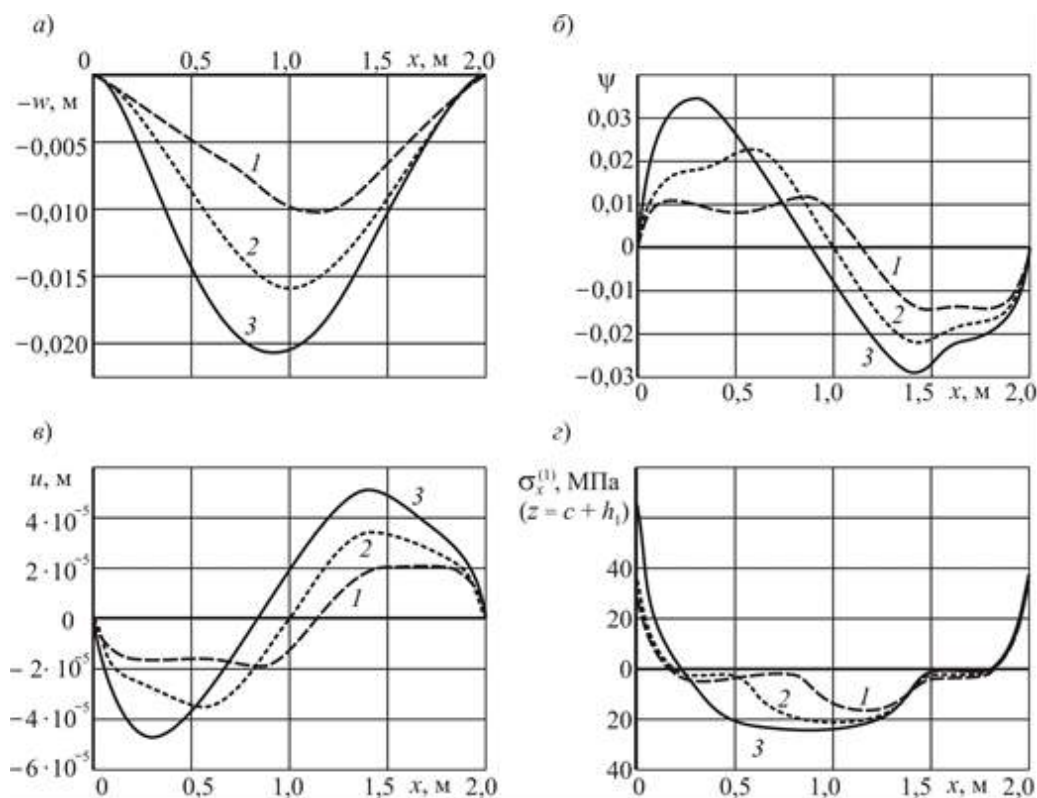
К деформированной балке применяется принцип возможных перемещений Лагранжа, который позволяет получить дифференциальные уравнения равновесия в усилиях на каждом участке, силовые граничные условия и условия для внутренних усилий в точках сопряжения участков. Далее выводится система дифференциальных уравнений в перемещениях и находится ее аналитическое решение для каждого участка [3].

Для определения констант интегрирования необходимо учесть граничные условия и условия сопряжения участков друг с другом. Граничные условия на левом и правом торцах балки при конкретных условиях закрепления (заделка, шарнир, отсутствие опоры) записываются через усилия или перемещения. На границах участков должны выполняться условия равенства перемещений и внутренних усилий с учетом приложенных сосредоточенных внешних сил и моментов, что позволяет составить систему 24 линейных алгебраических уравнений для определения констант интегрирования.

Были получены конкретные аналитические выражения для перемещений трехслойной балки.

Разработаны электронные модели в среде MathCad, с помощью которых получены числовые результаты для нескольких видов трехслойных пакетов при различных распределенных и сосредоточенных нагрузках, жесткости и длине участков опирания на упругое основание и условиях закрепления торцов [4].

Рисунок 1 иллюстрирует изменение прогиба  $w(a)$ , сдвига в заполнителе  $\psi(b)$ , продольных перемещений  $u(c)$  и нормальных напряжений на наружной поверхности 1-го слоя ( $\sigma$ ) по длине стержня при  $x_2 = 0,7l$  и различной длине участка  $I$ . Для симметрично нагруженного стержня все графики симметричны, посередине ( $x = 0,5l$ ) наблюдаются максимумы прогибов и напряжений, а сдвиги и продольные перемещения здесь имеют нулевые значения. С изменением длины участка  $I$  графики меняются по форме, максимальные прогибы и напряжения возникают в сечениях, находящихся вблизи середины участка  $II$ . Чем меньше длины участков опирания, тем больше перемещения и напряжения. При уменьшении длины участка  $I$  с 0,45 до 0,3 м наибольший прогиб увеличивается на 50 %, с 0,3 до 0,15 м – на 32 %.



$$1 - x_1 = 0,45 l; \quad 2 - x_1 = 0,3 l; \quad 3 - x_1 = 0,15 l$$

Рисунок 1 – Изменение прогиба  $w$  (а), сдвига в заполнителе  $\psi$  (б), продольных перемещений  $u$  (в) и нормальных напряжений на поверхности 1-го слоя (г) по длине стержня при  $x_2 = 0,7l$  и различной длине участка  $l$

#### Список литературы

- 1 Старовойтов, Э. И. Локальные и импульсные нагружения трехслойных элементов конструкций / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 367 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 343 с.
- 3 Поддубный, А. А. Теоретическое и экспериментальное определение перемещений трехслойной балки при неполном контакте с упругим основанием / А. А. Поддубный, А. В. Яровая // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3(50). – С. 256–262.
- 4 Напряженно-деформированное состояние трехслойной балки, частично опертой на упругое основание: регистрационное свидетельство № 5301403768 от 03 марта 2014 г. / А. В. Яровая, А. А. Поддубный / Государственный регистр информационных ресурсов НИРУП ИППС. – 2014.

УДК 378.1

## ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ К РЕШЕНИЮ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО КЛАСТЕРА ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕХАНИКИ

А. И. ПОПОВ

Тамбовский государственный технический университет, Российская Федерация

Функционирование предприятий транспортного кластера во многом определяется поведением и личностными характеристиками включенных в них людей. Потребность хозяйствующих субъектов в инновационных преобразованиях детерминируют запрос к системе подготовки кадров: наиболее конкурентоспособными на рынке труда будут те люди, которые не просто обладают совокупностью знаний, умений и навыков по отдельным областям профессиональной деятельности, а имеют психологическую устойчивость и готовность к их применению в условиях конкуренции, способны решать нестандартные задачи как в области техники и технологий, так и в процессе организационно-

экономической деятельности. Значительная часть работников предприятий транспортного кластера осуществляют свою деятельность, требующую креативного подхода, в условиях повышенной ответственности за конечный результат, нехватки времени и ресурсов. Эффективной творческой профессиональной реализации молодого специалиста препятствует его ориентированность на стимульно-продуктивный тип деятельности и боязнь проявить творчество, стремление к действию по определенному алгоритму. Формировать готовность инженерных кадров к творчеству, к решению нестандартных задач, а также к деятельности вообще наиболее оптимально посредством олимпиадного движения студентов [1]. Олимпиадное движение включает в себя этапы:

- инициации, позволяющий студенту в процессе первой олимпиады выйти на эвристический уровень интеллектуальной активности;
- творческого саморазвития в рамках олимпиадных микрогрупп и электронной образовательной среды, нацеленный на овладение творческими приемами работы в определенной профессиональной области;
- соревновательный во время последующих олимпиад, когда основной упор делается на формирование психологической готовности к творчеству в условиях психологического напряжения.

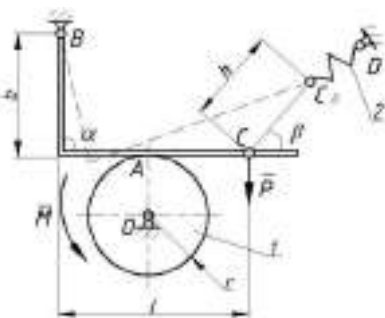
Значительным потенциалом в развитии творческих компетенций обучающихся по инженерным направлениям обладает олимпиадное движение по механике. В процессе обобщения методического опыта был подготовлен банк творческих задач различного уровня сложности, ориентированный на подготовку будущих инженеров [2–4]. Рассмотрим ряд примеров задач, отражающих профессиональный контекст будущей деятельности специалиста по конструированию автотранспортных средств и подвижных систем железнодорожного транспорта. Основной акцент при выборе задач был сделан на простоту условия при неочевидности алгоритма решения. При решении примера 1 обучающийся должен предложить модель распределения реакции вала при приложении активных сил. Анализ процесса позволит студенту более четко понимать технологические процессы сборки и разборки оборудования при дальнейшем освоении профессии. В основу примера 2 положен узел транспортного средства, что позволяет обучающемуся при изучении теоретической механики приобретать навыки проектирования технических систем. В примере 3 студенту предлагается провести кинематический анализ сложного объекта. Рассмотрение такого типа задач в рамках контактной работы невозможно в силу ограниченности времени, поэтому их решение целесообразно проводить в рамках олимпиадных микрогрупп.

*Пример 1.* Шестерня напессована на вал и сила трения между ними, вызванная напессовкой, равна  $Q$ , коэффициент трения сцепления равен  $f_0$ . Определить закон изменения силы  $P = f(y)$ , которую нужно приложить для снятия шестерни с вала.

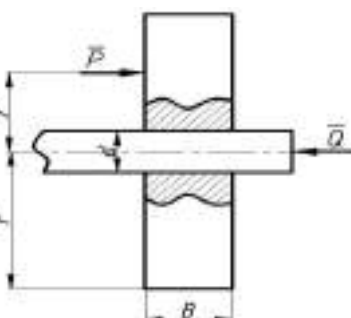
*Пример 2.* При какой минимальной тормозной силе  $P$  и жёсткости пружины  $c$  будет тормозиться и растормаживаться диск  $1$ , на который действует постоянный момент внешних сил  $M = 600 \text{ Н}\cdot\text{см}$ ? Для соприкосновения тормозной колодки с диском пружину нужно растянуть на величину  $h = 1 \text{ см}$ . Коэффициент трения в паре  $A$   $f = 0,3$ , трение в шарнирах не учитывать. Размеры механизма:  $r = 10 \text{ см}$ ,  $a = 4 \text{ см}$ ,  $b = l = 20 \text{ см}$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ .

*Пример 3.* В суммирующем механизме оба кривошипа  $OA_1$  и  $OA_2$  одинаковой длины, равной половине расстояния между направляющими  $M$  и  $N$ . В некоторый момент, когда углы  $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta = 30^\circ$ , оба кривошипа имеют одинаковые направления вращения, равные угловые скорости  $\omega_0$  и угловые ускорения, равные нулю. Определить в этот момент угловую скорость и угловое ускорение звена  $EK$ .

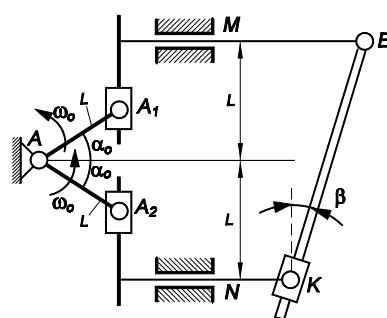
1)



2)



3)



Включение олимпиадных задач в самостоятельную работу, стимулирование обучающегося к самостоятельному выбору сложности и объёма решаемых творческих задач позволит готовить инженерные кадры для предприятий транспортного кластера на более высоком уровне.

#### Список литературы

- 1 Пучков, Н. П. Олимпиадное движение как форма организации обучения в вузе: учебно-методическое пособие / Н. П. Пучков, А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 180 с.
- 2 Попов, А. И. Теоретическая механика. Сборник задач для творческого саморазвития личности студента : учеб. пособие / А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 188 с.
- 3 Попов, А. И. Творческие задачи динамики : учеб. пособие / А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
- 4 Попов, А. И. Механика. Решение творческих задач динамики : учеб. пособие / А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 88 с.

УДК 539.3

### ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ КОНЕЧНОГО УПРУГОГО ЦИЛИНДРА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ

*Е. В. РЕУТ*

*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова*

Рассматривается упругий сплошной цилиндр, который занимает область, описываемую в цилиндрической системе координат соотношениями  $0 \leq r \leq a, -\pi \leq \varphi \leq \pi, 0 \leq z \leq l$ . Нижний торец цилиндра находится в условиях гладкого контакта с жестким основанием. По верхнему торцу с цилиндром сцеплена абсолютно жесткая накладка массы  $m$ . В начальный момент времени  $t = 0$  к ней приложена нестационарная осесимметричная нагрузка  $P(r)H(t)$  ( $P(r)$  – заданная сила,  $H(t)$  – функция Хевисайда). Под действием этой нагрузки точки верхнего торца смещаются на неизвестную величину  $\delta(t)$ , которая определяется позднее из уравнения движения накладки

$$\int_{\text{об}} \sigma_{\varphi}(r, l, t) ds + P(r)H(t) = m \frac{d^2 \delta(t)}{dt^2}. \text{ На цилиндрической поверхности выполнены условия первой}$$

основной задачи теории упругости. В силу указанной постановки имеет место осевая симметрия и вектор перемещений имеет две ненулевые компоненты  $U_r(r, z, t) \equiv U(r, z, t), U_z(r, z, t) \equiv W(r, z, t)$ . Требуется определить волновое поле цилиндра при нулевых начальных условиях.

Для решения поставленной задачи к системе уравнений движения и краевым условиям применяются интегральные  $\sin$ -,  $\cos$ -преобразования Фурье по переменной  $z$ . Полученная одномерная краевая задача в пространстве трансформант формулируется в виде векторной краевой задачи, компоненты вектора неизвестных которой представляют собой трансформанты смещений. Последняя решается точно путем применения аппаратов матричной функции Грина и дифференциального матричного счисления. Применение обратных интегральных преобразований Фурье приводит к точному решению поставленной задачи в пространстве трансформант Лапласа. Дальнейшая детализация задачи проведена для случая установившихся колебаний.

Аналогичным образом решена задача о волновом поле конечного упругого цилиндра, на боковой поверхности которого выполнены условия скользящей заделки. В этом случае предлагается применить к поставленной начальной краевой задаче интегральные преобразования Лапласа и Ханкеля по радиальной координате. Полученная одномерная краевая задача решена точно в пространстве трансформант по времени с помощью аппарата матричного дифференциального счисления и матрицы – функции Грина.

Указанный подход к решению поставленных задач был предложен впервые Г. Я. Поповым [1].

#### Список литературы

- 1 Попов, Г. Я. Функции и матрицы Грина одномерных краевых задача / Г. Я. Попов, С. А. Абдыманов, В. В. Ефимов. – Алматы : Руан, 1982. – 146 с.

## СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМОЙ ПЛАСТИНКИ В ВИДЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА С ЗАЩЕМЛЕННЫМИ КАТЕТАМИ

П. Д. СКАЧЁК

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

При строительстве зданий и сооружений по индивидуальным проектам возникает сложность в расчете нетиповых конструкций. Одним из видов таких конструкций являются плиты треугольного очертания. Основной задачей расчета является исследование напряженно-деформированного состояния данной конструкции. В инженерной практике при решении сложных дифференциальных уравнений теории упругости применяются различные приближенные методы. К целой группе таких методов относят вариационные методы. В докладе рассматривается расчет изгибаемой треугольной пластинки на статическую нагрузку одним из таких методов – методом Ритца, основанным на принципе Лагранжа. Расчет сводится к нахождению функции прогибов  $W(x,y)$ , отвечающей условию минимума полной потенциальной энергии пластинки:

$$\mathfrak{E} = U + \Pi, \quad (1)$$

где  $U$  – энергия деформации пластинки;  $\Pi$  – потенциал внешних сил.

Функция  $W(x,y)$  ищется в виде двойного ряда:

$$W(x,y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \left( \cos \frac{m\pi x}{2a} - \cos \frac{m+2}{2} \frac{\pi x}{2a} \right) \left( \cos \frac{n\pi y}{2b} - \cos \frac{n+2}{2} \frac{\pi y}{2b} \right), \quad (2)$$

где  $A_{mn}$  – неизвестные коэффициенты;  $a, b$  – габаритные размеры пластинки (рисунок 1).

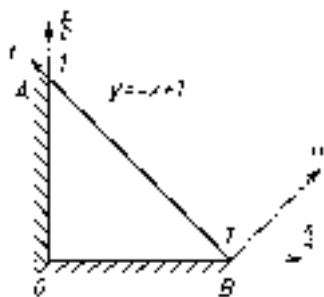


Рисунок 1 – Геометрическая схема пластинки

Подбор функции (2) осуществляется таким образом, чтобы она обязательно удовлетворяла кинематическим граничным условиям:

$$\text{– на грани BO: } W(x,0) = \frac{\partial W(x,0)}{\partial y} = 0; \quad (3)$$

$$\text{– на грани AO: } W(0,y) = \frac{\partial W(0,y)}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

На гипотенузе АВ функция (2) должна удовлетворять статическим граничным условиям:

$$\text{– изгибающий момент – } \frac{\partial^2 W(x,y)}{\partial n^2} + \mu \frac{\partial^2 W(x,y)}{\partial \tau^2} = 0; \quad (5)$$

$$\text{– обобщенная поперечная сила – } \frac{\partial^3 W(x,y)}{\partial n^3} + 2 - \mu \frac{\partial^3 W(x,y)}{\partial n \partial \tau^2} = 0, \quad (6)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Эти статические граничные условия (5), (6) выполняются автоматически при взятии достаточного числа членов ряда (2). Полная энергия системы (1) есть функционал, вычисляя который, получаем многочлен с неизвестными  $A_{mn}$ . Дифференцируем полученный многочлен по  $A_{mn}$  и получаем систему линейных алгебраических уравнений с неизвестными  $A_{mn}$ . Результатом решения системы является нахождение коэффициентов  $A_{mn}$ . Таким образом, определяется функция прогибов  $W(x,y)$  (2), дифференцированием которой находятся внутренние усилия.

В качестве примера выполнен расчет треугольной плиты на действие равномерно распределенной нагрузки, линейно распределенной по гипотенузе нагрузки и сосредоточенной силы, приложенной в центре гипотенузы. Получены поверхности перемещений, изгибающих моментов, крутящих моментов и поперечных сил.

**ТЕРМОСИЛОВОЙ ПЕРЕМЕННЫЙ ИЗГИБ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ  
СО СЖИМАЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

*Э. И. СТАРОВОЙТОВ,*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ,*

*ИММПС им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ*

*Институт механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация*

**Нагружение из естественного состояния.** Рассматривается несимметричный по толщине трехслойный стержень. Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Бернулли. На границах контакта используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоев несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается его обжатие, деформации малые. Система координат  $x, y, z$  связывается со срединной плоскостью заполнителя.

На стержень действуют поверхностная поперечная нагрузка  $q(x)$  и тепловой поток интенсивности  $q_t$ , направленный перпендикулярно внешнему слою. Через  $w_k(x)$  и  $u_k(x)$  обозначены прогибы и продольные перемещения срединных поверхностей *несущих* слоёв, через которые выражаются перемещения в слоях стержня. Температурное поле считаем заданным.

В слоях стержня используются физические уравнения состояния, соответствующие теории малых упругопластических деформаций Ильюшина, с учетом температуры:

$$\begin{aligned} s_i^{(k)} &= 2G_k(1 - \omega_k(\varepsilon_u^{(k)}, T_k))\vartheta_i^{(k)}, \quad s_{xz}^{(3)} = 2G_3(1 - \omega_3(\varepsilon_u^{(3)}, T_k))\vartheta_{xz}^{(3)}, \\ \sigma^{(k)} &= 3K_k(\varepsilon^{(k)} - \alpha_{0k}T_k) \quad (i = x, z; k = 1, 2, 3), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $s_i^{(k)}, \vartheta_i^{(k)}, \sigma^{(k)}, \varepsilon^{(k)}$  – девиаторные и шаровые части тензоров напряжений и деформаций;  $s_{xz}^{(3)}, \vartheta_{xz}^{(3)}$  – тангенциальное напряжение и сдвиговая деформация в заполнителе;  $G_k(T_k), K_k(T_k)$  – температурно-зависимые модули упругости материала  $k$ -го слоя;  $\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, T_k)$  – термозависимая функция нелинейности (пластичности);  $\varepsilon_u^{(k)}$  – интенсивность деформаций;  $\alpha_{0k}$  – коэффициент линейного температурного расширения;  $T_k$  – температура в  $k$ -м слое.

Система нелинейных уравнений равновесия рассматриваемого стержня следуют из вариационного принципа Лагранжа. Для ее решения применяется метод упругих решений, что позволяет записать ее в следующем итерационном виде:

$$\begin{aligned} a_1 u_1^n - a_1 u_2^n - a_4 u_{1,xx}^n - a_5 u_{2,xx}^n + a_2 w_1^n + a_3 w_2^n - 2a_6 w_{1,xxx}^n + a_7 w_{2,xxx}^n &= p + p_\omega^{(n-1)}, \\ -a_1 u_1^n + a_1 u_2^n - a_5 u_{1,xx}^n - a_9 u_{2,xx}^n - a_{10} w_1^n - a_{17} w_2^n - a_6 w_{1,xxx}^n + 2a_7 w_{2,xxx}^n &= h_\omega^{(n-1)}, \\ -a_2 u_{1,x}^n + a_{10} u_{2,x}^n + 2a_6 u_{1,xxx}^n + a_6 u_{2,xxx}^n + a_{11} w_1^n - a_{12} w_2^n + a_{15} w_{1,xxx}^n - a_{16} w_{2,xxx}^n + a_8 w_1^n - a_8 w_2^n &= q + q_\omega^{(n-1)}, \\ -a_3 u_{1,x}^n + a_{17} u_{2,x}^n - a_7 u_{1,xxx}^n - 2a_7 u_{2,xxx}^n - a_{12} w_1^n + a_{14} w_2^n - a_{16} w_{1,xxx}^n + a_{13} w_{2,xxx}^n - a_8 w_1^n + a_8 w_2^n &= g_\omega^{(n-1)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $q_i$  – температурные добавки;  $a_1, \dots, a_{17}$  – коэффициенты, определяемые геометрическими и упругими параметрами слоев и учитывающие их температурную зависимость;  $n$  – номер линейного приближения;  $p_\omega^{(n-1)}, h_\omega^{(n-1)}, q_\omega^{(n-1)}, g_\omega^{(n-1)}$  – дополнительные нагрузки, которые учитывают нелинейность материалов слоев и на первом шаге принимаются равными нулю, а в дальнейшем вычисляются по результатам предыдущей итерации:

На торцах стержня принимаются кинематические граничные условия свободного опирания на неподвижные в пространстве жесткие опоры, т.е. при  $x = 0, l$ :

$$w_k = u_{k,x} = w_{k,xx} = 0 \quad k = 1, 2. \quad (3)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (2) принимается в виде разложения в тригонометрические ряды, удовлетворяющие условиям (3)

$$u_1^n = \sum_{m=1}^{\infty} U_{1m}^n \cos\left(\frac{\pi mx}{l}\right), \quad u_2^n = \sum_{m=1}^{\infty} U_{2m}^n \cos\left(\frac{\pi mx}{l}\right),$$

$$w_1^n = \sum_{m=1}^{\infty} W_{1m}^n \sin\left(\frac{\pi mx}{l}\right), \quad w_2^n = \sum_{m=1}^{\infty} W_{2m}^n \sin\left(\frac{\pi mx}{l}\right), \quad (4)$$

где  $U_{1m}^n, U_{2m}^n, W_{1m}^n, W_{2m}^n$  – искомые амплитуды перемещений.

**Повторное знакопеременное нагружение.** Пусть, начиная с момента  $t_1$ , осуществляется мгновенная разгрузка и повторное нагружение усилиями обратного знака  $p'', q''$ , изменяющимися по тому же закону, что и при нагружении из естественного состояния. Эти усилия создадут в  $k$ -м слое стержня поле перемещений  $u_i''(x), w_i''(x)$ , деформации  $\varepsilon_{ij}''^{(k)}$  и напряжения  $\sigma_{ij}''^{(k)}(x, z)$ . При этом будем предполагать, что за время разгрузки и последующего переменного нагружения температура во всех точках тела остается неизменной. Она совпадает с полем температуры к моменту начала разгрузки, т. е.  $T'(z) = T(z, t_1)$  и модули упругости материалов слоев приняли фиксированные значения при этой температуре.

Для всех параметров напряженно-деформированного состояния и нагрузки ведем разности, в которых величины с одним штрихом – перемещения и нагрузки в стержне перед разгрузкой, два штриха – второй полуцикл:

$$u_i^* = u_i' - u_i'', \quad w_i^* = w_i' - w_i'', \quad q^* = q' - q'' \quad (k=1, 2, 3). \quad (5)$$

Система нелинейных дифференциальных уравнений равновесия для перемещений со звездочками в итерационном виде будет по виду совпадать с системой (2), граничные условия – с (3). Внешняя нагрузка и дополнительные усилия со звездочками также представляются в виде разложений в тригонометрические ряды.

Искомые амплитуды перемещений  $U_{1m}^n, U_{2m}^{*n}, W_{1m}^{*n}, W_{2m}^{*n}$  определяются по той же схеме, что и при однократном нагружении. Затем вычисляются искомые перемещения со звездочками. Соответствующее решение задачи на втором полуцикле получим из соотношений (5):

$$u_k''(x, z) = u_k'(x, z) - u_k^*(x, z), \quad w_k''(x, z) = w_k'(x, z) - w_k^*(x, z) \quad (k=1, 2).$$

*Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Г16Р-010).*

УДК 539.37

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

*Е. А. СТОРОЖУК, И. С. ЧЕРНЫШЕНКО, С. Б. ХАРЕНКО  
Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев*

**Введение.** Тонкостенные элементы современных конструкций находят широкое применение в ракетной технике, на транспорте, в промышленном и гражданском строительстве. В большинстве случаев эти элементы по конструктивным или технологическим соображениям имеют отверстия различной формы.

Основные результаты по проблеме концентрации напряжений в оболочках с отверстиями при действии разного вида нагрузок получены на основе решения линейных задач [1]. Большинство исследований по данной проблеме с учетом нелинейных факторов проведено для оболочек с одним отверстием. Для инженерной практики представляют интерес исследования напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов конструкций в случае нескольких отверстий.

**Постановка задачи. Основные уравнения.** Тонкую оболочку толщины  $h$ , изготовленную из однородного изотропного материала и ослабленную несколькими криволинейными отверстиями, отнесем к ортогональной системе координат  $\alpha_1, \alpha_2, \gamma$ .

Деформирование оболочки опишем соотношениями теории непологих оболочек, основанной на гипотезах Кирхгофа-Лява. Выражения для компонент мембранной ( $\varepsilon_{ij}$ ) и изгибной ( $\mu_{ij}$ ) деформаций представим в векторной форме [2]:



$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{u}}{A_1 \partial \alpha_1}; & \varepsilon_{12} &= \vec{e}_2 \cdot \frac{\partial \vec{u}}{A_1 \partial \alpha_1} + \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{u}}{A_2 \partial \alpha_2}; \\ \mu_{11} &= \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{A_1 \partial \alpha_1}; & 2\mu_{12} &= \vec{e}_2 \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{A_1 \partial \alpha_1} + \vec{e}_1 \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{A_2 \partial \alpha_2}; \\ e_{11} &= \varepsilon_{11} + \gamma \mu_{11}; & e_{12} &= \varepsilon_{12} + 2\gamma \mu_{12} \quad (1 \rightarrow 2), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_1, A_2$  – параметры Ламе;  $\vec{u} = u\vec{e}_1 + v\vec{e}_2 + w\vec{n}$  – вектор перемещений точек срединной поверхности оболочки;  $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{n}$  – орты системы координат  $\alpha_1, \alpha_2, \gamma$ ;  $\vec{\varphi} = \varphi_1\vec{e}_1 + \varphi_2\vec{e}_2$  – вектор углов поворота нормали, которые определяются по формулам:  $\varphi_1 = -\vec{n} \cdot \frac{\partial \vec{u}}{A_1 \partial \alpha_1}$  (1  $\rightarrow$  2).

При исследовании упругопластического деформирования оболочек используем соотношения теории течения с изотропным упрочнением, в которой принято условие пластичности Мизеса, а приращения пластических деформаций определяются на основе асоциированного закона текучести.

Система разрешающих уравнений получена из принципа возможных перемещений с использованием процедуры пошагового нагружения, метода дополнительных напряжений и метода конечных элементов.

**Числовые результаты.** С помощью разработанной методики исследовано упруго-пластическое состояние конической оболочки с двумя круговыми отверстиями радиуса  $r_0$ , центры которых расположены на общей образующей. Оболочка изготовлена из сплава АМг-6 и нагружена равномерным внутренним давлением интенсивности  $q = 3 \cdot 10^5$  Па.

Исследования проведены при таких значениях геометрических параметров оболочки:  $R_c / h = 200$ ;  $r_0 / h = 20$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ;  $d / r_0 = 2,5; 4$ ;  $\ell_c / h = 200$ , где  $R_c$  – радиус кривизны нормального сечения оболочки, которое проходит через центр перемычки;  $d$  – расстояние между центрами отверстий;  $2\alpha$  – угол при вершине осевого сечения конуса;  $\ell_c$  – расстояние от вершины конуса до центра перемычки.

В таблице 1 приведены значения окружных напряжений  $\sigma_\theta^o$  ( $\sigma_\theta = \sigma_\theta^o \cdot 10^5$  Па) в нескольких точках контуров отверстий ( $r = r_0$ ;  $0 \leq \theta \leq \pi$ , где полярный угол  $\theta = 0$  соответствует наиболее удаленной от вершины конуса точке контура отверстия) на внешней и внутренней поверхностях оболочки ( $\xi = \gamma / h = \pm 0,5$ ). Отметим также, что центр отверстия 1 находится ближе к вершине конуса. Данные представлены для двух значений расстояния между центрами отверстий  $d / r_0 = 2,5$  и  $d / r_0 = 4$  как для задач в линейно-упругой постановке (ЛЗ), так и в физически нелинейной (ФНЗ).

Таблица 1 – Распределение окружных напряжений вдоль контуров отверстий

$d / r_0$	$\theta$	$\xi$	Отверстие 1		Отверстие 2	
			ЛЗ	ФНЗ	ЛЗ	ФНЗ
2,5	0	0,5	791	1805	2511	1695
		-0,5	5345	2493	4373	1984
	$\pi/2$	0,5	1825	1461	2232	1644
		-0,5	-2127	-1655	-2032	-1634
	$\pi$	0,5	1565	1353	1328	1860
		-0,5	4181	1935	5989	2506
4	0	0,5	1568	1325	2719	1705
		-0,5	3640	1816	4553	1986
	$\pi/2$	0,5	1833	1493	2369	1656
		-0,5	-2033	-1577	-2183	-1682
	$\pi$	0,5	1413	1301	2226	1571
		-0,5	3965	1878	4761	1984

Из приведенных данных следует, что при действии внутреннего давления заданной интенсивности наиболее опасной является точка, которая расположена на контуре второго отверстия в сечении ( $r = r_0$ ;  $\theta = \pi$ ) на внутренней поверхности оболочки ( $\xi = -0,5$ ). При уменьшении параметра  $d$

наблюдается увеличение максимальных напряжений, которое составляет 25,8 % для ЛЗ и 26,3 % для ФНЗ. Учет пластических деформаций материала оболочки приводит к выравниванию напряжений как по толщине оболочки, так и по контурам отверстий, а также к уменьшению максимальных напряжений по сравнению с результатами линейно-упругого решения на 58,2 % для  $d / r_0 = 2,5$  и на 58,3 % – для  $d / r_0 = 4$ .

#### Список литературы

- 1 Теория тонких оболочек, ослабленных отверстиями / А. Н. Гузь [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1980. – 636 с. – (Методы расчета оболочек: В 5 т.; Т. 1).
- 2 Maksimyyuk, V. A. Variational finite-difference methods in linear and nonlinear problems of the deformation of metallic and composite shells (review) / V. A. Maksimyyuk, E. A. Storozhuk, I. S. Chernyshenko // Int. Appl. Mech. – 2012. – 48, No. 6. – P. 613–687.

УДК 621.763

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УПРУГОСТИ ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. В. ТАЛЕЦКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При объемном упругом напряженном состоянии связь между напряжениями и деформациями дает *обобщенный закон Гука*, по которому в любой точке упругодеформированного тела каждый из шести компонентов тензора напряжений является линейной функцией шести компонентов тензора деформаций и наоборот. В случае упругого *анизотропного материала* между напряжениями и деформациями при объемном напряженном состоянии будет иметь место система линейных уравнений, которую сокращенно можно записать в виде  $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$ , где матрица величин  $C_{ijkl}$  называется тензором модулей (постоянных коэффициентов) упругости. Таким образом анизотропное тело характеризуется 36 упругими постоянными  $C_{ijkl}$ . Но если  $C_{ijkl} = C_{klij}$ , то остается 21 независимая постоянная. При этом направления главных напряжений и главных деформаций совпадают. Если координатные плоскости совпадают с плоскостями симметрии свойств материала (то есть материал будет обладать одинаковыми свойствами по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ ), то количество независимых упругих постоянных еще уменьшится и станет равным девяти. Система уравнений примет вид

$$\sigma_x = C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + C_{13}\varepsilon_z; \tau_{xy} = C_{44}\gamma_{xy};$$

$$\sigma_y = C_{21}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + C_{23}\varepsilon_z; \tau_{yz} = C_{55}\gamma_{yz};$$

$$\sigma_z = C_{31}\varepsilon_x + C_{32}\varepsilon_y + C_{33}\varepsilon_z; \tau_{xz} = C_{66}\gamma_{xz};$$

Такой материал называется *ортотропным*.

Для определения постоянных коэффициентов упругости ортотропного материала можно провести испытание шести образцов в приборе с независимо регулируемыми главными напряжениями [1].

При определении коэффициентов  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  и  $C_{13}$  один образец испытывается на осевое сжатие в направлении оси  $x$ , при ограничении деформаций в направлении осей  $y$  и  $z$ , то есть  $\varepsilon_y = \varepsilon_z = 0$ . Уравнения в этом случае будут иметь вид  $\sigma_x = C_{11}\varepsilon_x$ ;  $\sigma_y = C_{21}\varepsilon_x$ ;  $\sigma_z = C_{31}\varepsilon_x$ . Тогда  $C_{11} = \sigma_x / \varepsilon_x$ ,  $C_{21} = \sigma_y / \varepsilon_x$ ,  $C_{31} = \sigma_z / \varepsilon_x$ .

Аналогичными испытаниями второго и третьего образцов ортотропного материала при нагружении по оси  $y$  и ограничении деформаций по осям  $x$  и  $z$ , и при нагружении по оси  $z$  и ограничении деформаций по осям  $x$  и  $y$  определяем соответственно  $C_{12}$ ,  $C_{22}$ ,  $C_{32}$  и  $C_{13}$ ,  $C_{23}$  и  $C_{33}$ .

Учитывая, что  $C_{12} = C_{21}$ ,  $C_{13} = C_{31}$ ,  $C_{23} = C_{32}$ , мы при испытании трех образцов определили шесть постоянных коэффициентов упругости.

Для определения коэффициента  $C_{44}$  четвертый образец вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси  $z$ , к направлению действия напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  был  $45^\circ$ . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости  $xoy$ , ортогональ-

ной плоскости изотропии по оси  $z$ , при этом деформации в направлении оси  $z$  ограничиваются. Производится равномерное сжатие образца напряжениями  $\sigma_x' = \sigma_y'$ . Затем напряжение по оси  $x$  увеличивается с постоянным приращением  $\Delta\sigma_x$ , а напряжение по оси  $y$  уменьшаются с такой же величиной приращения  $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y$  до уровня напряжений  $\sigma_x''$  и  $\sigma_y''$ , после чего образец разгружается до напряжений  $\sigma_z' = \sigma_x' = \sigma_y'$ . Измеряются полные деформации  $\varepsilon_x$  и  $\varepsilon_y$  при напряжениях  $\sigma_x''$  и  $\sigma_y''$  и остаточные деформации после разгрузки до  $\sigma_x' = \sigma_y'$ :  $\varepsilon_{xp}$  и  $\varepsilon_{yp}$ . По полным и остаточным деформациям вычисляются упругие осевые деформации  $\varepsilon_{ye} = \varepsilon_y - \varepsilon_{yp}$  и  $\varepsilon_{xe} = \varepsilon_x - \varepsilon_{xp}$ . Коэффициент упругости  $C_{44}$  определяется из отношения касательных напряжений  $\tau_{xy}$ , определенных на площадках с максимальными касательными напряжениями  $\tau_{xy} = [(\sigma_y'' - \sigma_y') - (\sigma_x'' - \sigma_x')]/2$ , и упругих сдвиговых деформаций этих площадок  $\gamma_{xye} = \varepsilon_{ye} - \varepsilon_{xe}$ :  $C_{44} = \tau_{xy}/\gamma_{xye}$ .

При определении коэффициента  $C_{55}$  пятый образец вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси  $x$  к направлению действия напряжений  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  был  $45^\circ$ . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости  $yoх$ , ортогональной плоскости изотропии по оси  $x$ , при этом деформации в направлении оси  $x$  ограничиваются. Шестой образец для определения коэффициента  $C_{66}$  вырезается и помещается в прибор таким образом, чтобы угол наклона плоскости изотропии по оси  $y$  к направлению действия напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_z$  был  $45^\circ$ . Образец нагружается по девиаторической траектории в плоскости  $хоz$ , ортогональной плоскости изотропии по оси  $y$ , при этом деформации в направлении оси  $y$  ограничиваются. Нагружение и разгрузка образцов, измерение деформаций и определение максимальных касательных напряжений и сдвиговых деформаций производится аналогично испытанию четвертого образца, а коэффициенты упругости определяются соответственно по формулам  $C_{55} = \tau_{yz}/\gamma_{yze}$  и  $C_{66} = \tau_{xz}/\gamma_{xze}$ .

Предлагаемая методика повышает точность определения постоянных коэффициентов упругости ортотропного материала за счет меньшего количества испытываемых образцов (по шести образцам определяются девять постоянных коэффициентов упругости), а также за счет проведения всех испытаний в одном приборе.

Приведенную методику можно использовать при определении как коэффициентов упругости, так и коэффициентов деформации, связывающих напряжения и полные деформации.

#### Список литературы

1 Прибор для исследования свойств грунтов : а. с. №302665 СССР, МКИ G01n 33/24 / А. Л. Крыжановский, Э. И. Воронцов, А. А. Музафаров., Б. Л. Морозов. – №1409204/29-14 ; заявл. 02.03.70 ; опубл. бюл. № 15 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1971. – № 15. – С. 162.

УДК 539.3; 551.332.53

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ НЕВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ

*Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь*

Один из основных законов механики песчаных и глинистых грунтов – закон уплотнения – гласит [1]: «Относительное изменение объема пор породы прямо пропорционально изменению давления», т. е.  $de = a d\sigma$ , где  $de$  – приращение коэффициента пористости при приращении давления  $d\sigma$ ;  $a$  – коэффициент сжимаемости,  $\text{МПа}^{-1}$ .

Рассмотрим линейные механические деформации сжатия грунта, вызванные нормальными напряжениями. В общем случае для пылеватых и глинистых неводонасыщенных грунтов, как частного случая дисперсных грунтов, указанные зависимости являются нелинейными, на них влияет большое число факторов и поэтому не существует универсальных уравнений, описывающих эти взаимосвязи [2]. Однако в определенных условиях эти зависимости являются линейными и описываются простыми линейными уравнениями, известными в механике как закон Гука. Для нормальных напряжений он записывается в виде  $\sigma = E\zeta$ , где  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга),  $\text{МПа}$ ;  $\zeta$  – линейные деформации, вызванные нормальными напряжениями  $\sigma$ .

В механике грунтов рассматриваются различные режимы нагружения естественных оснований инженерных сооружений и соответственно условий проведения лабораторных и полевых опытных работ для определения их деформируемости, например численного значения модуля деформации. В данной работе рассматривается деформируемость моренных неводонасыщенных супесей при статическом и динамическом нагружениях. Сжимаемость дисперсных грунтов зависит от их структурно-текстурных особенностей. Грунты природного сложения всегда имеют меньшую сжимаемость по сравнению с теми же грунтами природного сложения. Их уплотнение происходит при нагрузке, превышающей прочность структурных связей (структурная прочность грунта –  $P_{стр}$ ), определяемую по характерному перегибу на компрессионной кривой. При декомпрессии структурная прочность грунта не восстанавливается.

Общая линейная деформация  $\zeta_{общ}$  при компрессионной сжимаемости грунтов складывается из двух частей – обратимой ( $\zeta_{обр}$ ) и необратимой, или остаточной ( $\zeta_{ост}$ ). Остаточные деформации возникают из-за уменьшения пористости и увеличения плотности сложения породы в результате нарушения структурных связей и перемещения частиц и их агрегатов относительно друг друга. Такие деформации называются структурными [1]. Обратимые деформации в свою очередь формируются из истинно упругих (идеально упругих) ( $\zeta_{ид}$ ) и структурно адсорбционных (восстанавливающихся) ( $\zeta_{восст}$ ) деформаций, природа которых различна. Истинно упругие деформации ( $\zeta_{ид}$ ) обусловливаются силами упругости минеральных частиц, водных и коллоидных пленок, облегающих минеральные частицы, а также замкнутых пузырьков воды, воздуха или газов. Они протекают мгновенно.

Структурно адсорбционные деформации ( $\zeta_{восст}$ ) связаны с изменением толщины гидратных оболочек, характерных для глинистых грунтов. Когда внешнее давление превышает сорбционные силы взаимодействия грунта с водой, толщина гидратных оболочек уменьшается. Структурно-адсорбционные деформации обратимы, развиваются медленно и для их завершения требуется время.

При уплотнении глинистых пород происходят одновременно и обратимые и необратимые деформации – упругие, структурные и структурно-адсорбционные. Для достижения равновесных деформаций под действием давления требуется определенное время. В связи с этим, квазиравновесное состояние (деформация – давление) в полевом или лабораторном опыте не означает, что все деформации в грунте произошли за время опыта, т. к. обычно за равновесное принимается такое состояние, которое удовлетворяет определенному критерию скорости деформации, регламентированному нормативными документами [3]. Однако в механике грунтов считается, что при достаточно большом числе циклов нагрузок и разгрузок остаточные деформации в породах постепенно затухают, а проявляются лишь упругие. Порода приобретает упругое уплотненное состояние и становится малосжимаемой [1].

Испытания нами проводились в лабораторных условиях. Были определены вертикальные деформации при компрессионных испытаниях в статическом и динамическом режимах нагружения образцов супеси моренной (число пластичности  $I_p = 4,5$  %) нарушенного сложения. В ходе подготовки к эксперименту плотность и влажность образцов доводились до следующих значений: плотность  $\rho = 1,66$  г/см<sup>3</sup>; влажность  $\omega = 0,08$  и коэффициент пористости  $e = 0,76$ . В статических условиях показатели деформационных свойств определялись по методике, рекомендованной ГОСТ 12248–2010. При виброкомпрессионном уплотнении грунта использовали металлическую обойму диаметром 152 мм и высотой 410 мм, жестко закрепленную на вибростоле вибрационного электродинамического стенда 12248-2010. Амплитуда виброперемещений задавалась 0,3 мм, частота гармонических колебаний  $f = 65$  Гц, масса образцов –  $m = 7,0$  кг.

В статическом режиме нагружения в интервале давления 0,06–0,07 МПа модуль общих деформаций  $E_c$  составил 1,7 МПа; а при динамическом нагружении в тех же интервалах давления  $E_d$  соответственно равен 0,36 МПа. В статических условиях модули упругих деформаций определяли по методике, описанной В. И. Осиповым [4]. Модуль восстанавливающейся упругой деформации  $E_{вос} = 16,8$  МПа; модуль истинной упругой деформации  $E_{ист} = 126,0$  МПа. При динамическом режиме нагружения модуль упругих деформаций рассчитывался по значениям собственных частот образцов грунтов ( $\varphi$ ) и составил  $E_{упр} = 11,75$  МПа.

Полученные результаты могут также быть полезными при расчетах фундаментов зданий и сооружений, передающих вибродинамические воздействия на естественные основания.

## Список литературы

- 1 Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1984. – 511 с.
- 2 Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. – М. : Изд-во Московского университета, 2005. – 1023 с.
- 3 Зянги́ров, Р. С. К вопросу об определении модуля деформации грунтов / Р. С. Зянги́ров // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве Российской Федерации : материалы девятой общерос. конф. изыскательских организаций. – М. : ООО «Геомаркетинг». 2013. – С. 17–23.
- 4 Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 1. Полевые методы. – М. : Недра, 1984. – 422 с.

УДК 539.3:534.1

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

*С. В. УГРИМОВ, Н. В. СМЕТАНКИНА, А. Н. ШУПИКОВ*

*Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков*

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее безопасных видов транспорта. Однако наблюдающаяся общемировая тенденция возрастания скорости перевозок выдвигает более жесткие требования к безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта. Это комплексная проблема, которая требует решения многих задач. Обеспечение механической прочности конструкций при лобовых столкновениях с различными предметами является одной из таких важных задач. Наиболее опасным является удар твердым телом по лобовому остеклению кабин поездов. Кроме этого, представляет существенную опасность удар по лобовой обшивке кабин локомотивов, которые изготавливаются как из металла, так и из композитных материалов.

При эксплуатации железнодорожных транспортных средств на территории Украины и в странах СНГ часто наблюдаются деструкции лобового остекления. Большинство аварий возникает в результате удара предметами (камень, бутылка и т. д.), которые выпали или были выброшены из встречных поездов. Существуют также случаи столкновения с птицами. В связи с важностью этой задачи предусматриваются особые требования к механической прочности остекления и обшивки кабины локомотива к удару. Согласно требованиям Украины и стран СНГ, элементы конструкций кабин должны выдерживать удар (не допускать проникания) твердого тела массой 600 г на удвоенной скорости электровоза или тепловоза. Согласно стандартам Американской Федеральной Администрации (FAA), остекление поездов со скоростью движения выше 200 км/ч должно выдерживать удар стальным шаром массой 5,44 кг на максимальной скорости поезда, а для поездов со скоростью до 200 км/ч – удар угольным блоком массой 10,9 кг на скорости 48,3 км/ч и удар пули 22 калибра на скорости около 300 м/с. Аналогичные требования существуют и в других странах. Это свидетельствует о важности и актуальности этой задачи для железнодорожного транспорта. Именно этой проблеме и посвящена предлагаемая работа.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) остекления и композитной обшивки при ударе твердым телом. Для расчета использовалась оригинальная методика [1, 2]. Экспериментальное исследование образцов проводилось на специальном стенде ИПМаш НАН Украины. Метание твердых тел осуществлялось посредством пневматической пушки. Для оценки деформаций конструкций при ударе применялся метод широкополосного динамического тензометрирования.

Остекление и композитная обшивка представляет собой многослойные конструкции, механические характеристики слоев которых могут отличаться на несколько порядков. При этом сама область взаимодействия конструкции с ударяющими телами зачастую невелика и заранее неизвестна. Это выдвигает особые требования к применяемым моделям конструкции и к методам решения контактной задачи.

Предлагается для моделирования поведения остекления и композитной обшивки использовать гипотезы обобщенной теории многослойных конструкций [1, 3], которая относится к дискретно-структурным моделям и позволяет выбирать необходимую точность описания НДС в зависимости от композиции пакета слоев и условий нагружения. В основе модели лежат кинематические

гипотезы, основанные на методе степенных рядов. В общем случае перемещения точки  $i$ -го слоя описываются следующими кинематическими зависимостями:

$$u_{\alpha}^i(x_1, x_2, x_3, t) = u_{\alpha} + \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{k=1}^{K_{\alpha}^j} h_j^k u_{\alpha k}^j + \sum_{k=1}^{K_{\alpha}^i} (x_3 - \delta_{i-1})^k u_{\alpha k}^i ;$$

$$h_j^k = (h_j)^k, \quad \delta_i = \sum_{j=1}^i h_j, \quad \delta_{i-1} \leq x_3 \leq \delta_i, \quad i = \overline{1, I},$$

где  $h_j$  – толщина  $j$ -го слоя;  $u_{\alpha}^i$  ( $\alpha = \overline{1, 3}$ ) – перемещения точки  $i$ -го слоя в направлении оси  $Ox_{\alpha}$ ;  $u_{\alpha}, u_{\alpha k}^i$  – коэффициенты разложений перемещений в степенные ряды, которые являются функциями аргументов  $x_1, x_2, t$ ;  $K_{\alpha}^i$  – максимальные степени поперечной координаты для плоскостных ( $\alpha = 1, 2$ ) и поперечных ( $\alpha = 3$ ) перемещений точек  $i$ -го слоя, которые выбираются в зависимости от необходимой точности.

Изменяя количество удерживаемых членов в рядах, можно получить разные по точности двумерные аппроксимации НДС. Частным случаем этой модели многослойной среды являются гипотезы теории Э. И. Григолюка, П. П. Чулкова, а также гипотезы уточненной теории первого порядка, учитывающей обжатие каждого слоя.

Уравнения движения и граничные условия получены с помощью вариационного принципа. Эти уравнения дополняются уравнением движения индентора и условием совместности деформаций. Контактное смятие учитывается по Герцу. Для решения уравнений используются аналитико-численные методы.

Проведено численное исследование НДС остекления и композитной обшивки при ударе твердым телом. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает работоспособность предложенной методики.

Разработанный метод может быть полезен при оценке прочности многослойных элементов конструкций железнодорожных транспортных средств при лобовых столкновениях с различными твердыми телами и позволяет подобрать рациональные их композиции, а также существенно сократить количество стеновых испытаний.

#### Список литературы

- 1 Нестационарные колебания многослойных пластин и оболочек и их оптимизация / А. Н. Шупиков [и др.] – Харьков : Изд-во Харьковского нац. экономического ун-та, 2004. – 252 с.
- 2 **Сметанкина, Н. В.** Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек. – Харьков : Мисьдрук, 2011. – 376 с.
- 3 **Ugrimov, S. V.** Layered orthotropic plates. Generalized theory / S. V Ugrimov, A. N. Shupikov // Composite structures. – 2015. – Vol. 129, is. 1. – P. 224–235.

УДК 539.3

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

*Д. А. ЧЕРНОУС*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**Введение.** Нанопористые покрытия на основе анодированного оксида алюминия (АОА) широко используются в настоящее время для изготовления сенсоров микро электромеханических систем, а также в качестве матричных носителей различных наноструктурированных функциональных наполнителей. При импрегнировании подобных покрытий антифрикционным полимером образуется металлополимерная система, состоящая из подложки и связанного с ней композитного слоя. Материал данного слоя является одноосно-волоконно-армированным композитом, в котором сплошные полимерные волокна ориентированы перпендикулярно поверхности покрытия. Известен ряд научных публикаций, посвященных расчетно-теоретическому определению

эффективных механических характеристик такого композитного слоя. Непосредственное экспериментальное определение этих характеристик затруднено относительно малой толщиной слоя и его жесткой связью с подложкой. В известных публикациях приведены результаты измерения параметров, характеризующих деформирование покрытия при контактном воздействии. Однако данные параметры не позволяют полностью описать механические свойства рассматриваемого существенно анизотропного объекта. Кроме того, до настоящего времени исследовались только упругие характеристики импрегнированного анодного покрытия. Вместе с тем наличие полимерного наполнителя не позволяет при описании деформирования композита пренебречь процессами ползучести и релаксации. В связи с вышесказанным целью настоящего исследования является разработка расчетно-экспериментальной методики определения эффективных вязкоупругих характеристик импрегнированного полимером наноструктурированного покрытия на основе анодного оксида алюминия.

**Материалы и методы исследования.** В качестве основы исследуемой металлополимерной системы будем использовать анодное покрытие, изготовленное на основе АОА в лаборатории Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск). В представленном образце подложка толщиной 2 мм образована кремнием. Материал подложки будем рассматривать как однородный изотропный линейно-упругий. Покрытие толщиной 30 мкм образовано оксидом алюминия, перфорированным сквозными цилиндрическими порами диаметром около 12 нм при пористости 54 %. Импрегнирование покрытия антифрикционным полимером (политетрафторэтиленом ПТФЭ) осуществлялось на разработанной в Институте механики металлополимерных систем им. В. А. Белого (ИММС НАН Беларуси, г. Гомель) установке для плазмохимической обработки. Обработка покрытия проводилась в течение 1 часа до достижения максимального уровня заполнения пор полимером с последующим механическим удалением тонкого поверхностного слоя ПТФЭ.

Одним из наиболее распространенных экспериментальных методов исследования вязкоупругих свойств материалов является динамический механический анализ (ДМА). В рамках настоящего исследования для реализации данного метода использован модуль динамического механического/термомеханического анализа DMA 8000 Perkin Elmer. Испытания проводились в лаборатории ИММС НАН Беларуси. Образец в форме стержня длиной 5 см, шириной 5 мм и высотой 2,03 мм (покрытие + подложка) подвергался трехточечному изгибу с частотой 10 Гц с амплитудой 0,01 мм в диапазоне температур от 0 до 100 °С. Прибор DMA 8000 Perkin Elmer позволяет в автоматическом режиме регистрировать температурную зависимость абсолютного значения модуля Юнга  $E_a$  и тангенса угла механических потерь  $\text{tg}\beta$  для материала образца. Эти величины являются условными характеристиками двухслойной конструкции, состоящей из подложки, образованной однородным изотропным линейно-упругим материалом, и покрытия, образованного трансверсально изотропным термовязкоупругим композитом. При расчетно-теоретическом описании деформирования данной конструкции пренебрегли сдвиговыми деформациями и напряжениями. Это допущение позволило установить относительно простую математическую зависимость компонент комплексного динамического модуля упругости  $E_T^*$  материала покрытия в плоскости изотропии (плоскости самого покрытия) от фиксируемых прибором величин  $E_a$  и  $\text{tg}\beta$ . С другой стороны, температурные зависимости действительной и мнимой компонент модуля  $E_T^*$  были определены расчетным путем при заданных характеристиках компонент композита. При этом материал матрицы (оксид алюминия) рассматривался как изотропный линейно-упругий, а материал волокон – как изотропный линейно термовязкоупругий. Значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона оксида алюминия и кремния заимствованы из справочной литературы. Температурные зависимости модуля Юнга и модуля сдвига ПТФЭ при частоте 10 Гц получены на приборе DMA 8000 Perkin Elmer. Для расчета компонент эффективного модуля упругости в плоскости изотропии  $E_T^*$  использована трехфазная модель волоконно-армированного композита и упруговязкоупругая аналогия.

Проведено сопоставление температурных зависимостей компонент модуля  $E_T^*$ , полученных на основе экспериментальных диаграмм для  $E_a$  и  $\text{tg}\beta$ , с результатами использования модели механики композитных материалов. Максимальное расхождение зависимостей составило 12 % от соответствующего значения, установленного по экспериментальной диаграмме. Данное наблюдение свидетельствует о правомерности использования разработанной методики для определения характеристик покрытия.

**Заключение.** Предложена и апробирована расчетно-экспериментальная методика определения вязкоупругих характеристик импрегнированного полимером анодного покрытия, основанная на использовании ДМА анализа и позволяющая устанавливать температурные зависимости эффективных динамических модулей покрытия в плоскости изотропии.

УДК 531

## **РОЛЬ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ**

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, И. Е. КРАКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одной из задач, стоящей перед высшей школой, является повышение качества подготовки будущих инженеров. В настоящее время в высшем образовании наблюдаются тенденции, связанные с уменьшением сроков обучения при получении инженерных специальностей. В связи с этим пересматриваются рабочие программы, уменьшается количество часов изучения дисциплин. Изменения коснулись и теоретической механики. Так, например, студенты специальностей «Международные автомобильные перевозки» и «Безопасность дорожного движения» выбирают между ней и прикладной механикой, а для студентов специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент на транспорте» изучение теоретической механики вообще не запланировано. В то же время в учебных планах для названной специальности предполагается изучение дисциплины «Теория и расчет движения транспортных средств», которая должна базироваться на знаниях теоретической механики.

Теоретическая механика как одна из фундаментальных наук, имеет большое значение для понимания и усвоения многих дисциплин механического цикла и формирования инженерного мышления в целом, она развивает логическое мышление и закладывает базу для изучения специальных дисциплин. Наряду с традиционно излагаемыми разделами классической механики учебные программы разных специальностей предполагают изучение материала, необходимого для дальнейшего изучения специальных дисциплин.

Будущим инженерам-механикам для изучения динамики локомотивов и вагонов необходимы знания, получаемые при изучении разделов: кинематика, динамика, аналитическая механика и теория колебаний. Для решения практических задач следует получить опыт составления дифференциальных уравнений движения с помощью уравнений Лагранжа второго рода. Однако опыт последних лет показывает, что усвоение этой темы большинству студентов дается все сложнее, так как они не успевают осмыслить материал за короткое время.

Для будущих инженеров-строителей важное значение имеют положения статики и аналитической механики. Так, при изучении статики студенты учатся определять реакции внешних связей, наложенных на строительные конструкции, впервые знакомятся с расчетами ферм, которыми моделируются перекрытия пролетов мостов и стропильные системы промышленных зданий и других сооружений. Изучение принципа возможных перемещений дает возможность нахождения конкретных реакций внешних и внутренних связей более коротким способом, что на практике позволяет сократить время расчетов.

Знания теоретической механики также нужны будущим специалистам, работа которых связана с организацией перевозок грузов. В частности, для обеспечения безопасности движения имеет большое практическое значение умение разработки схем размещения и расчет средств крепления грузов на подвижном составе, которое не всегда можно осуществить, используя типовые подходы.

При подготовке инженеров-электриков изучение теоретической механики требуется для расчетов работы средств автоматики. Кроме того, для микропроцессорных и микроэлектронных систем автоматики и телемеханики транспортных систем актуальной проблемой является виброзащита оборудования.

Выполненный анализ показывает, что уменьшение времени, отводимого на изучение курса теоретической механики, приводит к необходимости обучения студентов лишь ключевым понятиям курса и «вымывает» из учебных программ именно те вопросы, которые формируют у студентов представление о функционировании сложных систем, с которыми им придется встретиться на практике.



**ПРОЧНОСТЬ КОМПОЗИТА, АРМИРОВАННОГО ГРАНУЛАМИ РАЗНОГО РАЗМЕРА***О. И. ЯКУБОВИЧ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ**Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Ранее нами был выполнен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния композита с зернами заполнителя на основе двух моделей: с жестким соединением заполнителя с матрицей и с учетом внутренних контактных взаимодействий. Применение метода моделирования элементарной ячейки, учитывающего контактное взаимодействие между матрицей и армирующей фазой, позволило установить особенности напряженно-деформированного состояния композитного материала. Целью представленной работы является исследование влияния размеров зерна и свойств сцепления между фазами композита на напряженно-деформированное состояние материала, а также анализ влияния когезии между цементной матрицей и гранулами заполнителя на прочность структурного элемента.

С помощью программного комплекса ANSYS разработан ряд моделей, учитывающих особенности физических свойств и расположения армирующей фазы в матрице композита.

В качестве расчетной модели принят куб с длиной ребра 10 см и шаровидными зернами заполнителя диаметром от 0,5 до 2 см. Учитывалось, что модули упругости заполнителя и материала матрицы – 50 и 30 ГПа, коэффициенты Пуассона – 0,15 и 0,27 соответственно. Такая модель соответствует структуре бетона и иных композитов, представляющая собой заполнитель с транзитной зоной, вокруг которого размещена однородная растворная матрица. Полученное распределение эквивалентных по Мизесу максимальных напряжений показывает, что наибольшие напряжения в цементной матрице возникают также в месте наибольшего сближения гранул. В то же время максимальные напряжения в гранулах возникают в их центре. Значения напряжений в матрице и гранулах близки.

Получены зависимости максимальной адгезии с возможным скольжением от коэффициента трения для двух разных размеров гранул заполнителя. Результаты показали, что уменьшение диаметра гранул в два раза приводит к существенному снижению значения адгезии, при котором отсутствует скольжение. Кроме того, значительно уменьшается пороговое значение коэффициента трения, при котором скольжение отсутствует даже при нулевой адгезии. Таким образом, композит с малым размером гранул обладает значительно более высоким пределом прочности, чем композит с крупными гранулами.

Установлено, что минимальные (с учетом знака) значения первых главных напряжений наблюдаются в верхней и нижней частях гранулы, а максимальные значения имеют место в ее экваториальной плоскости. В то же время зона с минимальными значениями напряжений  $\sigma_y$  расположена вблизи вертикальной оси, а максимальные значения наблюдаются по экватору на поверхности гранулы. Увеличение коэффициента трения приводит к уменьшению максимальных по модулю напряжений, возникающих как в матрице, так и в армирующих гранулах. Расчеты, выполненные при разных значениях адгезии, показали, что при малых коэффициентах трения и небольших значениях адгезии, после приложения нагрузки и до того, как система придет в состояние равновесия, может происходить относительное смещение поверхностей гранулы и матрицы. Наличие относительного смещения свидетельствует о расслоении материала и, таким образом, позволяет сделать вывод о недостаточной его прочности при действии сжимающих давлений 30 МПа.

Определено, что уменьшение размера армирующих гранул приводит к существенному улучшению сцепления гранул с матрицей. Полученный результат может стать основой для создания новых высокопрочных бетонов.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Кулаженко Ю. И.</i> Приветствие участникам конференции .....	3
<b>5 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ</b>	
<i>Александров Д. Ю., Швачич Ю. Н., Швачич Е. Н.</i> О перспективе применения цветных покрытий на улицах городов .....	4
<i>Ахраменко Г. В., Абыходов Н. А.</i> Обоснование способа укрепления слабых грунтов при проектировании дорог в заболоченной местности .....	5
<i>Ахраменко Г. В., Ковалевич В. Л.</i> Увеличение жизнеспособности цементобетонных покрытий с использованием глины в качестве специальной добавки .....	6
<i>Ахраменко Г. В., Логвинец Е. Ю.</i> Способы укрепления слабых оснований при возведении земляного полотна автомобильных дорог .....	7
<i>Ахраменко Г. В., Пантелеева Е. А.</i> Методы снижения шума на автомобильных дорогах .....	8
<i>Бандюк Н. В., Пантелеева В. А., Теленченко И. Н.</i> Анализ применения геосинтетических материалов при строительстве земляного полотна .....	10
<i>Бандюк Н. В., Пантелеева В. А., Теленченко И. Н.</i> Развитие транспортной инфраструктуры города Гомеля за счет строительства «Восточного обхода» .....	11
<i>Баранкевич А. Э., Холодилов О. В.</i> Оценка воздействия на железнодорожный путь тяжеловесных поездов с осевой нагрузкой 25 тс .....	12
<i>Божик К. В., Коливошко Н. А., Петренко В. С.</i> Инновации в двухслойной укладке бетона с обогащенным заполнителем .....	14
<i>Бочкарев Д. И.</i> Формирование элементной среды системы «интеллектуальный путь» .....	15
<i>Бочкарев Д. И., Лапушкин А. С.</i> Классификация промежуточных рельсовых скреплений верхнего строения железнодорожного пути .....	16
<i>Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В.</i> Определение коэффициента сцепления в системе «дорожное покрытие – колесо транспортного средства» .....	19
<i>Довгелюк Н. В., Сычева А. Н., Щербаков С. А.</i> Улучшение экологической безопасности за счет введения электрической тяги на железной дороге .....	22
<i>Довгелюк Н. В., Щербаков С. А., Сычева А. Н.</i> Использование различных видов тяги на железной дороге ..	23
<i>Дубровская Т. А.</i> Определение нормативных величин радиусов кривых для скоростных железных дорог с учетом условий эксплуатации .....	24
<i>Жуковец А. Г.</i> Прогрессивная конструкция пути на сплошном бетонном основании .....	26
<i>Инютин В. И., Мирошников В. Е., Харьков А. Ф., Кирьянова А. А.</i> Повышение безопасности движения поездов по стрелочным переводам .....	27
<i>Ковтун П. В., Осипова О. В., Клепацкий П. В., Тараканов А. Ю.</i> Особенности переустройства путевого развития раздельных пунктов .....	28
<i>Ковтун П. В., Романенко В. В., Лапушкин А. С., Хомич М. А.</i> Оценка состояния путей необщего пользования по геометрическим параметрам .....	29
<i>Ковтун П. В., Романенко В. В., Скребец С. В., Тараканов А. Ю.</i> Организация текущего содержания пути и искусственных сооружений .....	30
<i>Ковтун П. В., Скребец С. В., Снежкова М. С., Альховская А. А.</i> Оптимизация организационных основ ведения путевого хозяйства .....	31
<i>Козий Д. В., Невзорова А. Б.</i> Формирование навыков принятия управленческих решений в условиях специфики работы восстановительного поезда при возникновении аварийных ситуаций .....	32
<i>Лысенко Н. Е., Пашков Н. Н., Шапкин И. Н.</i> Интеллектуальная система автоматического обеспечения безопасности на железнодорожных переездах .....	33
<i>Масловская М. А., Сычева А. Н.</i> Электрификация – один из вариантов реконструкции железных дорог .....	39
<i>Масловская Е. М., Титов А. А.</i> Анализ технологических методов повышения надежности быстроизнашивающихся деталей мостовых кранов .....	40
<i>Масловская Е. М., Титов А. А.</i> Установление закономерности характера протекания изнашивания ходовых колес кранов .....	41
<i>Матвецов К. И.</i> О контроле состояния рельсов .....	42
<i>Матвецов К. И., Инютин В. И., Мирошников В. Е., Харьков А. Ф.</i> Безопасность движения поездов на Белорусской железной дороге .....	43
<i>Михалко Д. В., Чудова И. А., Масловская И. А.</i> Особенности производства и применения теплых асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве .....	44

<i>Моисеенко В. Л., Жигар В. И., Моисеенко Н. В.</i> Программа расчета количества и масс материалов верхнего строения пути для сборки звеньев рельсошпальной решетки.....	45
<i>Петрусевич В. В.</i> Анализ существующих способов обработки покрытий, повышающих безопасность и долговечность дорог .....	46
<i>Петрусевич В. В., Кацубо П. А.</i> Сравнительный анализ навесного оборудования автогудронатора АРБ-8 на базе отечественного шасси.....	48
<i>Постников А. С.</i> Выбор конструкции железнодорожного пути для скоростного движения поездов .....	50
<i>Постников А. С.</i> Перспективы развития высокоскоростных железнодорожных магистралей в Республике Беларусь .....	51
<i>Сизин С. Ф., Меньшиков О. В., Каймович В. Д., Матвеев В. И.</i> Бесстыковому пути на Белорусской железной дороге 60 лет .....	53
<i>Фещенко А. П.</i> Влияние ровности дорожного покрытия на безопасность движения .....	54
<i>Царенкова И. М., Коливошко Н. А., Петренко В. С.</i> Управление транспортно-логистической деятельностью при строительстве и реконструкции автомобильных дорог .....	56
<i>Царенкова И. М., Свиридов А. В., Масловская И. А.</i> Особенности регенерации дорожных одежд при ремонте автомобильных дорог .....	57
<i>Царенкова И. М., Чудова И. А., Масловская И. А.</i> Совершенствование организации работ при развитии транспортной инфраструктуры.....	59
<i>Швачич Ю. Н., Александров Д. Ю., Швачич Е. Н.</i> Определение оптимальной ширины полосы движения на кольцевых пересечениях в населенных пунктах .....	60
<i>Швачич Ю. Н., Швачич Е. Н.</i> О необходимости переустройства пересечения улиц Огоренко и Каменщикова в городе Гомеле.....	61
<i>Шилович А. В.</i> Совершенствование методики проектирования автомобильных дорог – важный этап в повышении безопасности их эксплуатации .....	62

## **6 НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ**

<i>Алексеева А. А., Яшина Т. В.</i> Модификация бетонов для транспортных сооружений.....	64
<i>Алексеева А. А., Яшина Т. В.</i> Улучшение строительно-технических свойств бетонов для транспортных сооружений.....	65
<i>Атрошко Е. К., Марендич В. Б.</i> Геодезические методы определения деформации и размеров инженерных сооружений башенного типа.....	66
<i>Ашурко Н. И., Долгачева М. Н.</i> Применение самоуплотняющихся бетонов в транспортном строительстве..	68
<i>Белюсова Г. Н.</i> Совершенствование технологии строительства и ремонта очистных сооружений.....	69
<i>Беляева Е. В.</i> Влияние карбонизации на структурные изменения бетона .....	70
<i>Блиншев В. В.</i> Формирование безбарьерной среды для людей с ограниченными возможностями.....	71
<i>Брайцева М. Н.</i> Методология массовой оценки объектов недвижимости.....	72
<i>Васильев А. А.</i> Программный комплекс «ОКАВА» .....	74
<i>Васильев А. А., Дашкевич С. В.</i> Химический анализ бетона – основа оценки долговечности бетонных и железобетонных элементов искусственных сооружений.....	75
<i>Веремеюк А. И.</i> Влияние отдельных методов градостроительного проектирования на формирование этико-ноосферного подхода к ведению хозяйственной деятельности человека.....	76
<i>Воеводина А. Н., Пантюхов О. Е., Шаповалов В. М.</i> Древесно-полимерные композиционные материалы на основе термопластов и комбинированных наполнителей .....	78
<i>Головач А. В.</i> Сравнительная характеристика технико-экономических показателей 10-этажных жилых зданий.....	79
<i>Головач А. В.</i> Технологические особенности монтажа вантовых покрытий .....	80
<i>Давидович А. С., Шимоволос М. А.</i> Особенности использования тепловизионного оборудования при мониторинге зданий и сооружений.....	81
<i>Давидович А. С., Шимоволос М. А.</i> Преимущества тепловизионного обследования ограждающих конструкций зданий .....	82
<i>Дралова И. П., Сырова Н. С.</i> Обоснование выбора вида съемок с целью обеспечения производства инженерно-геодезических работ и безопасности движения на железнодорожных станциях .....	84
<i>Евстратенко А. В.</i> Архитектура объектов придорожного сервиса Беларуси: традиции и современность ....	85
<i>Евтухова Е. В.</i> Мониторинг технического состояния мостовых сооружений как первостепенная мера их безаварийной эксплуатации .....	86
<i>Карамышев А. А.</i> Вопросы колористики массовой застройки.....	88
<i>Козунова О. В.</i> Нелинейный расчет системы «балочная плита – слоистое основание» с переменным коэффициентом Пуассона .....	89
<i>Коновалова О. Н.</i> Исследование конструктивно-планировочных возможностей современных жилых зданий.....	91
<i>Куновская Г. М., Яковцева О. И.</i> Определение вертикальности сооружения электронным тахеометром.....	92

<i>Малков И. Г., Малков И. И., Юров А. Ю.</i> Особенности современного формирования планировочных структур селитебных зон сельских населенных пунктов Беларуси .....	93
<i>Михальцова И. В.</i> Надежность строительных конструкций в проектировании объектов экотуризма на основе принципов бионики .....	96
<i>Назаров Д. А.</i> Деревянные высотки в Беларуси – инновационный взгляд на современное строительство ....	97
<i>Невзорова А. Б.</i> Формирование оптимального температурно-влажностного микроклимата в зданиях историко-культурного наследия .....	99
<i>Пантюхов О. Е., Ковалёва Е. А., Яшина Т. В.</i> Эффективные ограждающие конструкции для транспортных объектов .....	101
<i>Пантюхов О. Е., Труханович К. В., Яшина Т. В.</i> Производство и применение энергосберегающего бесцементного бетона в транспортном строительстве .....	102
<i>Пахомова Л. И.</i> Исследование свойств раствора с химической добавкой стахемент ГЖ-35 .....	103
<i>Прасол В. М., Крайцова О. С.</i> Повышение энергетической эффективности реконструируемых крупнопанельных зданий .....	104
<i>Прасол В. М., Теленченко Ю. С.</i> Моделирование энергоэффективности систем естественного освещения локомотивных депо .....	106
<i>Прохоренко В. Н.</i> Влияние суперпластификаторов и минеральных добавок на величину модуля упругости бетона .....	107
<i>Семеняко Г. А., Захаренко З. Н., Яшина Т. В.</i> Оптимизация конструкции стенового ограждения .....	108
<i>Такунов А. А.</i> Способы и методы защиты древесины при строительстве .....	109
<i>Талецкий В. В.</i> Перспективы применения композитной арматуры в плитах безбалластного мостового полотна (БМП) .....	110
<i>Ташикинов А. Г.</i> Оценка стойкости эпоксидных пенопластов, эксплуатируемых в условиях высоких температур и влажности .....	111
<i>Чирков В. И.</i> Актуальность использования массовой оценки недвижимости в современном обществе .....	112
<i>Чугунова А. С.</i> Энергоэффективный строительный материал для малоэтажных зданий .....	114
<i>Шандрак Ю. И.</i> Проблемы нормативной базы в области реконструкции зданий в энергоэффективный формат в Республике Беларусь .....	115
<i>Шандрак Ю. И.</i> Проблемы нормативной базы в области строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь .....	116
<i>Шевчук Н. А.</i> Исследование влияния золы-уноса на свойства пенобетона .....	118
<i>Щеглова А. В.</i> Архитектурно-планировочные и конструктивные проблемы дошкольных учреждений образования, построенных по типовым проектам советского периода .....	119
<i>Яшина Т. В., Захаренко З. Н.</i> Экономичные строительные композиты для ремонтных работ в транспортном строительстве .....	120

## **7 БЕЗОПАСНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК**

<i>Вакуленко С. П., Евреенова Н. Ю.</i> Транспортно-пересадочные узлы – основа мультимодальных пассажирских перевозок .....	122
<i>Ван Цзиньлань, Чжан Чжэнсинь, Ван Цзянь.</i> Исследование в области информационной безопасности и технологии защиты городской рельсовой транспортной системы сигналов .....	123
<i>Власюк Т. А.</i> Основные тенденции и особенности пригородных перевозок на железнодорожном транспорте в крупнейших агломерациях Европы в конце XIX–XX вв. ....	126
<i>Гизатуллина В. Г.</i> Информационная база для управления затратами, связанными с пассажирскими перевозками .....	129
<i>Гизатуллина В. Г., Кушнеров Д. Н., Здановская Н. В.</i> Развитие методических подходов к расчету себестоимости пассажирских перевозок .....	130
<i>Головнич А. К.</i> Безопасность функционирования пассажирских станций в условиях потенциальных террористических угроз .....	131
<i>Гришанкова Н. А.</i> Анализ терминологической лексики при выполнении перевода с немецкого языка на русский по вопросам безопасности пассажирских перевозок .....	133
<i>Килочицкая М. А., Фёдоров Е. А.</i> Взаимодействие автомобильного и железнодорожного транспорта в интермодальных пассажирских транспортных системах .....	134
<i>Кулаженко Ю. И., Власюк Т. А.</i> Концепция «Нового шелкового пути»: текущее состояние, потенциал и перспективы для пассажирского сообщения на железнодорожном транспорте .....	136
<i>Ли Жуйжун, Вэнь Чжицзян.</i> Система TCDS 3-й линии метрополитена г. Шэньчжэнь и ее совершенствование .....	139
<i>Литвинова И. М.</i> Условия открытия и размещения остановочных пунктов для посадки, высадки пассажиров на инфраструктуре железнодорожного транспорта .....	144
<i>Мельник Т. С.</i> Актуальность внедрения системы риск-менеджмента для усиления безопасности на железнодорожном транспорте Украины .....	146

<i>Михальченко А. А., Власюк Т. А., Пильгун Т. В.</i> Использование инновационных технологий для обеспечения безопасности пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте .....	147
<i>Михальченко А. А., Ходоскина О. А., Коцур В. В.</i> Развитие транспортно-технологических систем страны для пассажирских перевозок .....	149
<i>Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю.</i> Повышение частоты следования дальних пассажирских поездов за счет интенсификации использования их составов .....	150
<i>Панк Р. В.</i> Железнодорожный пассажирский комплекс и безопасность перевозок .....	152
<i>Пасичный А. Н., Андрейко А. В.</i> Подход к вопросу предотвращения транспортных происшествий при перевозках пассажиров на основе компьютерного моделирования .....	153
<i>Попов А. И.</i> Правовое сознание как условие безопасности пассажирских перевозок .....	155
<i>Терёшина Н. П., Жаков В. В.</i> Приоритеты развития конкурентоспособности и экономической безопасности на транспорте .....	156
<i>Ходоскин Д. П.</i> Зависимость замедления от времени оповещения о смене сигналов светофора при подъезде к стоп-линии на регулируемом перекрестке .....	157
<i>Ходоскина О. А., Горяинова Т. В.</i> Развитие логистики региональных пассажирских перевозок с учетом фактора безопасности .....	159
<i>Христофор О. В., Мельник Т. С.</i> Формирование системы риск-менеджмента на железнодорожном транспорте Украины: опыт и перспективы .....	161
<i>Шевчук В. Г., Павлик А. Г., Михалко А. Г., Кудряшов В. А.</i> Применение системы технологического видеонаблюдения на станции технического обслуживания автомобилей .....	162

## **8 ФИЗИКА, МЕХАНИКА И МАТЕМАТИКА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

<i>Абдулкадер М. Х.</i> Решение динамической контактной задачи о смещении слоя грунта жестким упругим телом .....	165
<i>Арутюнян А. М., Кузнецова Ел. Л., Федотенков Г. В., Тарлаковский Д. В.</i> Исследование распространения нестационарных возмущений в полупространстве с заглубленной цилиндрической полостью методом прямых граничных интегралов .....	166
<i>Багно А. М.</i> Влияние больших начальных деформаций на поверхностную неустойчивость упругого слоя, контактирующего со слоем идеальной жидкости .....	167
<i>Большаков Р. С., Николаев А. В.</i> Способ настройки динамического состояния транспортных средств при помощи рычажных механизмов .....	168
<i>Вайсфельд Н. Д., Мысов К. Д.</i> Волновое поле дважды усеченного упругого конуса под действием крутящего момента .....	170
<i>Вайсфельд Н. Д., Реут В. В., Журавлёва З. Ю.</i> Концентрация напряжений в окрестности концов поперечной трещины в полуполосе .....	171
<i>Вахтерова Я. А., Федотенков Г. В.</i> Нестационарная обратная задача об идентификации дефектов в упругом стержне .....	173
<i>Вестяк В. А., Тарлаковский Д. В.</i> Об одной связанной плоской задаче электромагнитоупругости для полуплоскости .....	174
<i>Воробьев С. А.</i> Кинематика нестационарных колебаний трехслойной цилиндрической оболочки при учете внутреннего трения в материалах слоев .....	175
<i>Глухов А. Ю.</i> Распространение квазипоперечных волн в слоистых материалах с начальными напряжениями .....	176
<i>Глухов Ю. П.</i> Об одной задаче для многослойной плиты с начальными напряжениями при воздействии подвижной нагрузки .....	178
<i>Голубева Е. А., Бокий М. Ю., Аль-Абси Р. А.</i> Описание математической модели взаимодействия шины колеса с дорожным покрытием с учетом явлений ползучести и релаксации .....	179
<i>Гордон В. А., Потураева Т. В.</i> Динамические эффекты при внезапном преобразовании граничных условий системы «балка – основание» .....	180
<i>Гутовский А. В., Толкачёв А. В.</i> Осесимметричная задача кручения усеченного конуса в сферической системе координат .....	182
<i>Давыдов С. А., Земсков А. В., Тарлаковский Д. В.</i> Модель термомехано-dиффузии с конечной скоростью распространения тепловых и диффузионных возмущений .....	183
<i>Захарчук Ю. В.</i> Уравнения равновесия круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем .....	185
<i>Зеленая А. С.</i> Постановка задачи об изгибе физически нелинейной трехслойной прямоугольной пластины со сжимаемым наполнителем .....	186
<i>Иванов С. И., Локтева Н. А.</i> Действие плоской гармонической волны в акустической среде на консольно закрепленную пластину .....	188
<i>Козел А. Г.</i> Перемещения в круговой трехслойной пластине на сложном основании .....	189
<i>Леоненко Д. В.</i> Поперечные колебания трехслойного стержня на упругом основании .....	191

<i>Локтева Н. А., Синодов Н. А., Ульяшина А. Н.</i> Взаимодействие плоской гармонической волны с трехслойной прямоугольной пластиной в грунте.....	193
<i>Луцкая И. В., Максимюк В. А., Чернышенко И. С.</i> О сходимости численного метода при моделировании деформирования тороидальной оболочки эллиптического поперечного сечения.....	194
<i>Мейш В. Ф., Белов Е. Д., Мейш Ю. А.</i> К постановке и численному решению динамических задач теории подкрепленных конических оболочек в неортогональной системе координат.....	196
<i>Мейш В. Ф., Мейш Ю. А.</i> К постановке задач о волновых процессах (сферическая симметрия) в двухслойных грунтовых средах при действии нестационарных нагрузок.....	197
<i>Михайлова Е. Ю., Тарлаковский Д. В., Ульяшина А. Н., Федотенков Г. В.</i> Удар системы оболочек со слоем жидкости по абсолютно жесткой преграде.....	198
<i>Можаровский В. В., Кузьменков Д. С.</i> Реализация численного расчета напряженно-деформированного состояния в упругом теле под воздействием шины колеса.....	200
<i>Nagiyeu F. B., Akhundova G. A.</i> Flow dynamics caused by the sudden water discharge into the river.....	202
<i>Новиков С. П., Головнич А. К., Капитанов П. И.</i> Оптимизация формы петли для разворота вагонов.....	204
<i>Орленко А. И., Булавко О. А., Елисеев А. В.</i> Математическое моделирование в задачах динамики взаимодействия элементов транспортных средств с учетом неударяющих связей.....	205
<i>Орленко А. И., Елисеев А. В.</i> Динамика коллекторно-щеточного узла тягового двигателя локомотива: учет неударяющих связей.....	207
<i>Парфенова В. С.</i> Деформирование круглой трехслойной упругой ступенчатой пластины.....	208
<i>Поддубный А. А., Яровая А. В.</i> Деформирование трехслойной балки, лежащей двумя участками на упругом основании.....	210
<i>Попов А. И.</i> Формирование готовности к решению нестандартных задач предприятий транспортного кластера при изучении механики.....	211
<i>Реут Е. В.</i> Волновое поле конечного упругого цилиндра под действием осесимметричной нагрузки.....	213
<i>Скачѣк П. Д.</i> Статический расчет изгибаемой пластинки в виде прямоугольного треугольника с заземленными катетами.....	214
<i>Старовойтов Э. И., Плескачевский Ю. М., Тарлаковский Д. В.</i> Термосиловой переменной изгиб трехслойного стержня со сжимаемым наполнителем.....	215
<i>Сторожук Е. А., Чернышенко И. С., Харенко С. Б.</i> Исследование взаимовлияния отверстий на боковой поверхности упругопластической оболочки.....	216
<i>Талецкий В. В.</i> Определение постоянных коэффициентов упругости ортотропных материалов.....	218
<i>Трацевская Е. Ю.</i> Экспериментальное исследование модуля деформации неводонасыщенных грунтов.....	219
<i>Угримов С. В., Сметанкина Н. В., Шутиков А. Н.</i> Повышение безопасности эксплуатации кабин железнодорожных локомотивов при столкновении с твердым телом.....	221
<i>Черноус Д. А.</i> Экспериментальное определение вязкоупругих характеристик наноструктурированного металлополимерного покрытия.....	222
<i>Шимановский А. О., Кракова И. Е.</i> Роль теоретической механики в подготовке будущих инженеров транспортной отрасли.....	224
<i>Якубович О. И., Шимановский А. О.</i> Прочность композита, армированного гранулами разного размера.....	225

Научно-практическое издание

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Материалы VIII Международной научно-практической конференции,  
посвященной Году науки

Часть 2

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*  
Корректоры: *И. И. Эвентов, А. А. Павлюченкова*  
Компьютерная верстка – *Т. А. Пугач, М. А. Килочицкая*

Подписано в печать 16.11.2017 г. Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 26,97. Уч.-изд. л. 24,13. Тираж 150 экз.  
Зак. №. 3923. Изд. № 54.

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.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель

ISBN 978-985-554-695-6

