

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

Военно-транспортный факультет

СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Материалы

V Международной научно-практической конференции

Часть I

Под общей редакцией А. А. Поддубного

Гомель 2016

УДК 624.21/8

ББК 39.112

С86

Редакционная коллегия:

А. А. Поддубный (отв. редактор), **А. М. Куксо** (зам. отв. редактора),
П. Г. Демидов (отв. секретарь)

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Строительные конструкции,
основания и фундаменты» канд. техн. наук, доцент **В. В. Талецкий**
(УО «БелГУТ»)

Строительство и восстановление искусственных сооружений :

С86 материалы V Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред.
А. А. Поддубного ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь,
Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 368 с.
ISBN 978-985-554-591-1 (ч. 1)

Изложены материалы V Международной научно-практической конференции «Строительство и восстановление искусственных сооружений», позволяющие обобщить достигнутые результаты и наметить пути дальнейшего внедрения новых способов и технологических приемов мостовых восстановительных работ.

Материалы сборника могут быть полезны как для профессорско-преподавательского состава университета, так и для курсантов и студентов.

УДК 624. 21/8

ББК 39.112

ISBN 978-985-554-591-1 (ч. 1)

ISBN 978-985-554-590-4

© Оформление. УО «БелГУТ», 2016

УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!

От имени оргкомитета V Международной научно-практической конференции «Строительство и восстановление искусственных сооружений» приветствую вас и желаю всем плодотворной работы в обобщении достигнутых результатов, обсуждении перспективных конструкций и технических средств для восстановления железнодорожных мостов и определении пути дальнейшего совершенствования способов и технологических приемов мостовых восстановительных работ.

Выражаю уверенность, что обмен мнениями по этим и другим вопросам, активное сотрудничество специалистов в различных направлениях деятельности позволят найти взвешенное, комплексное решение многих важнейших проблем, т. к. опыт локальных войн и конфликтов свидетельствует о том, что проблема повышения темпов восстановления мостов, снижения трудоемкости и материалоемкости восстановительного процесса остается актуальной и требует своего дальнейшего разрешения.

Благодарю вас за участие в работе нашей конференции и желаю всем успехов в решении научных проблем.

**Начальник военно-
транспортного факультета
полковник А. А. Поддубный**

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 69.002.5

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. И. БОЧКАРЁВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В настоящее время асфальтобетонные покрытия практически не имеют альтернативы при устройстве дорожных одежд нежесткого типа. Срок службы горячего асфальтобетона, применяемого для устройства покрытий на автомобильных дорогах в условиях современного автомобильного движения должен составлять 12–15 лет. Однако опыт проведения ремонтных работ на автодорогах свидетельствует, что при нормативном сроке (15 лет) эксплуатации реабилитированной автодороги трещины и другие дефекты на поверхности асфальтобетонного покрытия, в силу тех или иных причин, возникают уже на протяжении первого-второго года эксплуатации. Старение битумных вяжущих в составе асфальтобетона и их нестабильный групповой состав еще более интенсифицирует возникающие деструктивные процессы, что приводит к преждевременной потере автомобильной дорогой ее эксплуатационных свойств и необходимости проведения ремонтных работ.

Многочисленные исследования, проводимые в области эксплуатации асфальтобетонных покрытий, свидетельствуют, что на начальном этапе основным разрушающим фактором является воздействие воды. Проникая в поры материала, в том числе и в пустоты молекулярной решетки битума, вода отслаивает адсорбированные пленки вяжущего от поверхности каменного материала, происходит гидратация объемного битума и разрушение полярных связей в структуре асфальтобетона. Такие деструктивные процессы, а также воздействие колес транспортных средств, обуславливает начало шелушения и выноса из поверхностного слоя асфальтобетона мелких частиц материала, что приводит к значительной интенсификации разрушения покрытия. Такие процессы протекают тем интенсивнее, чем ниже водостойкость при длительном водонасыщении

асфальтобетона, выше пористость, а также больше интенсивность движения транспорта и увлажнение поверхности покрытия [1].

Таким образом, для обеспечения в Республике Беларусь максимального срока службы асфальтобетонного покрытия необходимо учитывать в подборе состава асфальтобетона два основных фактора. Первый из них – летняя эксплуатация, когда материал, нагреваясь свыше 50 °С теряет свои прочностные свойства, что приводит к образованию колеи. Второй фактор – эксплуатация в зимний период, характеризующийся тем, что под действием чередующихся циклов замораживания – оттаивания происходит трещинообразование и разрушение асфальтобетона.

Выполнение работ по текущему ремонту и содержанию автомобильной дороги традиционными способами в настоящее время недостаточно эффективно, поскольку позволяет ликвидировать только визуально определяемые дефекты (трещины, выбоины и т.д.). Более эффективно внедрение технологий, направленных на получение дорожно-строительных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками. В то же время полная реализация данных технологий возможна при строительстве новых объектов.

На сегодняшний день протяженность существующих автодорог в Республике Беларусь более 85,7 тыс. км, из них более 15,5 тыс. км – республиканские и 70,2 тыс. км – местные автодороги. Для эффективной защиты их покрытий от влияния разрушающих факторов внешней среды необходима разработка принципиально новых технологий. Одним из вариантов защиты является химическая обработка покрытий реагентами на основе различных композиций.

В технологических процессах строительства и ремонта автомобильных дорог широко применяются самоходные (смонтированные на шасси автомобиля или специальном шасси), полуприцепные (смонтированные на шасси полуприцепа, буксируемого тягачом) и прицепные (агрегируемые с самоходными, прицепными или полуприцепными автоцистернами) устройства для транспортирования, приготовления и распределения дорожно-строительных материалов.

Для этих целей в Республике Беларусь можно использовать оборудование высокого давления с распределителем жидких материалов ОРС-37. Оборудование является сменным и оперативно монтируется-демонтируется в кузов трехосного автомобиля-самосвала категории N3 и позволит произвести эффективное распределение жидких материалов. Таким образом, оборудование имеет возможность круглогодичного использования, а при демонтаже оборудования автомобиль-самосвал используется по его прямому назначению. Емкости для жидких материалов

изготовлены из полиэтилена, что гарантирует работу в различных климатических условиях с применением различных по химическому составу жидкостей.



Рисунок 1 – Оборудование высокого давления с распределителем жидких материалов OPC-37 на базе автомобиля МАЗ-6501

В таблице 1 представлены основные технические характеристики оборудования высокого давления с распределителем жидких материалов OPC-37.

Таблица 1 – Технические характеристики OPC-37

Наименование характеристики	Значение
Базовый автомобиль	МАЗ-5516/МАЗ-6501
Тип оборудования	Навесное
Масса оборудования, кг	2100
Максимальная рабочая скорость движения автомобиля-самосвала со смонтированным оборудованием, км/ч	40
Объем емкостей, м ³	10
Давление, не менее МПа	2,5
Максимальный расход материала, не более л/мин	180
Плотность распределения жидких материалов, не более мл/м ²	10–150
Ширина, не более	
Распределения передней гребенкой, м	3,0
Полива передней гребенкой с боковыми соплами, м	15,0
Ширина распределения жидких материалов задней гребенкой, м	1–12
Управление навесным оборудованием	Автоматическое из кабины

Наименование характеристики	Значение
	базового автомобиля-самосвала

Оборудование высокого давления с распределителем жидких материалов ОРС-37 на базе автомобиля МАЗ-6501 позволяет расширить эксплуатационные возможности, повысить качество, снизить себестоимость производства дорожных работ, обеспечить возможность приготовления и розлива многокомпонентных вяжущих и жидких (в том числе противогололёдных) дорожно-строительных материалов, обеспечив их экономию, оперативный переход от розлива одного типа материала к другому.

При нанесении на покрытие данные составы проникают в объем материала, заполняя микротрещины и дефекты покрытия, что может приводить к снижению водоотталкивания, а также повышению коэффициента сцепления с колесами транспортных средств. Такие материалы должны увеличивать долговечность покрытий с одновременным улучшением транспортно-эксплуатационных показателей.

Список литературы

1 **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.

2 Техническое описание и инструкция по эксплуатации автогудронатора АРБ-7.0 на базе шасси автомобиля МАЗ-5337.

3 **Шаповалов, В. М.** Полимерные модификаторы и технологические аспекты получения на их основе композиционных дорожно-строительных материалов / В. М. Шаповалов, Д. И. Бочкарев, Ю. М. Плескачевский // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 2005. – Т. 10, № 3. – С. 52–62.

4 **Шаповалов, В. М.** Влияние модификаторов на физико-химические процессы в композиционных битумоминеральных материалах / В. М. Шаповалов, Д. И. Бочкарев, Ю. М. Плескачевский // *Доклады НАНБ.* – 2007. – № 1. – С. 100–103.

5 Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия : СТБ 1062–97. – Введ. 01.07.1997. – Минск : Минкстройархитектура, 1997. – 28 с.

УДК 539.3

ДЕФОРМИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ НЕПОЛНОМ КОНТАКТЕ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ

А. А. ПОДДУБНЫЙ, А. В. ЯРОВАЯ
Учреждение образования

В промышленном и гражданском строительстве, транспортном машиностроении, при строительстве и восстановлении искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах широко используются слоистые, в том числе трехслойные элементы конструкций, состоящих из балок и панелей, контактирующих с упругим основанием. Исследования показывают, что под воздействием нагрузок по ряду причин возможно появление зазора между конструкцией и основанием, и, как следствие, изменение расчетной схемы конструкции, ее напряженно-деформированного состояния, а это в ряде случаев приводит к преждевременному разрушению.

При проектировании надежных и долговечных элементов конструкций требуются высокоточные расчетные методики, которые учитывают всевозможные изменения параметров. Для слоистых элементов конструкций такие методики предложили в своих работах Э. И. Старовойтов, Ю. М. Плескачевский, Д. В. Леоненко и др. Статическое деформирование трехслойных элементов конструкций исследовано в [1–5]. В монографии [6] изложены постановки и методы решения задач статики широкого класса металлополимерных систем при комплексных силовых, тепловых и радиационных воздействиях. Учтены реономные и пластические свойства материалов слоев. Приведен ряд аналитических и числовых решений для трехслойных металлополимерных стержней, пластин и оболочек. В работах [7–9] системно изложены постановки и методы решения задач статики и динамики трехслойных элементов конструкций, связанных с упругим основанием. В работе [10] рассмотрен изгиб трехслойной балки под действием локальных нагрузок с использованием разрывных функций Хевисайда и Дирака.

Расчетная схема панели. Расчетная схема панели принимается в виде прямоугольной трехслойной балки длиной l и размерами поперечного сечения $h \times b_0$ (рисунок 1). Наружные слои являются несущими, они тонкие и выполнены из достаточно прочного материала. Менее прочный толстый наполнитель разносит несущие слои на заданное расстояние по высоте балки и обеспечивает их совместную работу.

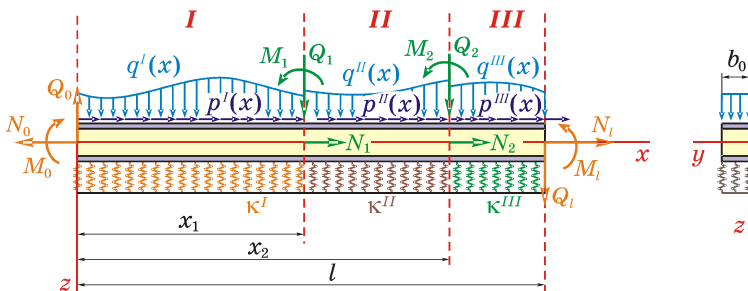


Рисунок 1 – Расчетная схема трехслойной балки, частично или полностью опирающейся на упругое основание

Система координат x, y, z связана со срединной плоскостью заполнителя. Ось x направлена вдоль балки, ось z – вниз. Несущий слой, расположенный со стороны положительного направления оси z , считается первым слоем, следующий несущий слой – вторым, а заполнитель – третьим (см. рисунок 1). Номер слоя обозначен индексом k ($k = 1, 2, 3$).

На верхний внешний слой балки действуют распределенные поверхностные нагрузки, не изменяющиеся вдоль оси y . На торцах балки (при $x = 0$ и $x = l$) действуют сосредоточенные силы и моменты N_0, Q_0, M_0 и N_l, Q_l, M_l . К сечениям 1 ($x = x_1$) и 2 ($x = x_2$) приложены усилия N_1, Q_1, M_1 и N_2, Q_2, M_2 .

По длине балки выделим три участка I ($0 \leq x \leq x_1$), II ($x_1 \leq x \leq x_2$), III ($x_2 \leq x \leq l$). Обозначим: $p^n(x), q^n(x)$, Па – продольная и поперечная распределенные нагрузки на n -м участке ($n = I, II, III$); h_1^n, h_2^n, c^n – толщины 1-го и 2-го несущих слоев и половина толщины заполнителя на n -м участке. Таким образом, нагрузки на каждом из участков могут иметь различные величину и закон изменения, а могут и отсутствовать. Балка опирается на участки упругого основания различной жесткости, через κ^n обозначен коэффициент жесткости упругого основания на n -м участке. Если на одном или двух участках основание отсутствует, то необходимо принять нулевым соответствующий коэффициент жесткости.

Основные гипотезы. Для описания кинематики трехслойного пакета используется гипотеза «ломаной» линии: прямолинейная 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.

Между слоями предусмотрена склейка, не допускающая взаимного проскальзывания. Слои несжимаемы по толщине. Деформации малые. Материалы слоев в общем случае считаются ортотропными, проявляют упругие свойства, для них справедлив закон Гука.

Искомые функции. Постановка и решение задачи проводятся в перемещениях. В качестве искомых величин принимаются функции $w^n(x)$, $u^n(x)$ – прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя, а также $\psi^n(x)$ – угол поворота нормали в заполнителе за счет сдвига (угол сдвига) на n -м участке.

В точках сопряжения участков должны соблюдаться условия непрерывности перемещений:

$$\begin{aligned} w^I(x_1) &= w^{II}(x_1); \quad w^{II}(x_2) = w^{III}(x_2); \quad u^I(x_1) = u^{II}(x_1); \\ u^{II}(x_2) &= u^{III}(x_2); \quad \psi^I(x_1) = \psi^{II}(x_1); \\ \psi^{II}(x_2) &= \psi^{III}(x_2); \quad w^I_{,x}(x_1) = w^{II}_{,x}(x_1); \quad w^{II}_{,x}(x_2) = w^{III}_{,x}(x_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Если на торцах балки предусмотрены жесткие диафрагмы, которые препятствуют повороту нормали в заполнителе, то

$$\psi^I(0) = 0; \quad \psi^{III}(l) = 0, \quad (2)$$

что может служить граничными условиями. Если же диафрагмы на торцах не предусмотрены, то углы сдвига в заполнителе для торцевых сечений необходимо учитывать.

Модель упругого основания. Для описания действия упругого основания на n -м участке используется модель Винклера, согласно которой реакция основания $q_R^n(x)$ пропорциональна прогибу $w^n(x)$ и направлена в противоположную сторону $q_R^n(x) = \kappa^n w^n(x)$.

Перемещения, деформации и напряжения. В направлении оси x перемещения $u_x^{(k)n}(x, z)$ для каждого из слоев выражаются с использованием введенных гипотез через три искомые функции зависимостями:

$$\begin{aligned} u_x^{(1)n} &= u^n + c\psi^n - zw^n_{,x} \quad (c^n \leq z \leq c^n + h_1^n); \\ u_x^{(2)n} &= u^n - c\psi^n - zw^n_{,x} \quad (-c^n - h_2^n \leq z \leq -c^n); \\ u_x^{(3)n} &= u^n + z\psi^n - zw^n_{,x} \quad (-c^n \leq z \leq c^n), \end{aligned} \quad (3)$$

где z – координата рассматриваемого волокна.

Так как слои несжимаемы по толщине, то в направлении оси z перемещения точек балки равны прогибу срединной плоскости заполнителя: $u_z^{(k)n} = w^n$. В направлении оси y перемещения отсутствуют: $u_y^{(k)n} = 0$.

С помощью соотношений Коши и выражений для перемещений (3) в каждом слое определяются компоненты тензора деформаций:

$$\varepsilon_x^{(1)n} = u^n_{,x} + c\psi^n_{,x} - zw^n_{,xx} \quad (c^n \leq z \leq c^n + h_1^n);$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_x^{(2)n} &= u^n_{,x} - c\psi^n_{,x} - zw^n_{,xx} \quad (-c^n - h_2^n \leq z \leq -c^n); \\ \varepsilon_x^{(3)n}(x, z) &= u^n_{,x} + z\psi^n_{,x} - zw^n_{,xx} \quad (-c^n \leq z \leq c^n); \\ \varepsilon_{xz}^{(1)n} = \varepsilon_{zx}^{(1)n} &= 0; \quad \varepsilon_{xz}^{(2)n} = \varepsilon_{zx}^{(2)n} = 0; \quad \varepsilon_{xz}^{(3)n} = \varepsilon_{zx}^{(3)n} = \frac{1}{2}\psi^n; \quad \varepsilon_z^{(k)n} = 0.\end{aligned}\tag{4}$$

Из компонент тензора напряжений ненулевыми являются $\sigma_x^{(k)n}$ и $\sigma_{yz}^{(3)n} = \sigma_{zx}^{(3)n}$ ($k=1, 2, 3$ – номер слоя; $n = I, II, III$ – номер участка).

Внутренние силы и моменты. Внутренние усилия для n -го участка вводятся в виде интегралов по толщине каждого слоя:

$$\begin{aligned}N^{(1)n}(x) &= b_0 \int_{c^n}^{c^n+h_1^n} \sigma_x^{(1)n} dz; \quad M^{(1)n}(x) = b_0 \int_{c^n}^{c^n+h_1^n} \sigma_x^{(1)n} z dz; \\ N^{(2)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n-h_2^n}^{-c^n} \sigma_x^{(2)n} dz; \quad M^{(2)n}(x) = b_0 \int_{-c^n-h_2^n}^{-c^n} \sigma_x^{(2)n} z dz; \\ N^{(3)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n}^{c^n} \sigma_x^{(3)n} dz; \quad M^{(3)n}(x) = b_0 \int_{-c^n}^{c^n} \sigma_x^{(3)n} z dz; \\ Q^{(3)n}(x) &= b_0 \int_{-c^n}^{c^n} \sigma_{xz}^{(3)n} dz,\end{aligned}\tag{5}$$

где $N^{(k)n}, M^{(k)n}$ – продольная сила и изгибающий момент в сечении с координатой x для k -го слоя; $Q^{(3)n}$ – поперечная сила для 3-го слоя (заполнителя); b_0 – ширина балки; $\sigma_x^{(k)n}, \sigma_{yz}^{(3)n}$ – компоненты тензора напряжений для k -го слоя.

Удобно ввести полные внутренние усилия для n -го участка, просуммировав силы и моменты (5) по слоям:

$$\begin{aligned}N^n &= \sum_{k=1}^3 N^{(k)n}; \quad M^n = \sum_{k=1}^3 M^{(k)n}; \quad Q^n = Q^{(3)n}; \\ H^n &= c^n(N^{(1)n} - N^{(2)n}) + M^{(3)n},\end{aligned}\tag{6}$$

где N^n, M^n, Q^n – полные продольная сила, изгибающий момент и поперечная сила; H^n – дополнительный момент, возникающий из-за сдвига в заполнителе (момент сдвига).

Уравнения равновесия в усилиях. К деформированной балке применяется принцип возможных перемещений Лагранжа, который выражает условие равновесия системы внутренних и внешних сил. Для

этого необходимо составить выражения возможных работ внешних и внутренних сил и приравнять их. Из полученного равенства следуют дифференциальные уравнения равновесия в усилиях

$$N^n{}_{,x} + b_0 p^n = 0; \quad H^n{}_{,x} - Q^n = 0; \quad M^n{}_{,xx} - b_0 q_R^n + b_0 q^n = 0, \quad (7)$$

силовые граничные условия

$$N^I(0) = N_0; \quad M^I(0) = M_0; \quad M^I{}_{,x}(0) = Q_0; \quad N^{III}(l) = N_l;$$

$$M^{III}(l) = M_l; \quad M^{III}{}_{,x}(l) = Q_l; \quad (8)$$

$$H^I(0) = 0; \quad H^{III}(l) = 0 \quad (9)$$

и условия для внутренних усилий в точках сопряжения участков $x = x_1$ и $x = x_2$:

$$N^I(x_1) - N^{II}(x_1) = N_1; \quad M^I(x_1) - M^{II}(x_1) = M_1;$$

$$M^I{}_{,x}(x_1) - M^{II}{}_{,x}(x_1) = Q_1;$$

$$H^I(x_1) - H^{II}(x_1) = 0; \quad N^{II}(x_2) - N^{III}(x_2) = N_2;$$

$$M^{II}(x_2) - M^{III}(x_2) = M_2;$$

$$M^{II}{}_{,x}(x_2) - M^{III}{}_{,x}(x_2) = Q_2; \quad H^{II}(x_2) - H^{III}(x_2) = 0. \quad (10)$$

Если на левом ($x = 0$) и правом ($x = l$) торцах стержня имеются жесткие диафрагмы, то граничные условия (9) не справедливы. Вместо них необходимо использовать условия равенства нулю углов сдвига на торцах (2). При отсутствии сосредоточенных внешних усилий в сечениях 1 и 2 в правой части условий (10) будут нули.

Закон Гука. При изгибе упругой балки относительно оси y деформации $\varepsilon_y = 0$. Кроме этого, так как материал несжимаем, то $\varepsilon_z = 0$. С учетом этого закон Гука имеет вид:

$$\sigma_x = A_x \varepsilon_x;$$

$$A_x = \frac{E_x(1 - \nu_{yz}\nu_{zy})}{1 - \nu_{xy}\nu_{yx} - \nu_{yz}\nu_{zy} - \nu_{xz}\nu_{zx} - \nu_{xy}\nu_{yz}\nu_{zx} - \nu_{xz}\nu_{zy}\nu_{yx}}, \quad (11)$$

где E_x – модуль Юнга; $\nu_{xy}, \nu_{yx}, \nu_{xz}, \nu_{zx}, \nu_{yz}, \nu_{zy}$ – коэффициенты Пуассона.

Выражение внутренних усилий через перемещения. Применяя соотношения (4), (5) и (11), выразим компоненты тензора напряжений в слоях через перемещения, и далее внутренние силы и моменты через функции $w^n(x), u^n(x), \psi^n(x)$:

$$\begin{aligned}
N^n &= b_0 (a_1^n u^n_{,x} + a_6^n \psi^n_{,x} - a_7^n w^n_{,xx}); \\
H^n &= b_0 (a_6^n u^n_{,x} + a_2^n \psi^n_{,x} - a_3^n w^n_{,xx}); \\
Q^n &= b_0 a_5^n \psi^n; \quad M^n = b_0 (a_7^n u^n_{,x} + a_3^n \psi^n_{,x} - a_4^n w^n_{,xx}), \quad (12)
\end{aligned}$$

где a_1^n, \dots, a_7^n – параметры, характеризующие геометрические и упругие свойства слоев на n -м участке:

$$\begin{aligned}
a_1^n &= A_x^{(1)} h_1^n + A_x^{(2)} h_2^n + 2A_x^{(3)} c^n; \quad a_2^n = c^{n2} \left[A_x^{(1)} h_1^n + A_x^{(2)} h_2^n + \frac{2}{3} A_x^{(3)} c^n \right] \\
& \quad ; \\
a_3^n &= c^n \left[A_x^{(1)} h_1^n \left(c^n + \frac{1}{2} h_1^n \right) + A_x^{(2)} h_2^n \left(c^n + \frac{1}{2} h_2^n \right) + \frac{2}{3} A_x^{(3)} c^{n2} \right]; \\
a_4^n &= A_x^{(1)} h_1^n \left(c^{n2} + c^n h_1^n + \frac{1}{3} h_1^{n2} \right) + A_x^{(2)} h_2^n \left(c^{n2} + c^n h_2^n + \frac{1}{3} h_2^{n2} \right) + \frac{2}{3} A_x^{(3)} c^{n3} \\
& \quad ; \\
a_5^n &= 2G_{xz}^{(3)} c^n; \quad a_6^n = c^n \left[A_x^{(1)} h_1^n - A_x^{(2)} h_2^n \right]; \\
a_7^n &= A_x^{(1)} h_1^n \left(c^n + \frac{1}{2} h_1^n \right) - A_x^{(2)} h_2^n \left(c^n + \frac{1}{2} h_2^n \right). \quad (13)
\end{aligned}$$

Подставим выражения (12) в уравнения (7). Получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений равновесия упругого трехслойной балки в перемещениях. Для n -го участка, связанного с упругим основанием, эта система имеет вид:

$$\begin{aligned}
a_1^n u^n_{,xx} + a_6^n \psi^n_{,xx} - a_7^n w^n_{,xxx} &= -p^n, \\
a_6^n u^n_{,xx} + a_2^n \psi^n_{,xx} - a_3^n w^n_{,xxx} - a_5^n \psi^n &= 0, \\
a_7^n u^n_{,xxx} + a_3^n \psi^n_{,xxx} - a_4^n w^n_{,xxxx} - \kappa^n w^n &= -q^n. \quad (14)
\end{aligned}$$

Если n -й участок не связан с упругим основанием, то третье уравнение системы (14) будет следующим:

$$a_7^n u^n_{,xxx} + a_3^n \psi^n_{,xxx} - a_4^n w^n_{,xxxx} = -q^n.$$

Определение перемещений на участках. Соотношения для сдвига в заполнителе $\psi^n(x)$, прогиба $w^n(x)$ и продольного перемещения срединной плоскости заполнителя $u^n(x)$ получим, решив соответствующие системы уравнений равновесия. Заметим, что аналитический вид решений зависит от типа упругого основания.

Для n -го участка, связанного с упругим основанием малой или большой жесткости,

$$w^n(x) = C_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_2^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_3^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_4^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + C_5^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_6^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + w_p^n(x);$$

$$\begin{aligned} \psi^n(x) = & C_1^n b_1^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) - C_3^n b_2^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & + C_3^n b_3^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + \\ & C_4^n b_2^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_4^n b_3^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & + C_5^n b_3^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) - C_5^n b_2^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & C_6^n b_3^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & + C_6^n b_2^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_7^n + f_1^n(x); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u^n(x) = & C_1^n b_4^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_4^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) - C_3^n b_5^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & + C_3^n b_6^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + \\ & C_4^n b_5^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_4^n b_6^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & + C_5^n b_6^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) - C_5^n b_5^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & C_6^n b_6^n \operatorname{sh}(\beta_1^n x) \cos(\beta_2^n x) + \\ & C_6^n b_5^n \operatorname{ch}(\beta_1^n x) \sin(\beta_2^n x) + C_7^n \alpha_{12}^n + C_8^n x + C_9^n + f_2^n(x). \end{aligned} \quad (15)$$

Для n -го участка на упругом основании средней жесткости

$$\begin{aligned} w^n(x) = & C_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_2^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_3^n \operatorname{sh}(\lambda_3^n x) + C_4^n \operatorname{ch}(\lambda_3^n x) + \\ & C_5^n \operatorname{sh}(\lambda_5^n x) + C_6^n \operatorname{ch}(\lambda_5^n x) + w_p^n; \\ \psi^n(x) = & C_1^n b_1^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_1^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_3^n b_7^n \operatorname{ch}(\lambda_3^n x) + C_4^n b_7^n \operatorname{sh}(\lambda_3^n x) + \\ & + C_5^n b_8^n \operatorname{ch}(\lambda_5^n x) + C_6^n b_8^n \operatorname{sh}(\lambda_5^n x) + C_7^n + f_1^n(x); \\ u^n(x) = & C_1^n b_4^n \operatorname{ch}(\lambda_1^n x) + C_2^n b_4^n \operatorname{sh}(\lambda_1^n x) + C_3^n b_9^n \operatorname{ch}(\lambda_3^n x) + C_4^n b_9^n \operatorname{sh}(\lambda_3^n x) + \\ & + C_5^n b_{10}^n \operatorname{ch}(\lambda_5^n x) + C_6^n b_{10}^n \operatorname{sh}(\lambda_5^n x) + C_7^n \alpha_{12}^n + C_8^n x + C_9^n + f_2^n(x). \end{aligned} \quad (16)$$

Если n -й участок не связан с упругим основанием, то

$$\begin{aligned}
\psi^n(x) &= C_1^n b_{11}^n + C_2^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) + C_3^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) + g_1^n(x); \\
w^n(x) &= C_1^n (\alpha_{17}^n b_{11}^n x + \alpha_{18}^n x^3 / 6) + C_2^n b_{14}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) + \\
&C_3^n b_{14}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) + C_4^n x^2 / 2 + C_5^n x + C_6^n + g_2^n(x); \\
u^n(x) &= C_1^n (b_{15}^n + b_{16}^n x^2) + C_2^n b_{17}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) + \\
&C_3^n b_{17}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) + C_4^n \alpha_{13}^n x + C_5^n \alpha_{13}^n + \\
&+ C_7^n x + C_8^n + g_3^n(x). \tag{17}
\end{aligned}$$

В выражениях (15)–(17) C_1^n, \dots, C_9^n – константы интегрирования, $w_p^n(x)$ – частное решение, зависящее от вида нагрузки, коэффициенты $b_i^n, \alpha_i^n, \beta_i^n$ выражаются через параметры a_i^n (13), а функции определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
f_1^n(x) &= \alpha_8^n w_p^n,_{xxx} + \alpha_9^n \int w_p^n dx + \alpha_{10}^n \int q^n dx + \alpha_{11}^n p^n; \\
f_2^n(x) &= \alpha_8^n \alpha_{12}^n w_p^n,_{xxx} + \alpha_9^n \alpha_{12}^n \int w_p^n dx + \alpha_{13}^n w_p^n,_{,x} + \\
&\alpha_{10}^n \alpha_{12}^n \int q^n dx + \alpha_{11}^n \alpha_{12}^n p^n + \alpha_{14}^n \int \int f^n dx dx; \\
g_1^n(x) &= b_{12}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) \int \operatorname{ch}(\beta_3^n x) (\int q^n dx) dx - \\
&b_{12}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) \int \operatorname{sh}(\beta_3^n x) (\int q^n dx) dx + \\
&+ b_{13}^n \operatorname{sh}(\beta_3^n x) \int \operatorname{ch}(\beta_3^n x) p dx - b_{13}^n \operatorname{ch}(\beta_3^n x) \int \operatorname{sh}(\beta_3^n x) p dx; \\
g_2^n(x) &= \alpha_{17}^n \int g_1^n dx + \alpha_{18}^n \int \int \int f^n dx dx dx dx + \\
&\alpha_{19}^n \int \int p f dx dx dx; \\
g_3^n(x) &= b_{18}^n g_1^n(x) + b_{19}^n g_2^n(x) + \\
&\alpha_{13}^n \alpha_{18}^n \int \int f^n dx dx dx + b_{20}^n \int \int f^n dx dx.
\end{aligned}$$

Для определения констант интегрирования необходимо учесть граничные условия и условия сопряжения участков друг с другом.

Граничные условия. На левом и правом торцах балки должны выполняться условия для внутренних усилий (8), (9). Выразив усилия через перемещения, согласно (14), получим:

– на левом торце ($x = 0$):

$$(a_1^I u^I,_{,x} + a_6^I \psi^I,_{,x} - a_7^I w^I,_{,xx}) \Big|_{x=0} = N_0 / b_0;$$

$$\begin{aligned}
& (a_7^I u^I,{}_x + a_3^I \psi^I,{}_x - a_4^I w^I,{}_{xx}) \Big|_{x=0} = M_0 / b_0; \\
& (a_7^I u^I,{}_{xx} + a_3^I \psi^I,{}_{xx} - a_4^I w^I,{}_{xxx}) \Big|_{x=0} = Q_0 / b_0; \\
& (a_6^I u^I,{}_x + a_2^I \psi^I,{}_x - a_3^I w^I,{}_{xx}) \Big|_{x=0} = 0;
\end{aligned} \tag{18}$$

– на правом торце ($x = l$):

$$\begin{aligned}
& (a_1^{III} u^{III},{}_x + a_6^{III} \psi^{III},{}_x - a_7^{III} w^{III},{}_{xx}) \Big|_{x=l} = N_l / b_0; \\
& (a_7^{III} u^{III},{}_x + a_3^{III} \psi^{III},{}_x - a_4^{III} w^{III},{}_{xx}) \Big|_{x=l} = M_l / b_0; \\
& (a_7^{III} u^{III},{}_{xx} + a_3^{III} \psi^{III},{}_{xx} - a_4^{III} w^{III},{}_{xxx}) \Big|_{x=l} = Q_l / b_0; \\
& (a_6^{III} u^{III},{}_x + a_2^{III} \psi^{III},{}_x - a_3^{III} w^{III},{}_{xx}) \Big|_{x=l} = 0.
\end{aligned} \tag{19}$$

При наличии жестких диафрагм на торцах последние условия в соотношениях (18), (19) не справедливы. Вместо них необходимо использовать условия равенства нулю углов сдвига (2). Если балка, кроме опирания на упругое основание, жестко или шарнирно закреплена на торцах, вместо граничных условий в усилиях (18), (19) удобнее условия в перемещениях.

Условия сопряжения на границах участков. На границах первого и второго ($x = x_1$) и второго и третьего ($x = x_2$) участков должны выполняться условия равенства перемещений и внутренних усилий с учетом приложенных сосредоточенных внешних сил и моментов.

Принимая во внимание выражения (10), получим следующие условия сопряжения в перемещениях на границе участков *I* и *II* ($x = x_1$):

$$\begin{aligned}
w^I(x_1) &= w^{II}(x_1); \quad u^I(x_1) = u^{II}(x_1); \quad \psi^I(x_1) = \psi^{II}(x_1); \\
w^I,{}_x(x_1) &= w^{II},{}_x(x_1); \\
& (a_1^I u^I,{}_x + a_6^I \psi^I,{}_x - a_7^I w^I,{}_{xx} - a_1^{II} u^{II},{}_x - \\
& \quad a_6^{II} \psi^{II},{}_x + a_7^{II} w^{II},{}_{xx}) \Big|_{x=x_1} = N_1 / b_0; \\
& (a_7^I u^I,{}_x + a_3^I \psi^I,{}_x - a_4^I w^I,{}_{xx} - a_7^{II} u^{II},{}_x - \\
& \quad a_3^{II} \psi^{II},{}_x + a_4^{II} w^{II},{}_{xx}) \Big|_{x=x_1} = M_1 / b_0; \\
& (a_7^I u^I,{}_{xx} + a_3^I \psi^I,{}_{xx} - a_4^I w^I,{}_{xxx} - a_7^{II} u^{II},{}_{xx} - \\
& \quad a_3^{II} \psi^{II},{}_{xx} + a_4^{II} w^{II},{}_{xxx}) \Big|_{x=x_1} = Q_1 / b_0;
\end{aligned}$$

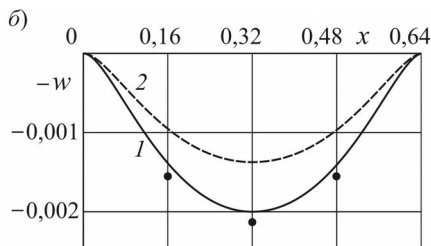
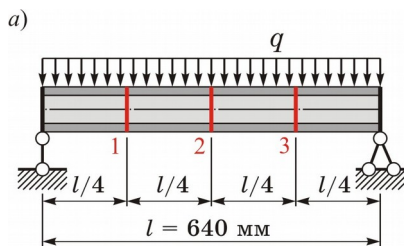
$$\left(a_6^I u^I, x + a_2^I \psi^I, x - a_3^I w^I, xx - a_6^II u^II, x - a_2^II \psi^II, x + a_3^II w^II, xx \right) \Big|_{x=x_1} = 0. \quad (20)$$

На границе участков II и III ($x = x_2$) следует использовать условия, аналогичные (20), заменив индекс I на II, II на III, а координату x_1 на x_2 .

Граничные условия на торцах и условия сопряжения на границах участков позволяют составить систему 24 линейных алгебраических уравнений для определения констант интегрирования.

Теоретическое и экспериментальное определение перемещений балки на двух опорах. Эксперимент был проведен в лаборатории при кафедре «Строительная механика» УО «БелГУТ». Испытывалась трехслойная балка прямоугольного поперечного сечения с жесткими диафрагмами на торцах, несущие слои которой выполнены из семислойной березовой фанеры с модулями упругости $E_1 = 6000$ МПа, $G_1 = 750$ МПа, наполнитель – из пенополистирола, для которого $E_2 = 15$ МПа, $G_2 = 5,14$ МПа. Геометрические размеры балки следующие: длина (пролет) $l = 640$ мм, ширина $b_0 = 60$ мм, высота сечения $h = 66$ мм, толщины слоев $h_1 = h_2 = 7$ мм, $h_3 = 50$ мм.

На рисунке 2 изображены прогибы трехслойной балки длиной $l = 0,64$ м под действием распределенной по всей длине нагрузки, приложенной к балке с помощью 13 грузов по 5 кг.



в)

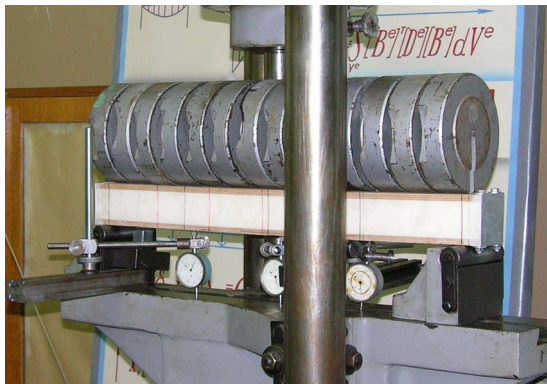
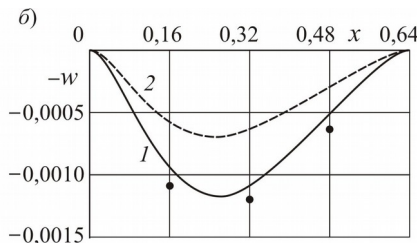
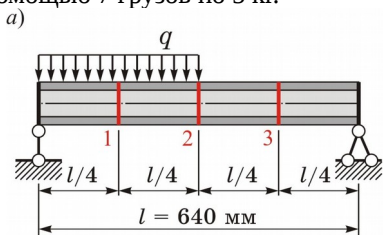


Рисунок 2 – а – расчетная схема балки; б – графики прогибов (1 – по методике авторов работы, 2 – по методике В. Н. Кобелева с соавторами, ● – по данным эксперимента авторов работы); в – фотография эксперимента

Наибольший прогиб w_{\max} в точке 2 (посередине пролета) при нагрузке, равномерно распределенной по всей длине балки, составил: по первой методике (авторов работы) – 2,0 мм; по второй методике (В. Н. Кобелева с соавторами) – 1,4 мм; по результатам эксперимента, проведенного авторами работы, – 2,1 мм.

Прогибы w_{\max} в точке 1 (возле левой опоры) и 3 (возле правой опоры) составили: по первой методике – 1,4 мм; по второй методике – 0,95 мм, по результатам эксперимента – 1,5 мм.

На рисунке 3 изображены прогибы трехслойной балки длиной $l = 0,64$ м под действием локальной распределенной нагрузки приложенной к балке с помощью 7 грузов по 5 кг.



в)

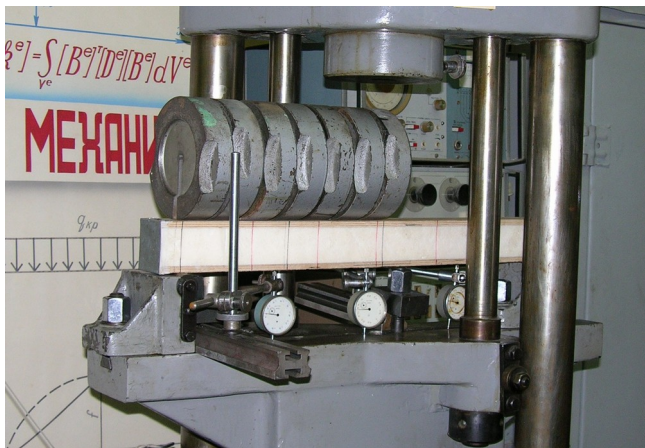


Рисунок 3 – а – расчетная схема балки; б – графики прогибов (1 – по методике авторов работы, 2 – по методике В. Н. Кобелева с соавторами, ● – по данным эксперимента авторов работы); в – фотография эксперимента

Наибольший прогиб w_{\max} в точке 2 при локальной распределенной нагрузке составил: по первой методике (авторов работы) – 1,1 мм; по второй методике (В. Н. Кобелева с соавторами) – 0,64 мм; по результатам эксперимента, проведенного авторами работы, – 1,17 мм.

Прогибы w_{\max} в точке один составили: по первой методике – 0,98 мм; по второй методике – 0,58 мм, по результатам эксперимента – 1,04 мм.

Прогибы w_{\max} в точке три составили: по первой методике – 0,52 мм; по второй методике – 0,31 мм, по результатам эксперимента – 0,57 мм.

Числовые значения прогибов, полученных по методике авторов работы, лучше согласуются с данными проведенного испытания балки, чем результаты, рассчитанные по методике В. Н. Кобелева. Погрешность по первой методике составляет не более 8 %, по второй – 45 %. Также экспериментально установлено, что при разгрузке балки сохраняются остаточные прогибы, которые исчезают через некоторое время.

Теоретическое и экспериментальное определение перемещений балки частично опертой на упругое основание. При численной реализации решений интенсивность распределенной нагрузки модули упругости материалов и толщины слоев в трехслойном пакете фанера – пенополистирол – фанера принимались такими же, что и в проведенном эксперименте.

На рисунке 4 изображены прогибы трехслойной балки длиной $l = 0,64$ м частично опертой на упругое основание, под действием нагрузки,

равномерно распределенной по всей длине приложенной к балке с помощью 13 грузов по 5 кг.

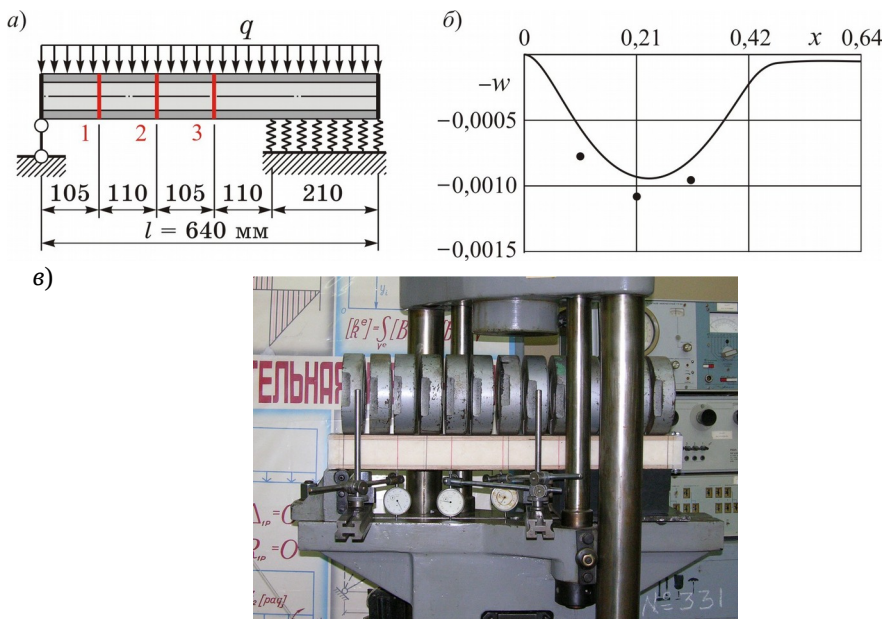


Рисунок 4 – а – расчетная схема балки; б – графики прогибов (по методике авторов работы, ● – по данным эксперимента авторов работы); в – фотография эксперимента

Теоретически были определены прогибы балки частично опертой на упругое основание под действием нагрузки, распределенной по всей длине.

Наибольший прогиб w_{\max} в точке 2 при нагрузке, равномерно распределенной по всей длине балки, составил: по методике (авторов работы) – 0,93 мм; по результатам эксперимента, проведенного авторами работы, – 1,15 мм. Прогибы w_{\max} в точке 1 составили: по методике (авторов работы) – 0,6 мм; по результатам эксперимента – 0,74 мм. Прогибы w_{\max} в точке 3 составили: по методике (авторов работы) – 0,78 мм; по результатам эксперимента – 0,96 мм. Погрешность составляет не более 19 %.

На рисунке 5 изображены прогибы трехслойной балки длиной $l = 0,64$ м частично опертой на упругое основание, под действием нагрузки, локально распределенной на участке без основания длиной 430 мм приложенной к балке с помощью 8 грузов по 5 кг.

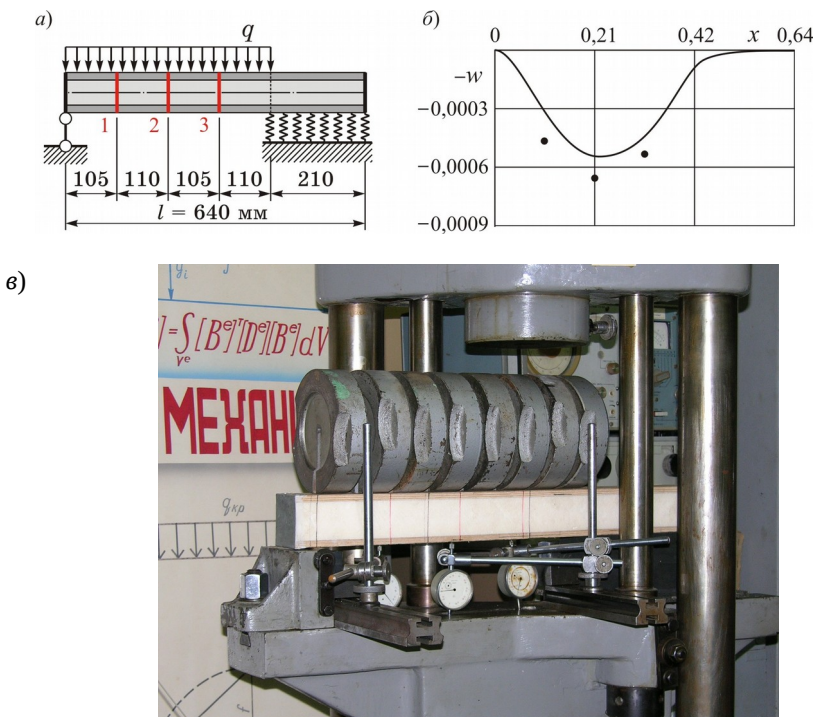


Рисунок 5 – а – расчетная схема балки; б – графики прогибов (по методике авторов работы, ● – по данным эксперимента авторов работы); в – фотография эксперимента

Теоретически были определены прогибы балки частично опертой на упругое основание под действием нагрузки, локально распределенной на участке без основания длиной 430 мм.

Наибольший прогиб w_{\max} в точке 2 при нагрузке, локально распределенной на участке без основания, составил: по методике (авторов работы) – 0,55 мм; по результатам эксперимента, проведенного авторами работы, – 0,69 мм. Прогибы w_{\max} в точке 1 составили: по методике (авторов работы) – 0,35 мм; по результатам эксперимента – 0,46 мм. Прогибы w_{\max} в точке 3 составили: по методике (авторов работы) – 0,44 мм; по результатам эксперимента – 0,57 мм. Погрешность составляет не более 24 %.

Выводы. Числовые значения прогибов, полученных теоретически, достаточно хорошо согласуются с данными проведенного испытания, что подтверждает точность и достоверность предложенной методики расчета неоднородных панелей при неполном контакте с упругим основанием. Однако некоторые расхождения результатов показывают на необходимость

проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований, направленных на уточнение расчетных зависимостей для перемещений и напряжений в трехслойных конструкциях, так как во многих случаях они являются элементами сложных и ответственных сооружений. Авторами была составлена математическая модель плит СРДП, просчитаны максимальные нагрузки и условия опирания на упругое основание. Для проведения эксперимента изготовлен макет трехслойной балки и зарегистрирован как рационализаторское предложение [11]. По результатам проектирования и эксперимента предложена новая конструкция сборно-разборного дорожного настила (СРДН) из трехслойных плит, был получен патент [12]. Наружные листы плит выполнены из строительного стеклопластика, наполнитель – из достаточно легкого полимерного материала, который армирован ребрами для повышения местной устойчивости. К верхнему несущему листу плиты приклеены ребра противоскольжения.

По сравнению с конструкциями из древесины новая плита менее подвержена вредному воздействию окружающей среды, не требует дополнительного обслуживания (зачистки, пропитки, покраски). Новая плита может быть использована для устройства проезжей части колеевого или сплошного типа, ремонтных площадок, в качестве скоростной подготовки автомобильных дорог, для преодоления переувлажненной и заболоченной местности и участков сыпучих песков, для перекрытия нешироких канав, траншей и воронок, устройства автомобильного настила на железнодорожных мостах, организации временных вертолетных площадок, покрытий для мобильных погрузо-выгрузочных рамп и т.д.

Список литературы

- 1 **Старовойтов, Э. И.** Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 344 с.
- 2 **Старовойтов, Э. И.** Локальные и импульсные нагружения трехслойных элементов конструкций / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 367 с.
- 3 **Старовойтов, Э. И.** Напряженно-деформированное состояние прямоугольной трехслойной пластины при цилиндрическом изгибе на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Е. П. Доровская, С. А. Старовойтов // Вестник гражданских инженеров. – 2007. – № 4 (13). – С. 17–25.
- 4 **Андреев, А. Н.** Многослойные анизотропные оболочки и пластины: Изгиб, устойчивость, колебания / А. Н. Андреев, Ю. В. Немировский. – Новосибирск : Наука, 2001. – 288 с.
- 5 **Яровая, А. В.** Теоретическое и экспериментальное исследование прогибов упругой шарнирно опертой трехслойной балки / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Вестник Белорусского государственного университета транспорта : Наука и транспорт. – 2012. – № 2 (25). – С. 97–102.

6 **Плескачевский, Ю. М.** Деформирование металлополимерных систем / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – Минск : Бел. наука, 2004. – 386 с.

7 **Старовойтов, Э. И.** Деформирование трехслойных элементов конструкций на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : Физматлит, 2006. – 379 с.

8 **Старовойтов, Э. И.** Изгиб трехслойного стержня со сжимаемым наполнителем на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 2007. – Т. 12, № 1. – С. 19–22.

9 **Старовойтов, Э. И.** Упругопластический изгиб трехслойного стержня на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // *Прикладная механика.* – 2007. – Т. 43, № 4. – С. 110–120.

10 **Старовойтов, Э. И.** Упругопластическое деформирование трехслойного стержня на упругом основании / Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая // *Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах.* – 2007. – № 2 (28), Т. 13. – 109–122.

11 Макет трехслойной балки фанера – полистирол – фанера: удостоверение № 117 на рационализаторское предложение / А. А. Поддубный, А. В. Яровая; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп.; зарегистр. 20.11.2015.

12 Сборно-разборный дорожный настил: пат. 19687 Респ. Беларусь, МПК: Е 01С 9/08 (2006.01) / А. В. Яровая, А. А. Поддубный; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а 20121168; заявл. 07.08.2012; // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.* – 2015. – № 6 (107). – С. 66.

УДК 642.074.4.042.7

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБРАЗЦЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ИМУЩЕСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОСТОВ НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ. ПУТИ РАЗВИТИЯ

К. А. БЫСТРОВ

*Главное управление начальника Железнодорожных войск,
г. Москва, Российская Федерация*

Важность поддержания железнодорожных магистралей в работоспособном состоянии, обеспечивающем бесперебойное движение железнодорожного подвижного состава, передислокацию войск и подвоз материальных средств остается актуальной уже на протяжении многих лет.

Необходимость совершенствования техники и конструкций для восстановления искусственных сооружений, на основании перспективных исследований и разработок в области науки и военных технологий выходит

на совершенно новый модернизированный уровень, разрабатываемые образцы становятся вооружением нового поколения.

Это вытекает из простой жизненной истины – система вооружения и военной техники Вооруженных Сил государства, желающего осуществлять в современном мире самостоятельное развитие и отстаивать свои национальные интересы, не может базироваться на разработках прошлого века. Она должна развиваться в ногу со временем и соответствовать современному уровню научно-технического прогресса.

Специальная техника Железнодорожных войск – это отдельная номенклатура в общей системе вооружения и военной техники Министерства обороны Российской Федерации, предназначенная для применения в процессе выполнения Железнодорожными войсками задач согласно штатному предназначению и обеспечивающая выполнение специализированных видов работ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Образцы специальной техники для восстановления мостов

К специализированным видам работ относятся, в том числе, и восстановление и строительство искусственных сооружений на железных дорогах.

В свою очередь, специальная техника для восстановления мостов разделяется на следующие виды: средства расчистки завалов; сваебойные

агрегаты (установки); монтажные плашкоуты; парки наплавных железнодорожных мостов с комплектом специальной техники; комплекты мостовых железнодорожных эстакад; комплекты мостового имущества (опоры, пролетные строения); мостовые конструкции, возводимые из местных материалов и заводского изготовления; средства установки пролетных строений; водолазное оборудование и инструмент для работы под водой, плавсредства, средства для перевозки конструкций мостов и др.

В настоящее время укомплектованность мостовой техникой позволяет мостовым частям Железнодорожных войск выполнять задачи согласно штатному предназначению. Это можно подтвердить на примерах успешного участия в проводимых ежегодно масштабных учениях.

В то же время, учитывая то, что стоящие на вооружение Железнодорожных войск из представленных на слайде образцов приняты на снабжение в прошлом веке с последующей их модернизацией, давно возникла необходимость создания перспективных образцов специальной техники и конструкций для восстановления и строительства военных мостов.

В Железнодорожных войсках ВС РФ с 2005 года намечена тенденция совершенствования и модернизации техники и имущества, в том числе для восстановления мостов на железных дорогах.

В 2005 г. после проведения ряда серьезных испытаний принят на снабжение наплавной унифицированный железнодорожный мост-лента МЛЖ-ВФ-ВТ, который, наряду с модернизированным комплектом наплавного железнодорожного моста НЖМ-56, дал движение цепочке развития наплавных железнодорожных мостов для перекрытия широких водных преград.

Мост-лента МЛЖ-ВФ-ВТ серийно изготавливается предприятиями промышленности и поставляется в отдельные понтонно-мостовые железнодорожные батальоны, с 2015 года в указанном комплекте глобально модернизированы используемые для сборки и наведения технические средства (рисунок 2).

В 2013 году разработан и принят на снабжение мост-эстакада железнодорожный ИМЖ-500, который, наряду с эстакадой РЭМ-500, обеспечил мостовые части и подразделение, мобильным, унифицированным, обладающим широким спектром использования и повышенной грузоподъемностью, быстро возводимым, технологически безопасным мостовым имуществом для перекрытия малых водотоков, брешей и др. (рисунок 3).

На замену ряда копровых агрегатов и установок с 2015 года в копровые подразделения поставляется универсальный сваебойный агрегат УСА-2. Он предназначен для забивки свай массой до 5 т, а также выполнения монтажных и погрузо-разгрузочных работ. Он способен перемещаться в

пределах строительной площадки с навешенным копровым оборудованием и дизель-молотом. На агрегат возможна навеска бурового оборудования, гидрокабестана для завинчивания свай, вибропогрузателя и люльки для работ на высоте. Агрегат самостоятельно выдвигается на объект работ, перевоза навесное оборудование на штатном прицепе. Работы способен выполнять как на суше, на уресе воды, так и на воде с плашкоута.



Рисунок 2 – Современные технические средства для наведения моста-ленты МЛЖ-ВФ-ВТ

Рисунок 3 – Мост-эстакада железнодорожный ИМЖ-500

Разработаны тележки универсального комбинированного хода, которые не предполагают какого-либо вмешательства в конструкцию пневмоколесного транспортного средства. Они обеспечивают размещение и движение пневмоколесной техники по железнодорожному пути. Применение универсального комбинированного хода в Железнодорожных войсках представляет интерес с точки зрения использования транспортных средств в качестве локомотивов для маневровой работы; в качестве буксира сборно-разборных кранов на железнодорожном ходу; для размещения грузоподъемных кранов и их использования в качестве альтернативы железнодорожным кранам; для размещения пневмоколесных экскаваторов и обеспечения выполнения ими земляных работ с железнодорожного пути (рисунок 4).



Рисунок 4 – Тележки универсального комбинированного хода

В целях увеличения темпов наведения наплавных железнодорожных мостов и обеспечения работ на воде в интересах ЖДВ разработан плавающий самоходный понтон (толкач) ПСТ-1.

Он оснащен современным дизелем, днищевой системой охлаждения, уменьшенной осадкой и другими преимуществами по сравнению с существующими толкачами. Оборудован современными устройствами управления, навигации и системами безопасного судовождения.

Кроме того, ведутся разработки по созданию технических средств и технологий по эффективной расчистке завалов как на суше, так и на воде (рисунок 5).

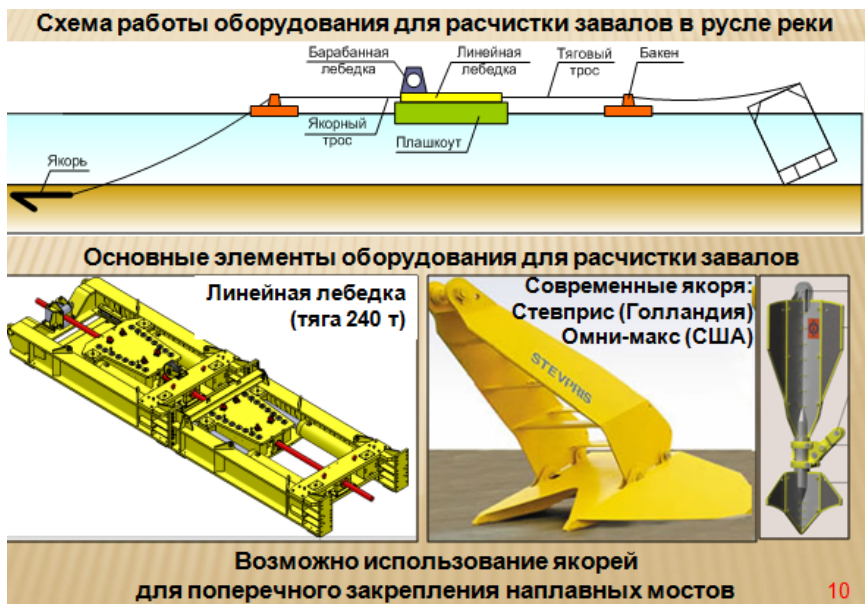


Рисунок 5 – Комплект оборудования для расчистки завалов

В целях замены выполняемых задач копрами ПКК-2х1250 и МСК-2х1250 ведутся разработки по созданию технологий по выполнению комплекса свайных работ на воде (рисунок 6).

Дальнейшее увеличение производительности свайных работ возможно за счет применения технологии бескопровой погружения свай. При бескопровой забивке применяются грузоподъемный кран, подвешенное на его крюк погружающее устройство (молот или вибропогружатель) и направляющий каркас-кондуктор (рисунок 7).

Прорабатываются технологии по погружению деревянных свай и металлических труб вибропогружателями (рисунок 8).

Уменьшение времени сооружения фундаментов возможно при использовании винтовых свай. Винтовые сваи обладают в 2–4 раза большей несущей способностью по грунту в сравнении с забивными сваями при одинаковом времени погружения, поэтому в фундаменте будет меньше свай и время его сооружения будет меньше. Уменьшение количества свай

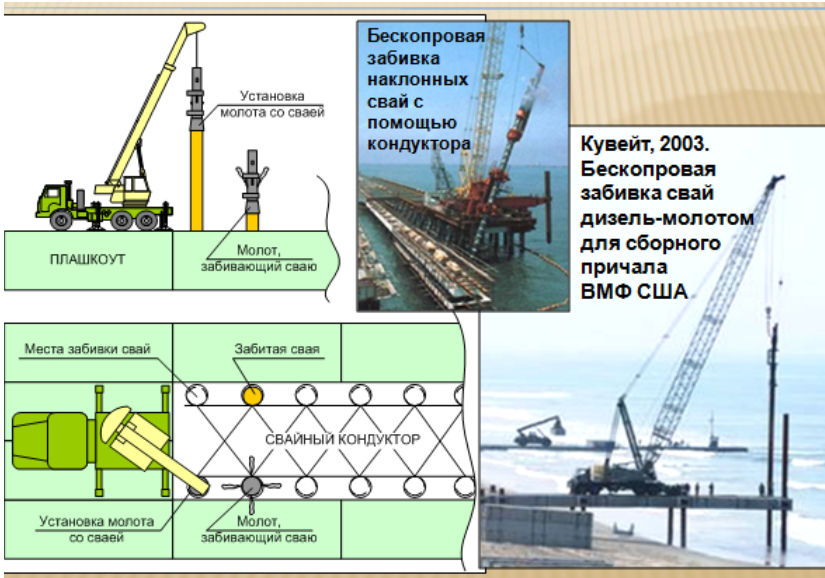


Рисунок 7 – Бескопровая забивка свай



Рисунок 8 – Погружение свай вибропогружателями

В настоящее время выполняется работа по созданию установки для завинчивания свай УЗС-85 на базе автомобильного крана грузоподъемностью 16 т (рисунок 9).

Установка пролетных строений военных железнодорожных мостов, в том числе эстакад, выполняется посредством сборно-разборного консольного крана грузоподъемностью до 70 т.

В 2013 году была обоснована и эскизно проработана конструкция консольно-шлюзового крана грузоподъемностью 80 т с бесчелночной технологией монтажа пролетных строений типа СРП и эстакад за счет шлюзования (пропуска) пролетных строений через кран. Конструктивное решение этого крана позволит уменьшить время его сборки и увеличить темп установки пролетных строений ориентировочно в 1,5 раза (рисунок 10).

В ЖДВ ведутся работы по созданию перспективных образцов инвентарного имущества:

– мобильного плашкоута для выполнения строительно-монтажных работ на воде (рисунок 11);

– комплекта универсальных мостовых конструкций для восстановления железнодорожных мостов (рисунок 12).

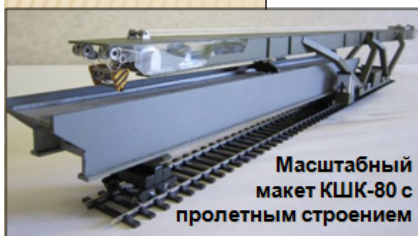


Рисунок 9 – Использование машин с гидроприводом для завинчивания свай



Консольный кран СРК-70

Консольно-шлюзовой кран КШК-80



Масштабный макет КШК-80 с пролетным строением

Шлюзование пролетного строения
сквозь кран

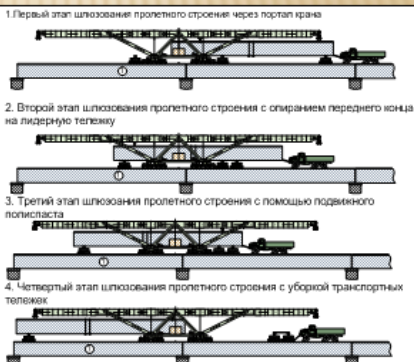


Рисунок 10 – Консольно-шлюзовой кран

Назначение: размещение технических средств, оборудования, материалов и конструкций для выполнения строительно-монтажных работ на воде при сооружении военных железнодорожных мостов

Размещение копрового оборудования

Размещение кранового оборудования

Размещение оборудования для расчистки завалов

Бескрановый монтаж пролетных строений

Бескрановый монтаж надстроек

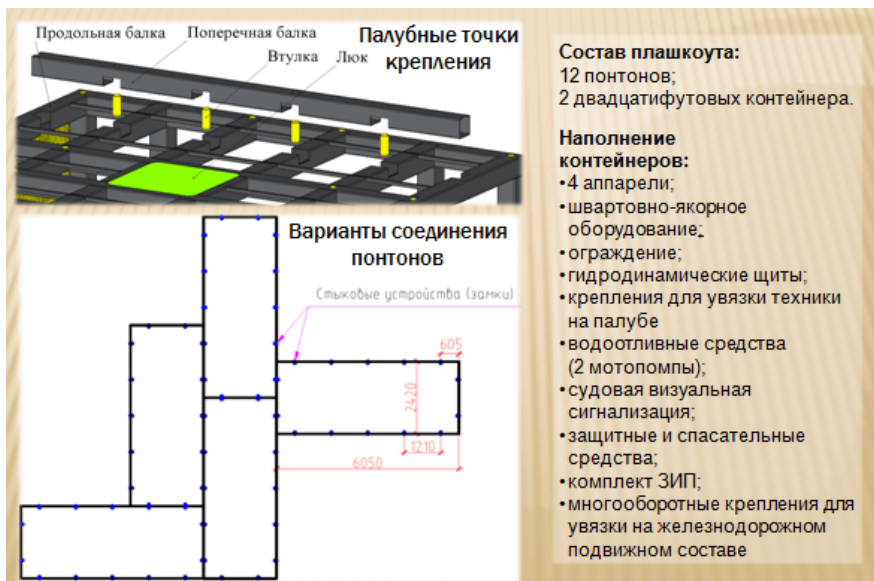


Рисунок 11 – Мобильный палубоут для выполнения строительно-монтажных работ на воде

Предназначение – восстановление железнодорожных мостов на старой оси и на обходе.

Область применения – железнодорожные мосты через судоходные каналы и неширокие водные преграды.



Рисунок 12 – Комплект универсальных мостовых конструкций

Мобильный плашкоут будет создан взамен плашкоута ПМ-70. Он предназначен для размещения технических средств, оборудования, материалов и конструкций для выполнения строительно-монтажных работ на воде при сооружении военных железнодорожных мостов.

Перспективный плашкоут будет обладать следующими основными преимуществами по сравнению с устаревшим аналогом:

- увеличенная транспортабельность, т. к. его размеры в плане соответствуют размерам двадцатифутового контейнера, установлены стандартные контейнерные фитинги и замки не выступают за борт понтона.

- увеличенное число схем сборки плашкоута за счет возможности соединения понтонов бортами и транцами в любых сочетаниях;

- возможность закрепления существующего и перспективного оборудования за универсальные точки крепления, равномерно распределенные на палубе понтонов.

В комплект будет входить оборудование, оснастка, инструменты и приспособления для удобства и безопасной эксплуатации плашкоута.

Комплект универсальных мостовых конструкций должен заменить пролетные строения типа СРП и СРП-НС, надстройки опор УЖВ-ЛТМП и фундаменты из местных материалов. Предназначение – восстановление железнодорожных мостов на старой оси и на обходе. Область применения – железнодорожные мосты через судоходные каналы и неширокие водные преграды.

Состав комплекта: пролетные строения СРП-33, 6НС-2007; модернизированные инвентарные надстройки опор; кондукторы-ростверки для бескопровой забивки свай.

Еще одной разработкой является проект технического задания на ОКР по созданию перспективного понтонного парка наплавного железнодорожного моста (рисунок 13).

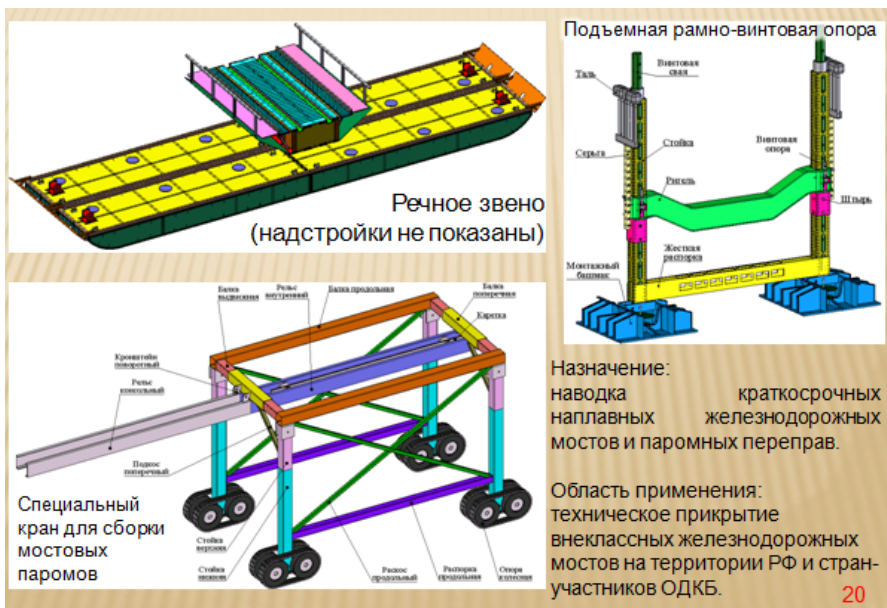


Рисунок 13 – Перспективный понтонный парк наплавного железнодорожного моста

Понимая то, что наплавные железнодорожные мосты являются наиболее эффективным средством восстановления мостовых переходов за счет высокого темпа наведения, значительного сокращения погружения свай, возможности использования в качестве паромной переправы и других преимуществ. При обосновании тактико-технических требований к нему закладываются параметры, улучшающие характеристики существующих НЖМ-56 и МЛЖ-ВФ-ВТ.

Специальная техника для восстановления и строительства военных мостов постоянно совершенствуется с целью обеспечения требуемых производственных возможностей мостовых частей Железнодорожных войск в современных условиях.

УДК 539.3

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА НА МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ

С. И. НОВИКОВ

*Департамент транспортного обеспечения Министерства обороны
Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь*

Среди проблем обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь важное место занимает общегосударственная проблема оборонной подготовки транспорта к работе в военное время. Это вызвано оптимизацией состава Вооруженных Сил Республики Беларусь и потребностью выполнения большого объема перевозок при оперативном развертывании Вооруженных Сил. С началом войны и в ходе ее ведения объем воинских железнодорожных перевозок может возрасти в 5–6 раз, а перевозки войск – в 8–10 раз.

Противник будет препятствовать использованию железных дорог, о чем свидетельствуют новые концепции «глубокой изоляции района боевых действий» и «ударной (огневой) операции». Согласно последней, цели войны могут быть достигнуты без вторжения наземных группировок. Сдерживание достигается за счет «узких» мест на путях движения войск. Эффективным считается разрушение мостов, узлов коммуникаций, создание зон затоплений, а также дезорганизация управления силами и средствами, участвующими в техническом прикрытии и восстановлении коммуникаций. Это подтверждают опыт учений ОВС НАТО, ведение боевых действий во Вьетнаме, Корее, в Персидском заливе и Югославии. Во Вьетнаме США, используя свою авиацию и корабельную артиллерию, добились прекращения работы единственной железнодорожной линии, связывающей тыл с районом боевых действий. В результате выхода из строя транспортных коммуникаций Ирака была нарушена система тылового обеспечения в целом, что привело к упадку боевого духа войск и их преждевременному отходу с занимаемых позиций.

Все задачи по борьбе со вторыми эшелонами (резервами) распределены по 5 категориям, каждой из которых соответствуют цели (объекты) и степень предполагаемого воздействия. Железнодорожные объекты могут целенаправленно поражаться при выполнении 4-й и 5-й категорий задач.

Согласно военной стратегии США в начале века исход войн, если они будут развязаны, будет решаться в воздушных, наземных и морских операциях с применением обычных средств поражения. Основная задача ядерных сил НАТО будет состоять в ядерном устрашении, о чем свидетельствуют заявления Великобритании и Франции.

Европейские страны – члены НАТО выступают против ядерного оружия на ранних стадиях конфликта, категорически возражают даже против обсуждения сценариев «гибкого» обмена ядерными ударами. В исключительных случаях допускается применение тактического ядерного оружия первыми. Внезапный массированный ядерный удар маловероятен, угроза применения ядерных боеприпасов в перспективе минимальная. Вероятность применения ядерного

оружия в руководящих документах не выявлена, для расчетов можно рекомендовать значение вероятности равное 0,2–0,3.

Современные средства разрушения мостов.

Анализ текущих и долгосрочных программ развития вооруженных сил НАТО показывает, что совершенствованию и созданию новых систем высокоточного оружия (далее – ВТО) вероятный противник придает приоритетное значение. По мнению военно-политического руководства блока НАТО: «ВТО – тот решающий фактор, который все более будет влиять на развитие теории и практики военного дела». На вооружение армий стран НАТО поступает ВТО второго поколения: перенацеливаемые и самонацеливающиеся в полете крылатые ракеты, крылатые ракеты увеличенной дальности полета (до 4400 км), управляемые авиационные ракеты «воздух-земля» большой (до 800 км) дальности, новые баллистические ракеты, ударные беспилотные летательные аппараты, управляемые авиабомбы с дальностью планирования до 60, а в перспективе и до 80 км и т.д. Точность доставки боеприпасов к цели (далее – КВО) достигает 3–5 м, а в перспективе составит 2–3 м. Боевые возможности авиации возрастут примерно в 3 раза. До 80 % тактической авиации НАТО будут способны поражать наземные цели, не входя в зону поражения систем ПВО. Расход высокоточных боеприпасов на поражение цели сокращается в десятки раз. Возросшую эффективность тактической авиации показывают сравнительные результаты применения авиационного оружия, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные результаты применения авиационного оружия

Результаты применения	Вторая мировая война	Война во Вьетнаме	Война в Персидском заливе
Тип самолета	B-17	F-105	F-117A
Число вылетов для уничтожения цели, ед.	4500	95	1
Количество бомб для уничтожения цели, шт.	9000	190	1
Величина кругового вероятного отклонения (КВО), м	3000	300	3

Принципиально новой формой военных действий в начале войны вероятным противником рассматривается первый массированный удар ВТО и авиации. При этом эффективность удара, наносимого ночью, будет не меньше, чем дневного. Ход боевых действий в Ираке, Югославии подтвердил возросшую вероятность нанесения внезапного первого и многочисленных последующих массированных ракетных, воздушно-

космических и радиоэлектронных ударов в сочетании с ударами военно-морских и диверсионных сил, и достижения целей войны без вторжения наземных группировок на территории противника.

Имея возможность внезапно начать военные действия, агрессор будет стремиться к срыву планомерного стратегического развертывания вооруженных сил противника и выдвижения его группировок войск (сил) на театр военных действий. Для этой цели планируется использовать 20–30 % вылетов тактической авиации (далее – ТА), воздушные десанты, аэромобильные войска, забрасывать разведывательно-диверсионные группы.

Десантно-диверсионные силы (далее – ДДС) будут стремиться наиболее активно использовать результаты огневых ударов, срывать передвижения и перевозки войск и грузов, разрушать важнейшие объекты коммуникаций. В полосе фронта ими может быть разрушено до 50 % важнейших объектов коммуникаций.

Оценка сил и средств вооруженной борьбы, способов их применения свидетельствует об окончательном стирании грани между фронтом и тылом, что необходимо учитывать при планировании технического прикрытия и восстановления железных дорог страны.

От вероятного характера воздействия на транспортные коммуникации существенно зависят тактика их восстановления, а также конструктивные и технологические решения на восстановление объектов.

Хорошо изучены вопросы прогнозирования воздействия в ходе ядерной войны. Имеются модели поражения точечных и линейных объектов с расчетом математического ожидания ущерба. Значительно меньше исследований выполнено по прогнозированию воздействия обычными средствами поражения и особенно системами ВТО.

Современные возможности противника по вскрытию тыловых объектов фронта, включая большие мосты, составляют в течение первых суток – 0,65–0,85; в последующие 1–2 суток – 0,9–1,0. Вероятность поражения, в основном, определяется возможностями систем ПВО и РЭБ, а также выполнением других мероприятий по повышению живучести. Мост может быть повторно разрушен уже в ходе его восстановления.

Таким образом, в настоящее время вероятный характер воздействия на транспортные объекты базируется на расчете числа носителей и боеприпасов вероятного противника. При этом не учитывается тактика средств разведки и поражения транспортных коммуникаций. Для реализации модели необходим большой объем специальной информации о противнике, которую он постарается скрыть и исказить. Кроме того, велик разброс выделяемого ресурса на тыловые объекты и транспортные коммуникации (25–50 %). Принимая решения на поражение объектов за противника, не учитывают его особые взгляды и информированность.

Поэтому получаемые расчетные характеристики воздействия могут существенно отличаться от действительности. Ее использование допустимо при получении математического ожидания объемов железной сети ядерными боеприпасами, число которых невелико, но нерационально при исследовании многократного воздействия на отдельный объект или группу объектов высокоточными боеприпасами. Необходимо уточнить вероятный характер воздействия противника на железнодорожные мостовые переходы.

Ударам с воздуха будут подвергаться крупные узлы коммуникаций с целью разделения железнодорожных направлений на ряд изолированных участков и создания скоплений (пробок) воинских эшелонов, особенно на барьерных рубежах, с последующим нанесением по ним сосредоточенных ударов авиацией, КР и управляемыми ракетами. Поэтому, при перевозке войск по железным дорогам, возникает потребность в надежном прикрытии от ударов с воздуха в первую очередь крупных железнодорожных узлов, тоннелей, мостов и паромных переправ, ВПП и пунктов управления средствами ПВО и РЭБ.

Однако, за редким исключением, планами не предусматривается выделение дополнительных систем ПВО и РЭБ накрытие железнодорожных объектов. Их применение возможно только на период перевозки по железнодорожному участку крупного соединения (объединения), затем они снимаются, и противник может с высокой надежностью выводить из строя важнейшие мостовые переходы и узлы. Забыт опыт ВОВ, когда накрытие крупных мостов и узлов выделялись дополнительные силы ПВО.

Выполненный анализ реальных планов технического прикрытия железнодорожных объектов, материалов учений свидетельствует о том, что при планировании не учитываются возросшие возможности современных средств разведки и поражения. Мероприятия по повышению живучести в требуемом объеме не предусматриваются, способы восстановления прерванного движения поездов принимаются без учета устойчивости работы мостовых переходов и других железнодорожных объектов в условиях повторных ударов противника, планирование ведется из расчета ядерного поражения. Имеет место ошибочная точка зрения, что план действий сил технического прикрытия и восстановления, разработанный для условий ядерного поражения объектов, может быть с успехом применен при воздействии на объекты высокоточным оружием.

Анализ тактики авиации показывает, что высокоточным оружием целесообразно поражение только входных и выходных горловин станций, путепроводов и эстакад в их границах, а поражение обычными авиабомбами путей рационально в случае нахождения на них воинских эшелонов. Восстановление возможно по оси и на ближнем обходе, что позволяет отказаться от дальних обходов узлов длиной 5–8 км с большими

сосредоточенными объектами работ. При этом максимальный срок перерывов сквозного движения поездов через станции не превысит одних суток. Применение обычных средств поражения по сравнению с ядерными боеприпасами, значительно снижает эффективность ударов по железнодорожным узлам и станциям, а значит, и вероятность нападения на них.

Существенно возросла уязвимость таких контрастных объектов как мостовые переходы: достаточно 1–2 управляемых боеприпасов и может быть обрушено 2–4 пролетных строения. Срок восстановления движения поездов по старой оси в этом случае составит не менее 2–3 суток, а на обходе, даже при наводке наплавного моста, не менее 1–1,5 суток.

По расчетам специалистов для вывода из строя понтонной переправы с гарантийной вероятностью 0,8 требуется 3–4 управляемые авиабомбы калибра 500 кг или 1–2 калибра 1500 кг. В среднем для надежного поражения моста с гарантийной вероятностью 0,9 в условиях сильной ПВО объекта, потребуется 2–3 крылатые ракеты с обычным зарядом. Поэтому в перечнях задач боевого воздействия ВС стран НАТО мосты и тоннели относятся к наиболее важным объектам поражения на транспортных коммуникациях и подлежат разведке и уничтожению в первую очередь.

По опыту боевых действий в Ираке из 161 объекта тыла, подверженных ударам многочисленных сил, что составило 44 % всех пораженных в ходе войны объектов, 52 (30 %) были большие железнодорожные и автодорожные мосты. В ряде исследований отмечается, что с началом войны будут поражены 100 % больших и внеклассных мостов, до 30–50 % слухных средних мостов.

Снижение расхода боеприпасов на поражение мостовых переходов в 50–100 раз существенно повышает возможности противника по целенаправленным ударам по мостам и переправам, что приведет к росту объемов мостовых восстановительных работ по сравнению с условиями применения ядерных боеприпасов. Регулярные повторные разрушения восстанавливаемых мостовых переходов могут практически исключить их эксплуатацию, а значит, и железнодорожных направлений, на которых они находятся. Эксплуатация последних, может быть, будет возможна только по изолированным участкам.

В годы Великой Отечественной войны основной задачей было восстановление моста, открытие движения поездов по нему и передача эксплуатационным органам. Это было оправдано в силу относительно небольшого объема повторных разрушений, с которыми могли справиться эксплуатационные органы.

За время ВОВ на территории СССР повторно были разрушены 170 мостов, что составляет только 7 % от общего их числа. Например, при восстановлении железнодорожного моста через реку Северский Донец у г. Каменска авиация противника не делала попыток мешать восстановительным работам,

ограничиваясь действиями разведывательной авиации. В день окончания восстановительных работ и открытия движения мост подвергся налету 18 самолетов противника, сбросивших на мост 160 бомб. Взрывами мост был частично разрушен и движение было восстановлено только через 12 суток.

С появлением ядерного оружия основным способом восстановления барьерных объектов стало строительство дальних обходов. В работах Ф. Ф. Гусарова, П. П. Нефедова, А. К. Татосова, А. Е. Лопухова, Е. Б. Сизова, Б. М. Григорьева и других авторов отмечалась необходимость учета повторных воздействий противника по транспортным объектам. Однако сложности получения данных о прогнозируемом числе ядерных боеприпасов, решения задачи их распределения по объектам железных дорог с прогнозированием сроков нанесения ударов, а также ограниченное число ядерных боеприпасов, послужили причиной временного отказа от решения такой задачи. Рекомендовалось в ходе второго и последующих массированных ядерных ударов предусматривать, как правило, разрушение ранее сохранившихся объектов. Повторное разрушение восстановленных объектов не рассматривалось. С учетом этого создавалась система технического прикрытия и восстановления железных дорог страны, разрабатывалась тактика частей и спецформирований, технические средства. В настоящее время вероятность применения ядерных боеприпасов снизилась, появились средства высокоточной доставки ядерных и обычных боеприпасов к цели, но по-прежнему используются старые наработки и методики обоснования способов восстановления барьерных объектов. Например, при разработке новых проектных соображений на восстановление мостовых переходов предусматривается их однократное поражение обычными средствами, но без учета повторных разрушений, что создает иллюзию существенного снижения расчетных объемов работ и потребности в силах и средствах. В ходе реализации таких планов не будет обеспечена устойчивая работа мостовых переходов.

Таким образом, с развитием систем доставки и ВТО следует ожидать многократного поражения мостовых переходов, что должно найти отражение в действующих документах на их техническое прикрытия и восстановление, учитываться при разработке проектных соображений и планов технического прикрытия железнодорожных объектов.

Особенно сложно восстановление мостовых переходов в зонах (районах) затопления, вызванных паводками или разрушениями плотин водохранилищ. В настоящее время только в Европе имеется более 2000 водохранилищ. На территории Республики Беларусь насчитывается около 10 плотин водохранилищ и гидроузлов. По взглядам командования НАТО плотины отнесены к первоочередным объектам поражения. Волна прорыва представляет серьезную опасность для коммуникаций, судов речного флота и мостов. Кроме того, образуются обширные и труднопреодолимые зоны

затопления с переменными уровнями воды. После прохождения волны прорыва поймы рек на некоторое время становятся непроходимыми даже для гусеничных машин. Разрушение крупных гидротехнических сооружений способно парализовать работу важнейших транспортных коммуникаций, прекратить мобилизационное развертывание вооруженных сил. Продолжительный во времени спад воды потребует, как правило, использования нескольких способов восстановления мостовых переходов, каждый из которых будет иметь свои особенности.

По сравнению с ядерным поражением плотин водохранилищ и гидроузлов применение высокоточных боеприпасов в обычном снаряжении существенно меняет характер и объемы разрушений как плотин, так и ниже расположенных железнодорожных объектов. Однако методик оценки последствий такого поражения не выявлено.

Отмеченные особенности не принимаются во внимание при разработке проектных соображений, планов технического прикрытия и восстановления железных дорог. Необходимы пересмотр и уточнение сложившихся подходов к восстановлению железнодорожных мостовых переходов, которые соответствуют условиям однократного применения ядерного оружия. В современных условиях мостовой переход необходимо не только восстановить, но и обеспечить его эксплуатацию в течение операции или другого заданного периода, то есть обеспечить устойчивую работу мостового перехода. Необходимо планирование и осуществление мероприятий по повышению живучести мостовых переходов, адекватных действиям противника. Базой для дальнейшего развития военного мостостроения должна стать новая концепция обеспечения устойчивой работы мостовых переходов на железных дорогах в условиях многократного воздействия противника.

Очевидно противоречие между современными возможностями противника по многократному разрушению железнодорожных мостовых переходов и способами действий восстановителей по обеспечению их устойчивой работы.

Для планирования действий восстановителей по обеспечению устойчивой работы железнодорожных мостовых переходов и железнодорожных направлений, на которых они находятся, необходимы:

- уточнение вероятного характера воздействия противника на мостовые переходы;
- корректировка подходов к подготовке железных дорог к работе в военное время и к восстановлению разрушенных мостовых переходов.

Целесообразно выполнить анализ требований к восстановлению мостов и переправ, а также существующих методик обоснования объектов технического прикрытия.

Разведка мостовых переходов.

Для ведения стратегической и оперативно-стратегической разведки в ВС США и ОВС НАТО применяются средства космической, воздушной, наземной и морской разведок, а также системы сбора, обработки и распределения разведывательной информации. Центральное место занимает воздушная разведка. Силы и средства стратегической воздушной разведки имеют только ВВС США, а средства космической разведки кроме США, с 1990 года имеют Франция и Англия.

За последние годы значительно возрос удельный вес космической разведки, обладающей аппаратурой с высокой разрешающей способностью, возможностью выхода в любой район доставки разведывательной информации в реальном масштабе времени. В мирное время и угрожаемый период удельный вес космической разведки в решении задач стратегической разведки будет достигать 60–65 %. Основными способами решения разведывательных задач являются: периодический обзор больших территорий (обзорная) и разведка районов ограниченных размеров (детальная) в сжатые сроки.

Война в Персидском заливе (1991 г.) стала первым и самым значительным конфликтом, где решающую роль в обеспечении боевой деятельности многонациональных сил сыграли космические системы разведки. Перед боевым вылетом пилоты имели спутниковые изображения целей суточной давности.

Размеры обнаруживаемых объектов связаны с линейным разрешением и составляют:

- при обзорной фоторазведке (телевизионной) – 20–36 м;
- детальной фоторазведке (телевизионной) – 6–15 м;
- обзорной инфракрасной (ИК) – 600–1500 м;
- детальной инфракрасной (ИК) – 0–600 м;
- обнаружении инфракрасной разведкой – 90–160 м.

Поэтому инфракрасная аппаратура используется в комплексе с фото- и телеаппаратурой, обеспечивая главным образом обнаружение замаскированных объектов, выделение истинных объектов среди ложных.

Разведка возможна только над районами, не закрытыми облачностью. Средние значения вероятности ведения фотографической, телевизионной и инфракрасной разведок составляют: при облачности 0–2 балла – 0,9; при облачности 3–7 баллов – 0,6; при облачности 8–10 баллов она практически равна нулю. Инфракрасная разведка возможна ночью над районами, не закрытыми облачностью.

Для повышения точности оценки влияния погодных условий на эффективность разведки предлагается иметь значения вероятности ведения разведки по каждому баллу облачности: 0–2 балла – 0,8–1,0; 3–7 баллов – 0,3–0,7; при облачности 8–10 баллов – 0–0,2. В последние годы активно внедряется в вооруженных силах США и странах НАТО спутниковая

радионавигационная система для высокоточного навигационно-временного обеспечения в глобальном масштабе (далее – РНС НАВСТАР). С её помощью решаются следующие задачи: определение координат вновь выявленных целей; выход в точку применения бортового оружия по цели с известными координатами; самонаведение на эту цель оружия, оснащенного приемной станцией и другие задачи. Система обеспечивает в любой момент времени определение пространственного положения объекта (наземного или воздушного), с ошибкой не более 20 м, и скорости с точностью до 0,1 м/с. Наряду с космическими средствами для разведки мостовых переходов могут использоваться самолеты-разведчики стратегической и тактической авиации. Тактическая авиация по-прежнему является наиболее оперативным видом сбора информации на глубину до 1000–1200 км от линии фронта. При большой глубине задачи разведки будут решаться космической (60–65 %) и стратегической (35–40 %) воздушной разведкой.

Комплексы бортовой разведывательной аппаратуры позволяют: фотографировать объекты на удалении 60–150 км (с разрешающей способностью 0,2–10,0 м) и до 40 км в инфракрасном диапазоне волн (с разрешающей способностью 5,0–10,0 м); снимать объекты телевизионной аппаратурой (с разрешающей способностью 0,2–0,5 м); производить радиолокационную съемку объектов на дальности до 150 км (с разрешающей способностью 3,0–4,5 м). В перспективе предусматривается создание всепогодных телевизионных и лазерных систем и средств воздушной разведки, способных с высокой вероятностью вскрывать как открытые, так и замаскированные объекты противника в любое время суток.

В оперативной глубине для разведки коммуникаций могут использоваться системы воздушной оперативной разведки и управления «Джистарс» и «АВАКС». Максимальная дальность «Джистарс» составляет 250–300 км. В силу малой дальности действия, для разведки железнодорожных мостовых переходов она найдет ограниченное применение. Система «АВАКС» способна обнаруживать не только воздушные, но и наземные цели. Дальность действия комплекса до 600 км от линии фронта. Системой «АВАКС» могут разведываться мостовые переходы и наводиться на них ударные средства, в том числе по ранее выявленным координатам целей.

В Персидском заливе совместное использование систем воздушной радиолокационной разведки и целеуказания «Джистарс», «АВАКС», самолетов-разведчиков и спутников «Лакросс» обеспечило разведку территории противника в условиях плотной облачности, песчаных бурь, а также сильной задымленности, вызванной пожарами на предприятиях нефтяной промышленности.

Кроме того, для воздушной разведки мостовых переходов могут привлекаться самолеты тактической (радиус действий 1000–1200 км) и

стратегической авиации (радиус действий до 1700 км и более), оснащаемые комплексами разведывательной аппаратуры в подвесных контейнерах. В каждый, как правило, входят два-три аэрофотоаппарата (далее – АФА) и инфракрасная станция. Возможно применение более крупных контейнеров, которые вмещают до пяти АФА, ИК станцию и РЛС бокового обзора (далее – РЛС БО).

Аэрофотосъемка превосходит все другие виды воздушной разведки по достоверности, объему и качеству получаемой информации. Изображение в цифровом виде передается на наземные пункты по радиолинии на удалении до 900 км.

Созданы высокоточные РЛС БО, которые способны вскрывать замаскированные объекты и передавать разведанные в реальном масштабе времени. РЛС БО позволит просматривать полосы местности на дальности 20–80 км по обе стороны от линии пути самолета (их разрешающая способность 10–30 м, высота применения 3000–12000 м). В связи с ограниченными возможностями по опознаванию объекта радиолокационная разведка должна выполняться в сочетании с другими способами воздушной разведки. Одна из задач РЛС БО – выявление наведенных мостов и переправ.

ИК станции дают возможность вести разведку как в светлое (даже при наличии задымления, слабого тумана и дождя), так и в темное время суток без подсветки местности. Результаты съемки фиксируются в виде тепловой карты местности. С помощью ИК снимков можно обнаруживать объекты, скрытые листвой деревьев или средствами маскировки, оценивать их состояние по степени нагрета.

Время, затрачиваемое на определение координат по телевизионному изображению – 1,5–2,0 мин; РЛС БО – 3,4–4,5 часов после посадки самолета-разведчика. Разведка ведется участками: РЛС БО – 25 на 200 км, АФА при обзорной разведке – 90 на 600 км, АФА при детальной разведке – 90 на 60 км. Разведка стационарных и малоподвижных объектов выполняется с ходу за один заход. Основной способ разведки железнодорожных объектов – фотографирование с большой высоты в масштабе 150 м в 1 см.

Беспилотные летательные аппараты (далее – БЛА) имеют радиус действий до 300 км, что не исключает их применения для разведки железнодорожных мостовых переходов.

Благодаря наличию ярко выраженных демаскирующих признаков и высокой радиолокационной контрастности, мосты и переправы обнаруживаются с воздуха как визуально, так и с помощью РЛС. Днем большие мосты визуально наблюдаются с высоты 5000–8000 м на наклонных диагоналях 25–30 км, переправы – 15–20 км, т. е. дальность обнаружения переправ уменьшается в 1,5–2,0 раза и зависит от высоты конструкции.

С большой степенью достоверности можно считать, что и вероятный противник также планирует распределять свои ресурсы разведывательной авиации. Мостовые переходы будут, как правило, разведываться попутно, в ходе разведки районов расположения войск и их резервов, в том числе при передвижениях. Внеклассные и сложные большие мосты могут разведываться специально выделенными силами.

Могут эффективно использоваться для разведки и поражения мостовых переходов силы специальных операций (далее – ССО). В соответствии со взглядами американских специалистов, объекты возможного воздействия разведывательно-диверсионных формирований по степени их важности делятся на девять категорий. На 7-м месте стоят важные объекты тылового обеспечения и на 8-м месте – объекты наземной и воздушной транспортной системы государства.

Основной объем разведывательной информации о мостовых переходах поступает от воздушной и космической разведки противника. Одним из основных показателей эффективности средств разведки является срок (цикл) обновления информации. Он складывается из затрат времени: на выход средства разведки на объект; на обнаружение и опознание объекта; на передачу информации в центр обработки данных (далее – ЦОД) и её дешифрирование; на обработку, анализ и интерпретацию полученной информации от каждого отдельно взятого средства разведки; на комплексную обработку разведсведений, полученных с помощью нескольких средств разведки, привязку их к объектам по пространственным, временным и другим признакам, совместный анализ разнородных сведений и их логическую увязку; на подготовку окончательной информации и передачу на пункты управления средствами поражения.

Затраты времени на обнаружение, опознавание объекта и передачу информации на ЦОД зависят от технических характеристик у средств разведки. Время на передачу данных на пункты управления средствами поражения составляет 15–20 % от продолжительности поступления информации на ЦОД. Наиболее сложная задача – определение вероятного цикла выхода средств разведки на объект. Цикл выхода средств разведки на объект зависит от тактики их использования и технических возможностей.

Периодичность детального обновления обобщенной информации от воздушной разведки составляет в армейском корпусе – 2–4 часа (на глубину до 300 км), а в масштабе ТВД – не менее двух раз в сутки (на глубину до 1000 км). Поэтому вполне логично принять следующую периодичность выхода средств разведки на мостовые переходы и другие транспортные объекты:

- на глубину до 300–350 км через 2–4 часа;
- на глубину 350–1000 км через 8–12 часов.

Поражение мостовых переходов.

К основным боевым средствам, которые могут быть привлечены для поражения железнодорожных объектов, относят тактическую и стратегическую авиацию с управляемым высокоточным оружием и крылатые ракеты (далее – КР) большой дальности наземного и морского базирования с ядерными зарядами, зарядами обычного ВВ или боеприпасами объемного взрыва (далее – БОВ). Первое применение БОВ во Вьетнаме (1960 г.) показало их очень высокую эффективность. В настоящее время в США имеются БОВ третьего поколения. Для боеприпасов третьего поколения калибра 500 фунтов давление во фронте ударной волны $0,9 \text{ кг/см}^2$ имеет место на дальностях 100–130 м от границы зоны детонации. Кроме того, наблюдается эффект отраженной ударной волны. Суть последнего сводится к тому, что при взрыве газовоздушного облака, когда его нижняя граница расположена на заданной высоте над землей (водой), отраженная от земной или водной поверхности ударная волна, пересекаясь с падающей, образует так называемую головную ударную волну. Давление в ней иногда превышает давление в падающей волне в два раза и более. Данное явление хорошо изучено применительно к ядерному взрыву. Для обеспечения такого эффекта должна строго выдерживаться высота взрыва, что не всегда достижимо. Поэтому при прогнозировании объемов разрушений мостовых переходов этот эффект рекомендуется не учитывать. Время действия фазы сжатия ударной волны БОВ в несколько раз больше, чем при взрыве заряда тринитротолуола, что существенно повышает поражающее воздействие на живую силу, технику и сооружения (примерно на 40 %). Поражающее действие ударной волны взрыва БОВ сопоставимо со взрывом ядерного боеприпаса.

Управляемые авиационные бомбы (далее – УАБ) являются одним из наиболее эффективных видов авиационного оружия, предназначенного для нанесения ударов по наземным целям, особенно малоразмерным и прочным, включая железнодорожные объекты. Характерный для УАБ способ планирования позволяет применять их без захода самолетов-носителей в зону объектовой ПВО противника.

Боевое применение УАБ началось в 1944 году, когда с их помощью самолеты ВВС США разрушили в Бирме железнодорожный мост, который ранее тщетно пытались уничтожить обычными авиабомбами. Высокая эффективность УАБ была подтверждена во Вьетнаме, в ходе операции «Буря в пустыне» и в Югославии. Проведенные исследования продемонстрировали, что по критерию «стоимость/эффективность» УАБ предпочтительнее неуправляемых бомб. Опыт боевого применения УАБ в Индокитае показал, что расход этих боеприпасов на поражение цели в 50–100 раз меньше, чем неуправляемых бомб, а материальные затраты, даже без учета потерь носителей при массированных налетах, значительно ниже. Например, из общего числа бомб, сброшенных на позиции противника в Ираке и Кувейте только 30 % поразили цели, причем 90 % приходится на

долю УАБ. Эффективность боевого применения F-117A с УАБ достигла 95 % (во Вьетнаме этот показатель для авиации составил 33 %). Боекомплект самолета включал две УАБ типа GBU-10 или GBU-17 с лазерной системой наведения. Боевая задача, как правило, решалась в ночное время одним самолетом.

Точность и надежность доставки боеприпасов к цели в основном определяется применяемой системой наведения и ТТХ самолетов-носителей. Различают телевизионную (тепловизионную), полуактивную лазерную и телевизионно-командную системы наведения на цель. В последние годы активно разрабатываются и уже внедрены так называемые «слепые» методы наведения, т. е. без визуального контакта оператора с целью. Наиболее эффективной из них признана система с использованием спутниковой радионавигационной системы НАВСТАР.

Для поражения мостовых переходов также могут эффективно использоваться управляемые ракеты (далее – УР) воздушного, морского и наземного базирования. Системы наведения ракет прошли длительный путь развития от радиокомандных до современных комплексных систем в составе трех подсистем: инерциальной (на начальном и среднем участках полета), корреляционной TERCOM (на среднем и конечном участках полета) и оптической DSMAC или её модификации Диджисмек (на конечном участке полета). Последними системами оснащают КР. Перед пуском в бортовую ЭВМ КР вводят с пульта необходимые данные: координаты пуска и цели, запрограммированные маршруты полета, районы коррекции и т. д. Анализ систем наведения показывает:

- управляемые ракеты класса «воздух-земля» оснащаются одной системой наведения, их пуск осуществляется с дальности прямой видимости цели; большинство систем (за исключением тепловизионной) имеют затруднения в применении ночью и в сложных условиях (задымление, низкая облачность и т. д.), точность попадания 0,85–0,9;

- крылатые ракеты, как правило, оснащаются комплексной системой наведения, их пуск осуществляется по объектам с известными координатами без захода в зону ПВО не только объекта, но и государства. Подавляющее большинство КР на конечном участке полета должны наводиться днем при хорошей прозрачности атмосферы. Изменение «картинки» в районе цели может существенно снизить вероятность поражения, точность попадания в цель 0,85.

Значительная часть управляемых ракет класса «воздух-земля» – это крылатые ракеты, способные нести боеприпасы, как с ядерным, так и с обычным зарядом. В последние годы приоритет отдается КР в обычном снаряжении. По оценкам американских специалистов вероятность уничтожения объекта одной КР «Томагавк» составляет 85 %.

Впервые КР, оснащенные приемником спутниковой системы НАВСТАР, были использованы в зоне Персидского залива с самолета В-25G. Из 35 пусков КР 31 поразили цели, т. е. 85 %. При этом семь бомбардировщиков выходили в район пуска за 17,5 часов, преодолев за 35 часов полета около 22500 км. Пуски производились без захода самолетов в зоны ПВО. Заявки на нанесение ударов поступали за сутки до удара. В состав ударной группы обычно входили 4 бомбардировщика. Таким образом, была подтверждена возможность уничтожения малоразмерных целей (в том числе мостов) в любом районе земного шара. Тому подтверждение и опыт боевых действий в Югославии, где были разрушены практически все мостовые переходы.

Основными вариантами применения КР, по мнению западных военных специалистов, являются массированный удар на широком или узком фронте и одиночные или групповые удары по ограниченному количеству объектов, совместно с самолетами тактической и стратегической авиации. Тактика применения современных КР основывается на высокой плотности налета, в результате чего происходит перенасыщение пропускной способности системы ПВО противоборствующей стороны. В зависимости от важности и степени защищенности удар по объекту (мостовому переходу) будет наноситься одной или несколькими ракетами.

Современные РЛС ПВО способны обнаруживать КР на удалении 30–40 км. Кроме того, нужно опознать ракеты среди ложных целей и на фоне помех. Время пребывания УР в зонах обнаружения РЛС исчисляется секундами. Поэтому проблема своевременного обнаружения КР и поныне считается нерешенной. На сегодняшний день наиболее реальным остается способ борьбы с носителями КР до выхода их на рубежи пуска.

Новые отечественные средства войскового ПВО частично решают эту проблему, что доказывает эффективность их дополнительного выделения для прикрытия мостов.

По мнению военных специалистов НАТО первый массированный удар будет наноситься внезапно в основном ночью. В прошлых войнах и вооруженных конфликтах тактическая и палубная авиация в первом массированном ударе выходила в район целей на рассвете, чтобы визуально обнаружить их и атаковать. Удар полностью в ночных условиях впервые был осуществлен в Персидском заливе. До конца конфликта такие действия продолжались, обеспечивая непрерывность огневого воздействия. Война началась внезапным ночным ударом КР морского базирования «Томагавк», за которым последовал воздушный налет с участием перспективных самолетов, F-117A (20 единиц). Ночной удар существенно повышает их неуязвимость. Так как оперативные перегруппировки осуществляются, как правило, ночью, то и удары по транспортным объектам следует ожидать ночью, что снизит эффективность смены переправы, одного из способов повышения живучести мостовых переходов. Малоаметность и

всепогодность самолетов, а также наличие ВТО способствует расширению частных операций. Вылет, как правило, будет осуществляться 1–2 самолетами с использованием прицельно-навигационной системы, дающей инфракрасное изображение пролетаемой местности на лобовое стекло. Это обеспечивает пилотирование ночью, маневр и атаку цели малых высот. При этом коэффициент боевого использования самолетов в сутки увеличивается с 0,2–0,25 до 0,60 и более, что подтверждается опытом боевых действий в Ливии, Панаме, Персидском заливе и Югославии. Распределение самолетовылетов по времени суток по опыту войны в Персидском заливе показывает, что удары по железнодорожным мостам и узлам с большой степенью вероятности будут наноситься ночью. В перспективе число ночных ударов по транспортным объектам возрастет.

Целесообразными точками прицеливания мостов являются:

– стык пролетных строений над опорой; при этом разрушается верх опоры, и обрушаются два пролетных строения. Вертикальная стена опоры (шириной 3–5 м) и горизонтальная плоскость пролетных строений (высотой 1,5–12 м) образуют естественное перекрытие для прицеливания, что значительно повышает вероятность попадания 1-го боеприпаса в цель. Данную точку прицеливания можно считать основной.

– середина пролетного строения; при этом разрушается одно пролетное строение (при их малой длине – до трех). Как правило, высота сплошностенчатых пролетных строений не превышает четырех метров. Высота сквозных ферм может достигать в середине пролета 14 м, но наличие пустот может привести к свободному прохождению боеприпаса через пролетное строение без взрыва (если боеприпас не снабжен дистанционным взрывателем), что подтверждается опытом бомбометания в Чечне и в Югославии. Наличие вертикальной стены без явно выраженных точек прицеливания, затрудняет наведение управляемых боеприпасов. Таким образом, вероятность наведения на середину пролетного строения мала.

ВЫВОДЫ.

1 Разведывательные средства обеспечивают ведение разведки круглосуточно и в сложных погодных условиях. Железнодорожные объекты, как правило, будут разведываться попутно, в ходе разведки районов расположения войск. Внеклассные и сложные большие мосты, крупные узлы могут разведываться специально выделенными силами. Поражение железнодорожных мостовых переходов, как правило, будет осуществляться боеприпасами с системой высокоточного наведения.

Производство УАБ на базе фугасных бомб старого образца и значительное количество КР практически не ограничивают возможности по их использованию для разрушения железнодорожных объектов. Следует

ожидать многократного поражения железнодорожных объектов за операцию, как в полосе фронта, так и в тылу страны.

Удар по железнодорожным объектам может наноситься на удалении до 1000 км от государственной границы (линии соприкосновения с противником) – круглосуточно самолетами тактической и стратегической авиации, и ракетами ночью. Наиболее вероятно применение для разрушения мостов и переправ – УАБ и КР в обычном снаряжении.

Мостовой переход может быть опознан как цель для удара с возведением сплошной линии моста длиной не менее 50–100 м. Чем меньше будет срок возведения сплошной линии моста (введение паррома, установка пролетных строений), тем больше будет срок безопасной эксплуатации мостового перехода до возможного разрушения.

Наиболее вероятной точкой прицеливания высокоточного боеприпаса является стык строений над опорой.

2 Основной особенностью обеспечения устойчивой работы мостовых переходов в условиях современной войны является необходимость учета высокой вероятности многократного поражения мостов и переправ. Основным видом восстановления крупных мостовых переходов на период ведения боевых действий является краткосрочное, что должно быть закреплено в руководящих документах.

В современных условиях необходимо объединение задач восстановления и эксплуатации мостового перехода под общим руководством. Противник имеет возможность и потребность регулярного нанесения повторных ударов, в результате которых мостовой переход будет иметь значительные объемы разрушения. Затруднительно обеспечить повторное восстановление движения поездов в приемлемые сроки только силами организаций, обеспечивающих эксплуатацию мостовых переходов. Кроме того, необходимо выполнение большого комплекса мероприятий повышения живучести, которые в полном объеме тоже могут быть выполнены этими организациями. В задачу частей должно входить не только первоочередное восстановление, но и обеспечение устойчивой работы мостового перехода в заданный период. Мостовым частям дополнительно может поручаться техническое прикрытие близко расположенных средних мостов данного железнодорожного участка.

Такой подход требует изменения постановки задач как соединениям, так и частям транспортных войск. В действующих документах не определено, кто будет планировать устойчивую работу мостовых переходов и определять комплекс мероприятий по повышению живучести, каким органом управления определяются заданные коэффициенты устойчивой работы мостовых переходов, и другие вопросы.

Стремление к увеличению сроков эксплуатации до повторных разрушений требует изменения подходов к восстановлению мостовых

переходов. Прежде всего, целесообразно разделение процессов подготовки подходов, мостового створа и конструкций моста (переправы) к монтажу и ввод его в эксплуатацию после выполнения монтажных работ крупными элементами в кратчайшие сроки. Подготовка дополнительных и запасных створов должна выполняться заблаговременно (включая мирное время). Чем меньше будет продолжительность формирования сплошной линии временного моста (ввод паромов, установка надстроек опор и пролетных строений), тем позже противник может начать разведку мостового перехода и, следовательно, будет больше продолжительность безопасной эксплуатации мостового перехода до возможного разрушения.

Отсюда следует требование максимального снижения затрат времени на завершение монтажных работ, т. к. на это время уменьшается продолжительность возможной эксплуатации мостового перехода до повторного разрушения. Именно с этих позиций следует рассматривать эффективность существующих и перспективных конструктивно-технологических решений военных железнодорожных мостов и переправ. Если для наплавных мостов это требование выполняется, то для мостов на жестких опорах не всегда.

Сооружение фундаментов опор практически не демаскирует будущий мост, их можно и необходимо сооружать заблаговременно на дальних обходах. Надстройки опор и пролетные строения должны устанавливаться в короткие сроки. Исходя из этих позиций, эффективность применения низководных мостов выше, чем эстакады РЭМ-500, т. к. темп установки пролетных строений низководного моста на 30 % выше темпа монтажа эстакады.

3 Железнодорожным частям целесообразно сосредоточить внимание на подготовке к выполнению пассивной защиты: скрытия элементов мостовых переходов, имитации объектов и действий войск, строительство ложных мостов, отсыпка нескольких подходов, использование наплавных мостов в режиме «пульсирования» и т. д.

Таким образом, на первом этапе цикла «поражение-восстановление» целесообразно рассматривать девять основных способов восстановления:

- 1 Временный мост на обходе (низководный).
- 2 Временное или краткосрочное восстановление на старой оси (в случае незначительных разрушений).
- 3 Наплавной мост НЖМ-56.
- 4 Наплавной мост МЛЖ-ВТ.
- 5 Эстакада РЭМ-500.
- 6 Паромная переправа из парка НЖМ-56.
- 7 Использование судов речного флота (наплавной мост или паром).
- 8 Ледяная или свайно-ледяная переправа (в холодное время и при толщине льда более 25 см).

9 Временный мост на обходе (с деревянными надстройками опор).

Каждый из этих способов может иметь подварианты. Необходимо учитывать то, что эти способы будут применяться не отдельно, а, как правило, при сочетании друг с другом.

С Е К Ц И Я I
РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 721/728.004.62/.63

**О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ
ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

А. Н. БУЛАВКО, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В процессе эксплуатации здания и сооружения, независимо от их капитальности подвергаются материальному (физическому) износу. Под физическим износом (далее – ФИ) элемента, конструкции, системы инженерного оборудования и здания (сооружения) в целом понимается утрата ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека.

ФИ объектов недвижимости имеет место как в процессе их старения, так и под влиянием внешних условий.

Величина ФИ дает представление о техническом состоянии конструктивных элементов и всего здания (сооружения) в целом и определяется дефектами и повреждениями конструкций (элементов). Этот показатель является количественным, выраженным в относительной величине (процентах) или в абсолютном (стоимостном), определяющим потерю стоимости от первоначальной величины. Таким образом, в системе технической эксплуатации, ФИ зданий и сооружений является важнейшим показателем, характеризующим его техническое состояние в количественном выражении, а следовательно, отображает потребность в том или ином ремонте [1].

Физический износ здания, достигшего нормативного срока службы, соответствует уровню 75–80 % при условии осуществления в этот период текущих ремонтов, обеспечивающих поддержание нормального эксплуатационного состояния, и капитальных ремонтов, непосредственно связанных с возмещением ФИ. При этом здания со стенами из каменных

материалов достигают ветхого состояния при ФИ более 70 %, из дерева и прочих материалов – 65 % [2].

В настоящее время проблема определения величины физического износа является достаточно актуальной при решении задач оптимизации затрат на проведение ремонтов и технического обслуживания жилого фонда, общественных зданий, а также зданий и сооружений промышленного комплекса в связи с существованием различных методик, значительно отличающихся по конечным результатам для одинаковых конструкций и условий эксплуатации [3].

Определение величины физического износа может быть произведено с помощью расчетных методик, на основании нормативно-экспертных методик, а также в результате инструментального обследования зданий и сооружений.

Инструментальное обследование дает достаточно точные результаты, однако оно весьма трудоемко и требует существенных материальных затрат.

Нормативно-экспертные методики дают большую погрешность в определении величины физического износа, но при этом требуют меньших материальных и временных затрат. Примером такой методики являются Ведомственные строительные нормы 53–86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий». Согласно этой методике на основе визуального осмотра элемента или конструкции выявляются их дефекты и повреждения, а затем по таблицам определяется физический износ. Значения физического износа округляются до 5 %, что говорит о недостаточной точности данного метода.

При массовой оценке технического состояния зданий и сооружений или отсутствия возможности их визуального осмотра применяют расчетные методики определения физического износа, основанные на временном методе определения физического износа. Первую такую методику еще в XIX веке разработал архитектор Росс. Далее это направление активно развивалось российскими учеными: В. С. Сроковским, С. К. Балашовым, В. В. Анисимовым и В. Е. Николайцевым, В. И. Бабакиным и др. [4].

Согласно действующим нормативным документам определение величины ФИ пропорционально нормативному сроку службы и возрасту зданий, как правило, не допускается [5]. Связано это с тем, что величина физического износа одного и того же здания, рассчитанная по различным методикам, отличается на десятки процентов. Данные различия в результатах можно объяснить тем, что исследователи разрабатывали свои методики в соответствии с разделением зданий на группы капитальности, которые изменялись с течением времени. Стоит также отметить, что большинство методик разработано для жилых зданий, и применять их для определения ФИ промышленных и общественных зданий некорректно.

Большинство исследований по разработке расчетных методик определения ФИ были проведены учеными СССР (одно из последних исследований проведено в 1970 г. В. И. Бабакиным). Все методики данного периода базируются на группах капитальности зданий и их сроке эксплуатации. Чтобы получить более точную модель накопления ФИ зданиями, необходимо разработать методику, которая не была бы привязана к группе капитальности.

В 2013 году исследователем А. В. Белых была предложена новая расчетная методика определения ФИ нежилых зданий, созданная на основе обработки данных технической инвентаризации 42640 нежилых объектов города Санкт-Петербурга. ФИ зданий в данной методике зависит только от срока эксплуатации объектов, а модели накопления ФИ зданиями в ходе обобщения результатов исследования получены отдельно для зданий с каменными, деревянными и металлическими стенами.

Рассмотрим модели накопления ФИ зданий данной методики:

– модель накопления «деревянными» зданиями, возраст которых не превышает 55 лет,

$$\text{ФИ} = (0,0169 \ln(t) \cdot t^{0,446} + 0,0661) \cdot 100 \quad (1)$$

– модель накопления «каменными» зданиями, возраст которых не превышает 90 лет,

$$\text{ФИ} = \left[0,4 - 0,357 \frac{t^{0,044}}{e^{0,0305t}} \right] \cdot 100; \quad (2)$$

– модель накопления «металлическими» зданиями, возраст которых не превышает 40 лет,

$$\text{ФИ} = \left[\frac{0,00047t^{1,9} \ln(t)}{e^{0,055t}} + 0,05 \right] \cdot 100, \quad (3)$$

где t – срок эксплуатации, лет.

Для данных уравнений коэффициенты детерминации близки к единице, а средняя ошибка аппроксимации невысока, что позволяет с соответствующими ограничениями использовать данную методику для определения ФИ зданий с учетом различных материалов стен. Исследователи также предполагают возможным распространение результатов применения данной методики на весь II климатический район без внесения дополнительных корректировок [6].

В конце 2015 года были опубликованы результаты исследований, проведенных Р. О. Корсаковым для объектов недвижимости Московской области. Проводилась статистическая обработка сведений технических паспортов объектов капитального строительства для 1 880 147 записей по

объектам, участвовавшим в кадастровой оценке 2015 г. Построение моделей накопления ФИ зданиями проводилось с учетом их срока эксплуатации и класса конструктивных систем (например, ограждающие конструкции – кирпич, несущие – железобетон, сталь или ограждающие конструкции – железобетон, несущие – железобетон в каркасных системах и др.). В результате обработки были получены полиномы для различных конструктивных систем с коэффициентом детерминации равным 0,9–0,99. В связи со значительным объемом обработанных данных и распределением оцениваемых объектов по всей Московской области, автор исследования выдвигает предположение о применимости полученных моделей для оценки ФИ объектов недвижимости в границах Европейской части Российской Федерации [7].

Зависимость для определения ФИ зданий с конструктивной схемой типа: ограждающие конструкции – древесина, несущие – древесина и другие конструктивные материалы, срок эксплуатации которых не превышает 100 лет [5], имеет следующий вид:

$$\text{ФИ} = (0,28617 + 0,01822t - 0,000243t^2 + 1,09567 \cdot 10^{-6}t^3)^2 \cdot 100 \quad (4)$$

В графическом виде зависимость изменения ФИ во времени для зданий с деревянными стенами по методике А. В. Белых и зданий с конструктивной схемой типа ограждающие конструкции – древесина, несущие – древесина и другие конструктивные материалы по методике Р. О. Корсакова представлена на рисунке 1.

При анализе уравнений накопления ФИ по двум приведенным выше методикам, видно, что значения физического износа значительно отличаются после достижения зданиями срока эксплуатации 10 лет (см. рисунок 1). Аналогичны различия при сравнении других моделей (зданий с каменными стенами и др.)

В данных методиках учитывались только срок эксплуатации зданий и материал стен (капитальность зданий не учитывалась), следовательно, результаты по полученным моделям

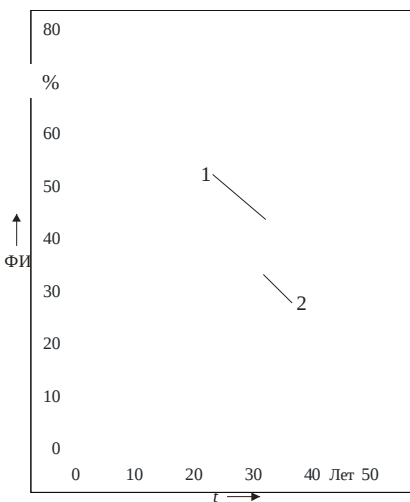


Рисунок 1 – Модель накопления ФИ:

1 – по методике Р. О. Корсакова;

2 – по методике А. В. Белых

должны быть приблизительно одинаковыми, однако, на практике они значительно отличаются.

Возможными причинами данных различий являются:

- результаты технической инвентаризации, проведенной БТИ, имеющие большой «разброс» значений ФИ;

- исследование А. В. Белых проведено только для нежилых зданий города Санкт-Петербурга, а Р. О. Корсакова – для всех объектов капитального строительства Московской области;

- в исследовании А. В. Белых при построении моделей накопления ФИ учитывался только материал стен зданий, однако физический износ здания в целом, который отражается в технических паспортах зданий, определяется с учетом всех элементов и конструкций здания. Удельный вес стен в большинстве зданий составляет приблизительно 30 %, что говорит о некорректности применения полученных формул для определения ФИ всех деревянных зданий. В исследовании Р. О. Корсакова здания разбиваются по классам конструктивных систем (преимущество отдается также материалу стен), что также недостаточно корректно.

Таким образом, для создания более объективной расчетной методики оценки и изменения ФИ при массовых технических инвентаризациях объектов недвижимости с целью планирования и организации ремонтных мероприятий при обработке данных необходимо:

- модели накопления ФИ разрабатывать для отдельных групп зданий и сооружений (жилых, общественных, промышленных), по каждому типу конструктивных элементов и виду использованных материалов;

- использовать исходные данные по оценке ФИ только специализированных организаций для получения корректной расчетно-экспериментальной модели изменения физического износа во времени.

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** О подходах к оценке физического износа / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 5(26). – С. 70–76.

2 **Васильев, А. А.** Оценка физического износа жилых, общественных и промышленных зданий : практ. пособие / А. А. Васильев, К. Н. Пироговский, С. В. Дзирко ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 207 с.

3 **Булавко, А. Н.** Анализ существующих методов оценки физического износа зданий и сооружений / А. Н. Булавко, А. А. Васильев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, М-во образования Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 280–281.

4 **Белых, А. В.** Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки / А. В. Белых // Журнал правовых экономических исследований. – 2013. – № 2. – С. 78–86.

5 **Башкатов, В. С.** Физический износ при оценке объектов недвижимости / В. С. Башкатов // ООО «Региональный центр недвижимости» [Электронный ресурс]. –

2016. – Режим доступа: <http://www.oorgcn.ru/fi.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2016.

6 СП 131.13330–2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99* (с Изменением № 2). – Введ. 2013-01-01. – Москва : Минрегион России, 2012. – 124 с.

7 **Корсаков, Р. О.** Величина физического износа объектов капитального строительства на основании данных учета МОБТИ / Р. О. Корсаков // Группа компаний «Аверс» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.avg.ru/docs/2015-10-28-model-fizicheskogo-iznosa-oks-2015.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2016.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА

А. А. ВАСИЛЬЕВ, Д. Н. ШЕВЧЕНКО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Для железобетонных элементов (далее – ЖБЭ) и конструкций (далее – ЖБК), эксплуатирующихся в любых воздушных средах, основным фактором, определяющим коррозионное состояние бетона и стальной арматуры, и, как следствие, их техническое состояние, является карбонизация бетона [1]. Развиваясь во времени, она вызывает структурные изменения цементного камня, изменяя щелочность поровой жидкости (показатель рН), определяющей защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.

Карбонизация бетона определяется ростом карбонатной составляющей (показателя КС). Однако он напрямую зависит от состава бетона (количества использованного цемента) [1, 2], что не позволяет использовать его для объективной оценки карбонизации бетона, поскольку при одинаковых абсолютных значениях карбонатной составляющей, при одном составе бетона карбонизация только начинается и является определяющей при оценке состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, при другом – бетон полностью карбонизирован и созданы условия для возникновения и развития коррозии стальной арматуры.

Для объективной оценки карбонизации в [2] предложено понятие степени карбонизации бетона (показатель СК), который независимо от состава бетона позволяет оценивать его коррозионное состояние. Он рассчитывается как процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона. Данный показатель не имеет никакого отношения к общепринятому понятию степени карбонизации, в соответствии с которым степень карбонизации бетона определяется количеством поглощенного бетоном CO_2 воздуха.

Для возможности применения показателя СК необходимо установить его связь с показателем рН. Взаимосвязь показателей рН и СК определяли на основе исследования проб бетона, отобранные по сечению ЖБЭ, эксплуатировавшихся различные сроки в разных атмосферных средах.

В качестве примера на рисунке 1 приведены экспериментальные зависимости l – рН и l – КС для колонн коровника, эксплуатировавшегося 36 лет.

Показатели рН и КС определяли, а показатель СК рассчитывали, в соответствии с методиками [1]. Поскольку составы бетона реально эксплуатируемых ЖБЭ неизвестны, в них определяли поверхностную прочность бетона (методами неразрушающего контроля) и по ней принимали усредненное значение ПВК (предельной величины карбонизации бетона).

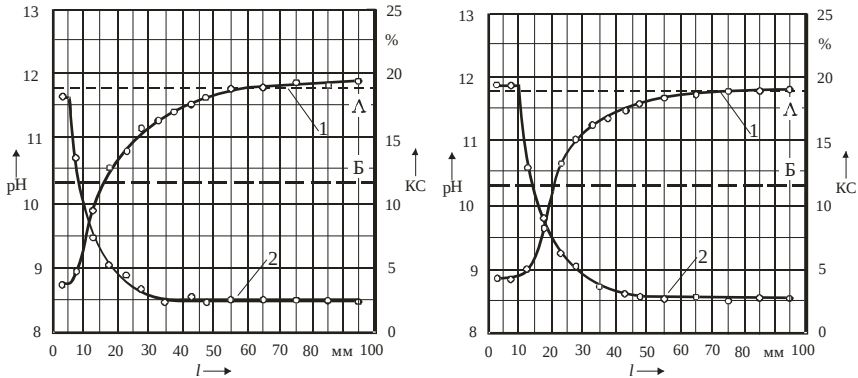


Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости $l - \text{pH}$ и $l - \text{КС}$ для колонн коровника, эксплуатировавшегося 36 лет: 1 – $l - \text{pH}$; 2 – $l - \text{КС}$

Анализировались результаты 600 проб. Полученная область значений показателей рН и СК приведена на рисунке 2.

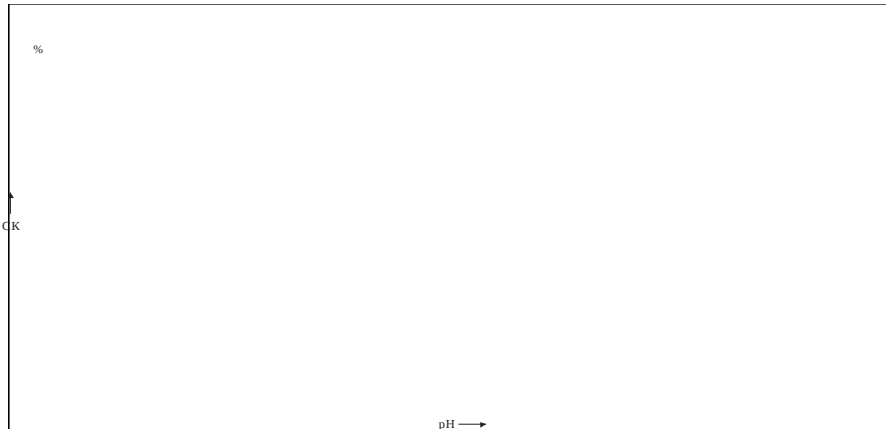


Рисунок 2 – Экспериментальная область значений параметров рН и СК
 Диаграмма рассеяния (рН (СК)) (рисунок 2) весьма удовлетворительно описывается уравнением регрессии вида $y = 19787e^{-0.617x}$, подобранным

в пакете MS «Excel». Коэффициент детерминации, соответствующий подобранному уравнению, составил $R^2 = 0,9682$, что статистически значимо отличается от нуля (для уровня значимости 0,01) и свидетельствует об адекватности подобранной модели.

Степень потери защитных свойств бетона по критерию СК однозначно определяется величинами показателей рН, граничные значения которых были назначены (на основании исследования взаимосвязи коррозионного состояния стальной арматуры со значениями щелочности поровой жидкости бетона (показателя рН) в зоне расположения арматуры) следующим образом: >11,80; 11,80–10,80; 10,80–10,30; 10,30–9,80; 9,80–9,00. Соответствующим образом все исследуемые объекты были распределены по вышеуказанным классам.

Возникла задача определения граничных значений СК x_{ij} , соответствующих различным объектам с учетом вероятностного характера СК. Среди возможных критериев выбора граничных значений СК применили следующий: «объект, для которого СК равен граничному значению x_{ij} для двух соседних классов i и j , с одинаковой вероятностью может быть отнесен к каждому из них». Следовательно, если СК объекта больше граничного значения x_{ij} между классами i и j , то с большей вероятностью он может быть отнесен к классу $j = i + 1$.

Для формального отыскания граничных значений x_{ij} решили графическое уравнение:

$$\overset{\cup}{F}_i(x_{ij}) = 1 - \overset{\cup}{F}_j(x_{ij}), \quad (1)$$

где $\overset{\cup}{F}_i(x)$ – эмпирическая функция распределения значений СК объектов i -го класса; x_{ij} – граничное значение СК между объектами i -го и j -го классов, $j = I + 1$.

По результатам расчетов с применением пакета статистического анализа данных «Statgraphics Centurion» были найдены граничные значения x_{ij} : $X_{12} = 13,40$; $X_{23} = 18,00$; $X_{34} = 25,50$; $X_{45} = 36,25$; $X_{56} = 47,00$; $X_{67} = 73,50$ %. Кроме того, в данной программе были найдены межквартильные размахи значений СК для объектов каждого класса (таблица 1).

Таблица 1 – Взаимосвязь параметров рН и СК по сечению бетона

Область значений показателя рН	Межквартильный размах показателя СК, % с вероятностью 0,5
>11,80	12,00–13,00
11,80–11,30	14,00–18,00
11,30–10,80	18,00–23,00

10,80–10,30	28,00–34,00
10,30–9,80	38,50–43,00
9,80–9,00	51,00–66,00
<9,00	81,00–93,00

Полученная таким образом взаимосвязь состояния стальной арматуры, состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре со степенью потери защитных свойств бетона при карбонизации для любого сечения бетона представлена в таблице 2.

Предлагаемая зависимость иллюстрирует изменение состояния бетона при карбонизации, его защитных свойств по отношению к стальной арматуре и состояния стальной арматуры и может быть использована при разработке методики оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом процессов карбонизации бетона для повышения качества обследования ЖБЭ и ЖБК.

Таблица 2 – Взаимосвязь состояния стальной арматуры, параметров pH и СК по сечению бетона

Степень коррозии стальной арматуры	Граничные значения показателя pH	Граничные значения показателя СК, %
0	> 11,80	< 13
I	11,80–10,80	13–26
II	< 10,80–10,30	> 26–36
III	< 10,30–9,80	> 36–47
IV	< 9,80–9,00	> 47–74
V	< 9,00	> 74

Результаты многолетних исследований изменения состояния бетона при карбонизации во времени по сечению позволили предложить шесть категорий степени карбонизации бетона (таблица 3).

Таблица 3 – Категории степени карбонизации бетона

Категория степени карбонизации	Граничные значения СК, %	Состояние бетона
0	≤13	Структурные свойства бетона соответствуют свежеприготовленному бетону
I	Свыше 13–26	Начало деградации бетона
II	» 26–36	Деградация бетона малой степени интенсивности
III	» 36–47	Деградация бетона средней степени интенсивности

IV	» 47–74	Деградация бетона повышенной степени интенсивности
V	» 74	Полная деградация бетона

Предлагаемые количественные критерии позволяют качественно оценивать количественные показатели карбонизации бетона, что дает возможность использовать их для оценки состояния бетона.

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.

2 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 304 с.

УДК 539.3

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ УЧЕТЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ СЛОЕВ

С. А. ВОРОБЬЁВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Постановка начально-краевой задачи. Рассматривается динамическое нагружение трехслойной цилиндрической оболочки, несимметричного по высоте строения относительно срединной поверхности жесткого, несжимаемого в поперечном направлении заполнителя. Толщины слоев постоянны и равны $2h_k$ ($k = 1, 2, 3$). Здесь и далее k – номер слоя. Верхнему слою соответствует индекс $k = 1$, нижнему – $k = 2$, внутреннему (заполнителю) – $k = 3$.

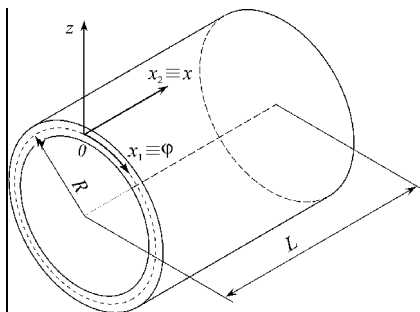


Рисунок 1 – Трехслойная цилиндрическая оболочка

Криволинейная ортогональная система координат x_1, x_2, z связана со срединной поверхностью заполнителя, которая принята за координатную поверхность. Ось z направлена по нормали к координатной поверхности в сторону первого слоя (рисунок 1). Оси $x_1 \equiv \varphi$ и $x_2 \equiv x$ совпадают с линиями главных кривизн координатной поверхности $z=0$ (z – расстояние по нормали от произвольной точки оболочки до координатной поверхности), т. е. x_1 направлена вдоль направляю-

щей, x_2 – вдоль образующей цилиндрической оболочки. Начало координат расположено на торце оболочки. Таким образом, пределы изменения введенных координат: $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ $0 \leq x_2 \leq L$; $-2h_2 - h_3 \leq z \leq h_3 + 2h_1$; L – длина оболочки.

Пусть на внешнюю поверхность первого несущего слоя действует распределенная нагрузка, компоненты которой по направлениям единичных ортов e_1, e_2 и оси z будут соответственно $q_\varphi^{(1)}(\varphi, x, t)$; $q_x^{(1)}(\varphi, x, t)$ и $q_z^{(1)}(\varphi, x, t)$ (рисунок 2 – фрагмент поперечного сечения). На основе модели ломаной линии (см. рисунок 1) используем кинематические гипотезы С. П. Тимошенко для каждого слоя, подобно модели стержня в работе [1]. Материалы слоев считаются линейно-упругими, изотропными и однородными. Полагая деформации малыми, а прогиб и углы поперечного сдвига не зависящими от поперечной координаты z , для всех слоев ($k = 1, 2, 3$) имеем:

$$w_z^{(k)}(\varphi, x, z, t) \approx w(\varphi, x, t), \quad \gamma_{z\varphi}^{(k)}(\varphi, x, z, t) \approx \gamma_\varphi^{(k)}(\varphi, x, t), \\ \gamma_{zx}^{(k)}(\varphi, x, z, t) \approx \gamma_x^{(k)}(\varphi, x, t).$$

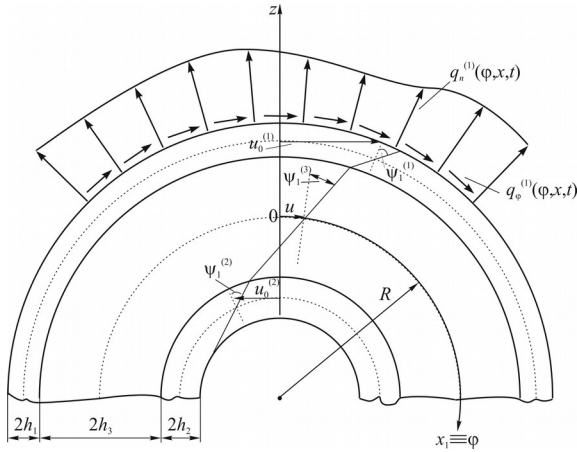


Рисунок 2 – Фрагмент поперечного сечения

При этом предположении получаем законы распределения перемещений по толщинам слоев из условия непрерывности перемещений на границах контакта слоев:

$$\begin{aligned}
 u_z^{(3)}(\varphi, x, z, t) &= u^{(3)}(\varphi, x, t) + z\psi_\varphi^{(3)}(\varphi, x, t), \\
 v_z^{(3)}(\varphi, x, z, t) &= v^{(3)}(\varphi, x, t) + z\psi_x^{(3)}(\varphi, x, t) \quad (-h_3 \leq z \leq h_3), \\
 u_z^{(i)}(\varphi, x, z, t) &= u^{(3)} \pm h_3\psi_\varphi^{(3)} + (z \mp h_3)\psi_\varphi^{(i)}(\varphi, x, t), \\
 v_z^{(i)}(\varphi, x, z, t) &= v^{(3)} \pm h_3\psi_x^{(3)} + (z \mp h_3)\psi_x^{(i)}(\varphi, x, t) \quad (i = 1, 2).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $(h_3 \leq z \leq h_3 + 2h_1)$ для $i=1$, а для тангенциальных перемещений (1) в первом несущем слое берется верхний знак. Пределы изменения $(-h_3 - 2h_2 \leq z \leq -h_3)$ соответствуют второму несущему слою ($i=2$), для которого в (1) надо использовать нижний арифметический знак; $\psi_\varphi^{(k)} = -w_{,\varphi} + \gamma_\varphi^{(k)}$, $\psi_x^{(k)} = -w_{,x} + \gamma_x^{(k)}$ – полные углы поворота прямолинейного элемента k -го слоя в координатных плоскостях $\varphi 0z$ и $x 0z$; $\gamma_{\varphi z}^{(k)}$, $\gamma_{xz}^{(k)}$ – углы поперечного сдвига в k -м слое; $u_z^{(k)}(\varphi, x, z, t)$, $v_z^{(k)}(\varphi, x, z, t)$ – тангенциальные перемещения в слоях в направлении осей φ и x соответственно; $u^{(3)}(\varphi, x, t) \equiv u(\varphi, x, t)$, $v^{(3)}(\varphi, x, t) \equiv v(\varphi, x, t)$ – тангенциальные перемещения точек срединной плоскости заполнителя $w(\varphi, x, t)$ – прогиб. Здесь и далее

запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Таким образом, в качестве искоемых неизвестных функций в дальнейшем будут выступать девять независимых кинематических параметров – линейные и угловые перемещения:

$$\{U\}^T = \{u, v, w, \psi_\varphi^{(k)}, \psi_x^{(k)}\} \quad (k = 1, 2, 3). \quad (2)$$

Уравнения движения линейно упругой цилиндрической оболочки, выполненной из изотропных материалов, получим, используя вариационный принцип Гамильтона-Остроградского [2]. Систему этих уравнений в матричной форме можно представить так:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [L]\{U\} = \{F\}, \quad (3)$$

где $[M]$ – симметричная недиагональная матрица масс размера 9×9 ; $\{\ddot{U}\}$ – вектор ускорений, соответствующий компонентам вектора (2); $\{F\}^T = \{q_1; q_2; q_z; h_3 q_1; h_3 q_2; 2h_1 q_1; 2h_1 q_2; 0; 0\} (R + h_3 + 2h_1)$ – вектор нагрузок. $[L] = [l_{ij}]$ – матрица дифференциальных операторов, элементами которой являются линейные дифференциальные операторы по координатам φ и x с постоянными коэффициентами, зависящими от геометрических и механических параметров слоев (не приведены из-за громоздкости выражений).

Задача о динамическом нагружении цилиндрической сэндвич-оболочки будет полностью сформулирована, если помимо уравнений движения (3) и граничных условий, автоматически следующих из вариационного уравнения, в начальный момент времени заданы профили компонентов вектора перемещений (2) и скоростей.

Уprungие несовершенства материалов слоев трехслойной оболочки учитываются на основе концепции комплексного модуля упругости $E_k^* = E_k (a_k + i \cdot b_k)$, $G_k^* = G_k (a_k + i \cdot b_k)$, где E_k , G_k – модули упругости материала, $a_k = (4 - \gamma_k^2) / (4 + \gamma_k^2)$, $b_k = 4\gamma_k^2 / (4 + \gamma_k^2)$, γ_k – коэффициент внутреннего трения материала k -го слоя ($k = 1, 2, 3$), i – мнимая единица. Уравнения движения неупругой оболочки в этом случае получаются заменой в уравнениях (3) идеально упругой оболочки модулей упругости E_k , G_k на соответствующие операторы E_k^* , G_k^* :

$$[M]\{\ddot{U}\} + [\tilde{L}]\{U\} = \{F\}, \quad (4)$$

где $[M]$ – матрица масс; $[\tilde{L}] = [\tilde{l}_{ij}]$ ($i, j = 1, \dots, 9$) – матрица, элементами которой являются линейные дифференциальные операторы по переменным x_1 и x_2 с постоянными комплексными коэффициентами; $\{F\}$ – вектор нагрузок.

Методика решения начально-краевой задачи. Для исследования параметров динамического деформирования оболочки как в случае ее консервативной модели, так и при учете внутреннего демпфирования воспользуемся комбинацией методов Фурье и комплексных амплитуд. Искомые перемещения (2) представим в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 u(x, y, t) &= \sum_{m,n} \tilde{U}_{mn}(t) X_{1m}(x) Y_{1n}(\varphi); \\
 v(x, y, t) &= \sum_{m,n} \tilde{V}_{mn}(t) X_{2m}(x) Y_{2n}(\varphi); \\
 w(x, y, t) &= \sum_{m,n} \tilde{W}_{mn}(t) X_{3m}(x) Y_{3n}(\varphi) \quad (k=1, 2, 3); \\
 \psi_{\varphi}^{(k)}(x, y, t) &= \sum_{m,n} \tilde{\Psi}_{\varphi mn}^{(k)}(t) X_{um}^{(k)}(x) Y_{un}^{(k)}(\varphi); \\
 \psi_x^{(k)}(x, y, t) &= \sum_{m,n} \tilde{\Psi}_{xmn}^{(k)}(t) X_{vm}^{(k)}(x) Y_{vn}^{(k)}(\varphi), \quad (5)
 \end{aligned}$$

где $\tilde{U}_{mn}(t)$, $\tilde{V}_{mn}(t)$, $\tilde{W}_{mn}(t)$, $\tilde{\Psi}_{\varphi mn}^{(k)}(t)$, $\tilde{\Psi}_{xmn}^{(k)}(t)$ – комплексные функции действительной переменной t ; функции вида $X_m(x)$ и $Y_n(\varphi)$ – координатные функции, удовлетворяющие граничным условиям.

Подстановка (5) в систему (2) или (3) приводит к бесконечному числу систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) относительно функций времени. Аналитические решения систем ОДУ строим, используя преобразование Лапласа по времени.

Решение модельной задачи. Пусть мгновенный точечный импульс

$$q_z^{(1)}(\varphi, x, t) = \delta(\varphi - \varphi_p) \delta(x - x_p) \delta(t)$$

действует по нормали к поверхности первого несущего слоя цилиндрической прямоугольной в плане панели с длиной L и полукруглым поперечным сечением. Панель в начальный момент времени неподвижна. Здесь δ – дельта-функция, а φ_p и x_p – координаты точки воздействия импульса.

Граничные условия свободного опирания кромок панели ($\varphi=0$; $\varphi=\pi$; $x=0$; $x=L$) на жесткие неподвижные опоры можно представить в виде:

$$u_{,\varphi} = v_{,x} = w = \psi_{\varphi}^{(k)},_{\varphi} = \psi_x^{(k)},_x = 0 \quad (k=1,2,3). \quad (6)$$

Искомые функции перемещений, обеспечивающие выполнение краевых условий (6), аналогичны выражениям, представленным в [2]:

$$u = \sum_{m,n} U_{mn}(t) \cos(m\varphi) \sin(\overset{\square}{n}x); \quad v = \sum_{m,n} V_{mn}(t) \sin(m\varphi) \cos(\overset{\square}{n}x);$$

$$w = \sum_{m,n} W_{mn}(t) \sin(m\varphi) \sin(\overset{\square}{n}x) \quad (k=1,2,3); \quad (7)$$

$$\Psi_{\varphi}^{(k)} = \sum_{m,n} \Psi_{\varphi mn}^{(k)}(t) \cos(m\varphi) \sin(\overset{\square}{n}x); \quad \Psi_x^{(k)} = \sum_{m,n} \Psi_{xmn}^{(k)}(t) \sin(m\varphi) \cos(\overset{\square}{n}x),$$

где $\overset{\square}{n} = n\pi / L$; $m = 1, 2, \dots \infty$; $n = 1, 2, \dots \infty$;

Подставив (7) в систему (3), выполнив процедуру ортогонализации уравнений, получим бесконечное число обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) для функций времени в правых частях выражений (7). Аналитические решения ОДУ строим, используя преобразование Лапласа. Изображения функций перемещений представляют собой дробно-рациональные функции $g_{16}(s, m, n) / f_{18}(s, m, n)$. Здесь нижний индекс – порядок полинома относительно параметра преобразования Лапласа s . Разложение на простые дроби изображений функций прогиба $W_{mn}^L(s)$, представляющих наибольший интерес для исследования процесса деформирования панели, использование теоремы свертки позволяет без особых проблем найти оригиналы $W_{mn}(t)$, а по ним и $w(\varphi, x, t)$ из (7).

В качестве материалов слоев панели рассматривались: сплав Д16Т – для несущих слоев, а для заполнителя – политетрафторэтилен.

В расчетах использовались безразмерные параметры и величины:

$$\xi = x^{\square} / R^{\square}; \quad h_k = h_k^{\square} / R^{\square}; \quad L = L^{\square} / R^{\square}; \quad u = u^{\square} / R^{\square}; \quad v = v^{\square} / L^{\square}; \quad w = w^{\square} / R^{\square}; \quad R^{\square} = 1 \text{ м}$$

$$\tau = t^{\square} \sqrt{P_0 / \rho_0} / R^{\square}; \quad E_k = E_k^{\square} / P_0^{\square}; \quad \rho_k = \rho_k^{\square} / \rho_0^{\square}; \quad \rho_0^{\square} = 100 \text{ кг/м}^3; \quad P_0^{\square} = 10^4 \text{ МПа}$$

$$;$$

$$\varphi_p = \pi / 2; \quad \xi_p = 1,57; \quad h_1 = h_2 = 0,01; \quad h_3 = 0,03; \quad L = 3,14,$$

где t^{\square} – время; штрих сверху означает размерную величину.

На рисунках 3, 4 показаны картины изменения нормированных прогибов цилиндрической панели, построенные на основе аналитического решения. $\bar{w} = w / w_{\max}$. Заметим, что w_{\max} возникает в точке воздействия импульса.

На рисунке 3 линия 1 – прогибы в точке воздействия импульса, а линия 2 – в точке с координатами $\varphi = \pi / 2$, $\xi = 0,785 = L / 4$. Видно, как и следовало предполагать, возмущение в точке 2 появляется с некоторым опозданием по отношению к точке 1, а с течением времени амплитуда колебаний начинает возрастать.

Рисунок 4 позволяет наблюдать за изменением прогибов вдоль образующей панели в различные моменты времени. Частоте собственных колебаний $\omega_{mn,s}$ соответствует период колебаний $T_{mn,s}$, где m и n –

параметры волнообразования в окружном и продольном направлениях, S – номер серии частот для фиксированной комбинации mn . В рассматриваемой модели оболочки $s = 1, \dots, 9$. Кривая 1 соответствует $\tau = 0,23 \approx 2T_{11,1}$, когда прогиб в точке воздействия импульса достигает максимума. Линия 2 изображает прогиб в момент $\tau = 6,06 = T_{11,4}$, а линия 3 – $\tau = 17,50 = T_{11,2}$. Из-за симметрии картин линии 2 и 3 показаны лишь для половины образующей.

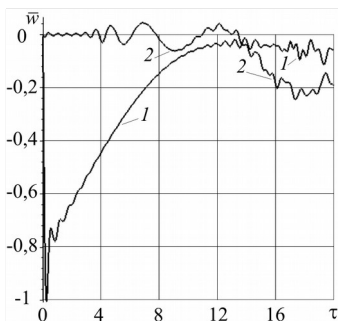


Рисунок 3 – Изменение прогибов в двух точках панели

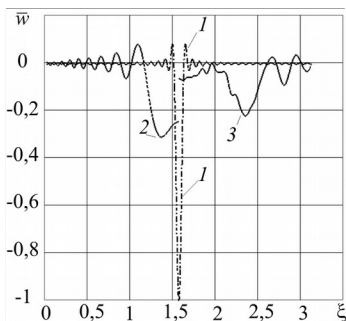


Рисунок 4 – Изменение прогибов вдоль образующей панели

Заключение. Представленное аналитическое решение для оболочки позволяет исследовать процесс изменения всех компонентов вектора перемещений (2), скоростей и ускорений при различных динамических воздействиях. Два последних кинематических параметра позволяют рассчитывать срок безотказной работы наиболее нагруженного элемента конструкции. Учет демпфирующих свойств материалов слоев делают механико-математическую модель оболочки более адекватной реальному объекту, при этом нестационарные свободные колебания являются затухающими.

Список литературы

- 1 **Воробьев, С. А.** Ударное деформирование композитного стержня, связанного с упругим основанием / С. А. Воробьев // Механика машин, механизмов и материалов. – 2008. – № 4. – С. 52–55.
- 2 **Перцев, А. К.** Динамика оболочек и пластин / А. К. Перцев, Э. Г. Платонов. – Л. : Судостроение, 1987. – 316 с.

АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

В. А. ГОРДОН, Е. В. БРУМА

*Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,
Российская Федерация*

Разработан алгоритм определения частот и форм собственных поперечных колебаний балки, опертой на упругое основание Винклера. Вводится вектор состояния сечения балки с четырьмя компонентами: прогиб, угол поворота, изгибающий момент, перерезывающая сила. Рассмотрены три варианта отношения частоты колебаний исследуемой балки к некоторой известной «условной частоте». Показано, что физически реальное описание процесса колебаний дает только один вариант.

Введение. Балки на упругом основании, колонны, сваи, поддерживаемые по длине – структурные элементы многих строительных и механических конструкций и сооружений [1–3]. При исследовании динамики взаимодействия балки и основания необходимым этапом является анализ собственных колебаний балки [4–6]. При математическом моделировании в этом случае возникают три возможных решения уравнений колебаний. Эти решения соответствуют разным диапазонам собственных частот, которые в свою очередь зависят от соотношения жесткостей балки и основания

Ниже рассмотрены все возможные варианты определения частот и соответствующих им форм собственных поперечных колебаний балок с различными граничными условиями, поддерживаемых упругими основаниями.

Рассматривается балка длиной L прямоугольного поперечного сечения площади A и основным моментом инерции I , выполненная из материала с модулем Юнга E и плотностью ρ . Балка по всей длине поддерживается упругим основанием Винклера с параметром жесткости k . Концы балки определенным образом закреплены. Тогда собственные поперечные колебания ее описываются уравнением [7]:

$$EI \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + kv + \rho A \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где $v = v(x, t)$ – прогибы; x, t – соответственно осевая координата и время.

Введением безразмерных переменных и параметров:

$$\xi = \frac{x}{L}, \quad w = \frac{v}{L}, \quad \tau = w_0 t,$$

где $w_0 = \sqrt{k/(\rho A)}$ – параметр, имеющий размерность частоты [1/с] и названный «условной частотой», уравнение (1) приводится к виду

$$\frac{\partial^4 w}{\partial \xi^4} + 4\alpha^4 w + \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2} = 0, \quad (2)$$

где $\alpha = \sqrt[4]{\frac{kL^4}{4EI}}$ – безразмерный параметр, характеризующий жесткость составляющих системы «балка-основание».

Полагая колебания балки на упругом основании гармоническими, разделим переменные в уравнении (2) представлением

$$w = W(\xi) \sin \bar{\omega} \tau, \quad (3)$$

где $\bar{\omega} = \omega / \omega_0$ – безразмерная частота собственных поперечных колебаний балки, $W = w / L$ – безразмерная функция ξ формы колебаний, соответствующей частоте $\bar{\omega}$.

Подставляя представление (3) в уравнение (2), получим уравнение для функции $W(\xi)$

$$W^{IV} + \lambda^4 W = 0, \quad (4)$$

где $\lambda^4 = 4\alpha^4(1 - \bar{\omega}^2)$.

Решение обыкновенного уравнения (4) ищем подстановкой Эйлера:

$$W = Ae^{n\xi}, \quad (5)$$

где n и A – константы, подлежащие определению.

Подставляя (5) в уравнение (4), получим характеристическое уравнение

$$n^4 + \lambda^4 = 0. \quad (6)$$

Заметим, что параметр λ^4 может быть положительным, отрицательным и равным нулю:

$$\begin{aligned} 1. \lambda^4 > 0, \text{ если } \bar{\omega} < 1; \\ 2. \lambda^4 = 0, \text{ если } \bar{\omega} = 1; \\ 3. \lambda^4 < 0, \text{ если } \bar{\omega} > 1. \end{aligned} \quad (7)$$

Рассмотрим последовательно случаи (7).

1 Пусть $\bar{\omega} < 1$, тогда $\lambda^4 = 4\alpha^4(1 - \bar{\omega}^2) > 0$, тогда уравнение (6) принимает вид

$$n^4 + 4\alpha^4(1 - \bar{\omega}^2) = 0,$$

корни которого

$$n_{1,2,3,4} = (\pm i \pm 1)\beta_1, \quad \beta_1 = \alpha\sqrt[4]{1 - \omega^2}. \quad (8)$$

Решение уравнения (4) в этом случае имеет вид

$$W = A_1 \operatorname{sh}\beta_1 \xi \sin\beta_1 \xi + A_2 \operatorname{sh}\beta_1 \xi \cos\beta_1 \xi + A_3 \operatorname{ch}\beta_1 \xi \sin\beta_1 \xi + A_4 \operatorname{ch}\beta_1 \xi \cos\beta_1 \xi. \quad (9)$$

Выражая постоянные интегрирования A_j ($j = 1, \dots, 4$) через начальные параметры

$$W_0 = W(0), \quad W_0^{\square} = W^{\square}(0), \quad W_0^{\blacksquare} = W^{\blacksquare}(0), \quad W_0^{\blacklozenge} = W^{\blacklozenge}(0),$$

приведем функцию (9) к виду

$$W = W_0 K_4(\beta_1 \xi) + W_0^{\square} K_3(\beta_1 \xi) + W_0^{\blacksquare} K_2(\beta_1 \xi) + W_0^{\blacklozenge} K_1(\beta_1 \xi), \quad (10)$$

где $K_j = K_j(\beta_1 \xi)$ – функции Крылова:

$$K_1(\beta_1 \xi) = \frac{\operatorname{ch}\beta_1 \xi \sin\beta_1 \xi - \operatorname{sh}\beta_1 \xi \cos\beta_1 \xi}{4\beta_1^3};$$

$$K_2(\beta_1 \xi) = \frac{\operatorname{sh}\beta_1 \xi - \sin\beta_1 \xi}{2\beta_1^2};$$

$$K_3(\beta_1 \xi) = \frac{\operatorname{ch}\beta_1 \xi \sin\beta_1 \xi + \operatorname{sh}\beta_1 \xi \cos\beta_1 \xi}{2\beta_1};$$

$$K_4(\beta_1 \xi) = \operatorname{ch}\beta_1 \xi \cos\beta_1 \xi,$$

обладающие свойствами:

$$K_1^{\square} = K_2, \quad K_2^{\square} = K_3, \quad K_3^{\square} = K_4, \quad K_4^{\square} = -4\beta_1^4 K_1;$$

$$K_1(0) = K_2(0) = K_3(0) = 0, \quad K_4(0) = 1.$$

Для описания состояния балки в произвольном сечении ξ введем:

– вектор состояния

$$\bar{W}(\xi) = (W(\xi) \quad W^{\square}(\xi) \quad W^{\blacksquare}(\xi) \quad W^{\blacklozenge}(\xi));$$

– вектор начальных параметров

$$\bar{W}_0 = (W_0 \quad W_0^{\square} \quad W_0^{\blacksquare} \quad W_0^{\blacklozenge});$$

– матрицу влияния начальных параметров на состояние балки в произвольном сечении ξ

$$K_{4 \times 4}(\beta_1 \xi) = \begin{pmatrix} K_4(\beta_1 \xi) & K_3(\beta_1 \xi) & K_2(\beta_1 \xi) & K_1(\beta_1 \xi) \\ -4\beta_1^4 K_1(\beta_1 \xi) & K_4(\beta_1 \xi) & K_3(\beta_1 \xi) & K_2(\beta_1 \xi) \\ -4\beta_1^4 K_2(\beta_1 \xi) & -4\beta_1^4 K_1(\beta_1 \xi) & K_4(\beta_1 \xi) & K_3(\beta_1 \xi) \\ -4\beta_1^4 K_3(\beta_1 \xi) & -4\beta_1^4 K_2(\beta_1 \xi) & -4\beta_1^4 K_1(\beta_1 \xi) & K_4(\beta_1 \xi) \end{pmatrix}$$

Тогда состояние балки в сечении ξ описывается матричным уравнением:

$$\overline{W}(\xi) = K(\beta_1 \xi) \overline{W}_0. \quad (11)$$

Выведем частотные уравнения собственных поперечных колебаний балки, полностью опертой на упругое основание, для ряда канонических вариантов граничных условий.

Предположим, что оба конца ($\xi = 0$ и $\xi = 1$) балки жестко защемлены. В этом случае граничные условия записываются как

$$W_0 = W_0'' = W(1) = W'(1) = 0.$$

Записывая в развернутом виде уравнение (11) для $\xi = 1$, получим

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ W_0''(1) \\ W_0'''(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_4(\beta_1) & K_3(\beta_1) & K_2(\beta_1) & K_1(\beta_1) \\ -4\beta_1^4 K_1(\beta_1) & K_4(\beta_1) & K_3(\beta_1) & K_2(\beta_1) \\ -4\beta_1^4 K_2(\beta_1) & -4\beta_1^4 K_1(\beta_1) & K_4(\beta_1) & K_3(\beta_1) \\ -4\beta_1^4 K_3(\beta_1) & -4\beta_1^4 K_2(\beta_1) & -4\beta_1^4 K_1(\beta_1) & K_4(\beta_1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_0 \\ W_0' \\ W_0'' \\ W_0''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ W_0'' \\ W_0''' \end{pmatrix}$$

откуда следует система уравнений относительно неизвестных начальных параметров W_0'' и W_0'''

$$\begin{pmatrix} K_2(\beta_1) W_0'' + K_1(\beta_1) W_0''' = 0 \\ K_3(\beta_1) W_0'' + K_2(\beta_1) W_0''' = 0. \end{pmatrix} \quad (12)$$

Условием существования ненулевых решений системы (12) является равенство нулю определителя матрицы коэффициентов системы:

$$\begin{vmatrix} K_2(\beta_1) & K_1(\beta_1) \\ K_3(\beta_1) & K_2(\beta_1) \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель и произведя ряд тождественных преобразований, получаем частотное уравнение

$$\text{sh}^2\beta_1 - \sin^2\beta_1 = 0.$$

Поступая аналогично при других способах закрепления концов балки, получим соответствующие частотные уравнения (таблица 1).

Таблица 1 – Частотные характеристики $f_j = f_j(\beta_1)$ при различных способах закрепления балки

N_j	Способ закрепления	Граничные условия	Частотные уравнения
1	Защемление обоих концов	$\xi = 0 : W_0 = W_0^{\square} = 0$ $\xi = 1 : W(1) = W^{\square}(1)$	$f_1 = \text{sh}^2\beta_1 - \sin^2\beta_1 =$
2	Защемление и шарнир	$\xi = 0 : W_0 = W_0^{\square} = 0$ $\xi = 1 : W(1) = W^{\text{III}}(1)$	$f_2 = \text{sh}2\beta_1 - \sin2\beta_1 =$
3	Шарниры на обоих концах	$\xi = 0 : W_0 = W_0^{\text{III}} = 0$ $\xi = 1 : W_1(1) = W_1^{\text{III}}(1)$	$f_3 = \text{tg}^2\beta_1 + \text{th}^2\beta_1 = 0$
4	Консоль	$\xi = 0 : W_0 = W_0^{\square} = 0$ $\xi = 1 : W^{\text{III}}(1) = W^{\text{III}}(1)$	$f_4 = \text{ch}^2\beta_1 + \cos^2\beta_1 =$

Как показывает анализ частотных уравнений (рисунок 1)? для рассматриваемых случаев закрепленных концов ($j = 1 \dots 4$) существование режима собственных колебаний с отношением $\bar{\omega} = \omega / \omega_0 < 1$ – невозможно, так как уравнения не имеют действительных корней (кроме $\beta_1 = 0$ для $f_{1,2,3} = f(\beta_1)$), а при нулевых значениях β_1 прогибы $W(\xi)$ равны нулю.

а)

б)

в)

г)

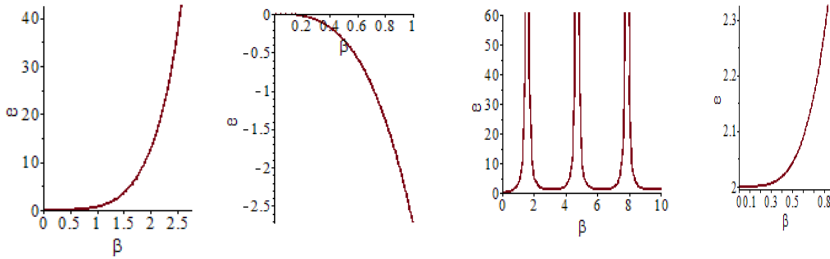


Рисунок 1 – Графики функций f_j :

$a - f_1$; $б - f_2$; $в - f_3$; $г - f_4$

2 Пусть $\bar{\omega} = 1$, тогда $\lambda^4 = 0$.

В этом случае имеется одно возможное решение уравнения (4) в виде кубического полинома:

$$W(\xi) = W_0 + W_0' \xi + W_0'' \frac{\xi^2}{2} + W_0''' \frac{\xi^3}{6}.$$

Эта функция описывает статическую деформацию балки от нагрузок либо начальных смещений (вращений), заданных в концевых сечениях. Единственный случай, когда динамическая задача имеет ненулевое решение – это случай свободных концов балки с граничными условиями:

$$W_0''' = W_0'''' = W_0''(1) = W_0'''(1) = 0.$$

Движение балки описывается функцией

$$w(\xi, \tau) = (A\xi + B) \sin \tau,$$

где A и B – произвольные константы, что означает плоское движение балки как жесткого тела. В остальных случаях, когда имеются кинематические ограничения хотя бы на одном конце, – прогибы отсутствуют.

3 Пусть $\bar{\omega} > 1$, тогда $\lambda^4 < 0$ и уравнение (6) принимает вид

$$n^4 - 4\alpha^4(\bar{\omega}^2 - 1) = 0,$$

корни которого

$$n_{1,2} = \pm \beta_2, \quad n_{3,4} = \pm i \beta_2; \quad \beta_2 = \sqrt{2\alpha^4 \sqrt{\bar{\omega}^2 - 1}}. \quad (13)$$

Решение уравнения (4) в этом случае

$$W = W_0 R_4(\beta_2 \xi) + W_0^{\square} R_3(\beta_2 \xi) + W_0^{\square\square} R_2(\beta_2 \xi) + W_0^{\square\square\square} R_1(\beta_2 \xi), \quad (14)$$

где $R_j = R_j(\beta_2 \xi)$ – другая разновидность функций Крылова:

$$R_1(\beta_2 \xi) = \frac{\text{sh}\beta_2 \xi - \sin\beta_2 \xi}{2\beta_2^3}; \quad R_2(\beta_2 \xi) = \frac{\text{ch}\beta_2 \xi - \cos\beta_2 \xi}{2\beta_2^2};$$

$$R_3(\beta_2 \xi) = \frac{\text{sh}\beta_2 \xi + \sin\beta_2 \xi}{2\beta_2}; \quad R_4(\beta_2 \xi) = \frac{\text{ch}\beta_2 \xi + \cos\beta_2 \xi}{2},$$

также обладающих свойствами

$$R_1^{\square} = R_2, \quad R_2^{\square} = R_3, \quad R_3^{\square} = R_4, \quad R_4^{\square} = \beta_2^4 R_1;$$

$$R_1(0) = R_2(0) = R_3(0) = 0, \quad R_4(0) = 1.$$

Состояние балки в произвольном сечении ξ описывается матричным уравнением:

$$\overline{W}(\xi) = R(\beta_2 \xi) \overline{W}_0, \quad (15)$$

где векторы состояния $\overline{W}(\xi)$ и начальных параметров \overline{W}_0 – те же, что и в п. 1, а матрица влияния $R(\beta_2 \xi)$ в развернутом виде следующая:

$$R_{4 \times 4}(\beta_2 \xi) = \begin{pmatrix} R_4(\beta_2 \xi) & R_3(\beta_2 \xi) & R_2(\beta_2 \xi) & R_1(\beta_2 \xi) \\ \beta_2^4 R_1(\beta_2 \xi) & R_4(\beta_2 \xi) & R_3(\beta_2 \xi) & R_2(\beta_2 \xi) \\ \beta_2^4 R_2(\beta_2 \xi) & \beta_2^4 R_1(\beta_2 \xi) & R_4(\beta_2 \xi) & R_3(\beta_2 \xi) \\ \beta_2^4 R_3(\beta_2 \xi) & \beta_2^4 R_2(\beta_2 \xi) & \beta_2^4 R_1(\beta_2 \xi) & R_4(\beta_2 \xi) \end{pmatrix}.$$

Далее выведем частотные уравнения для балок с граничными условиями такими же, как в п. 1. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Частотные уравнения и безразмерные частоты

N_j	Частотные уравнения	Параметры частоты
1	$\text{ch}^2 \beta_2 - \cos \beta_2 = 0$	$\beta_{2(1)} = 4,73; \beta_{2(2)} = 7,85; \beta_{2(3)} = 11; \beta_{2(n)} =$
2	$\text{tg} \beta_2 = \text{th} \beta_2$	$\beta_{2(1)} = 3,93; \beta_{2(2)} = 7,07; \beta_{2(3)} = 10,2; \beta_{2(n)} =$
3	$\text{sh} \beta_2 \sin \beta_2 = 0$	$\beta_{2(1)} = \pi; \beta_{2(2)} = 2\pi; \beta_{2(3)} = 3\pi; \beta_{2(n)} = n\pi$

N_j	Частотные уравнения	Параметры частоты
4	$\text{ch}\beta_2 \cos\beta_2 = -1$	$\beta_{2(1)} = 1,875; \beta_{2(2)} = 4,7; \beta_{2(3)} = 7,85; \beta_{2(n)}$

Частотные уравнения, приведенные во 2-м столбце таблицы 2, с точностью до обозначений совпадают с соответствующими уравнениями для свободной (без основания) балки [8]. Таким образом, параметры $\beta_{2(n)j}^2$ есть известные безразмерные частоты j -й свободной балки:

$$\beta_{2(n)j}^2 = \omega_{njc} L^2 \sqrt{\frac{\rho A}{EI}},$$

где ω_{njc} – размерная n -я собственная частота j -й свободной балки с теми же геометрическими и механическими характеристиками, как у балки на упругом основании.

Чтобы найти n -ю собственную частоту балки на упругом основании с обобщенным параметром жесткости α , соответствующую корням частотного уравнения $\beta_{2(n)j}$, предварительно выразим «условную частоту» ω_0 через известную собственную частоту соответствующей свободной балки ω_{njc} следующим образом:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{\rho A}} = \sqrt{\frac{4\alpha^4 EI}{\rho AL^4}} = \frac{2\alpha^2}{\beta_{2(n)j}} \omega_{njc}.$$

Тогда безразмерная n -я частота j -й балки, опертой на упругое основание, может быть представлена в виде

$$\bar{\omega}_{nj} = \frac{\omega_{nj}}{\omega_0} = \frac{\omega_{nj}}{\omega_{njc}} \left[\frac{\beta_{2(n)j}}{\sqrt{2\alpha}} \right]^2. \quad (16)$$

Возвращаясь к формуле (13) и учитывая формулу (16), после ряда тождественных преобразований получим отношение

$$\frac{\omega_{nj}}{\omega_{njc}} = \sqrt{1 + \left[\frac{\sqrt{2\alpha}}{\beta_{2(n)j}} \right]^4} > 1, \quad (17)$$

характеризующее влияние на рост собственных частот поперечных колебаний поддерживающего балку основания.

На рисунке 2 показана степень влияния обобщенной жесткости α на отношения первых трех частот колебаний балки на упругом основании к

собственным частотам такой же свободной балки для двух вариантов граничных условий ($j = 1 \div 2$)

Заключение. Показано, что условие $\bar{\omega} > 1$, принятое в п. 3, означает, что частота колебаний балки, поддерживаемой упругим основанием любой жесткости $\alpha \neq 0$, больше такой же частоты колебаний соответствующей свободной балки. И только при этом условии уравнение (4) дает физически реальное описание (14) форм собственных поперечных колебаний балки полностью (по всей длине) опертой на упругое основание. Форма колебаний определяется единым параметром $\beta_{2(n)j}$, но с различной, в зависимости от α , частотой.

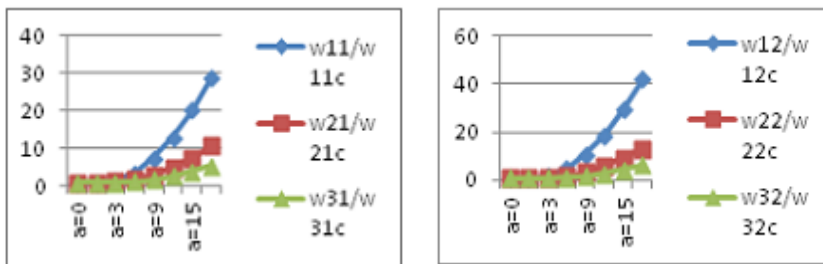


Рисунок 2 – Отношения частот колебаний балки на упругом основании к частотам соответствующих свободных балок к функции параметра α

Заметим, что единственность требования $\bar{\omega} > 1$ при описании колебаний балки на упругом основании вытекает из условия полного опирания балки на основание. При частичном опирании возможна реализация всех трех вариантов (7).

Список литературы

- 1 **Андрианов, И. В.** Асимптотические методы в теории колебаний балок и пластин [Текст] / В. И. Андрианов, В. В. Данишевский, А. О. Иванков. Днепропетровск : Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, 2010. – 216 с.
- 2 **Ерофеев, В. И.** Динамическое поведение балок моделей Бернулли – Эйлера, Рэлея и Тимошенко, лежащих на упругом основании (сравнительный анализ) [Текст] / В. И. Ерофеев, В. В. Кажаев, Е. Е. Лисенкова, Н. П. Семерикова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 5 (3). – С. 274–278.
- 3 **Товстик, П. Е.** Неклассические модели балок, пластин и оболочек [Текст] / П. Е. Товстик // Известия Саратовского университета. – 2008. – Т. 8. – Серия Математика. Механика. Информатика. Вып. 3. – С. 72–85.

4 **Ozturk, B.** Analytical solution for free vibration analysis of beam on elastic foundation with different support conditions / B. Ozturk, S. B. Coscun //Mathematical problems in engineering, volume 2013, article ID 470927, 7 pages.

5 **De Rosa, M. A.** Stability and dynamics of beams on Winkler foundations / M.A. De Rosa//Earthquake engineering and structural dynamics. – Vol. 18. – P. 377–388. – 1989.

6 **Thambiratnam, D.** Free vibration analysis of beam on elastic foundation / D. Thambiratnam, Y. Zhuge // Computers and Structures. – Vol. 6. – P. 971–980. – 1966.

7 **Гордон, В. А.** Собственные поперечные колебания балки, опертой на упругое основание [Текст] / В. А. Гордон, Т. В. Потураева, Г. А. Семенова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 6. – С. 3–10.

8 Вибрации в технике : в 6 т. Т. 1. Колебания упругих систем [Текст]. – М. : Машиностроение, 1978. – С. 195.

УДК 624.21.033.1:624.21.016

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ

А. А. ЗАЕЦ

Военный институт (Железнодорожных войск и Военных сообщений)

Военной академии материально-технического обеспечения

им. генерала армии А. В. Хрулёва, г. Петергоф, Российская Федерация

В настоящее время на железных дорогах Российской Федерации эксплуатируется около 83 тыс. искусственных сооружений, общей длиной 2484,0 км, в том числе: мостов, виадуков и путепроводов 30,8 тыс.; труб и лотков 49,2 тыс. Следует особо обратить внимание на тот факт, что в связи с развитием современных средств поражения вероятным противником железнодорожных объектов, форм и способов вооруженной борьбы, к железнодорожным войскам предъявляются требования, направленные на существенное повышение темпов восстановления железнодорожных объектов. Однако по результатам проведенных исследований восстановление расчетного моста на жестких опорах осуществимо в следующие технологические сроки:

– до 4 суток – при краткосрочном восстановлении на обходе;

– от 4 до 10 суток – при временном восстановлении на обходе и по старой оси.

Очевидно, что решение поставленных перед Железнодорожными войсками задач по восстановлению разрушенных искусственных сооружений на железных дорогах возможно только с применением инвентарного имущества (готовых быстровозводимых мостовых конструкций) и специальных технических средств, предназначенных для их монтажа. Принятый на снабжение мост-лента МЛЖ-ВФ-ВТ и разработанный мост-эстакада ИМЖ-500 в полном объеме задачи

восстановления не решают, так как в первую очередь не применимы для восстановления мостов по старой оси и через судоходные реки. Поэтому является актуальной разработка принципиально новых конструктивных решений железнодорожных мостов с применением технологически рациональных универсальных мостовых конструкций, удовлетворяющих тактико-техническим требованиям по назначению и допускающих их применение при временном и краткосрочном восстановлении как по старой оси, так и на ближнем и дальнем обходах [1].

В соответствии с ГОСТ В 15.004–84 [2] исследование и обоснование разработки, в том числе конструкций пролетных строений, является одной из стадий жизненного цикла изделия. Данная стадия включает в себя:

- процессы формирования требований к конструкциям;
- изыскание принципов и путей создания изделий;
- обоснование возможности и целесообразности создания конструкций.

Результатом работ на этой стадии являются тактико-технические требования к создаваемому имуществу и, как правило, тактико-техническое задание на проектирование. Основные требования по назначению содержатся в директивных и нормативных документах по проектированию конструкций временных мостов (таблица 1).

Таблица 1 – Тактико-технические требования по назначению к конструкциям железнодорожных мостов по видам восстановления

Предъявляемые требования	Количественные показатели	
	краткосрочное восстановление	временное восстановление
Схема вертикальной временной нагрузки от подвижного состава	ВФ (20,7 тс/ось)	ВТ (25,3 тс/ось)
Скорость движения поездов	50 км/ч	80 км/ч
Срок непрерывной эксплуатации	Сезон (войсковая операция)	5–7 лет
Ширина подмостового габарита судоходных пролетов	По указанию командования (не менее 30 м)	Не менее 50 м
Высота подмостового габарита судоходных пролетов	По указанию командования (не менее 4 м)	Не менее 12 м
Величина допускаемого прогиба пролетных строений	$L/350$	$L/600$

Известно, что классической системой мостов является балочная разрезная. Методики расчета и проектирования таких систем мостов наукой изучены достаточно для удовлетворения требований технологической

рациональности. Однако применение данной системы ограничивает возможную длину пролетных строений до 33, максимум 44 метров, и приводит к невыполнению требований судоходства к подмостовым габаритам в случае временного восстановления.

Авторами обосновано получение новых систем мостов за счет комбинации классических. Например, путем комбинации вантовой и балочной неразрезной можно получить вантово-балочную систему моста.

Так, патентным поиском по данному направлению разработаны новые конструктивные решения пролетных строений комбинированных систем [3, 4], но при реализации данных решений проектировщики вынуждены сталкиваться с рядом проблем, связанных с выработкой концепции проектирования таких конструкций.

В целом задача проектирования инвентарных конструкций состоит в преобразовании данных тактико-технического задания в требуемый результат. При этом общая задача проектирования распадается на ряд частных задач, те, в свою очередь, на еще более частные задачи.

Процесс решения проблемы проектирования рассмотрен подробно в работах Владимирского С. Р. [5, 6] и представлен в виде схемы на рисунке 1.

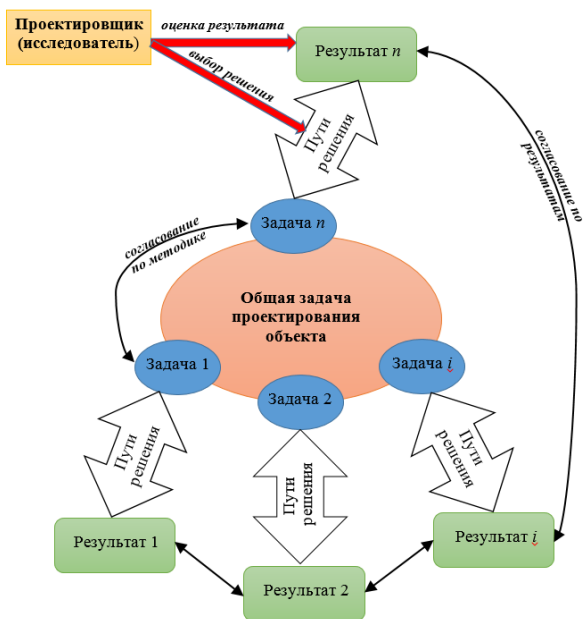


Рисунок 1 – Общая схема решения проблемы проектирования

Для проектирования конструкций необходимо выделить ряд наиболее важных задач, которые необходимо решить:

1) определение генеральных параметров «Расчетного моста» (отверстие, габариты, характерные размеры и отметки);

2) компоновка сооружения (схема, система моста, материал, конструктивное исполнение элементов);

3) выбор наилучших значений параметров конструктивной схемы сооружения;

4) конструирование и расчет элементов моста.

Отсюда видно, что проектирование конструкций возможно выполнить только в комплексе задач, представив мост как сложную техническую систему. Но, в настоящее время, не имеется достаточного обоснования и описания такой системы.

Научно-исследовательскими подразделениями железнодорожных войск, проведены ряд работ [7, 8], направленных на обоснование возможности создания новых образцов того или иного мостового имущества. В работах рекомендованы к использованию для проектирования и расчета нормы ПВКМ-79, ТУВЖМ [9, 10]. Данные нормы были специально разработаны и введены в действие для проектирования военных железнодорожных мостов.

Указанные нормы содержат ряд устаревших положений, которые также не позволяют комплексно проектировать принципиально новые системы пролетных строений. К таким положениям, в частности, относится допущение при расчетах расчленять по сути пространственные конструкции на отдельные плоскостные расчетные схемы без учета их взаимного влияния.

На сегодняшний день во всем мире для расчета пространственных конструкций применяют метод конечных элементов (далее – МКЭ). Метод реализован в различных программных продуктах: *специализированных для расчета мостов (MIDAS, SOFISTIK и др.); универсальных (ANSYS, ЛИРА и др.)*

Как правило, во всех программах МКЭ используется методика, приведенная на рисунке 2.

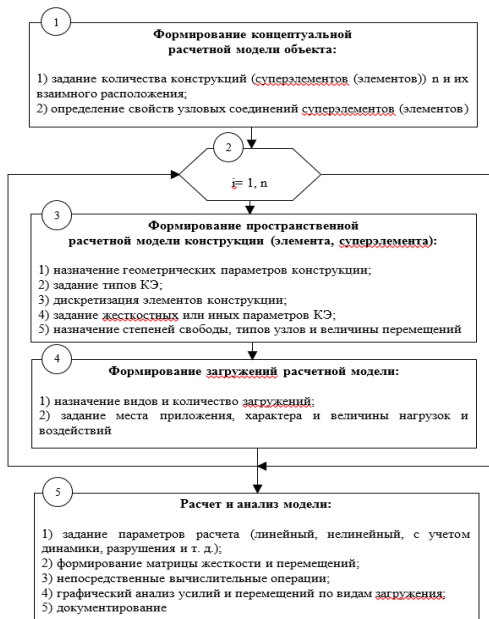


Рисунок 2 – Методика расчета мостов (конструкций, элементов) МКЭ

Отсюда процесс формирования концептуальной модели в целом объекта (конструкции), включающий в себя отдельные конструкции (элементы), достаточно сложный и трудоемкий, а также требует известных исходных данных. Кроме того, назначение тех или иных типов конечных элементов, величины дискретизации, свойств в узлах соединений требуют обоснования (сопоставления с результатами аналитических методов расчета или экспериментальных данных) ввиду фактора субъективности и, как следствие, ошибок расчета.

Необходимыми для моделирования будут являться данные:

- структура и взаимное расположение элементов конструкции;
- геометрические параметры конструкции (элементов);
- материал конструкции и элементов;
- характер и виды нагрузок и воздействий.

Нагрузки и воздействия, свойства материалов принимаются на основании данных нормативных источников, а геометрия и расположение элементов назначаются проектировщиком исходя из его личных знаний (субъективно) и существующего опыта в области проектирования мостовых конструкций с применением, как правило, эвристических методов. При этом для определения параметров применяется традиционный подход (проверочный метод расчета), предусматривающий порядок действий, отображенный схемой на рисунке 3.

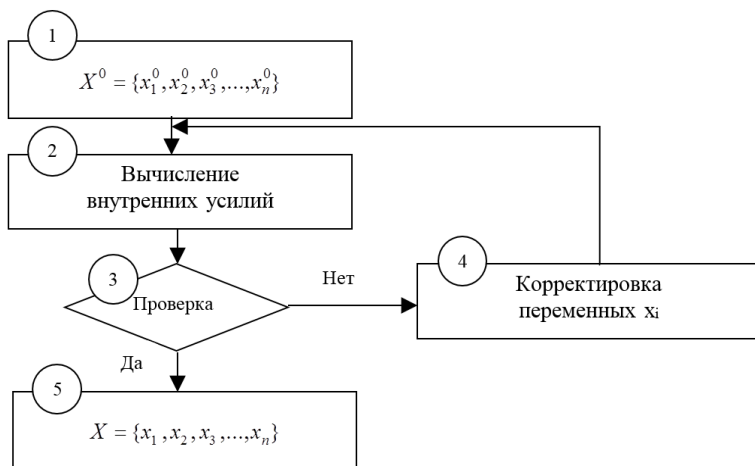


Рисунок 3 – Структурно-логическая схема проверочного метода расчета

Вектор исходных значений переменных проектирования $X^0 = \{x_1^0, x_2^0, x_3^0, \dots, x_n^0\}$ (геометрических параметров), компоненты которого предварительно назначаются проектировщиком, служит основой для проверочного расчета конструкции. В процессе расчета, если это необходимо для удовлетворения условий проектной задачи, производится корректировка отдельных переменных x_i . Так что вектор окончательных значений переменных проектирования $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ соответствует конструкции, удовлетворяющей всем поставленным условиям.

Однако конструкция, рассчитанная рассмотренным выше проверочным методом, будучи технически допустимой, совершенно не будет являться наилучшей из возможных. Что особенно актуально для получения оптимальных геометрических параметров конструкций принципиально нового типа (комбинированных систем), т. к. фактически остается не решенной одна из задач проектирования.

Для поиска наилучших решений науке известны методы математического программирования. С помощью данных методов представляется возможным нахождение оптимальных геометрических параметров конструкций различной степени сложности. Исходя из предпосылок классической теории оптимального проектирования конструкций, которая базируется на законах статики, математическую модель любой конструкции можно представить в виде системы из трех частей (формулы (1), (2), (3)):

- 1) целевая функция;
- 2) ограничения;
- 3) граничные условия

$F(a_1, a_2, \dots, a_i) \rightarrow \min(\max) \quad (1)$	
$g_1(a_1, a_2, \dots, a_i) \leq G_1$	(2)
$g_2(a_1, a_2, \dots, a_i) \leq G_2$	
...	
$g_j(a_1, a_2, \dots, a_i) \leq G_j$	
$b_1 \leq a_1 \leq c_1$	(3)
$b_2 \leq a_2 \leq c_2$	
...	
$b_i \leq a_i \leq c_i$	
$i = 1, \dots, n$	
$j = 1, \dots, s$	

где a_i – параметры конструкции; G_j – значение предельных ограничений функционального взаимодействия параметров $g_j(a_i)$; b_i – значение нижней границы существования параметров; c_i – значение верхней границы существования параметров; i – количество возможных параметров; j – количество заданных ограничений.

При этом все три части модели нуждаются в обосновании для получения адекватных параметров как в целом объекта, так и отдельных конструкций (элементов), которое в настоящее время для военных железнодорожных мостов отсутствуют.

Для создания перспективного инвентарного имущества особо следует отметить необходимость обоснования возможных значений границ существования параметров на среднесрочный период до 15 лет. Это обусловлено тем, что от проведения первичных исследований до запуска конструкции в серийное производство проходит минимум от 5 до 15 лет. Выработка тактико-технического задания на опытно-конструкторские работы производится с учетом состояния уровня техники на момент исследования и ко времени ее серийного производства конструкции уже могут не соответствовать ряду требований. Для обоснования данного вывода приводится динамика сближения основных показателей времени жизни объектов техники и сроков их разработки (рисунок 4) [5].

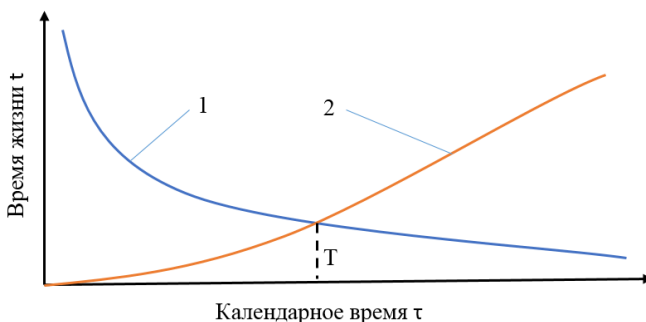


Рисунок 4 – Динамика сближения основных показателей времени жизни объектов (1) и сроков их создания (разработки) (2)

Здесь видно, что длительные сроки проектирования и недостаточная эффективность проектных решений могут превысить критический срок T , за пределами которого разработка новых образцов фактически устаревает. Поэтому желательно учитывать в моделях граничные условия перспективных параметров хотя бы на среднесрочный период.

Установить такие границы существования параметров на среднесрочный период возможно с применением методов научно-технического и инженерного прогнозирования. Всего известно более 300 методов прогнозирования, но основными и широко используемыми в технике методами инженерного прогнозирования являются: 1) патентный поиск; 2) экспертная оценка; 3) экстраполяция; 4) моделирование.

Несмотря на многообразие указанных методов, в проводимых исследованиях по данному направлению они использованы недостаточно.

Таким образом, перед исследователями и проектировщиками при поиске новых конструктивных решений (в частности пролетных строений) стоит комплекс многообразных, сложных и взаимосвязанных проблем, которые требуют решения на начальном этапе создания перспективных конструкций для восстановления железнодорожных мостов.

В рамках данной концепции основной путь решения существующих проблем видится авторами в разработке теоретических положений по указанным выше методам проектирования с дальнейшим обоснованием комплексной методики проектирования системы «мост – конструкция – элемент» при использовании методов системотехники, оптимизации и инженерного прогнозирования.

Список литературы

1 **Хижавский, О. А.** О необходимости создания универсальных мостовых конструкций для временного восстановления железнодорожных мостов (статья) /

О. А. Хижавский // Науч.-тех. сб. – Вып. 28. Ч. 2. – СПб. : ВИ (ЖДВ и ВОСО). – 2014. – С. 69–71.

2 ГОСТ В 15.004–84. Стадии жизненного цикла изделий и материалов.

3 Сборно-разборный мост комбинированной системы под железнодорожную нагрузку / А. В. Матвеев, О. А. Хижавский, А. И. Локнов : пат. 110757 Рос. Федерация № 2011117195 ; заявл. 28.04.2011 ; опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33

4 Сборно-разборное пролетное строение комбинированной системы железнодорожного моста / О. А. Хижавский, А. В. Матвеев, А.В. Золотарев : пат. 159619 Рос. Федерация ; заявл. 12.11.2014 ; опубл. 10.02.2016. Бюл. № 4.

5 **Владимирский, С. Р.** Системотехника мостостроения. – СПб. : Питер, 1994. – 286 с.

6 **Владимирский, С. Р.** Современные методы проектирования мостов. – СПб. : Папирус, 1998. – 492 с.

7 Исследование возможностей создания инвентарного железнодорожного моста под нагрузку ВТ (26, 25 тс/ось) // Отчет о НИР под руководством авт. кол. Августова Г.И. – СПб. : ВТИ (ЖДВ и ВОСО), 2009.

8 Обоснование необходимости создания комплекта универсальных мостовых конструкций для восстановления железнодорожных мостов // Отчет о НИР под руководством Заец А. А. – СПб. : ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2014.

9 ПВКМ-79. Инструкция по проектированию железнодорожных временных и краткосрочных мостов и труб. – М. : ВНИИТС, 1982. – 216 с.

10 ТУВЖМ. Технические условия проектирования военных железнодорожных мостов. – М. : Воениздат, 1993. – 184 с.

ИЗГИБ ТРЕХСЛОЙНОЙ УПРУГОЙ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ НА ОСНОВАНИИ С ДВУМЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

А. Г. КОЗЕЛ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Введение. Деформирование круглой трехслойной пластины на основании Винклера исследовано в работах [1, 2]. Здесь рассмотрен изгиб подобной пластины на основании Пастернака [3].

Постановка задачи. Для несимметричной по толщине упругой трехслойной пластины с легким заполнителем принимается, что в тонких несущих слоях 1, 2 справедливы гипотезы Кирхгофа, в несжимаемом по толщине сравнительно толстом заполнителе 3 нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол $\psi(x)$. Постановка задачи и её решение проведены в цилиндрической системе координат, связанной со срединной плоскостью заполнителя (рисунок 1). Через h_k обозначена толщина k -го слоя ($k = 1, 2, 3$).

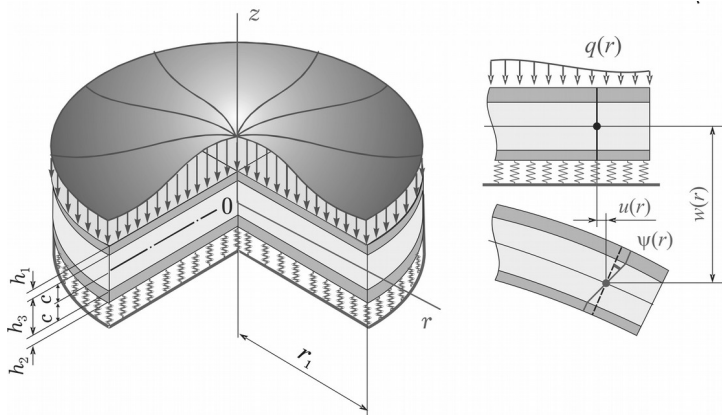


Рисунок 1

Все перемещения и линейные размеры отнесены к радиусу пластины R . Деформации малые. На внешние слои стержня действует внешняя распределенная нагрузка, проекции которой $q(x)$ и $p(x)$, а также реакция основания, которая описывается моделью Пастернака [2]:

$$q_r(x) \llcorner - w + t_f \Delta w,$$

где κ – коэффициент сжатия, формально совпадающий с коэффициентом жесткости основания Винклера, t_f – коэффициент сдвига материала основания, Δ – оператор Лапласа.

В качестве искоемых величин приняты: прогиб $w(r)$, радиальное перемещение срединной плоскости заполнителя $u(r)$, дополнительный угол поворота нормали $\psi(r)$. Тогда, в соответствии с принятыми геометрическими гипотезами, продольные перемещения в слоях пластины выражаются через эти три искомые функции. Деформации следуют из соотношений Коши. Работа касательных напряжений в заполнителе не учитывалась. Для связи напряжений и деформаций в слоях используем соотношения закона Гука.

Уравнения равновесия трехслойного стержня в перемещениях получены с помощью принципа возможных перемещений Лагранжа:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r}) = 0, \quad L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r}) = 0, \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r}) \llcorner - w + t_f \Delta w = -q_0, \end{aligned} \quad (1)$$

где a_n – коэффициенты, определяемые через модули упругости материалов и геометрические параметры слоев; L_2, L_3 – дифференциальные операторы; q_0 – интенсивность внешней распределенной нагрузки;

$$\begin{aligned} a_1 = \sum_{k=1}^3 h_k K_k^+; \quad a_2 = c(h_1 K_1^+ - h_2 K_2^+); \\ a_3 = h_1 \left(c + \frac{1}{2} h_1 \right) K_1^+ - h_2 \left(c + \frac{1}{2} h_2 \right) K_2^+; \quad a_4 = c^2 \left(h_1 K_1^+ + h_2 K_2^+ + \frac{2}{3} c K_3^+ \right); \\ a_5 = c \left[h_1 \left(c + \frac{1}{2} h_1 \right) K_1^+ + h_2 \left(c + \frac{1}{2} h_2 \right) K_2^+ + \frac{2}{3} c^2 K_3^+ \right]; \\ a_6 = h_1 \left(c^2 + c h_1 + \frac{1}{3} h_1^2 \right) K_1^+ + h_2 \left(c^2 + c h_2 + \frac{1}{3} h_2^2 \right) K_2^+ + \frac{2}{3} c^3 K_3^+; \end{aligned}$$

$$L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (r L_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3};$$

$$L_2(g) \equiv \left(\frac{1}{r} (r g)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}.$$

С помощью первых двух уравнений системы (1) в третьем уравнении обнуляем коэффициенты перед функциями u и ψ . После некоторых преобразований получаем дифференциальное уравнение для определения прогиба $w(r)$:

$$w_{,rrrr} + \frac{2}{r} w_{,rrr} - \frac{1}{r^2} w_{,rr} + \frac{1}{r^3} w_{,r} - t_{f1} (w_{,rr} + \frac{1}{r} w_{,r}) + \kappa^4 w = q ,$$

или

$$\Delta^2 w - t_{f1} \Delta w + \kappa^4 w = q ,$$

где

$$\kappa^4 = \kappa_0 D , \quad q = q_0 D , \quad t_{f1} = t_f D ,$$

$$D = \frac{a_1(a_1 a_4 - a_2^2)}{(a_1 a_6 - a_3^2)(a_1 a_4 - a_2^2) - (a_1 a_5 - a_2 a_3)^2} .$$

Рассмотрим однородное уравнение, соответствующее полученному уравнению, и введем в нем замену переменной $x = \kappa r$. В результате приходим к уравнению вида

$$w_{,xxxx} + \frac{2}{x} w_{,xxx} - \frac{1}{x^2} w_{,xx} + \frac{1}{x^3} w_{,x} - 2t_0^2 (w_{,xx} + \frac{1}{x} w_{,x}) + w = 0 ,$$

или

$$\Delta^2 w - 2t_0^2 \Delta w + w = 0 , \tag{2}$$

где $2t_0^2 = t_{f1} / \kappa^2$, $\Delta w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial w}{\partial x}$.

Уравнение (2) может быть приведено к системе эквивалентных ему двух уравнений второго порядка. Пусть $w = w(x)$ – некоторое частное решение однородного уравнения (2), удовлетворяющее в то же время уравнению

$$\Delta w + \lambda w = 0 , \tag{3}$$

где λ – константа, подлежащая определению.

Исходя из уравнения (3), имеем

$$\Delta w = -\lambda w , \quad \Delta^2 w = \lambda^2 w . \tag{4}$$

Подставив теперь выражения (4) в исходное уравнение (2), получим относительно λ характеристическое уравнение

$$\lambda^2 + 2t_0^2 \lambda + 1 = 0 . \tag{5}$$

Значения корней характеристического уравнения (5) определяются формулами

$$\lambda_1 = -t_0^2 + \sqrt{(t_0^2)^2 - 1} , \quad \lambda_2 = -t_0^2 - \sqrt{(t_0^2)^2 - 1} . \tag{6}$$

Следует отметить, что для реальных грунтов значение интегральной характеристики находится в пределах [3] $0 \leq t_0^2 \leq 1$. Случай $t_0^2 = 0$ соответствует отсутствию сил сдвига в упругом основании $t_f = 0$.

Таким образом, корни характеристического уравнения (5) можно рассматривать как комплексно сопряженные величины

$$\lambda_1 = a = -a_1 + ib_1, \quad \lambda_2 = \bar{a} = -a_1 - ib_1, \quad (7)$$

где

$$a_1 = t_0^2, \quad b_1 = \sqrt{1 - (t_0^2)}.$$

Исходя из уравнения (3), можно видеть, что двум комплексно сопряженным корням (7) соответствуют два линейно независимых уравнения второго порядка

$$w_{1,xx} + \frac{1}{x} w_{1,x} + a w_1 = 0, \quad w_{2,xx} + \frac{1}{x} w_{2,x} + \bar{a} w_2 = 0. \quad (8)$$

Общий интеграл основного дифференциального уравнения (2) может быть теперь представлен в виде

$$w = w_1 + w_2 + w_p, \quad (9)$$

где w_1 и w_2 – фундаментальная система частных интегралов, удовлетворяющая дифференциальным уравнениям (8), а w_p – частный интеграл, соответствующий неоднородному уравнению (2).

Введем новые переменные по формулам:

$$u = \sqrt{ax}, \quad v = \sqrt{\bar{a}x}. \quad (10)$$

С введением новых переменных (10) преобразуем уравнение (8) к уравнениям Бесселя нулевого порядка:

$$\frac{dw_1}{du^2} + \frac{1}{u} \times \frac{dw_1}{du} + w_1 = 0, \quad \frac{dw_2}{dv^2} + \frac{1}{v} \times \frac{dw_2}{dv} + w_2 = 0. \quad (11)$$

Решение системы (11), как это следует из теории бesselевых функций, можно записать в виде:

$$\begin{aligned} w_1(x) &= B_1 I_0(\sqrt{ax}) + B_2 H_0^{(1)}(\sqrt{ax}), \\ w_2(x) &= B_3 I_0(\sqrt{\bar{a}x}) + B_4 H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x}), \end{aligned} \quad (12)$$

где $I_0(\sqrt{ax})$ и $I_0(\sqrt{\bar{a}x})$ – функции Бесселя первого рода, нулевого порядка, аргументов \sqrt{ax} и $\sqrt{\bar{a}x}$; $H_0^{(1)}(\sqrt{ax})$ и $H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x})$ – функции Ганкеля первого и второго рода, нулевого порядка от тех же аргументов.

Используя решение (12), перепишем общий интеграл (9) в форме

$$w = B_1 I_0(\sqrt{ax}) + B_2 H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) + B_3 I_0(\sqrt{\bar{a}x}) + B_4 H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x}) + w_p. \quad (13)$$

Отметим, что для решения практических задач аргумент цилиндрических функций, входящих в выражение (13), удобнее представить в показательной или тригонометрической форме:

$$\sqrt{a} = e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi \quad \sqrt{\bar{a}} = e^{-i\varphi} = \cos \varphi - i \sin \varphi, \quad (14)$$

где $\varphi = \frac{1}{2} \arg a$, а модуль комплексных чисел \sqrt{a} и $\sqrt{\bar{a}}$ равен единице.

Из выражений (14) можно видеть, что функции

$$I_0(\sqrt{ax}), I_0(\sqrt{\bar{a}x}), H_0^{(1)}(\sqrt{ax}), H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x})$$

определены в областях

$$\frac{\pi}{2} > \varphi \geq \frac{\pi}{4}, \quad -\frac{\pi}{2} < \varphi \leq -\frac{\pi}{4}.$$

В частном случае, когда характеристика упругого основания на сдвиг t_f равна нулю ($t_0^2 = 0$), эти функции определяются вдоль прямой, наклоненной к действительной оси под углом $\varphi = \pi/4$.

Так как функции $I_0(\sqrt{ax}), I_0(\sqrt{\bar{a}x}), H_0^{(1)}(\sqrt{ax}), H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x})$ являются комплексными, а функция прогибов пластины w должна быть действительной, то постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 также должны быть комплексными числами. Для того чтобы выразить решение задачи через действительные функции, перепишем интеграл (13) в другой форме:

$$W = C_1 u_0(\sqrt{ax}) + C_2 v_0(\sqrt{ax}) + C_3 f_0(\sqrt{ax}) + C_4 g_0(\sqrt{ax}) + w_p. \quad (15)$$

Здесь введём следующие обозначения:

$$u_0(x) = \operatorname{Re} I_0(\sqrt{ax}) = \frac{I_0(\sqrt{ax}) + I_0(\sqrt{\bar{a}x})}{2},$$

$$v_0(x) = \operatorname{Im} I_0(\sqrt{ax}) = \frac{I_0(\sqrt{ax}) - I_0(\sqrt{\bar{a}x})}{2i},$$

$$f_0(x) = \operatorname{Re} H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) = \frac{H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) + H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x})}{2},$$

$$g_0(x) = \operatorname{Im} H_0^{(2)}(\sqrt{ax}) = \frac{H_0^{(1)}(\sqrt{ax}) - H_0^{(2)}(\sqrt{\bar{a}x})}{2i}. \quad (16)$$

Из выражений (16) 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 .

Список литературы

1 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных элементов конструкций на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 380 с.

2 Плескачевский, Ю. М. Механика трехслойных стержней и пластин, связанных с упругим основанием / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, Д. В. Леоненко – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 560 с.

3 Власов, В. З. Балки, плиты, оболочки на упругом основании / В. З. Власов, Н. Н. Леонтьев. – М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. – 491 с.
УДК 539.374

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Введение. Трехслойные элементы конструкций нашли широкое применение в строительстве и других современных отраслях народного хозяйства. Это обуславливает необходимость разработки методов их расчета. Различные модели упругих трехслойных конструкций предложены в [1]. В работе [2] рассмотрены колебания трехслойного стержня под действием импульсных нагрузок. В статье [3] исследованы гармонические колебания физически круглых нелинейных трехслойных пластин.

Здесь рассматриваются малые поперечные колебания несимметричного по толщине упругого трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем, возбужденные поверхностными гармоническими нагрузками параболической формы.

1 Постановка и решение задачи. Система координат x, y, z связывается со срединной плоскостью заполнителя (рисунок 1). Распределенная поверхностная нагрузка $p(x), q(x)$ приложена к внешней плоскости первого слоя. Искомыми считаются прогибы и продольные перемещения срединных поверхностей несущих слоёв $w_k(x,t)$ и $u_k(x,t)$, ($k = 1, 2$). Через h_k и ρ_k обозначены толщина и плотность материала k -го слоя; $h_3 = 2c$.

Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Бернулли, в жёстком заполнителе справедливы точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты z . На границах контакта слоев используются условия непрерывности

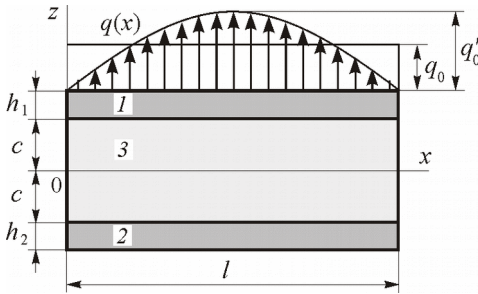


Рисунок 1

перемещений. Материалы несущих слоёв несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается обжатие. Деформации малые.

Уравнения движения следуют из принципа Лагранжа с учетом работы сил инерции

$$\delta A - \delta W = \delta A_i,$$

где δA – вариация работы внешних сил; δW – вариация работы внутренних сил упругости; δA_i – вариация работы сил инерции.

Оставляя только инерционные члены, учитывающие инерцию движения в слоях вдоль координатных осей и инерцию вращения нормали в несущих слоях, получим следующую систему уравнений в частных производных:

$$\begin{aligned} a_1 u_1 - a_1 u_2 - a_4 u_{1,xx} - a_5 u_{2,xx} + a_2 w_{1,x} + a_3 w_{2,x} - 2a_6 w_{1,xxx} + a_7 w_{2,xxx} + m_1 \ddot{w}_1 &= 0; \\ -a_1 u_1 + a_1 u_2 - a_5 u_{1,xx} - a_9 u_{2,xx} - a_{10} w_{1,x} - a_{17} w_{2,x} - a_6 w_{1,xxx} + & \\ + 2a_7 w_{2,xxx} + m_2 \ddot{w}_2 &= 0; \\ -a_2 u_{1,x} + a_{10} u_{2,x} + 2a_6 u_{1,xxx} + a_6 u_{2,xxx} + a_{11} w_{1,xx} - a_{12} w_{2,xx} + & \\ + a_{15} w_{1,xxxx} - a_{16} w_{2,xxxx} + a_8 w_1 - a_8 w_2 + m_1 \ddot{w}_1 - m_3 \ddot{w}_{1,xx} &= q; \\ -a_3 u_{1,x} + a_{17} u_{2,x} - a_7 u_{1,xxx} - 2a_7 u_{2,xxx} - a_{12} w_{1,xx} + a_{14} w_{2,xx} - & \\ -a_{16} w_{1,xxxx} + a_{13} w_{2,xxxx} - a_8 w_1 + (a_8 + \kappa_0) w_2 + m_2 \ddot{w}_2 - m_4 \ddot{w}_{2,xx} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где m_j – инерционные члены; a_i – коэффициенты, зависящие от геометрии и материала слоев

$$a_1 = \frac{G_3}{2c}; \quad a_2 = \frac{G_3}{2} \left(1 + \frac{h_1}{2c} \right) - \frac{K_3^-}{2}; \quad a_3 = \frac{G_3}{2} \left(1 + \frac{h_2}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2};$$

$$a_4 = K_1^+ h_1 + \frac{2K_3^+ c}{3}; \quad a_5 = \frac{K_3^+ c}{3}; \quad a_6 = \frac{K_3^+ c h_1}{6}; \quad a_7 = \frac{K_3^+ c h_2}{6};$$

$$a_8 = \frac{K_3^-}{2c}; \quad a_9 = K_2^+ h_2 + \frac{2K_3^+ c}{3}; \quad a_{10} = \frac{G_3}{2} \left(1 + \frac{h_1}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2}; \quad \kappa;$$

$$a_{17} = \frac{G_3}{2} \left(1 + \frac{h_2}{2c} \right) - \frac{K_3^-}{2}.$$

Граничные условия свободного опирания стержня по торцам на неподвижные в пространстве жесткие опоры в сечениях $x = 0$; l (l – длина стержня) в перемещениях имеют вид:

$$w_k = u_{k,x} = w_{k,xx} = 0 \quad (k = 1, 2).$$

Начальные условия движения будут следующие ($t = 0$):

$$u_k(x, 0) = u_{k0}(x); \quad \dot{u}_k(x, 0) = \dot{u}_{k0}(x);$$

$$w_k(x, 0) = w_{k0}(x); \quad \dot{w}_k(x, 0) = \dot{w}_{k0}(x) \quad (k = 1, 2), \quad (2)$$

где $u_{k0}(x)$, $\dot{u}_{k0}(x)$, $w_{k0}(x)$, $\dot{w}_{k0}(x)$ – заданные начальные перемещения и скорости точек срединных поверхностей несущих слоев.

Решение начально-краевой задачи (1)–(2) проводится методом Бубнова – Галеркина при $p = 0$. Для этого искомые перемещения $u_1(x)$, $u_2(x)$, $w_1(x)$, $w_2(x)$ и нагрузку $q(x, t)$ представляется в виде разложения в ряды по системам базисных функций, удовлетворяющей принятым граничным условиям:

$$u_1 = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m1}(t); \quad u_2 = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m2}(t); \quad w_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m3}(t);$$

$$w_2 = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m4}(t); \quad q(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} q_m(t), \quad (3)$$

где $q_m(t)$ – коэффициенты разложения нагрузки в ряд

$$q_m(t) = \frac{2}{l} \int_0^l q(x, t) \sin \frac{\pi m x}{l} dx.$$

Функции $T_{mk}(t)$ представляются в виде разложения по собственным формам:

$$T_{mk} = \sum_{i=1}^4 \delta_{mki} \zeta_{mi} \quad \left(\sum_{i=1}^4 \delta_{mik}^2 = 1 \right), \quad (4)$$

где δ_{mki} – амплитуды нормированных собственных форм колебаний.

Функции $\zeta_{mi}(t)$ можно принять в виде

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi}t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi}t) + \frac{1}{\omega_{mi}} \int_0^t \sin(\omega_{mi}(t-\tau)) \mathcal{P}_{mi}(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Теперь возможно для любого вида аналитической нагрузки вычислить параметры ее разложения в ряд по собственным функциям $q_m(t)$ и построить соответствующую функцию времени $\zeta_{mi}(t)$. Начальные условия (2) в дальнейшем полагаем нулевыми, что в данном случае позволяет положить в (5)

$$A_{mi} = B_{mi} = 0.$$

2 Резонансная нагрузка. Пусть на стержень действует выпуклая параболическая гармоническая резонансная нагрузка (см. рисунок 1)

$$q(x, t) = q_0 \frac{4x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \sin(\omega_{nk}t), \quad (6)$$

где частота внешней возмущающей силы ω_{nk} совпадает с одной из собственных частот ω_{mi} колебаний стержня; t – время; q_0, n, k – заданные величины.

Параметры разложения нагрузки (6) в ряд по координатным функциям

$$q_m(t) = \sin(\omega_{nk}t) \begin{cases} \frac{32q_0}{(\pi m)^3} & m = 1, 3, 5, \dots \\ 0 & m = 2, 4, 6, \dots \end{cases}$$

В случае действия резонансной нагрузки ζ_{mi} имеет вид

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi}t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi}t) + y_{mi}(t), \quad (7)$$

где частное решение

$$y_{mi}(t) = \begin{cases} \frac{\mathcal{P}_{mi}}{(\omega_{mi}^2 - \omega_{nk}^2)} \sin(\omega_{nk}t) & \text{или } n \neq m, \quad k \neq i \\ -\frac{\mathcal{P}_{mi}}{2\omega_{mi}} t \cos(\omega_{mi}t) & n = m, k = i. \end{cases}$$

Константы интегрирования A_{mi}, B_{mi} в соответствии с принятыми нулевыми начальными условиями и решением (7) будут

$$A_{mi} = 0, \quad B_{mi} = -\frac{1}{\omega_{mi}} \begin{cases} \left[\frac{\omega_{nk} \mathcal{P}_{mi}}{(\omega_{mi}^2 - \omega_{nk}^2)} \right] & n \neq m \text{ или } k \neq i, \\ \left[-\frac{\mathcal{P}_{mi}}{2\omega_{mi}} \right] & n = m, k = i. \end{cases}$$

3 Численное исследование. Численный счет проводился для трехслойного стержня, слои которого набраны из материалов Д16Т –

фторопласт – Д16Т. Относительные толщины слоев принимались $h_1 = 0,01$, $h_2 = 0,05$, $c = 0,09$. Величина амплитуды параболической нагрузки q'_0 , равнодействующая которой эквивалентна прямоугольной нагрузке q_0 , действующей на ту же площадь поверхности стержня будет

$$q'_0 = q_0 l \int_0^l \frac{4x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) dx = 1,5q_0.$$

На рисунке 2, а, б показано нарастание амплитуды прогиба w_1 в центральном сечении ($x = l / 2$) и продольного перемещения u_1 на правом краю ($x = l$) в первом слое стержня в зависимости от времени при совпадении частоты внешней параболической нагрузки с собственной частотой

$\omega_{11} = 845 \text{ с}^{-1}$. Количество колебаний на принятом интервале времени велико, поэтому процесс колебаний на рисунке 2 неразличим. По сравнению со случаем действия прямоугольной нагрузки за одинаковый промежуток времени при воздействии эквивалентной параболической нагрузки ($q'_0 = 1,5q_0$, $q_0 = 300 \text{ Па}$) нарастание амплитуды колебаний происходит быстрее примерно на 20 %.

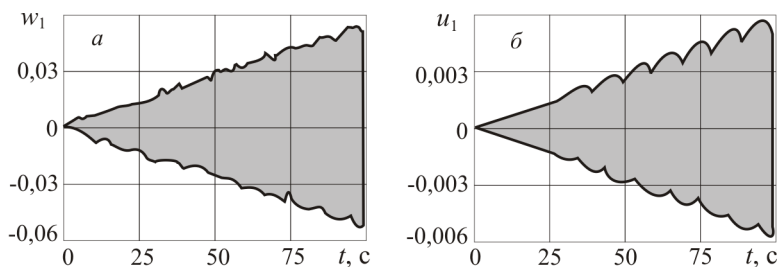


Рисунок 2

Аналогичные перемещения в стержне при резонансе по частоте колебаний $\omega_{31} = 5420 \text{ с}^{-1}$ показаны на рисунке 3, а, б. Здесь амплитуда колебаний нарастает медленнее примерно в 275 раз.

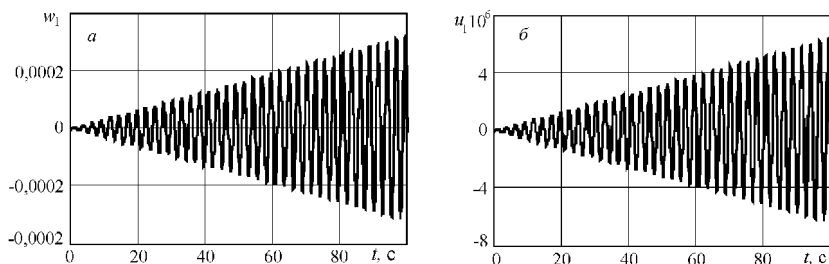


Рисунок 3

Выводы. Таким образом, при одинаковом статическом эквиваленте динамическая поверхностная параболическая нагрузка является, с точки зрения прочности элементов конструкций, более опасной, чем равномерно распределенная нагрузка, т. к. вызывает бóльшие прогибы.

Список литературы

- 1 Болотин, В. В. Механика многослойных конструкций / В. В. Болотин, Ю. Н. Новичков. – М. : Машиностроение, 1980. – 375 с.
- 2 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.
- 3 Gorshkov, A. G. [Harmonic Vibrations of a Viscoelastoplastic Sandwich Cylindrical Shell](#) / A. G. Gorshkov, É. I. Starovoitov, A. V. Yarovaya // [International Applied Mechanics](#). – 2001. – Vol. 37, № 9. – P. 1196–1203.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ ЛОКАЛЬНОЙ СИНУСОИДАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ, Ф. Б. НАГИЕВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Введение. В монографиях [1–6] рассмотрены различные математические модели и кинематические гипотезы слоистых, как правило упругих, элементов конструкций, приведены постановки краевых задач, изложены методы их расчета. Здесь, в рамках теории малых упругопластических деформаций [8], рассмотрено нагружение локальной синусоидальной нагрузкой несимметричного по толщине трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем. Материалы несущих слоев – упругопластические, наполнитель – физически нелинейно-упругий. Численные результаты получены для металлополимерного стержня.

Постановка краевой задачи. Система координат x, y, z связывается со срединной плоскостью заполнителя (рисунок 1). Принимается, что в тонких несущих слоях 1, 2 справедливы гипотезы Бернулли, в жестком несжимаемом по толщине сравнительно толстом заполнителе 3 нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол $\psi(x)$.

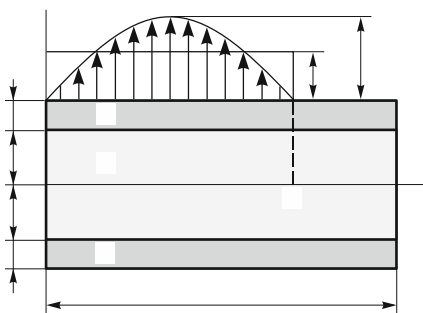


Рисунок 1 – Схема нагружения трехслойного стержня

На внешний слой стержня действует поверхностная силовая нагрузка $q(x)$. Через $w(x)$ и $u(x)$ обозначены прогиб и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя. На торцах предполагается наличие жестких диафрагм, препятствующих относительному сдвигу слоев, на границах слоев – склейки. С помощью введенных гипотез, продольные

перемещения в слоях $u^{(k)}$ выражаются через три искомые функции $u(x)$, $\psi(x)$ и $w(x)$:

$$\begin{aligned} u^{(1)} &= u + c\psi - zw_{,x} \quad (c \leq z \leq c + h_1), \\ u^{(3)} &= u + z\psi - zw_{,x} \quad (-c \leq z \leq c), \\ u^{(2)} &= u - c\psi - zw_{,x} \quad (-c - h_2 \leq z \leq -c), \end{aligned} \quad (1)$$

где z – координата рассматриваемого волокна; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате; $h_1, h_2, h_3 = 2c$ – толщины слоев; верхний индекс k – номер слоя.

Деформации в стержне следуют из перемещений (1) и соотношений Коши [3]. Введем обобщенные внутренние усилия и моменты в стержне:

$$N = \sum_{k=1}^3 N^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_h \sigma_{xx}^{(k)} dz, \quad M = \sum_{k=1}^3 M^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_h \sigma_{xx}^{(k)} z dz, \quad Q = \int_h \sigma_{xz}^{(3)} dz, \quad (2)$$

где $\sigma_{ij}^{(k)}$ – компоненты тензора напряжений в k -м слое на первом полуцикле нагружения.

В несущих слоях используются физические соотношения теории малых упругопластических деформаций Ильюшина [14]:

$$\begin{aligned} s_{ij}^{(k)} &= 2G_k f \mathfrak{E}^{(k)} (\epsilon_u^{(k)})_{ij}^{(k)}, \\ \sigma^{(k)} &= 3K_k \epsilon^{(k)} \quad (k=1, 2; \quad i, j = x, y, z). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $s_{ij}^{(k)}$, $\mathfrak{E}_{ij}^{(k)}$ – девиаторы напряжений и деформаций; $\sigma^{(k)}$, $\epsilon^{(k)}$ – шаровые части тензоров напряжений и деформаций; G_k, K_k – модули сдвига и объемного деформирования материалов слоев;

$$f(\epsilon_u^{(k)}) = \begin{cases} 1, & \epsilon_u^{(k)} \leq \epsilon_y^{(k)}, \\ 1 - \omega^{(k)}(\epsilon_u^{(k)}), & \epsilon_u^{(k)} > \epsilon_y^{(k)}, \end{cases}$$

$\omega^{(k)}$ – функция пластичности Ильюшина в несущих слоях при нагружении из естественного состояния; например, для металлов ее можно принять в виде

$$\omega^{(k)}(\epsilon_u) = \begin{cases} 0, & \epsilon_u \leq \epsilon_y; \\ A_0 \left(1 - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_u}\right)^{\alpha_0}, & \epsilon_u \geq \epsilon_y, \end{cases} \quad (4)$$

$\epsilon_u^{(k)}$ – интенсивность деформаций; $\epsilon_y^{(k)}$ – деформационный предел текучести материала; A_0, α_0 – экспериментальные константы материала, значения которых для некоторых материалов приведены в [1].

Для физически нелинейного заполнителя вводятся подобные уравнения состояния

$$s_{ij}^{(3)} = 2G_3 \mathfrak{E}^{(3)} (1 - \omega^{(3)}(\epsilon_u^{(3)}))_{ij}^{(3)}, \quad \sigma^{(3)} = 3K_3 \epsilon^{(3)} \quad (i, j = x, y, z), \quad (5)$$

где $\omega^{(3)}(\varepsilon_u^{(3)})$ – универсальная функция физической нелинейности заполнителя, принимается по типу (4).

Компоненты тензора напряжений в слоях, используя (3), (5) представим через девиатор и шаровую часть тензора деформаций:

$$\begin{aligned}\sigma_{xx}^{(k)} &= s_{xx}^{(k)} + \sigma^{(k)} = 2G_R^{(k)} \varepsilon_{xx}^{(k)} + \mathfrak{K} \varepsilon_{xx}^{(k)} 2 - G_R^{(k)} \omega^{(k)}, \\ \sigma_{xz}^{(3)} &= s_{xz}^{(3)} = 2G_R^{(3)} \varepsilon_{xz}^{(3)} - \mathfrak{K} \varepsilon_{xz}^{(3)} \omega^{(3)}.\end{aligned}\quad (6)$$

Выделим в компонентах тензора напряжений (6) упругие (индекс «e») и неупругие (индекс «ω») слагаемые:

$$\sigma_{xx}^{(k)} = \sigma_{xx}^{(k)e} - \sigma_{xx}^{(k)\omega}, \quad \sigma_{xz}^{(3)} = \sigma_{xz}^{(3)e} - \sigma_{xz}^{(3)\omega}, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned}\sigma_{xx}^{(k)e} &= 2G_R^{(k)} \varepsilon_{xx}^{(k)} + \mathfrak{K} \varepsilon_{xx}^{(k)} 2 - G_R^{(k)} \omega^{(k)}, \\ \sigma_{xz}^{(3)e} &= 2G_R^{(3)} \varepsilon_{xz}^{(3)}, \quad \sigma_{xz}^{(3)\omega} = \mathfrak{K} \varepsilon_{xz}^{(3)} \omega^{(3)}.\end{aligned}$$

Проведя подобную операцию с внутренними усилиями (2), получим:

$$N^{(k)} = N^{(k)e} - N^{(k)\omega}, \quad M^{(k)} = M^{(k)e} - M^{(k)\omega}, \quad Q^{(3)} = Q^{(3)e} - Q^{(3)\omega}. \quad (8)$$

Упругие (индекс «e») и неупругие (индекс «ω») составляющие усилий в (8) вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}N^{(k)e} &= b_0 \int \sigma_{xx}^{(k)e} dz, \quad N^{(k)\omega} = b_0 \int \sigma_{xx}^{(k)\omega} dz, \quad M^{(k)e} = b_0 \int \sigma_{xx}^{(k)e} z dz, \\ M^{(k)\omega} &= b_0 \int \sigma_{xx}^{(k)\omega} z dz, \quad Q^{(3)e} = b_0 \int_{-c}^c \sigma_{xz}^{(3)e} dz, \quad Q^{(3)\omega} = b_0 \int_{-c}^c \sigma_{xz}^{(3)\omega} dz.\end{aligned}\quad (9)$$

Система дифференциальных уравнений равновесия стержня для определения искомых перемещений получена в [2] с помощью метода Лагранжа. В нашем случае она имеет вид:

$$\begin{aligned}a_1 u_{,xx} + a_6 \Psi_{,xx} - a_7 w_{,xxx} &= p_\omega, \\ a_6 u_{,xx} + a_2 \Psi_{,xx} - a_3 w_{,xxx} - a_5 \Psi &= h_\omega, \\ a_7 u_{,xxx} + a_3 \Psi_{,xxx} - a_4 w_{,xxx} &= -q + q_\omega,\end{aligned}\quad (10)$$

где коэффициенты

$$a_1 = K_1^+ h_1 + K_2^+ h_2 + 2K_3^+ c; \quad a_2 = c^2 \left[K_1^+ h_1 + K_2^+ h_2 + \frac{2}{3} K_3^+ c \right];$$

$$a_3 = c \left[K_1^+ h_1 \left(c + \frac{1}{2} h_1 \right) + K_2^+ h_2 \left(c + \frac{1}{2} h_2 \right) + \frac{2}{3} K_3^+ c^2 \right];$$

$$a_4 = K_1^+ h_1 \left(c^2 + ch_1 + \frac{1}{3} h_1^2 \right) + K_2^+ h_2 \left(c^2 + ch_2 + \frac{1}{3} h_2^2 \right) + \frac{2}{3} K_3^+ c^3; \quad a_5 = 2G_3 c;$$

$$a_6 = c \left[K_1^+ h_1 - K_2^+ h_2 \right]; \quad a_7 = K_1^+ h_1 \left(c + \frac{1}{2} h_1 \right) - K_2^+ h_2 \left(c + \frac{1}{2} h_2 \right);$$

величины p_ω , h_ω , q_ω учитывают физическую нелинейность материалов слоев и вычисляются по формулам, следующим из (7) и (9):

$$p_\omega = \frac{1}{b_0} N_{,x}^\omega, \quad h_\omega = \frac{1}{b_0} (H_{,x}^\omega - Q^\omega), \quad q_\omega = \frac{1}{b_0} M_{,xx}^\omega; \quad Q^\omega = 2b_0 G_3 \int_{-c}^c \omega_3 \psi dz; \quad (11)$$

$$N^\omega = \frac{4}{3} b_0 \sum_{k=1}^3 G_k \int_{h_k} \omega_k \varepsilon_{xx}^{(k)} dz, \quad M^\omega = \frac{4}{3} b_0 \sum_{k=1}^3 G_k \int_{h_k} \omega_k \varepsilon_{xx}^{(k)} z dz.$$

Система дифференциальных уравнений (10) существенно нелинейная, поэтому для ее решения используем метод «упругих» решений Ильюшина. Предположим, что в (10), (11) содержится малый параметр, например, все $\omega_k < 1$. Тогда возможен метод итераций, основанный на методе упругих решений, при котором для любого n -го приближения система уравнений (10) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} a_1 u'_{,xx}{}^{(n)} + a_6 \Psi'_{,xx}{}^{(n)} - a_7 w'_{,xxx}{}^{(n)} &= p_\omega'^{(n-1)}, \\ a_6 u'_{,xx}{}^{(n)} + a_2 \Psi'_{,xx}{}^{(n)} - a_3 w'_{,xxx}{}^{(n)} - a_5 \Psi'^{(n)} &= h_\omega'^{(n-1)}, \\ a_7 u'_{,xxx}{}^{(n)} + a_3 \Psi'_{,xxx}{}^{(n)} - a_4 w'_{,xxxx}{}^{(n)} &= -q' + q_\omega'^{(n-1)}. \end{aligned} \quad (12)$$

Величины $p_\omega'^{(n-1)}$, $h_\omega'^{(n-1)}$, $q_\omega'^{(n-1)}$, соответствующие неупругим составляющим, на первом шаге ($n = 1$) принимаются равными нулю, а в дальнейшем вычисляются по результатам предыдущего приближения и носят название дополнительных «внешних» нагрузок. Они служат поправками на пластичность и физическую нелинейность материалов слоев и вычисляются по формулам (11), в которых нужно добавить сверху индекс $(n-1)$.

Применение метода упругих решений позволяет на каждом шаге приближения рассматриваемую задачу сводить к линейной задаче теории упругости с дополнительными «внешними» нагрузками.

Рассмотрим изгиб трехслойного упругопластического стержня локальной поперечной поверхностью нагрузкой, распределенной по полуолне *синусоиды* (см. рисунок 1):

$$q(x) = q_0 H_0 (b-x) \sin\left(\frac{\pi x}{b}\right). \quad (13)$$

Подобные нагрузки часто встречаются на практике при эксплуатации элементов строительных конструкций.

Решение системы уравнений (12) при нагрузке (13) можно выписать, базируясь на известном решении задачи теории упругости [2]. В нашем случае оно имеет следующий рекуррентный вид для сдвига и прогиба:

$$\Psi^{(n)}(x) = C_2^{(n)} \operatorname{sh}(\beta x) + C_3^{(n)} \operatorname{ch}(\beta x) - \frac{\gamma_1 C_1^{(n)}}{\beta^2} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\gamma_1 q_0 b H_0(b-x)}{\beta^2 \pi} \left(\frac{\beta^2 b^2 \cos\left(\frac{\pi x}{b}\right) + \beta^2 b^2 \operatorname{ch}(\beta x - \beta b)}{\pi^2 + \beta^2 b^2} - \operatorname{ch}(\beta x - \beta b) + 1 \right) \\
& + \frac{1}{\beta} \left[\operatorname{sh}(\beta x) \int g_{\text{от}}^{(n)} \operatorname{ch}(\beta x) dx - \operatorname{ch}(\beta x) \int g_{\text{от}}^{(n)} \operatorname{sh}(\beta x) dx \right], \\
w^{(n)}(x) &= \frac{1}{\alpha_2} \left[\alpha_1 \int \Psi^{(n)} dx - a_7 L_3^{-1} \left(p_{\omega}^{(n-1)} \right) + \right. \\
& \left. + a_1 L_4^{-1} (q - q_{\omega}^{(n-1)}) + \frac{a_1 C_1^{(n)}}{6} x^3 \right] + \frac{C_4^{(n)}}{2} x^2 + C_5^{(n)} x + C_6^{(n)}. \quad (14)
\end{aligned}$$

Здесь введена функция

$$g_{\text{от}}^{(n)}(x) = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \gamma_1 h_{\omega}^{(n-1)} - \gamma_2 p_{\omega}^{(n-1)} - \gamma_1 \left(\int q_{\omega}^{(n-1)} dx + C_1^{(n)} \right);$$

коэффициенты

$$\begin{aligned}
\beta^2 &= \frac{a_1 a_5 \alpha_2}{\alpha_2 \alpha_3 - \alpha_1^2}, \quad \gamma_1 = \frac{a_1 \alpha_1}{\alpha_2 \alpha_3 - \alpha_1^2}, \quad \gamma_2 = \frac{a_6 \alpha_2 - a_7 \alpha_1}{\alpha_2 \alpha_3 - \alpha_1^2}, \quad \gamma_3 = \frac{a_3 a_7 - a_4 a_6}{\alpha_2}, \\
\alpha_1 &= a_1 a_3 - a_6 a_7, \quad \alpha_2 = a_1 a_4 - a_7^2, \quad \alpha_3 = a_1 a_2 - a_6^2.
\end{aligned}$$

В рассматриваемом случае операторы от внешней синусоидальной нагрузки будут

$$\begin{aligned}
L_3^{-1}(q) &= \frac{q_0 b^3}{\pi^3} \left[\cos\left(\frac{\pi x}{b}\right) + 1 \right] H_0(b-x) - \frac{q_0 b}{\pi} H_2(b-x), \\
L_4^{-1}(q) &= \frac{q_0 b^4}{\pi^4} \sin\left(\frac{\pi x}{b}\right) H_0(b-x) - \frac{q_0 b^3}{\pi^3} H_1(b-x) + \frac{q_0 b}{\pi} H_3(b-x);
\end{aligned}$$

Константы интегрирования $C_1^{(n)}, \dots, C_8^{(n)}$ на каждом шаге приближения следуют из условий закрепления стержня.

Численные результаты. При численной реализации решения (14) принимались граничные условия консольной заделки левого конца стержня; относительные толщины слоев: $h_1 = 0,02$, $h_2 = 0,04$, $c = 0,09$. Нагрузка с интенсивностью $q_0 = 3,5$ МПа ($p_0 = 0$) равномерно распределена на отрезке $[0, b]$. Материалы слоев: сплав Д16Т, фторопласт-4, механические характеристики взяты в [1]. Численный счет продемонстрировал практическую сходимость метода упругих решений. За искомое решение принято 8-е приближение, которое отличается от предыдущего менее чем на 1 %.

На рисунке 2, а, б показано изменение прогиба и сдвига в заполнителе вдоль оси стержня при $b = l$ при следующих нагрузках: 1 – синусоидальная q_0 , 2 – прямоугольная q_0 ; распределенная на таком же отрезке; 3 – синусоидальная $q_1 = 0,5lq_0$, статически эквивалентная прямоугольной q_0 (без штриха – упругий стержень, со штрихом – упругопластический).

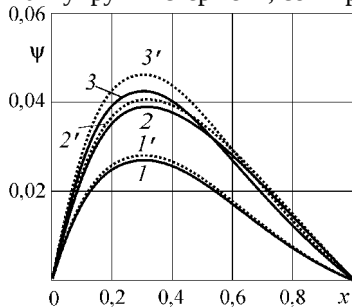


Рисунок 2

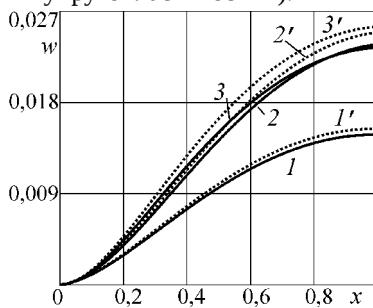


Рисунок 3

При одинаковой амплитуде нагрузок (кривые 1, 2) перемещения от равномерно распределенной нагрузки гораздо больше по величине. Если одинаковы равнодействующие, то максимальный сдвиг несколько больше от синусоидальной нагрузки, прогибы различаются мало. Учет физической нелинейности сказывается при эквивалентных нагрузках (кривые 1', 3').

Выводы. Предложенная методика позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние трехслойного упругопластического стержня при воздействии локальной синусоидальной нагрузки. При этом решение краевой задачи строится по известному решению соответствующей задачи теории упругости.

Список литературы

- 1 Старовойтов, Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 343 с.
- 2 Старовойтов, Э. И. Локальные и импульсные нагружения трехслойных элементов конструкций / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 367 с.
- 3 Плескачевский, Ю. М. Деформирование металлополимерных систем / Ю. М. Плескачевский, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – Минск : Бел. наука, 2004. – 342 с.
- 4 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
- 5 Журавков, М. А. Математические модели сплошных сред. Теория упругости и пластичности / М. А. Журавков, Э. И. Старовойтов. – Минск : БГУ, 2011. – 540 с.

6 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.

7 Ильюшин, А. А. Пластичность. Ч. 1. Упругопластические деформации / А. А. Ильюшин. – М. : Гостехиздат, 1948. – 376 с.

УДК 539.3

УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ КРУГЛОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СЖИМАЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

А. В. ЯРОВАЯ, Ю. В. ЗАХАРЧУК

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Введение. Созданию и применению слоистых конструкций предшествовало большое число теоретических и экспериментальных исследований. Деформирование круговых трехслойных пластин с несжимаемым наполнителем при термосиловых нагрузках исследовано в настоящее время достаточно хорошо. Однако мало изучено их поведение в случае сжимаемого наполнителя. Здесь рассмотрено деформирование упругой круговой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем равномерно распределенной изгибающей и растягивающей нагрузками.

Постановка краевой задачи. Постановка и решение задачи проводятся в цилиндрической системе координат r, φ, z , связанной со срединной плоскостью наполнителя (рисунок 1). Принимается, что в тонких несущих слоях с толщинами h_1, h_2 справедливы гипотезы Кирхгофа, в сжимаемом сравнительно толстом наполнителе толщиной $h_3 = 2c$, воспринимающем нагрузку в тангенциальном направлении, нормаль остается прямолинейной, но поворачивается на некоторый дополнительный угол $\psi(r)$. Сжимаемость принимается линейной по толщине.

К внешнему слою пластины приложены равномерно распределенные нагрузки $q(r), p(r)$, которые далее переносятся на срединную плоскость наполнителя, к торцам – контурные усилия $T_r^0, H_r^0, M_r^0, Q_r^0, D_r^0, M_{rz}^0$.

На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев, $\psi(1) = 0$. Через $w(r)$ и $u(r)$ обозначены прогиб и продольное перемещение срединной плоскости наполнителя, $v(r)$ – функция, характеризующая сжимаемость наполнителя.

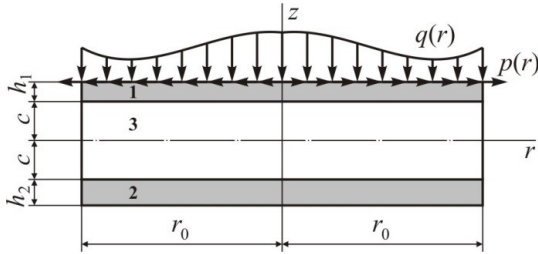


Рисунок 1 – Расчетная схема круговой трехслойной пластины

С помощью введенных гипотез через четыре искомые функции $w(r)$, $u(r)$, $\psi(r)$ и $v(r)$ выражаются продольные и поперечные перемещения в слоях:

$$\begin{aligned} u_r^{(1)}(r, z) &= u + c\psi - z(w_{,r} + v_{,r} c); & w^{(1)}(r) &= w + vc \quad (c \leq z \leq c + h_1), \\ u_r^{(2)}(r, z) &= u - c\psi - z(w_{,r} - v_{,r} c); & w^{(2)}(r) &= w - vc \quad (-c - h_2 \leq z \leq -c), \\ u_r^{(3)}(r, z) &= u + z\psi - z(w_{,r} + v_{,r} z); & w^{(3)}(r) &= w + vz \quad (-c \leq z \leq c), \end{aligned} \quad (1)$$

где запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Компоненты тензора деформаций в слоях получим, используя (1) и соотношения Коши:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r^{(1)} &= u_{,r} + c\psi_{,r} - z(w_{,rr} + v_{,rr} c); \\ \varepsilon_\varphi^{(1)} &= \frac{1}{r}(u + c\psi - z(w_{,r} + v_{,r} c)), & \varepsilon_{rz}^{(1)} &= 0 \quad (c \leq z \leq c + h_1), \\ \varepsilon_r^{(2)} &= u_{,r} - c\psi_{,r} - z(w_{,rr} - v_{,rr} c), \\ \varepsilon_\varphi^{(2)} &= \frac{1}{r}(u - c\psi - z(w_{,r} - v_{,r} c)), & \varepsilon_{rz}^{(2)} &= 0, \quad (-c - h_2 \leq z \leq -c), \\ \varepsilon_r^{(3)} &= u_{,r} + z\psi_{,r} - z(w_{,rr} + v_{,rr} z), & \varepsilon_\varphi^{(3)} &= \frac{1}{r}(u + z\psi - z(w_{,r} + v_{,r} z)), \\ \varepsilon_{rz}^{(3)} &= \frac{1}{2}(\psi - v_{,r} z), & \varepsilon_z^{(3)} &= v, \quad (-c \leq z \leq c). \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, через введенные четыре искомые функции $w(r)$, $u(r)$, $\psi(r)$ и $v(r)$ можно выразить перемещения (1) и деформации (2) в круговой пластине со сжимаемым наполнителем.

Обобщенные внутренние усилия и моменты в пластине вводятся с использованием компонент тензора напряжений $\sigma_\alpha^{(k)}$ ($\alpha = r, \varphi; k = 1, 2, 3$):

$$T_\alpha \equiv \sum_{k=1}^3 T_\alpha^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_\alpha^{(k)} dz, \quad M_\alpha \equiv \sum_{k=1}^3 M_\alpha^{(k)} = \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_\alpha^{(k)} z dz,$$

$$S_{\alpha}^{(3)} = \int_{-c}^c \sigma_{\alpha}^{(3)} z^2 dz, \quad Q^{(3)} = \int_{-c}^c \sigma_{rz}^{(3)} dz, \quad M_{rz}^{(3)} = \int_{-c}^c \sigma_{rz}^{(3)} z dz, \quad T_z^{(3)} = \int_{-c}^c \sigma_z^{(3)} dz, \\ H_{\alpha} = M_{\alpha}^{(3)} + c(T_{\alpha}^{(1)} - T_{\alpha}^{(2)}), \quad D_{\alpha} = S_{\alpha}^{(3)} + c(M_{\alpha}^{(1)} - M_{\alpha}^{(2)}). \quad (3)$$

Уравнения равновесия трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем получим, используя вариационный принцип Лагранжа:

$$\delta A = \delta W,$$

где δA – вариация работы внешних сил; δW – вариация работы внутренних сил упругости.

Вариация работы внешней поверхностной нагрузки

$$\delta A_1 = \int_S (q \delta w + p \delta u) r dr d\varphi. \quad (4)$$

Вариация работы контурных усилий

$$\delta A_2 = \int_0^{2\pi} (T_r^0 \delta u + H_r^0 \delta \psi + M_r^0 \delta w_{,r} + Q^0 \delta w + D_r^0 \delta v_{,r} + M_{rz}^0 \delta v) d\varphi. \quad (5)$$

Вариация работы внутренних сил упругости

$$\delta W = \int_S \left[\sum_{k=1}^3 \int_{h_k}^{h_{k+1}} (\sigma_r^{(k)} \delta \varepsilon_r^{(k)} + \sigma_{\varphi}^{(k)} \delta \varepsilon_{\varphi}^{(k)}) dz + 2 \int_{-c}^c \sigma_{rz}^{(3)} \delta \varepsilon_{rz}^{(3)} dz + \int_{-c}^c \sigma_z^{(3)} \delta \varepsilon_z^{(3)} dz \right] r dr d\varphi. \quad (6)$$

Здесь двойной интеграл распространен по всей срединной поверхности наполнителя S .

Вариации перемещений в слоях:

$$\delta u_r^{(1)} = \delta u + c \delta \psi - z(\delta w_{,r} + \delta v_{,r} c), \quad \delta w^{(1)} = \delta w_1(r) + \delta v(r) c, \\ (c \leq z \leq c + h_1),$$

$$\delta u_r^{(2)} = \delta u - c \delta \psi - z(\delta w_{,r} - \delta v_{,r} c), \quad \delta w^{(2)} = \delta w_2(r) - \delta v(r) c, \\ (-c - h_2 \leq z \leq -c),$$

$$\delta u_r^{(3)} = \delta u + z \delta \psi - z(\delta w_{,r} + \delta v_{,r} z), \quad \delta w^{(3)}(r, z) = \delta w(r) + \delta v(r) z, \quad (-c \leq z \leq c).$$

Вариации деформаций в соответствии с (2) следующие:

$$\delta \varepsilon_r^{(1)} = \delta u_{,r} + c \delta \psi_{,r} - z(\delta w_{,rr} + \delta v_{,rr} c),$$

$$\delta \varepsilon_{\varphi}^{(1)} = \frac{1}{r}(\delta u + c \delta \psi - z(\delta w_{,r} + \delta v_{,r} c)), \quad \delta \varepsilon_{rz}^{(1)} = 0, \quad (c \leq z \leq c + h_1),$$

$$\delta \varepsilon_r^{(2)} = \delta u_{,r} - c \delta \psi_{,r} - z(\delta w_{,rr} - \delta v_{,rr} c), \quad \delta \varepsilon_{\varphi}^{(2)} = \frac{1}{r}(\delta u - c \delta \psi - z(\delta w_{,r} - \delta v_{,r} c)),$$

$$\delta\varepsilon_{rz}^{(2)} = 0, \quad (-c - h_2 \leq z \leq -c),$$

$$\delta\varepsilon_r^{(3)} = \delta u_{,r} + z\delta\psi_{,r} - z(\delta w_{,rr} + \delta v_{,rr} z), \quad \delta\varepsilon_\varphi^{(3)} = \frac{1}{r}(\delta u + z\delta\psi - z(\delta w_{,r} + \delta v_{,r} z)),$$

$$\delta\varepsilon_{rz}^{(3)} = \frac{1}{2}(\delta\psi - \delta v_{,r} z), \quad \delta\varepsilon_z^{(3)} = \delta v, \quad (-c \leq z \leq c). \quad (7)$$

Рассмотрим суммарный интеграл по толщине слоев, входящий в виртуальную работу сил упругости (6). Используя (7) для радиальных составляющих, получим:

$$\begin{aligned} \int_{h_1} \sigma_r^{(1)} \delta\varepsilon_r^{(1)} dz &= \int_{h_1} \sigma_r^{(1)} [\delta u_{,r} + c\delta\psi_{,r} - z(\delta w_{,rr} + \delta v_{,rr} c)] dz = \\ &= T_r^{(1)} \delta u_{,r} + cT_r^{(1)} \delta\psi_{,r} - M_r^{(1)} \delta w_{,rr} - cM_r^{(1)} \delta v_{,rr}, \\ \int_{h_2} \sigma_r^{(2)} \delta\varepsilon_r^{(2)} dz &= \int_{h_2} \sigma_r^{(2)} [\delta u_{,r} - c\delta\psi_{,r} - z(\delta w_{,rr} - \delta v_{,rr} c)] dz = \\ &= T_r^{(2)} \delta u_{,r} - cT_r^{(2)} \delta\psi_{,r} - M_r^{(2)} \delta w_{,rr} + cM_r^{(2)} \delta v_{,rr}, \\ \int_{h_3} \sigma_r^{(3)} \delta\varepsilon_r^{(3)} dz &= \int_{h_3} \sigma_r^{(3)} [\delta u_{,r} + z\delta\psi_{,r} - z(\delta w_{,rr} + \delta v_{,rr} z)] dz = \\ &= T_r^{(3)} \delta u_{,r} + M_r^{(3)} \delta\psi_{,r} - M_r^{(3)} \delta w_{,rr} - S_r^{(3)} \delta v_{,rr}, \\ \int_{h_1} \sigma_\varphi^{(1)} \delta\varepsilon_\varphi^{(1)} dz &= \int_{h_1} \sigma_\varphi^{(1)} \left[\frac{1}{r} (\delta u + c\delta\psi - z(\delta w_{,r} + \delta v_{,r} c)) \right] dz = \\ &= \frac{1}{r} (T_\varphi^{(1)} \delta u + cT_\varphi^{(1)} \delta\psi - M_\varphi^{(1)} \delta w_{,r} - cM_\varphi^{(1)} \delta v_{,r}), \\ \int_{h_2} \sigma_\varphi^{(2)} \delta\varepsilon_\varphi^{(2)} dz &= \int_{h_2} \sigma_\varphi^{(2)} \left[\frac{1}{r} (\delta u - c\delta\psi - z(\delta w_{,r} - \delta v_{,r} c)) \right] dz = \\ &= \frac{1}{r} (T_\varphi^{(2)} \delta u - cT_\varphi^{(2)} \delta\psi - M_\varphi^{(2)} \delta w_{,r} + cM_\varphi^{(2)} \delta v_{,r}), \\ \int_{h_3} \sigma_\varphi^{(3)} \delta\varepsilon_\varphi^{(3)} dz &= \int_{h_3} \sigma_\varphi^{(3)} \left[\frac{1}{r} (\delta u + z\delta\psi - z(\delta w_{,r} + \delta v_{,r} z)) \right] dz = \\ &= \frac{1}{r} (T_\varphi^{(3)} \delta u + M_\varphi^{(3)} \delta\psi - M_\varphi^{(3)} \delta w_{,r} - S_\varphi^{(3)} \delta v_{,r}), \\ \int_{h_3} \sigma_{rz}^{(3)} \delta\varepsilon_{rz}^{(3)} dz &= \int_{h_3} \sigma_{rz}^{(3)} \left[\frac{1}{2} (\delta\psi - \delta v_{,r} z) \right] dz = \frac{1}{2} (Q^{(3)} \delta\psi - M_{rz}^{(3)} \delta v_{,r}), \end{aligned}$$

$$\int_{h_3} \sigma_z^{(3)} \delta \varepsilon_z^{(3)} dz = \int_{h_3} \sigma_z^{(3)} \delta v dz = T_z^{(3)} \delta v .$$

Просуммируем полученное:

$$\delta W = \int_S \left[r \delta u_{,r} + H_r \delta \psi_{,r} - M_r \delta w_{,rr} - D_r \delta v_{,rr} + Q^{(3)} \delta \psi - M_{rz}^{(3)} \delta v_{,r} + T_z^{(3)} \delta v + \right. \\ \left. + \frac{1}{r} (T_\varphi \delta u + H_\varphi \delta \psi - M_\varphi \delta w_{,r} - D_\varphi \delta v_{,r}) \right] r dr d\varphi ,$$

где внутренние усилия T_α , M_α , H_α , D_α , $Q^{(3)}$, $M_{rz}^{(3)}$ и $T_z^{(3)}$ введены соотношениями (3).

Вариацию потенциальной энергии деформации проинтегрируем в полярной системе координат:

$$\delta W = \int_r \int_\varphi \left[r (T_r \delta u_{,r} + H_r \delta \psi_{,r} - M_r \delta w_{,rr} - D_r \delta v_{,rr} + Q^{(3)} \delta \psi - M_{rz}^{(3)} \delta v_{,r} + T_z^{(3)} \delta v + \right. \\ \left. + T_\varphi \delta u + H_\varphi \delta \psi - M_\varphi \delta w_{,r} - D_\varphi \delta v_{,r}) \right] dr d\varphi .$$

Преобразуем подынтегральное выражение, представив его слагаемые в виде:

$$\begin{aligned} r T_r \delta u_{,r} &= (r T_r \delta u)_{,r} - (r T_r)_{,r} \delta u , \\ r H_r \delta \psi_{,r} &= (r H_r \delta \psi)_{,r} - (r H_r)_{,r} \delta \psi , \\ r M_r \delta w_{,rr} &= (r M_r \delta w_{,r})_{,r} - [(r M_r)_{,r} \delta w]_{,r} + (r M_r)_{,rr} \delta w , \\ r D_r \delta v_{,rr} &= (r D_r \delta v_{,r})_{,r} - [(r D_r)_{,r} \delta v]_{,r} + (r D_r)_{,rr} \delta v , \\ r M_{rz}^{(3)} \delta v_{,r} &= (r M_{rz}^{(3)} \delta v)_{,r} - (r M_{rz}^{(3)})_{,r} \delta v , \\ M_\varphi \delta w_{,r} &= (M_\varphi \delta w)_{,r} - M_{\varphi,r} \delta w , \\ D_\varphi \delta v_{,r} &= (D_\varphi \delta v)_{,r} - D_{\varphi,r} \delta v . \end{aligned}$$

После этого выражение для вариации работы напряжений δW можно разбить на два интеграла, вынося в первом из них операцию дифференцирования за общую скобку, а во втором – группируя слагаемые при одинаковых виртуальных перемещениях:

$$\delta W = \int_r \int_\varphi \left[r T_r \delta u + r H_r \delta \psi - r M_r \delta w_{,r} + [(r M_r)_{,r} - M_\varphi] \delta w - r D_r \delta v_{,r} + \right. \\ \left. + [(r D_r)_{,r} - r M_{rz}^{(3)} - D_\varphi] \delta v \right]_{,r} d\varphi dr - \int_r \int_\varphi \left[(r T_r)_{,r} - T_\varphi \right] \delta u + [(r H_r)_{,r} - H_\varphi - r Q$$

$$+ \left[(rM_r)_{,rr} - M_{\varphi,r} \right] \delta w + \left[(rD_r)_{,rr} - rT_z^{(3)} - D_{\varphi,r} - (rM_{rz}^{(3)})_{,r} \right] \delta v \Big| d\varphi dr .$$

Отсюда:

$$\begin{aligned} \delta W = & \int_0^{2\pi} \left[rT_r \delta u + rH_r \delta \psi - rM_r \delta w_{,r} + \left[(rM_r)_{,r} - M_{\varphi} \right] \delta w - rD_r \delta v_{,r} + \right. \\ & + \left. \left[(rD_r)_{,r} - rM_{rz}^{(3)} - D_{\varphi} \right] \delta v \right] d\varphi - \int \int_{r \varphi} \left[(rT_r)_{,r} - T_{\varphi} \right] \delta u + \left[(rH_r)_{,r} - H_{\varphi} - rQ^{(3)} \right] \delta \psi \\ & + \left[(rM_r)_{,rr} - M_{\varphi,r} \right] \delta w + \left[(rD_r)_{,rr} - rT_z^{(3)} - D_{\varphi,r} - (rM_{rz}^{(3)})_{,r} \right] \delta v \Big| d\varphi dr . \end{aligned}$$

Приравняем полученное выражение работе внешних и контурных усилий (4), (5) и потребуем выполнение этого равенства при любых значениях варьируемых перемещений. Это возможно при равенстве нулю коэффициентов при независимых вариациях искомых функций. Отсюда следует система дифференциальных уравнений равновесия в усилиях, полученная вариационным методом Лагранжа, описывающая деформирование круглой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем:

$$\begin{aligned} \square & T_{r,r} + \frac{1}{r}(T_r - T_{\varphi}) = -p, \\ \square & H_{r,r} + \frac{1}{r}(H_r - H_{\varphi}) - Q^{(3)} = 0, \\ \square & M_{r,rr} + \frac{1}{r}(2M_{r,r} - M_{\varphi,r}) = -q, \\ \square & D_{r,rr} + \frac{1}{r}(2D_{r,r} - D_{\varphi,r} - M_{rz}^{(3)}) - T_z^{(3)} - M_{rz,r}^{(3)} = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

На границе $r = 1$ должны выполняться силовые условия:

$$T_r = T_r^0, \quad H_r = H_r^0, \quad M_r = M_r^0, \quad M_{r,r} + \frac{1}{r}(M_r - M_{\varphi}) = Q^0,$$

$$D_r = D_r^0; D_{r,r} + \frac{1}{r}(D_r - D_\varphi) - M_{rz}^{(3)} = M_{rz}^0. \quad (9)$$

Таким образом, в этой главе введены четыре искомые функции, через которые описывается деформирование рассматриваемой пластины, получены уравнения равновесия и граничные условия в усилиях.

УДК 539.3

К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК ТИПА ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПАРАБОЛОИДА

В. Ф. МЕЙШ, Е. Д. БЕЛОВ

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Рассматривается оболочка постоянной толщины в виде эллиптического параболоида. Срединная поверхность исходной оболочки задается в криволинейной неортогональной системе координат x^1, x^2 . Согласно параметрического задания срединной поверхности оболочки используются соотношения [1, 2]

$$x = ax^1 \cos x^2, \quad y = bx^1 \sin x^2, \quad z = (x^1)^2, \quad x^1 \in [0; \infty), \quad x^2 \in [0; 2\pi] \quad (1)$$

Уравнение (1) удовлетворяет каноническому уравнению эллиптического параболоида. Схематически рассматриваемая конструкция представлена на рисунке 1.

Для описания динамического поведения оболочек типа эллиптического параболоида принимается линейный вариант уточненной теории тонких оболочек типа Тимошенко [3, 4]. Закон распределения перемещений по толщине оболочки принимается в виде

$$u_1^z = u_1(x^1, x^2, t) + z\varphi_1(x^1, x^2, t), \quad (2)$$

$$u_2^z = u_2(x^1, x^2, t) + z\varphi_2(x^1, x^2, t),$$

$$u_3^z = u_3(x^1, x^2, t);$$

$$u^{1z} = u^1(x^1, x^2, t) + z\varphi^1(x^1, x^2, t) \quad (3)$$

$$u^{2z} = u^2(x^1, x^2, t) + z\varphi^2(x^1, x^2, t).$$

В соотношениях (1)–(3) величины с нижними индексами соответствуют ковариантным компонентам обобщенного вектора перемещений срединной поверхности оболочки $\bar{U}_1 = (u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2)$, а величины с верхними индексами – контрвариантным компонентам обобщенного вектора перемещений $\bar{U}^1 = (u^1, u^2, u^3, \varphi^1, \varphi^2)$ [4].

Для вывода уравнений колебаний оболочек типа эллиптического параболоида используется вариационный принцип Гамильтона – Остроградского, согласно которого

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta K - \delta \Pi + \delta A) dt = 0, \quad (4)$$

где Π – потенциальная энергия оболочки, K – кинетическая энергия оболочки, A – работа внешних сил.

Выражение для кинетической энергии K имеет вид

$$K = \frac{\rho h}{2} \int_{\Omega} \left(\varrho \frac{\partial u_1}{\partial t} \frac{\partial u^1}{\partial t} + \frac{\partial u_2}{\partial t} \frac{\partial u^2}{\partial t} + \frac{\partial u_3}{\partial t} \frac{\partial u^3}{\partial t} + \frac{h^2}{12} \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} \frac{\partial \varphi^1}{\partial t} + \frac{h^2}{12} \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} \frac{\partial \varphi^2}{\partial t} \right) d\Omega, \quad (5)$$

$$d\Omega = \sqrt{g} dx^1 dx^2.$$

Потенциальная энергия Π записывается в виде

$$\begin{aligned} \Pi = \frac{1}{2} \int_{\Omega} & \left(\varrho^{11} \varepsilon_{11} + T^{22} \varepsilon_{22} + 2T^{12} \varepsilon_{12} + \right. \\ & \left. + 2T^{13} \varepsilon_{13} + 2T^{23} \varepsilon_{23} + M^{11} \kappa_{11} + M^{22} \kappa_{22} + 2M^{12} \kappa_{12} \right) d\Omega. \end{aligned} \quad (6)$$

После стандартных преобразований в функционале (4) получим следующие уравнения колебаний исходной оболочки типа эллиптического параболоида в виде:

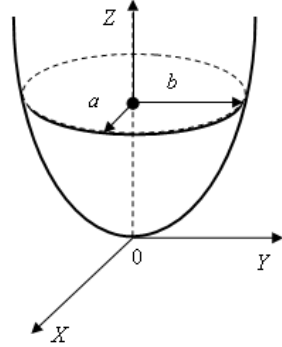


Рисунок 1 – Схематическое изображение конструкции

$$\rho h \frac{\partial^2 u^i}{\partial t^2} = \nabla_i T^{ij} - b_i^j T^{i3} + P^i, \quad (i, j = 1, 2);$$

(7)

$$\rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} = \nabla_i T^{i3} + b_{ij} T^{ij} + P_3;$$

$$\rho I \frac{\partial^2 \varphi^i}{\partial t^2} = \nabla_i M^{ij} - T^{i3} + m^i;$$

$$\nabla_k T^{ik} = -\frac{1}{\sqrt{g}} \partial_k (\sqrt{g} T^{ik}) + \Gamma_{ck}^i T^{ck};$$

$$\nabla_k M^{ik} = \frac{1}{\sqrt{g}} \partial_k (\sqrt{g} T^{ik}) + \Gamma_{ck}^i T^{ck}; \quad g = a_{11} a_{22} - a_{12}^2; \quad a_{12} \neq 0.$$

Обозначения в уравнениях (7) введены согласно [1, 2, 4].

В уравнениях (5), (7) коэффициенты a_{ij} имеют вид [1, 2, 4]

$$a_{ij} = \frac{\partial x}{\partial x^i} \frac{\partial x}{\partial x^j} + \frac{\partial y}{\partial x^i} \frac{\partial y}{\partial x^j} + \frac{\partial z}{\partial x^i} \frac{\partial z}{\partial x^j}, \quad (i, j = 1, 2).$$

В формулах (1)–(7) индексами 1, 2 обозначены переменные по координатам x^1, x^2 : $u^1, u^2, u_3, \varphi^1, \varphi^2$ – 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; ∇_i – контрвариантная производная; ρ – плотность материала оболочки; h – толщина оболочки; $I = h^3 / 12$.

Соотношение $a_{12} \neq 0$ указывает на неортогональность исходной системы координат.

В развернутом виде, согласно [2, 3, 4], уравнения колебаний (7) в дивергентной форме записываются следующим образом:

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{11}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{12}) + \Gamma_{11}^1 T^{11} + 2\Gamma_{21}^1 T^{12} +$$

(8)

$$+ \Gamma_{22}^1 T^{22} - b_1^1 T^{1n} - b_2^1 T^{2n} = \rho h \frac{\partial^2 u^1}{\partial t^2};$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{12}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{22}) + \Gamma_{11}^2 T^{11} + 2\Gamma_{12}^2 T^{12} +$$

$$\begin{aligned}
& + \Gamma_{22}^2 T^{22} - b_1^2 T^{13} - b_2^2 T^{22} + q^2 = \rho h \frac{\partial^2 u^2}{\partial t^2} ; \\
& \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{13}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{23}) + b_{11} T^{11} + b_{12} T^{12} + \\
& + b_{21} T^{12} + b_{22} T^{22} + q^3 = \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} ; \\
& \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} M^{11}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} M^{12}) + \Gamma_{11}^1 M^{11} + 2\Gamma_{21}^1 M^{12} + \\
& + \Gamma_{22}^2 M^{22} - T^{13} = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi^1}{\partial t^2} ; \\
& \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} M^{12}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} M^{22}) + \Gamma_{11}^2 M^{11} + 2\Gamma_{12}^2 M^{12} + \\
& + \Gamma_{22}^2 M^{22} - T^{23} = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial t^2} .
\end{aligned}$$

В соотношениях (8) величины Γ_{ij}^k представляют собой коэффициенты символов Кристоффеля второго рода [2]

$$\Gamma_{ij}^k = \frac{1}{2} \left\| \frac{\partial a_{is}}{\partial x^j} + \frac{\partial a_{sj}}{\partial x^i} - \frac{\partial a^{ij}}{\partial x^s} \right\| a^{sk} ,$$

определяемые метрикой срединной поверхности:

$$a_{ij} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial x^i} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial x^j} .$$

Контрвариантные составляющие тензоров тангенциальных усилий и изгибающих моментов могут быть выражены через деформации растяжения и изгиба зависимостями, следующими из закона состояния линейной теории упругости при условии равенства нулю нормальных к поверхности S напряжений ($\sigma_{33} = 0$) [1, 4].

Для решения исходной системы уравнений (8) используется интегро – интерполяционный метод построения разностных соотношений по пространственным неортогональным координатам x^1, x^2 и явной аппроксимации по временной координате t [3].

Список литературы

1 Гуляев, В. И. Устойчивость нелинейных механических систем / В. И. Гуляев, В. А. Баженов, Е. А. Гоцуляк. – Львов : Вицц, школа, 1982. – 255 с.

2 **Кильчевский, Н. А.** Основы тензорного исчисления с приложениями к механике / Кильчевский Н.А. – К.: Наук. думка, 1972. – 148 с.

3 **Головко, К. Г.** Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / К. Г. Головко, П. З. Луговой, В. Ф. Мейш ; под ред. акад. НАН Украины А. Н. Гузя. – Киев : Изд.-полигр. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.

4 Теория оболочек с учетом поперечного сдвига / под ред. К. З. Галимова. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1977. – 212 с.

ОБ ОДНОМ ВАРИАНТЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Ю. А. МЕЙШ

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Рассмотрены уравнения колебаний трехслойных оболочек вращения на упругом основании при использовании независимых гипотез к каждому слою оболочки. Предполагается, что упругое основание принимается в рамках модели Винклера [1]. Для трехслойной оболочки вращения, имеющей постоянную толщину и состоящей из внешних слоев (обшивки) и внутреннего слоя (наполнителя), принимается, что ее напряженно-деформированное состояние может быть полностью определено в рамках модели теории оболочек с учетом гипотез Тимошенко и поперечных линейных деформаций для заполнителя [2–5]. Вводится предположение о неразрывности всех слоев, то есть слои оболочки деформируются без проскальзывания и отрыва.

При выводе уравнений колебаний трехслойных оболочек вращения принимаются независимые кинематические и статические гипотезы для каждого слоя, с учетом поперечных нормальных и сдвиговых деформаций в заполнителе. Кинематические гипотезы имеют вид:

$$\begin{aligned}
 u_1^{kz}(\alpha_1, z) &= u_1^k(\alpha_1) + z\varphi_1^k(\alpha_1), & k = \overline{1,3}; \\
 u_3^{kz}(\alpha_1, z) &= u_3^k(\alpha_1), & k = 1,3; \\
 u_3^2(\alpha_1, z) &= u_3^2(\alpha_1) + z\varphi_3^2(\alpha_1); \\
 u_1^k(\alpha_1) &= (u_{k+1}(\alpha_1) + u_k(\alpha_1)) / 2, & k = \overline{1,3}; \\
 u_3^k(\alpha_1) &= w_k(\alpha_1), & k = 1,3; \\
 u_3^2(\alpha_1, z) &= (w_3(\alpha_1) + w_1(\alpha_1)) / 2; \\
 \varphi_1^k(\alpha_1) &= (u_{k+1}(\alpha_1) - u_k(\alpha_1)) / h_k, & k = \overline{1,3}; \\
 \varphi_3(\alpha_1) &= (w_3(\alpha_1) - w_1(\alpha_1)) / h_2.
 \end{aligned} \tag{1}$$

В качестве независимых искоемых функций выбираем компоненты обобщенного вектора перемещений на поверхностях слоев, который имеет вид

$$\overline{U} = (u_1(\alpha_1), u_2(\alpha_1), u_3(\alpha_1), u_4(\alpha_1), w_1(\alpha_1), w_3(\alpha_1))^T.$$

Поперечные сдвиговые напряжения изменяются по толщине слоя по закону

$$\sigma_{13}^{kz}(\alpha_1, z) = f_k(z)\sigma_{13}^k(\alpha_1), \quad k = \overline{1,3}, \quad (2)$$

причем функции $f_k(z)$ выбираются таким образом, чтобы выполнялось условие непрерывности величин поперечных сдвиговых напряжений при отсутствии поверхностных нагрузжений. Поперечное нормальное напряжение σ_{33} в заполнителе задается в виде

$$(3) \quad \sigma_{33}^z(\alpha_1, z) = f(z)\sigma_{33}(\alpha_1),$$

причем функция $f(z)$ выбирается таким образом, чтобы выполнялись условия $\sigma_{33}^z(\pm h_2/2) = P_3^\pm(\alpha_1)$, где $P_3^\pm(\alpha_1)$ – поперечное нормальное нагружение.

Для вывода уравнений колебаний трехслойной оболочки используется вариационный принцип Рейсснера для динамических процессов, согласно которого

$$\int_{t_1}^{t_2} [\delta(R + \Pi_w - T) - \delta A] dt = 0, \quad (4)$$

где R – функционал Рейсснера, Π_w – потенциальная энергия основания, T – кинетическая энергия, A – работа внешних сил. Выражения для функционала R и кинетической энергии имеют вид

$$\begin{aligned} R = & \int_s \sum_{i=1,3} \int_{z_i} \left[\sigma_{11}^{iz} \varepsilon_{11}^{iz} + \sigma_{22}^{iz} \varepsilon_{22}^{iz} + \sigma_{13}^{iz} \varepsilon_{13}^{iz} - \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{13}^{iz})^2}{G_{13}^i} \right] dz_i + \\ & + \int_{z_2} \left[\sigma_{11}^{2z} \varepsilon_{11}^{2z} + \sigma_{22}^{2z} \varepsilon_{22}^{2z} + \sigma_{33}^{2z} \varepsilon_{33}^{2z} + \sigma_{13}^{2z} \varepsilon_{13}^{2z} - \right. \\ & - \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{11}^{2z})^2}{E_{fil}} + \frac{(\sigma_{22}^{2z})^2}{E_{fil}} + \frac{(\sigma_{33}^{2z})^2}{E_{fil}} - 2\nu_{fil} \frac{\sigma_{11}^{2z} \sigma_{22}^{2z}}{E_{fil}} - \\ & \left. - 2\nu_{fil} \frac{\sigma_{11}^{2z} \sigma_{33}^{2z}}{E_{fil}} - 2\nu_{fil} \frac{\sigma_{22}^{2z} \sigma_{33}^{2z}}{E_{fil}} + \frac{\sigma_{13}^{2z}}{G_{fil}} \right] dz_2 ds, \end{aligned} \quad (5)$$

$$T = \frac{1}{2} \int_s \sum_{i=1,3} \rho_i \int_{z_i} \frac{\partial u_1^{iz}}{\partial t}^2 + \frac{\partial u_3^{iz}}{\partial t}^2 dz_i +$$

$$\rho_{fil} \int_{z_2} \frac{\partial u_1^{2z}}{\partial t}^2 + \frac{\partial u_3^{2z}}{\partial t}^2 dz_2 ds.$$

В выражениях (5) величины z_i соответствуют областям интегрирования по толщине соответствующих слоев; ρ_i, ρ_{fil} – плотности материалов соответствующих слоев; $E_1^2, E_2^2, E_3^2, \nu_{21}^2, \nu_{31}^2, \nu_{32}^2$ – физико-механические характеристики материала заполнителя (верхний индекс 2); δ_{i2} – символ Кронекера.

Использование вариационного принципа Рейсснера позволяет устранить формальные противоречия в уравнениях обобщенного закона Гука для поперечных нормальных и сдвиговых напряжений соответствующих слоев при принятии независимых гипотез аппроксимаций перемещений (1) и напряжений (2), (3). При использовании принципа Рейсснера независимому варьированию подлежат как перемещения, так и напряжения. После стандартных преобразований в функционале (4), с учетом независимости вариаций компонент обобщенного вектора перемещений, получена система уравнений колебаний трехслойных оболочек вращения на упругом основании в дифференциальной форме.

Уравнения колебаний исходной оболочечной структуры относительно независимых функций перемещений на поверхностях слоев $u_1, u_2, u_3, u_4, w_1, w_3$ имеют вид

$$L_{3m+1}(\bar{U}) = \frac{\rho_{2m+1} h_{2m+1}}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_{2m+1} + u_{2m+2}}{2} \right] +$$

$$+ (-1)^{m+1} \frac{\rho_{2m+1} h_{2m+1}^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_{2m+2} - u_{2m+1}}{h_{2m+1}} \right], \quad m = 0, 1,$$

$$L_3(\bar{U}) = \frac{\rho_{fil} h_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_1 + u_2}{2} \right] - \frac{\rho_1 h_1^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_2 - u_1}{h_1} \right] +$$

$$+ \frac{\rho_{fil} h_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_3 + u_2}{2} \right] + \frac{\rho_{fil}(s) h_2^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_3 - u_2}{h_2} \right], \quad (6)$$

$$L_4(\bar{U}) = \frac{\rho_3 h_3}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_2 + u_3}{2} \right] + \frac{\rho_{fil} h_2^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{u_3 - u_2}{h_2} \right] -$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{\rho_3 h_3}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left\| \left\| \frac{u_4 + u_3}{2} \right\| \right\| + \frac{\rho_3 h_3^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left\| \left\| \frac{u_4 - u_3}{h_3} \right\| \right\|, \\
L_{m+5}(\bar{U}) &= \rho_{2m+1} h_{2m+1} \frac{\partial^2 w_{2m+1}}{\partial t^2} + \frac{\rho_{fil} h_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left\| \left\| \frac{w_1 + w_3}{2} \right\| \right\| + \\
& + (-1)^{m+1} \frac{\rho_{fil} h_2^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left\| \left\| \frac{w_3 - w_1}{h_2} \right\| \right\|, \quad (m=0;1),
\end{aligned}$$

где операторы $L_m(\bar{U})$, $m = \overline{1,6}$ с учетом интегральных характеристик по толщине слоев имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
(7) \quad L_{3m+1}(\bar{U}) &= \frac{1}{2A_1 A_2} \left\| \left\| \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (A_2 T_{11}^{2m+1}) - T_{22}^{2m+1} \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \right\| \right\| - \\
& - (-1)^m \frac{1}{h_{2m+1} A_1 A_2} \left\| \left\| \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (A_2 M_{11}^{2m+1}) - M_{22}^{2m+1} \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \right\| \right\| + \\
& + (-1)^m \frac{1}{h_{2m+1}} T_{13}^{2m+1} + \frac{1}{2} \bar{T}_{13}^{2m+1} k_1, \quad (m=0;1); \\
L_{m+1}(\bar{U}) &= \frac{1}{2A_1 A_2} \left\| \left\| \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (A_2 T_{11}^m) + \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (A_2 T_{11}^{m+1}) - (T_{22}^m + T_{22}^{m+1}) \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \right\| \right\| + \\
& + \frac{1}{h_m A_1 A_2} \left\| \left\| \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (A_2 M_{11}^m) - M_{22}^m \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \right\| \right\| - \\
& - \frac{1}{h_{m+1} A_1 A_2} \left\| \left\| \frac{\partial}{\partial \alpha_1} (A_2 M_{11}^{m+1}) - M_{22}^{m+1} \frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} \right\| \right\| - \frac{1}{h_{m+1}} T_{13}^m + \\
& + \frac{1}{h_{m+1}} T_{13}^{m+1} + \frac{k_1}{2} (\bar{T}_{13}^m + \bar{T}_{13}^{m+1}), \quad (m=1;2); \\
L_{m+5}(\bar{U}) &= \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial}{\partial \alpha_1} \left\| \left\| A_2 \bar{T}_{13}^{2m+1} + \frac{1}{2} \bar{T}_{13}^2 \right\| \right\| - \\
& - (T_{11}^{2m+1} k_1 + T_{22}^{2m+1} k_2) - \frac{1}{2} (T_{11}^2 k_1 + T_{22}^2 k_2) + (-1)^m \frac{1}{h_2} T_{33}^2 -
\end{aligned}$$

$$- (-1)^m \frac{1}{h_2} (M_{11}^2 k_1 + M_{22}^2 k_2) - C_w w_3 \delta_{1m}, \quad (m = 0; 1);$$

$$\bar{T}_{13}^i = T_{13}^i + T_{11}^i \theta_1, \quad (i = \overline{1,3}).$$

В уравнениях (7) C_w – коэффициент постели Винклера, δ_{ij} – символ Кронекера.

Интегральные характеристики напряжений для каждого слоя задаются согласно формулам [2–5]

$$(T_{11}^k, T_{22}^k, T_{13}^k, T_{33}^2) = \int_z (\sigma_{11}^{kz}, \sigma_{22}^{kz}, \sigma_{13}^{kz}, \sigma_{33}^2) dz,$$

$$(M_{11}^k, M_{22}^k) = \int_z (z^k \sigma_{11}^{kz}, z^k \sigma_{22}^{kz}) dz, \quad (k = \overline{1,3}), \quad z \in [-h/2; h/2]$$

Уравнение колебаний трехслойных оболочек вращения на упругом основании дополняются соответствующими естественными граничными и начальными условиями. В частности, граничные условия для свободного края при $s = 0$ или $s = L$, ($s = A_1 \alpha_1$) имеют вид:

$$(8) \quad \frac{1}{2} T_{11}^{2m-1} - \frac{M_{11}^{2m-1}}{h_{2m-1}} = F_{3m-2},$$

$$\frac{1}{2} T_{11}^m + \frac{M_{11}^m}{h_m} + \frac{1}{2} T_{11}^{m+1} - \frac{M_{11}^{m+1}}{h_{m+1}} = F_{m+1},$$

$$\bar{T}_{13}^{2m+1} + \frac{1}{2} \bar{T}_{13}^2 = \hat{O}_m, \quad m = 1, 2.$$

Граничные условия для жестко заземленного края записываются в виде $s = 0$ или $s = L$, $\bar{U} = 0$.

$$\text{Начальные условия при } t = 0 \quad \bar{U} = 0, \quad \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = 0.$$

Список литературы

1 Головки, К. Г. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках / К. Г. Головки, П. З. Луговой, В. Ф. Мейш ; под ред. акад. НАН Украины А. Н. Гузя. – Киев : Изд.-полигр. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.

2 Мейш, В. Ф. Нестационарные колебания цилиндрических оболочек при осесимметричном нагружении / В. Ф. Мейш, Ю. А. Хамренко, Н. А. Шульга // Прикл. мех. – 1999. – 35, № 8. – С. 3–9.

3 Мейш, В. Ф. Нелинейные колебания трехслойных оболочек вращения при импульсных нагружениях / В. Ф. Мейш, Н. А. Шульга, Ю. А. Хамренко // Теоретическая и прикладная механика. – Вып. 78, 2001. – С. 86–91.

4 Мейш, В. Ф. Сравнительный анализ динамического поведения трехслойных оболочек в рамках прикладных теорий при нестационарных нагружениях / В. Ф. Мейш, Ю. А. Хамренко // Прикл. механика. – 2003. – 39, № 7. – С. 123–130.

5 Shul'ga, N. A. Forced vibration of three – layered spherical and ellipsoidal under axially symmetric loads / N. A. Shul'ga, V. F. Meish // Mechanics of Composite Materials. – 2003. – 39. – № 5. – P. 625–636.

УДК 539.3

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН В СИСТЕМЕ СЛОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ – УПРУГИЙ СЛОЙ С НАЧАЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

А. М. БАГНО

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

В реальных твердых телах, как известно, практически всегда существуют начальные напряжения. Созданные целенаправленно или возникшие при строительстве, а также в результате технологических операций при изготовлении, сопряжении отдельных узлов элементов конструкций, воздействия полей различной физической природы, они, взаимодействуя с динамическими напряжениями, существенным образом влияют на устойчивость, прочность и безопасность конструкций.

Разработка новой техники, развитие строительной отрасли, а также потребности сейсмологии и сейсморазведки требуют при решении современных и важных задач привлечения теорий, более полно охватывающих свойства реальных упругих и жидких сред. В связи с этим весьма актуальным является при исследовании динамических процессов привлечение моделей, учитывающих начальные напряжения в упругом теле и вязкость жидкости. Целесообразность рассмотрения современных задач в рамках указанного подхода обусловлена также тем, что при замене дифференциальных уравнений, содержащих члены, учитывающие начальные напряжения и вязкость жидкости, упрощенными соотношениями, не охватывающими эти свойства, настолько меняется структура дифференциальных уравнений, что многие реально наблюдаемые явления становятся недоступными даже для чисто качественного исследования, а получаемые в рамках приближенных моделей количественные результаты не удовлетворяют все возрастающим требованиям точности. В связи с этим представляет определенный теоретический и прикладной интерес

проведение исследований волновых процессов в гидроупругих системах с привлечением трехмерных уравнений линеаризованной теории упругости конечных деформаций для твердого тела и линеаризованных уравнений Навье – Стокса для вязкой сжимаемой жидкости.

В данной работе линеаризованная теория используется для исследования распространения акустических волн в гидроупругой системе, состоящей из слоя вязкой сжимаемой жидкости и упругого слоя с начальными напряжениями. Предполагается, что жидкость является ньютоновской и находится в состоянии покоя. В качестве подхода выбраны постановки задач и метод, основанные на применении представлений общих решений линеаризованных уравнений движения вязкой сжимаемой жидкости и предварительно напряженного упругого тела, предложенные в работах [1–5].

Далее рассматриваются такие динамические процессы в гидроупругой системе, при которых возникающие дополнительные деформации, то есть возмущения деформаций, значительно меньше начальных. Исследуются гармонические волновые процессы малой амплитуды. При этом считается, что упругое тело находится в начальном состоянии.

С учетом введенных допущений в рамках принятых моделей система исходных соотношений линеаризованной теории гидроупругости для тел с начальными напряжениями, взаимодействующими с вязкой сжимаемой жидкой средой, имеет вид [1–5]:

– сжимаемые упругие тела –

$$\left[\tilde{\omega}_{ij\alpha\beta} \frac{\partial^2}{\partial z_i \partial z_\beta} - \delta_{j\alpha} \tilde{\rho} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] u_\alpha = 0, \quad z_k \in V_1; \quad (1)$$

$$\tilde{Q}_j \equiv N_i^0 \tilde{\omega}_{ij\alpha\beta} \frac{\partial u_\alpha}{\partial z_\beta}, \quad \tilde{\omega}_{ij\alpha\beta} = \frac{\lambda_i \lambda_\beta}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \omega_{ij\alpha\beta}, \quad \tilde{\rho} = \frac{\rho}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}; \quad (2)$$

– несжимаемые упругие тела –

$$\left[\tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta} \frac{\partial^2}{\partial z_i \partial z_\beta} - \delta_{j\alpha} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] u_\alpha + \tilde{q} \frac{\partial f}{\partial z_i} = 0, \quad z_k \in V_1; \quad (3)$$

$$\tilde{q}_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial z_i} = 0, \quad \tilde{Q}_j \equiv N_i^0 \left[\tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta} \frac{\partial u_\alpha}{\partial z_\beta} + \tilde{q}_{ij} f \right]; \quad (4)$$

$$\tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta} = \lambda_i \lambda_\beta \kappa_{ij\alpha\beta}, \quad \tilde{q}_{ij} = \lambda_i q_{ij}, \quad \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1; \quad (5)$$

– вязкая сжимаемая жидкость –

$$\frac{\partial v}{\partial t} - v^* \Delta v + \frac{1}{\rho_0} \nabla p - \frac{1}{3} v^* \nabla (\nabla \cdot v) = 0, \quad z_k \in V_2; \quad (6)$$

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho^*}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial \rho^*} = a_0^2, \quad a_0 = \text{const}, \quad z_k \in V_2; \quad (7)$$

$$p_{ij} = -\delta_{ij} p - \frac{2}{3} \delta_{ij} \mu^* (\vec{\nabla} \cdot \vec{v}) + \mu^* \left[\frac{\partial v_i}{\partial z_j} + \frac{\partial v_j}{\partial z_i} \right]. \quad (8)$$

При этом специфику взаимодействия упругих и жидких сред отражают динамические

$$\tilde{Q}_j = p_{ij} N_i^0, \quad z_k \in S \quad (9)$$

и кинематические

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \vec{v}, \quad z_k \in S \quad (10)$$

граничные условия, задаваемые на поверхности контакта упругих тел и жидкости S . Кроме того, для рассматриваемой задачи дополнительно приравняются нулю напряжения на свободных поверхностях упругого и жидкого слоев.

Здесь приняты следующие обозначения: u_i – компоненты вектора перемещений твердого тела u ; ρ – плотность материала упругого слоя; λ_i – удлинения упругого слоя в направлениях координатных осей; v_i – составляющие вектора возмущений скорости жидкости v ; ρ^* и p – возмущения плотности и давления в жидкости; ν^* и μ^* – кинематический и динамический коэффициенты вязкости жидкости; ρ_0 и a_0 – плотность и скорость звука в жидкости в состоянии покоя; Q_j и p_{ij} – составляющие напряжений, соответственно в жидкости и упругом теле; V_1 и V_2 – объем, занимаемый соответственно упругим телом и жидкостью; S – поверхность контакта упругой и жидкой сред. Выражения для тензоров $\tilde{\omega}_{ij\alpha\beta}$, $\tilde{\kappa}_{ij\alpha\beta}$ и \tilde{q}_{ij} , зависящие от вида начального состояния и типа упругого потенциала материала твердого тела, приведены в работах [2, 4].

Для анализа распространения возмущений, гармонически изменяющихся во времени, решения системы уравнений разыскиваем в классе бегущих волн. Далее решаем две задачи Штурма – Лиувилля на собственные значения для уравнений движения упругого тела и жидкости, а также находим соответствующие собственные функции. После подстановки решений в граничные условия (9) и (10) получаем однородную систему линейных алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных. Исходя из условия существования нетривиального решения, приравнивая определитель системы к нулю, получаем дисперсионное уравнение

$$\det \| e_{mn} (c, \gamma, \lambda_i, \mu, \rho, \rho_0, a_0, \mu^*, \omega h_1 / c_s, \omega h_2 / c_s) \| = 0$$

$$(m, n = \overline{1, 8}), \quad (11)$$

где C – фазовая скорость мод в гидроупругой системе; γ – коэффициент затухания волны; Ω – круговая частота; h_1 – толщина слоя жидкости; h_2 – толщина упругого слоя; c_s ($c_s^2 = \mu / \rho$) – скорость волны сдвига в материале упругого тела.

В дальнейшем уравнение (11) решено численно. При этом с привлечением трехинвариантного упругого потенциала Мурнагана проанализировано влияние начальных напряжений, толщин слоев упругого тела и жидкости на фазовые скорости и коэффициенты затухания квазилэмбовских волн в широком диапазоне частот для двух гидроупругих систем: органическое стекло – вода и сталь марки 09Г2С – вода. Построены дисперсионные кривые для мод в широком диапазоне частот. Обнаружено существование упругих слоев определенных толщин, при которых начальное растяжение не влияет на фазовые скорости и коэффициенты затухания ряда мод. Установлено, что в гидроупругой системе оргстекло – вода начальное растяжение вызывает смещение дисперсионных кривых мод в низкочастотную часть спектра и изменение их конфигурации. При этом масштаб этих изменений зависит от номера моды. Для мод высокого порядка эти изменения становятся более значительными. Это приводит к тому, что для низших мод существует по одному упругому слою с толщиной, при которой их фазовые скорости не зависят от начального растяжения. У мод высокого порядка количество упругих слоев с такими толщинами возрастает. Установлено, что для мод, начиная со второй и дальше для всех последующих, существуют толщины упругого слоя, при которых предварительное растяжение не влияет на их коэффициенты затухания.

В случае гидроупругой системы сталь – вода предварительное растяжение также приводит к сдвигу дисперсионных кривых в длинноволновую часть спектра и изменению их конфигурации. В отличие от оргстекла и воды в этой гидроупругой системе начальное напряжение приводит к "растягиванию" дисперсионных кривых мод. Поэтому у мод независимо от их номера существует по одному упругому слою с толщиной, при которой их фазовые скорости не зависят от предварительного деформирования.

Показано также, что для системы оргстекло – вода при $\bar{a}_0 > \bar{c}_R$ (скорость звука в жидкости больше скорости волны Рэлея) с увеличением толщины упругого слоя \bar{h}_2 низшие моды частично проникают в твердое тело и также, как и моды высокого порядка, распространяются в упругом слое. При этом упругий слой является определяющим в формировании

волнового поля и основным волноводом, по которому распространяются волновые возмущения и осуществляется перенос большей части энергии волн.

В случае упруго-жидкостной системы сталь – вода при $\bar{a}_0 < \bar{c}_R$ не только первая мода, но и ряд низших мод, возникших в результате взаимодействия упругого слоя с жидким слоем, не проникают в твердое тело и распространяются вдоль границы контакта сред, преимущественно, в приповерхностной области жидкости. Все остальные моды высокого порядка распространяются в упругом слое в его толще. В этом случае волноводами для распространения нормальных волн и переноса волновой энергии служат как упругий, так и жидкий слой.

Показано, что в гидроупругих волноводах жидкость для ряда мод вызывает изменение критических частот, смещение дисперсионных кривых в длинноволновую часть спектра, изменение их конфигурации, а также появление новых мод. Это приводит к тому, что в окрестности толщин, при которых моды зарождаются, влияние жидкости на величины их фазовых скоростей становится значительным.

Влияние вязкости жидкости связано с ее взаимодействием со смещениями, возникающими в упруго-жидкостной системе при распространении волновых возмущений. В тех точках мод, где преобладающими являются сдвиговые смещения на границе раздела сред, влияние вязкости наибольшее и величины коэффициентов затухания принимают максимальное значение. В точках волны с малыми поверхностными сдвиговыми смещениями соответственно и влияние вязкости наименьшее. Показано, что моды высокого порядка распространяются с фазовыми скоростями, стремящимися с ростом толщины h_2 к скорости волны сдвига в материале упругого тела c_s . При этом с увеличением толщины в них преобладают поперечные смещения, амплитуда которых на поверхностях слоя стремится к нулю по сравнению с их амплитудами в толще слоя, то есть движения в модах высокого порядка смещаются от поверхности внутрь слоя и локализуются в его толще. Следствием этого является уменьшение влияния вязкости жидкости на фазовые скорости и коэффициенты затухания этих мод с возрастанием толщины упругого слоя в высокочастотной части спектра.

Предложенный подход и полученные результаты, позволяют для волновых процессов установить пределы применимости моделей, основанных на различных вариантах теории малых начальных деформаций [2, 4], а также модели идеальной жидкости [6].

Список литературы

1 **Guz, A. N.** Aerohydroelasticity Problems for Bodies with Initial Stresses / A. N. Guz // *Int. Appl. Mech.* – 1980. – 16, № 3. – P. 175–190.

2 **Гузь, А. Н.** Упругие волны в телах с начальными напряжениями : в 2 т. / А. Н. Гузь. – Киев : Наук. думка, 1986.

3 **Гузь, А. Н.** Динамика сжимаемой вязкой жидкости / А. Н. Гузь. – Киев : “А.С.К”, 1998. – 350 с.

4 **Гузь, А. Н.** Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями / А. Н. Гузь. – Киев : “А.С.К”, 2004. – 672 с.

5 **Guz, A. N.** Dynamics of compressible viscous fluid / A. N. Guz. – Cambridge : Cambridge Scientific Publishers, 2009. – 428 p.

6 **Багно, А. М.** О квазилэмбовских волнах в системе слой идеальной жидкости – сжимаемый упругий слой с начальными напряжениями / А. М. Багно // Доповіди НАН України. – 2016. – № 3. – С. 38–47.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ

Ю. П. ГЛУХОВ

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Актуальность работы. Слоистые конструкции находят широкое применение в современной технике и строительстве. Применение слоев со специальными свойствами позволяет создавать конструкции, обладающие высокими прочностью, жесткостью, стойкостью к агрессивным средам, хорошей тепло-, электро- и звукоизоляцией, радиопрозрачностью и т.д.

Технологические операции при изготовлении современных конструкционных материалов часто являются причиной возникновения внутренних напряжений в элементах конструкций. Внутренние напряжения, которые можно рассматривать как начальные, влияют на прочностные свойства материалов, изменяют динамические характеристики конструкции. Изложенное выше предопределяет необходимость математического моделирования динамических процессов в подобного рода материалах.

Настоящая работа посвящена изучению динамических процессов в многослойных предварительно напряженных телах при воздействии подвижной нагрузки. В работе кратко представлены некоторые промежуточные результаты исследований плоских и пространственных задач о возмущении подвижной поверхностной нагрузкой многослойного основания с начальными (остаточными) напряжениями.

Исследования проведены в рамках линеаризированной теории упругости для тел с начальными напряжениями [3]. В линеаризированной теории упругости для тел с начальными напряжениями предполагается, что возмущенному состоянию тела предшествует некоторое начальное

состояние с отличными от нуля напряжениями и деформациями. При этом рассматриваются только малые дополнительные напряжения (возмущения) по сравнению с напряжениями в начальном состоянии. Такая теория в отличие от линейной классической теории упругости более полно отражает свойства реальных деформируемых тел.

Общая постановка исследуемого класса задач. Общая постановка исследуемого класса задач выглядит следующим образом.

Рассматривается многослойная среда, лежащая на жестком основании или упругом полупространстве. Для представления многослойного основания использовались следующие модели:

1 Плоские задачи:

- пластина на упругой полуплоскости;
- пластина на упругой полосе, лежащей на жестком основании;
- упругая полоса на упругой полуплоскости;
- многослойная упругая полоса на упругой полуплоскости
- многослойная упругая полоса на жестком основании.

2 Пространственные задачи:

- упругий слой на жестком основании;
- упругий слой на упругом полупространстве;
- многослойная упругая плита на упругом полупространстве;
- многослойная упругая плита на жестком основании.

Нагрузка движется прямолинейно по свободной поверхности внешнего слоя с постоянной скоростью.

Граничные поверхности слоев плоские и параллельны между собой. Толщина слоев произвольная.

Элементы слоистой среды состоят из сжимаемых или несжимаемых предварительно напряженных изотропных материалов с произвольной формой упругого потенциала. В случае ортотропного тела считаем, что упруго-эквивалентные направления совпадают с направлениями осей выбранной системы координат. Начальное напряженно-деформированное состояние слоев считается однородным.

Изучается два варианта контакта между элементами слоистой среды и основанием: жесткий и нежесткий.

Предполагается, что картина деформаций инвариантна относительно времени в движущейся вместе с нагрузкой системе координат. Также предполагается, 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.

Постановка задачи выполнена в общем виде для произвольного материала, условий контакта и скорости движения нагрузки.

Решения задач получено с помощью интегрального преобразования Фурье. В области изображений Фурье задачи об установившемся движении многослойной предварительно напряженной упругой среды под воздействием подвижной нагрузки сводятся к решению соответствующих систем алгебраических уравнений.

Решения представлены в общем виде для случаев неравных и равных корней характеристических уравнений, для различных материалов элементов многослойной среды, условий их сопряжения и для любой скорости движения поверхностной нагрузки.

Приведены формулы для трансформант характеристик напряженно-деформированного состояния элементов различных многослойных конструкций.

Ниже в качестве примера рассмотрена постановка плоской задачи о сосредоточенном силовом воздействии на двухслойную полосу, лежащую на жестком основании.

Двухслойная полоса на жестком основании. Движение верхнего слоя полосы опишем системой уравнений из теории пластин, учитывающей влияние инерции вращения и поперечного сдвига. Подстилающий слой, лежащий на жестком основании, имеет начальные напряжения и состоит из сжимаемого или несжимаемого материала с произвольным упругим потенциалом. Материал полупространства предполагается изотропным в естественном состоянии. Форма упругого потенциала имеет общий вид и должна быть конкретизирована лишь при выполнении численных расчетов. Аналогичные задачи для двухслойного полупространства рассмотрены в работах [1, 2].

Рассмотрим пластину толщины $2h$ на упругом слое толщины H . Пластина и подстилающий слой отнесены к декартовой системе координат (ξ_1, ξ_2, ξ_3) , которые вводятся в начальном деформированном состоянии и связаны с лагранжевыми координатами (x_1, x_2, x_3) , вводимыми в естественном состоянии соотношениями $\xi_i = \lambda_i x_i$, где λ_i – удлинения ($i=1, 2, 3$). Координатная плоскость $\xi_1 O \xi_3$ совпадает со средней поверхностью пластины. Предположим, что нагрузка движется по поверхности пластины ($\xi_2 = h$) с постоянной скоростью v в течение большого промежутка времени, вследствие чего относительно системы координат, связанной с этой подвижной нагрузкой, существует установившееся плоское деформированное состояние. Координаты подвижной системы координат определяются соотношениями $y_1 = \xi_1 - vt$, $y_2 = \xi_2$.

Уравнения движения пластины с учетом сдвига и инерции вращения в подвижной системе координат имеют вид [4]

$$\begin{aligned}
2h \left(\frac{2G_1}{1-\nu} - \rho v^2 \right) \frac{\partial^2 u}{\partial y_1^2} - \tau &= P_1; \\
2h (\kappa G_1 - \rho v^2) \frac{\partial^2 w}{\partial y_1^2} - 2\kappa G_1 h \frac{\partial \varphi}{\partial y_1} - q &= P_2; \\
\frac{2h^2}{3} \left(\frac{2G_1}{1-\nu} - \rho v^2 \delta_0 \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y_1^2} + 2\kappa G_1 \left(\frac{\partial w}{\partial y_1} - \varphi \right) &= \tau = 0;
\end{aligned} \tag{1}$$

здесь ρ , G_1 , ν – соответственно плотность, модуль сдвига и коэффициент Пуассона для материала пластины; u и w – перемещения ее срединной поверхности ($y_2=0$); φ – угол поворота поперечного сечения; κ – коэффициент сдвига Тимошенко; q , τ , P_2 и P_1 – соответственно нормальные и касательные напряжения на границе раздела пластины и подстилающего слоя и аналогичные составляющие нагрузки на свободной поверхности пластины; δ_0 равно 1 или 0.

Изгибающий момент в пластине в подвижной системе координат определяется по формуле

$$M = \frac{4 G_1 h^3}{3(1-\nu)} \frac{d\varphi}{dy_1}. \tag{2}$$

Используя формулы, приведенные в работе [3], линеаризированные уравнения движения точек полупространства при плоской деформации в координатах (y_1, y_2) через функцию $\chi(y_1, y_2)$ запишем в виде

$$\left(\eta_1^2 \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_2^2} \right) \left(\eta_2^2 \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_2^2} \right) \chi^{(j)} = 0, \quad j=1,2. \tag{3}$$

Корни η_1 и η_2 определяются из уравнения

$$\eta^4 + 2A\eta^2 + A_1 = 0, \tag{4}$$

где параметры A и A_1 определяются согласно формул, приведенных в работах [1, 2].

При $y_2 = -h$ условия контакта между пластиной и подстилающим слоем можно записать в виде

$$\mathcal{Q}_{22}^0 = q; \quad u_2 = w; \quad \theta^{(1)} \mathcal{Q}_{21}^0 = \tau; \quad (1 - \theta^{(1)}) \mathcal{Q}_{21}^0 = \theta^{(1)} (u_1 - u - h\varphi). \tag{5}$$

Контакт слоя с жестким основанием при $y_2 = -h - H$ описывается уравнениями

$$u_2 = 0; \quad (\theta^{(2)} - 1) \mathcal{Q}_{21}^0 = \theta^{(2)} u_1. \tag{6}$$

Здесь $\theta_1^{(s)} = 1$ ($s=1,2$) соответствует жесткому контакту, а $\theta_1^{(s)} = 0$ – нежесткому контакту элементов слоистой среды между собой и основанием.

Перемещения и напряжения в формулах (5) и (6) через функции $\chi^{(j)}$ ($j=1,2$) можно представить в виде [1,2]

$$u_i = -\beta_{i1}^{(i)} \frac{\partial^2 \chi^{(i)}}{\partial y_1 \partial y_2} + \left(\beta_{i1}^{(j)} \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} + \beta_{i2}^{(j)} \frac{\partial^2}{\partial y_2^2} \right) \chi^{(j)}; \quad i, j = 1, 2; \quad i \neq j; \quad (7)$$

$$\mathcal{Q}_{ij}^{\phi} = \left(\alpha_{ij}^{(12)} \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} + \alpha_{ij}^{(22)} \frac{\partial^2}{\partial y_2^2} \right) \frac{\partial \chi^{(2)}}{\partial y_{2-\delta_{ij}}} + \left(\alpha_{ij}^{(11)} \frac{\partial^2}{\partial y_1^2} + \alpha_{ij}^{(21)} \frac{\partial^2}{\partial y_2^2} \right) \frac{\partial \chi^{(1)}}{\partial y_{1+\delta_{ij}}}.$$

Таким образом, задача об установившейся реакции двухслойной предварительно напряженной полосы с закрепленным основанием при воздействии движущейся с постоянной скоростью нагрузки сводится к определению функций $\chi^{(j)}$ и \mathcal{Q} с помощью уравнений (3) при граничных условиях (1), (5) и (6). Компоненты напряженно деформированного состояния двухслойной среды определяются по формулам (2) и (7).

Выводы. Исследовано влияние начальных напряжений и скорости движения поверхностной нагрузки на значение корней характеристических уравнений, соответствующих уравнениям движения элементов слоистого основания. Проведена оценка возможных значений корней характеристических уравнений. Определены необходимые и достаточные условия существования кратных корней характеристических уравнений для двумерных и трехмерных задач.

Получены численные результаты, позволяющие установить характер влияния начальных напряжений на значения критических скоростей движения нагрузки и на параметры напряженно-деформированного состояния многослойной среды.

Анализ результатов показывает, что наличие начальных напряжений оказывает существенное влияние на распределение напряжений и скоростей перемещений в слоистой среде. Это влияние различно в зависимости от положения рассматриваемой точки слоистого тела относительно точки приложения нагрузки.

Значения параметров напряженно-деформированного состояния в конкретной точке слоистого тела зависят от начальных напряжений, ее координат и условий контакта.

Список литературы

- 1 **Бабич, С. Ю.** Об одной динамической задаче для слоистого сжимаемого полупространства с начальными напряжениями / С. Ю. Бабич, Ю. П. Глухов, А. Н. Гузь // Прикл. механика. – 2008. – 44, № 3. – С. 36–54.
- 2 **Бабич, С. Ю.** Динамика слоистого несжимаемого полупространства с начальными напряжениями при воздействии подвижной нагрузки / С. Ю. Бабич, Ю. П. Глухов, А. Н. Гузь // Прикл. механика. – 2008. – 44, № 4. – С. 35–55.
- 3 **Гузь, А. Н.** Упругие волны в телах с начальными (остаточными) напряжениями / А. Н. Гузь. – Киев : “А.С.К”, 2004. – 672 с.
- 4 **Achenbach, J. D.** Moving load on a plate resting on an elastic half space / J. D. Achenbach, S. P. Keshawa, G. Herrmann // Trans. ASME. Ser. E. J. Appl. Mech. – 1967. – 34, № 4. – P. 183–189.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СТАТИКИ
ДЛЯ ДЛИННЫХ НЕКРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

В. А. МАКСИМЮК, Е. А. СТОРОЖУК

Институт механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, г. Киев

Введение. Цилиндрические оболочки некругового поперечного сечения широко применяются в современном инженерном деле. Так, в авиационной технике фюзеляжи [1] современных самолетов часто из соображений аэродинамичности, компоновки технологических соединений, эффективности использования внутреннего объема имеют некруговое поперечное сечение. Поэтому расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) длинных цилиндрических оболочек некругового сечения под действием внутреннего давления представляется актуальным. Кроме того, аналитические и другие достаточно точные решения такой задачи представляют ценность в качестве тестов для численных методов из-за возможного эффекта запирания [2, 3].

Одномерная задача о деформировании длинной цилиндрической оболочки эллиптического сечения (фактически кольца), нагруженной внутренним давлением, имеет 150-летнюю историю [4, с. 326–338]. Однако первые аналитические решения были весьма упрощенными. Корректные результаты впервые были получены С. П. Тимошенко в 1930 году и опубликованы в первом издании монографии [5]. Моменты вычислялись при помощи таблицы некоторых коэффициентов для ряда значений соотношений полуосей эллипса. Процедура получения коэффициентов не приведена и осталась неизвестной. Дальнейшая история развития аналитических и графических методов решения данных задач кратко изложена в работе [6].

Ниже представлены аналитический, аналитически-численный и численный методы решения задач статики для длинных некруговых цилиндрических оболочек.

Постановка задачи и основные соотношения. Рассмотрим бесконечно длинную цилиндрическую оболочку некругового поперечного сечения постоянной толщины h , изготовленную из однородного изотропного материала и нагруженную нормальными поверхностными Q и погонными P силами, равномерно распределенными вдоль образующих (в направлении оси цилиндра).

Отнесем срединную поверхность оболочки к криволинейной ортогональной системе координат (α, β) , сопряженной с линиями главных кривизн, где α – длина образующей. Деформации и напряжения в

каждом поперечном сечении оболочки будут одинаковыми, а все искомые величины будут зависеть только от координаты β .

Исходными при исследовании НДС данного класса оболочек являются общие уравнения теории непологих оболочек, которая базируется на гипотезах Кирхгофа – Лява. В этом случае для геометрических соотношений имеем выражения:

$$\varepsilon = \frac{du}{Bd\beta} + kw; \quad \mu = -\frac{d\vartheta}{Bd\beta}; \quad \vartheta = \frac{dw}{Bd\beta} - ku. \quad (1)$$

Связь внутренних силовых факторов с компонентами деформации примем на основании закона Гука:

$$N = D_N \varepsilon; \quad D_N = \frac{Eh}{(1 - \nu^2)}; \quad M = D_M \mu; \quad D_M = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}. \quad (2)$$

Уравнения равновесия имеют следующий вид:

$$\frac{dN}{Bd\beta} + kQ = 0; \quad \frac{dQ}{Bd\beta} - kN + q = 0; \quad \frac{dM}{Bd\beta} - Q = 0, \quad (3)$$

здесь N, Q, M – внутренние усилия и момент; ε, μ – мембранная и изгибная деформации; u, w – тангенциальное перемещение и прогиб точек срединной поверхности оболочки; ϑ – угол поворота касательной к координатной линии β ; k – кривизна поперечного сечения; B – параметр Ламе; E, ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала оболочки.

Аналитический метод [7]. Авторам удалось получить точные решения краевых задач для таких видов цилиндрической оболочки: замкнутой бесконечно длинной овальной цилиндрической оболочки, которая находится под действием равномерного давления Q или двух диаметрально противоположных равномерно распределенных вдоль образующих сил P ; открытой бесконечно длинной овальной цилиндрической оболочки ($0 \leq \beta \leq \beta_k$), продольный край $\beta = \beta_k$ которой жестко закреплен, а на краю $\beta = 0$ действует равномерно распределенная поперечная сила P ; открытой бесконечно длинной овальной цилиндрической оболочки ($-\beta_k \leq \beta \leq \beta_k$) с жестко или шарнирно закрепленными продольными краями $\beta = \pm\beta_k$, нагруженной равномерным внутренним давлением или равномерно распределенной вдоль образующей поперечной силой P .

Отметим, что радиус кривизны поперечного сечения овальной цилиндрической оболочки задавался функцией вида:

$$r = r_0(1 + \xi \cos 2\beta); \quad r_0 = (a + b) / 2; \quad \xi = 3(a - b) / (a + b);$$

$$-\pi \leq \beta \leq \pi, \quad (4)$$

где a, b – большая и малая полуоси поперечного сечения; β – угол между нормалью и малой осью сечения.

Аналитически-численный метод. Определение внутренних силовых факторов и обобщенных перемещений некруговой цилиндрической оболочки сводится к решению системы уравнений (1)–(3) и вычислению ряда интегралов. Поскольку подынтегральные функции в данных интегралах непрерывные, то эти интегралы существуют. Для большинства цилиндрических оболочек некругового поперечного сечения первообразные подынтегральных функций не выражаются через элементарные функции, поэтому авторы разработали методику решения задач статики для данного класса оболочек, которая базируется на сочетании аналитического и численного интегрирования. Отмеченные выше интегралы вычисляются с использованием формулы трапеций.

Разработанная методика обеспечивает высокую точность результатов расчетов. Например, для совпадения пяти значащих цифр аналитически-численного решения задачи для овальной ($a/b = 1,5$) цилиндрической оболочки с аналитическим (точным) решением этой задачи необходимо разбить интервал интегрирования на 800 частей.

Численный метод [2] основан на вариационно-разностном методе (ВРМ) [3] с использованием смешанного функционала, в котором геометрическая часть гипотез Кирхгофа – Лява реализована методом множителей Лагранжа. В системе координат (α, s, γ) он имеет вид:

$$\Pi(u, w, \vartheta, Q) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (N\varepsilon + M\mu - 2qw) d\Omega + \int_{\Omega} \Phi \varepsilon_{sy} d\Omega. \quad (5)$$

Функционал (5) является суммой энергии деформации оболочки и дополнительного условия для реализации геометрической части гипотез Кирхгофа – Лява методом множителей Лагранжа. Он зависит от четырех варьируемых функций: двух перемещений, угла поворота и множителя Лагранжа Q , который имеет физический смысл перерезывающей силы. Угол ϑ в (1) определяется из условия равенства нулю деформации поперечного сдвига ε_{sy} . Преимущества такого построения функционала изложены в [3].

Результаты. Выполнен расчет НДС эллиптической цилиндрической оболочки с такими геометрическими параметрами [2]: $h = 0,01$ м; $a = 1,0$ м; $b = 0,3; 0,4; \dots; 1,0$ м. Материал оболочки – сталь с $E = 210$ ГПа и

$\nu = 0,3$. Нагрузка – внутреннее давление $q = 10$ кПа. Вследствие симметрии задачи была рассмотрена область $s \in [0, s_k]$, где s_k – четверть периметра эллипса, который вычислялся с помощью алгоритма [3] численной дискретизации кривой. Тем же алгоритмом эта дуга эллипса разбивалась на K узловых точек с равномерным шагом.

В таблице 1 приведены значения моментов и относительных прогибов ($\tilde{w} = w/h$) в точках $\tilde{s} = s/s_k = 0$ (короткая полуось) и $\tilde{s} = 1$ (длинная полуось) для ряда значений отношения полуосей эллипса (b/a).

Таблица 1 – Влияние эллиптичности поперечного сечения на НДС

Метод	НДС	\tilde{s}	b/a				
			1,0	0,9	0,7	0,5	0,3
Аналитически й [5]	M, H	0	0	461,7	1161,3	1572,5	1734,3
		1	0	-486	-1386,7	-2175	-2815,2
Аналитически- численный	M, H	0	0	462,5	1163,8	1575,3	1726,1
		1	0	-487,5	-1386,2	-2174,7	-2823,8
	\tilde{w}	0	0,00043	0,786	1,890	2,425	2,484
		1	0,00043	-0,699	-1,276	-1,129	-0,657

Практическая сходимость результатов расчетов НДС [2] с увеличением количества узлов K в ВРМ показана в таблице 2, где представлены безразмерные прогибы, напряжения на внешней (σ^+), в срединной (σ^0) и на внутренней (σ^-) поверхностях оболочки и моменты в точках $\tilde{s} = 0$ и $\tilde{s} = 1$ для случая $b/a = 0,5$.

Таблица 2 – Сходимость численных результатов ($b/a = 0,5$)

Метод	\tilde{s}	\tilde{w}	σ^+ , МПа	σ^0 , МПа	σ^- , МПа	M, H
ВРМ, $K = 2561$	0	2,41	94,47	0,5127	-93,45	1566
	1	-1,12	-128,0	0,9724	130,0	-2150
ВРМ, $K = 5121$	0	2,42	94,85	0,5088	-93,84	1572
	1	-1,13	-129,1	0,9931	131,1	-2168
ВРМ,	0	2,42	94,96	0,5077	-93,94	1574

$K = 10241$	1	-1,13	-129,3	0,9981	131,3	-2171
Аналитический [5]	0	-	94,85	0,5	-93,85	1572,5
	1	-	-129,5	1,0	131,5	-2175
Аналитическо- численный	0	2,425	95,02	0,5	-94,02	1575,3
	1	-1,129	-129,48	1,0	131,48	-2174,7

В двух предпоследних строках таблицы 2 приведены: точные значения напряжений $\sigma^0(0) = pb/h$ и $\sigma^0(s_k) = pa/h$; моменты $M(0) = 0,629 pb^2$ и $M(s_k) = -0,870 pb^2$ на основе табличных коэффициентов [5], а также вычисленные по предыдущим величинам (σ^0 , M) напряжения $\sigma^+ = \sigma^0 + 6M/h^2$ и $\sigma^- = \sigma^0 - 6M/h^2$. Аналогичные величины, полученные аналитическо-численным методом согласно описанной выше методике, даны в двух последних строках этой таблицы.

Выводы. Представляется, что фактически воспроизведена процедура аналитического решения Тимошенко [5], в котором определенные интегралы вычислялись приближенно. Продемонстрировано вычислительное явление мембранного запираия в ВРМ на основе смешанного функционала, в котором геометрическая часть гипотез Кирхгофа – Лява реализована методом множителей Лагранжа. Показана замедленная, но устойчивая сходимостъ результатов расчетов НДС к аналитическому решению. Данная задача может пополнить коллекцию так называемых патологических тестов. Очевидно, что для улучшения сходимости результатов целесообразно использовать смешанные функционалы, в которых дополнительно варьируется мембранная деформация.

Список литературы

- 1 Boule, A. Parametric study of an elliptical fuselage made of a sandwich composite structure / A. Boule, M. Dubé, F. P. Gosselin // Mech. Res. Comm. – 2015. – 69. – P. 129–135.
- 2 Абросов, Ю. Ю. Деформування довгої тонкої циліндричної оболонки еліптичного перерізу / Ю. Ю. Абросов, В. А. Максимюк, В. С. Тарасюк // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. – 2015. – № 2. – С. 5–10.
- 3 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.
- 4 Bresse, J. A. C. H. Cours de mécanique appliquée. Première partie. Résistance des matériaux et stabilité des constructions / Bresse J. A. C. H. – Deuxième Édition. – Paris : Gauthier-Villars, 1866. – 536 p.

5 **Timoshenko, S.** Strength of materials. Part II, Advanced theory and problems / S. Timoshenko. – 2nd Ed. – New York : D. Van Nostrand Company, 1941. – 510 p.

6 **Holland, M.** Pressurized member with elliptic median line: effect of radial thickness function / M. Holland // J. Mech. Engng Sci. – 1976. – 18, No 5. – P. 245–253.

7 **Сторожук, Є. А.** Про аналітичні розв'язки деяких крайових задач для циліндричної оболонки овального перерізу [Електронний ресурс] / Є. А. Сторожук // Математика в сучасному технічному університеті : збірник науково-методичних праць / Національний технічний університет України «КПІ». – Київ, 2015. – Вип. 1. – С. 72–79. – Режим доступу: <http://mmtu.in.ua/latest>.

С Е К Ц И Я П

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 656.22.05

ИЗМЕНЕНИЕ ВРЕМЕНИ, ЗАТРАЧИВАЕМОГО НА ОБСЛУЖИВАНИЕ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

А. А. АКСЁНЧИКОВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

На станциях передачи вагонов время обслуживания поездов работниками ПТО, ПКО, СЦ, сотрудниками органов пограничной службы, должностными лицами таможни может отклоняться от нормативного времени как в большую, так и меньшую сторону, что зависит от различных факторов, систематизированных автором в зависимости от технологии обработки поездов и технического оснащения железнодорожной станции (таблица 1).

Таблица 1 – **Классификация факторов**

Фактор	Характеристика	Фактор	Характеристика
<i>технический</i>		<i>технологический</i>	
Системный	место расположения железнодорожной станции;	Структурный	подвижной состав (крытые, полувагоны, платформы, цистерны и др.);
	путевое развитие железнодорожной станции (взаимное расположение парков: последовательное, параллельное, комбинированное);		состояние вагона (груженный, порожний);
			род груза (груз, перевозимый на открытом подвижном составе насыпью, навалом; в крытом подвижном составе и др.);

Окончание таблицы 1

Фактор	Характеристика	Фактор	Характеристика
<i>технический</i>		<i>технологический</i>	
	категория поездов (транзитный без переработки, транзитный с переработкой, местный).		вид сообщения и отправки (повагонные, контейнерные, мелкие, групповые и маршрутные отправки) [4].
Техническое оснащение железнодорожной станции	информационное обеспечение (АСУ, АРМ);	Ресурсы используемые для обслуживания поездов	число работников (бригад ПТО, ПКО, работников СТП, декларантов и др.);
	виды связи;		число локомотивов;
	оборудование (ЭГВ, производственное телевидение, ЭВВ, вышки).		технические устройства (для ограждения поездов, получение информации).

Место расположения железнодорожной станции. В зависимости от расположения железнодорожных станций по отношению к сопредельным государствам они могут быть станциями передачи вагонов (СПВ) или техническими железнодорожными станциями (ТЖС).

ТЖС – железнодорожная станция, основным назначением которой является выполнение технических, коммерческих и иных операций по обслуживанию поездов, расформированию, формированию составов поездов, их тяговое обслуживание;

СПВ – железнодорожная станция, имеющая необходимое путевое развитие, технические устройства и персонал, обеспечивающий работу:

- по передаче транспортных средств между государствами в техническом, коммерческом отношениях;

- по оформлению передаточной поездной ведомости и формированию необходимых сообщений отправляемых в УП «Главный расчетный информационный центр» для ведения учета передачи и номерного наличия вагонного парка.

На СПВ осуществляется таможенный, пограничный, ветеринарный, фитосанитарный контроль грузовых поездов [3].

В связи с различным количеством выполняемых операций по обслуживанию поездов и вагонов (приведенных выше), оформлению перевозочных документов и разного количества структурных подразделений и служб, находящихся на железнодорожной станции и участвующих в обработке поездов приводит к увеличению времени обслуживания поездов на СПВ по отношению к ТЖС.

Путевое развитие железнодорожной станции. От расположения парков и нахождения постов дислокации работников от путей приема (отправления) поездов зависит время на подготовительные операции и проход к путям приема (отправления) поезда. При расположении парков параллельно или комбинировано время прохода до поездов будет меньше по отношению к паркам, которые расположены последовательно, если пост находится в одной из стрелочных горловин парка.

Категория поездов. В зависимости от категории поезда его обслуживание производится различным количеством работников и служб.

При обработке поезда без переработки на железнодорожной станции он обслуживается работниками ПТО и ПКО, с перевозочными документами работа не производится; с переработкой поезд обслуживается работниками ПТО, ПКО и СТЦ, с перевозочными документами работают работники СТЦ, товарной конторы; местные поезда обслуживаются работниками ПТО, ПКО и СТЦ, с перевозочными документами работают работники СТЦ, товарной конторы, но количество документов и время оформления другое. На СПВ помимо перечисленных выше работников и служб появляются сотрудники органов пограничной службы, должностные лица таможи, фитосанитарный контроль и другие [1]. Поэтому категория поезда влияет на время обслуживания.

Информационное обеспечение и виды. Информационная аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок (ИАС ПУР ГП), автоматизированная система управления станцией (АСУС), система автоматизации подготовки и оформления документов (САПОД) и различные автоматизированные рабочие места (АРМы) позволяют своевременно и точно получать информацию о поездах и вагонах. Эта информация используется при оперативном решении появляющихся вопросов во время обслуживания поездов.

При коммерческом осмотре работниками ПКО поездов использование современного информационного обеспечения и видов связи ускорит их обслуживание. При использовании портативных переносных устройств типа PDA (КПК – карманный персональный компьютер, смартфоны и др.), работник ПКО может получать сведения о грузе, вагоне, пломбах и документах не через старшего приемосдатчика ПКО или другого работника, а на прямую, входя в автоматизированную систему управления

железнодорожной станцией, где имеется эта информация. Это позволит уменьшить время на получение нужной информации о грузе, вагоне и др.

Работник СТЦ при помощи КПК может одновременно производить сверку с «натуры» и необходимую корректировку.

Оборудование. Внедрение современных технических средств: производственного телевидения, электронных габаритных ворот, электронных весов и двухэтажных смотровых вышек ускоряет обслуживание поездов, обеспечивает улучшение качества обработки вагонов, грузов и контейнеров на них, что способствует повышению безопасности движения поездов, улучшению условий труда и техники личной безопасности работников, позволяет увеличить производительность труда [2].

Подвижной состав. Состояние вагона. Род груза. На время осмотра поезда влияет тип подвижного состава (крытые, полувагоны, платформы, цистерны и др.) из которого сформирован поезд, состояние вагонов (груженный, порожний) и род груза (груз, перевозимый на открытом подвижном составе насыпью, навалом; в крытом подвижном составе и др.).

Проведенные исследования показали, что при обслуживании работниками ПТО, ПКО, СТЦ, конторы передачи, сотрудниками органов пограничной службы, должностными лицами таможи подвижного состава (перевозочных документов) в груженом или порожнем состоянии время варьируется: для работников ПТО в интервале от 1,2 до 1,9 минут, работников ПКО – от 0,5 до 4 минут, работников СТЦ – от 0,5 до 5 минут, работник конторы передач – от 0,5 до 10 минут, сотрудников органов пограничной службы – от 1 до 5 минут, должностных лиц таможи – от 5 до 20 минут.

Для работников ПТО, которые осматривают подвижной состав, состояние вагона (груженный или порожний) не влияет на время обслуживание. Такие факторы как срок эксплуатации вагона и межремонтный пробег влияют на время обслуживание состава. На вагон с наименьшим сроком эксплуатации затрачивается меньше времени по его обслуживанию.

Род груза, который находится в вагоне, влияет на время осмотра для работников ПКО. Так для осмотра порожней платформы, крытого полувагона, цистерны, минераловоза работник ПКО затрачивает 0,5 минуты, а для осмотра груженой платформы, полувагона – от 1,5 до 3,5 минут, цистерны, минераловоза – от 0,6 до 1 минуты.

Вид сообщения и отправки. В зависимости от вида сообщения (внутриреспубликанское или международное железнодорожное сообщение) оформление отправляемого груза производится по различным документам. При отправлении груза во внутриреспубликанском железнодорожном сообщении оформляется накладная формы ГУ-29-О (накладная, дорожная

ведомость, корешок дорожной ведомости, квитанция о приеме груза) [5] и сопроводительные документы, которые необходимы на данный груз. Грузы следующие в международном железнодорожном сообщении оформляются по накладной СМГС (оригинал накладной, дорожная ведомость, дубликат накладной, лист выдачи груза и лист уведомления о прибытии груза) [6], а также необходимое количество дополнительных экземпляров дорожной ведомости (двух экземпляров для дороги отправления и одного экземпляра для каждой участвующей в перевозке транзитной железной дороги). Кроме документов СМГС на груз оформляются сопроводительные документы (сертификат, спецификация, грузовая таможенная декларация (ГТД), документ таможенного транзита (ДТТ), счет фактура, товаротранспортные документы) [6].

На каждый вид отправки оформляется различное количество документов. Например, на повагонные отправки оформляется накладная формы ГУ 29-О, для групповых и маршрутных отправок накладная формы ГУ 27-е и ГУ 29-б. Вид сообщения и отправки требует заполнения различных форм накладных и сопроводительных документов, что влияет на время оформления документов работниками товарной конторы железнодорожной станции.

Число работников. На длительность обработки поездов на железнодорожных станциях существенное влияние оказывает численность штата работников подразделений и служб к фактическим размерам движения поездов. В наибольшей мере это проявляется, когда размер движения поездов возрастает или имеет место значительного колебания по периодам суток и дням недели.

Если бригада ПТО, ПКО обслуживает поезд за 30 минут, то за смену она может обработать $N = 12/0,5 = 24$ поезда, когда подвод поездов идет равномерно, то поезда обрабатываются без задержек. При сгущённом подводе поездов одной бригады недостаточно, нужно либо привлечь бригады с других парков, либо поезда будут обслуживаться с ожиданием.

Число локомотивов. Количество маневровых локомотивов, используемых на железнодорожной станции, влияет на время нахождения состава в ожидании расформирования, окончания формирования, подачи вагонов на грузовые фронты погрузки-выгрузки и др. При достаточном количестве маневровых локомотивов на железнодорожной станции с вагонами выполняют операции без задержек, при недостаточном количестве маневровых локомотивов вагоны простаивают в ожидании выполнения с ними операций.

Технические устройства. Использование электрической централизации при ограждении составов и получении согласия на ограждение состава позволяет ускорить обработку поездов.

Заключение. При оперативном управлении и разработке нормативной документации, для уменьшения эксплуатационных расходов и повышения производительности труда необходимо учитывать перечисленные факторы.

Для оптимизации норм времени на обслуживание поездов работниками ПТО, ПКО, СТЦ, сотрудниками органов пограничной службы, должностными лицами таможи необходимо производить детализацию всех операций которые выполняются на СПВ, это позволит учесть наибольшее количество факторов влияющих на время обслуживание поездов.

Список литературы

1 Аксёничков, А. А., Аксёникова, Е. А. Уменьшения времени нахождения поездов межгосударственного сообщения на станциях передачи вагонов // Вестник БелГУТа : Наука и Транспорт. – Гомель: БелГУТ, 2007. – № 1–2. – 182 с.

2 Аксёникова, Е. А., Аксёничков, А. А. Уменьшение непроизводительных издержек при внедрении новых технических средств в процессе коммерческого осмотра // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : Труды междунард. науч.–прак. конф. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 359 с.

3 Положение о железнодорожной станции Белорусской железной дороги: утв. приказом начальника Белорусской железной дороги от 19.05.2008 № 252Н. – Минск, 2008. – 30 с.

4 Сборник правил перевозок грузов железнодорожным транспортом общего пользования: в 2 частях Ч. I. – Минск: «Тесей», 2012. – 437 с.

5 Сборник правил перевозок и тарифов железнодорожного транспорта общего пользования. – Минск: Пересвет, 2013. – 424 с.

6 Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС): действует с 1 нояб. 1951 г., с изм. и доп. по состоянию на 1 июля 2010 г. – Минск: Тесей, 2010. – 331 с.

УДК 624.21/8

МЕТОДИКА ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНОГО МАРШРУТА ВЫПОЛНЕНИЯ ВОИНСКОЙ ПЕРЕВОЗКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА НА МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ МЕСТНОСТИ

С. М. БОБРИЦКИЙ, П. Г. ДЕМИДОВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Актуальность представленной в статье методики заключается в том, что в общей системе обеспечения военной безопасности стран таможенного союза Республики Беларусь, Республики Казахстан и Российской Федерации, важное место занимает безопасность системы транспортных коммуникаций.

Вооруженными Силами Республики Беларусь используются в мирное и планируются на военное время все виды путей сообщения и транспортных средств в целях перемещения войск, вооружения, техники и воинских грузов.

На территории Республики Беларусь транспортная сеть развита достаточно хорошо, кроме того, по своей плотности на 1,0 тыс. км² она опережает все страны участниц СНГ. При этом по приоритету перевозка вооружения и военной техники в границах территории Республики Беларусь наиболее целесообразна автомобильным, железнодорожным, воздушным и речным видами транспорта. Способ доставки сил и средств зависит от многочисленного количества факторов, таких как: удаленность пункта доставки; директивные сроки и объемы перевозимых сил и средств; характер воздействия противника на транспортные коммуникации и др. Границы необходимого количества факторов на наш взгляд должны соответствовать максимально достоверному результату при решении поставленной задачи по воинской перевозке.

В настоящее время проведен целый ряд исследований в области принятия логистических решений по планированию и организации воинских перевозок различными видами транспорта. Однако не в одной из известных нам работ никто не взялся за решение проблематики по планированию и организации воинских перевозок различными видами транспорта, в том числе комбинированным способом с учетом воздействия противника на мостовые сооружения в пределах территории Республики Беларусь.

Известно, что мостовые сооружения, особенно на наиболее важных направлениях железных и автомобильных дорог, являются потенциально подвергаемыми нападению противником. При этом, как отмечают специалисты, анализируя опыт поражения мостовых сооружений в ходе последних войн и локальных вооруженных конфликтов, наиболее вероятному разрушению от воздействия высокоточного оружия подвергаются большие мосты ($P = 0,9...1,0$), средние мосты и путепроводы ($P = 0,5...0,65$), малые искусственные сооружения (малые мосты, водопропускные трубы и др.) ($P = 0,1...0,2$). В тоже время вероятность нападения сил ДРГ и НВФ на мостовые сооружения составляет: большие мосты – $P = 0,1...0,2$; средние мосты и путепроводы – $P = 0,6...0,7$; малые искусственные сооружения – $P = 0,8...0,9$. Яркий пример нападения сил ДРГ и НВФ, был продемонстрирован в 2014 году на Украине в Донецкой области на не охраняемый железнодорожный путепровод (рисунок 1), в этом же году были разрушены также ряд средних мостов и малых искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах в Луганской и Донецкой областях. Это свидетельствует о том, что нападение

сил ДРГ и НВФ эвентуального противника на не охраняемые объекты подтверждает прогнозируемую вероятность, которая значительно выше, чем на охраняемые большие мосты. Все это, говорит о том, что даже при незначительных затратах сил и средств, противник может нанести серьезных урон транспортной системе любой страны, парализовав движение воинских перевозок в требуемом направлении, на продолжительный срок.

В транспортных войсках Республики Беларусь на современном этапе развития, накоплен большой опыт по восстановлению больших и средних мостов, а также малых искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах. Существующие организационно-штатные структуры мостовых подразделений и воинских частей (ождбр и одмостбр) максимально адаптированы для решения задач по восстановлению мостовых сооружений на железных и автомобильных дорогах в условиях современных военных конфликтах в директивные сроки [1]. Кроме того производственные возможности мостовых воинских частей дают возможность прогнозировать сроки восстановления мостовых сооружений на территории Республики Беларусь.



Рисунок 1 – Разрушение железнодорожного путепровода в ходе движения подвижного состава районе Новобахмутовки в Донецкой области

Учитывая накопленный практический опыт по строительству и восстановлению мостовых сооружений, и опираясь на результаты проведенных научных исследований в области планирования и организации воинских перевозок [2–4], разработана методика поиска рационального

маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности (рисунок 2).



Рисунок 2 – Укрупненная схема методики поиска рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности

Представленная методика на рисунке 2 состоит из пяти основных блоков и частных методик. В общем виде рассмотрим логическую последовательность ее работы:

в первом блоке представлен предварительный анализ картографической информации с использованием цифровой карты местности с учётом системы ограничений. Сущность работы первого блока (модуля) описана в [2–4];

во втором блоке представлен выбор рациональных маршрутов воинской перевозки, осуществляемых различными видами транспорта в отдельности. Блок включает отдельный расчет параметров перевозки войск железнодорожным, воздушным и речным транспортом, а также передвижения подразделений своим ходом. На заключительном этапе производится сравнение вариантов по критериям оценки различных видов транспорта для определения наиболее рационального. Сущность работы второго блока (модуля) детально описана в [2–4];

в третьем блоке производится выбор рациональных маршрутов комбинированной воинской перевозки, в первом пункте выполняемой последовательным способом, а во втором пункте параллельным способом. Для успешной работы данного блока неотъемлемой частью является выполнение мероприятий по выбору пункта погрузки (выгрузки и перегрузки) с одного вида транспорта на другой. Сущность работы третьего блока (модуля) для каждого способа в отдельности описана в [2–4];

в четвертом блоке выбора пункта погрузки (выгрузки и перегрузки) производится определение оптимального пункта погрузки (выгрузки и перегрузки), соответствующего совокупности требований (критериев) для перехода транспортного потока воинской перевозки с одного вида транспорта на другой. Данный блок работает в одной системе с третьим блоком. Сущность работы четвертого блока описана в [2–4];

пятый блок состоит из трех последовательных методик:

методики прогнозирования характера и объемов разрушения мостовых сооружений, которая учитывает современный характер воздействия вероятного противника при прогнозировании разрушения мостовых сооружений от обычных средств поражения (высокоточное оружие, силы ДРГ и НВФ и др.), также позволяет оценить состояние и положение обрушенных конструкций. Детализация методики представлена в работе [1, 5];

методики ускоренного проектирования военных железнодорожных мостов по укрупненным плановым показателям, которая учитывает накопленный опыт применения инвентарных конструкций мостов и отдельных элементов (пролетных строений и опор) при выборе и определении основных показателей восстановления мостов (срок, трудоемкость, темп восстановления и др.) по рациональным вариантам используя метод ускоренного проектирования описанный в [1, 6];

методики сравнения видов, способов и объемов восстановления с учетом мероприятий по обеспечению живучести, представляющей собой сравнение различных вариантов по видам и способам восстановления разработанных по предыдущей методике, используя основные параметры в критерии оценке технического уровня. Количество и вес каждого параметра оценки основных показателей определен на основе экспертного опроса ведущих специалистов в области строительства и восстановления мостов Республики Беларусь и Российской Федерации [1].

Совокупность представленных методик в пятом блоке неотъемлемо связана с блоками один, два и три, что позволяет спрогнозировать в мирное время и оценить в военное время целесообразность построения обходного маршрута воинской перевозки, как для отдельного вида транспорта, так и комбинированным способом, по отношению к восстанавливаемому участку пути с размещенным на нем одного или нескольких разрушенных и в последующем восстановленных мостовых сооружений.

По предварительным расчетам используя представленную методику по поиску рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности, установлено, что если срок восстановления будет меньше одних суток (восстановление малых искусственных сооружений на железных автомобильных и дорогах), то и

пропуск воинской перевозки по восстановленному участку, будет конкурентоспособным с планированием и организацией движения воинской перевозки по новому маршруту комбинированным видом транспорта.

Разработанная методика позволяет в условиях мирного времени прогнозировать живучесть транспортной сети Республики Беларусь в условиях современного характера ведения вооруженных конфликтов.

Представленная методика в тезисах доклада в настоящий момент, находится в стадии постоянного совершенствования, заключающегося в анализе различных факторов влияющих на повышение достоверности результатов при поиске рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности.

Список литературы

1 **Бобрицкий, С. М.** Адаптация организационно-штатной структуры отдельного мостового железнодорожного батальона транспортных войск Республики Беларусь к действиям в современных операциях: дис. канд. воен. наук / С. М. Бобрицкий. – СПб. : ВТИ ЖДВ РФ, 2012. – 190 с.

2 Разработка математического обеспечения для планирования комбинированных воинских перевозок с использованием геоинформационных систем : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. Гордюк А. Г. ; исполн.: Демидов П. Г. [и др.]. – Гомель, 2011. – 147 с. – Библиогр.: с. 144–147. – Инв. № 07.07-190/2.

3 **Демидов, П. Г.** Методика и алгоритм выбора пункта погрузки (выгрузки, перегрузки) / А. Г. Гордюк, П. Г. Демидов, А. В. Коломиец // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы республ. науч.-практ. конф., Гомель, 31 марта 2012 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.: Т. М. Ризевская [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 150–159.

4 **Булойчик, В. М.** Алгоритм поиска маршрута, обеспечивающего необходимые условия передвижения мотострелковому подразделению / В. М. Булойчик, Д. М. Скрипко, А. А. Дубровский // Вестник ВА РБ. – 2010. – № 2 (27). – С. 45–52.

5 **Бобрицкий, С.М.** Методика прогнозирования вероятного разрушения железнодорожных мостов от воздействия современными средствами поражения / Бобрицкий С.М. // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы II Международной науч.-практ. конф. В 2 част. Ч.1 / под общ. ред. А.Г.Гордюка; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. С. 33–44.

6 **Бобрицкий, С.М., Печенев Е.В.** Методика ускоренного проектирования военных железнодорожных мостов на жестких опорах / Бобрицкий С.М., Печенев Е.В. // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы III Международной науч.-практ. конф. В 2 част. Ч.1 / под общ. ред. А.А.Поддубного; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2014. С. 138–146.

УДК 624.74

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ

К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ВОЕННО-АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

С. А. ВУКОЛОВ, С. Б. АНДРУШКО

*Военная академия материально-технического обеспечения
им. генерала армии А. В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Исследования по проблемам ведения войны в современных условиях и анализ локальных войн последних десятилетий позволяют предположить, что современная война, если она начнется, не будет похожа на прошедшие мировые войны, так как материально-техническая база армий ведущих стран мира за послевоенные десятилетия кардинально обновилась, произошли изменения в оперативном искусстве и способах ведения боевых действий.

Военные конфликты в обозримой перспективе будут характеризоваться скоротечностью, глобальным поражением стратегически важных объектов противника, широким задействованием сил кибернетических и специальных операций, а также высокоманевренными действиями войск (сил).

Широкое распространение получают информационные операции, разнообразные приемы ведения бесконтактной войны с применением высокоточного оружия (ВТО) различного базирования в сочетании с массированным использованием средств радиоэлектронной борьбы и беспилотных аппаратов.

Интенсивное развитие радиоэлектроники и вычислительной техники обеспечило качественный скачок в разработке вооружений. В полной мере это относится к управляемому оружию. Военные теоретики стали рассматривать его как определяющий фактор победы.

В перспективе роль высокоточного оружия в вооруженной борьбе будет неуклонно возрастать. Разрабатываемые США в рамках концепции «Глобального удара» принципиально новые средства воздушно-космического нападения, гиперзвуковые крылатые ракеты, воздушно-космические летательные аппараты и разведывательно-ударные беспилотные комплексы позволят им наносить «мгновенные глобальные удары». Они предусматривают поражение критически важных объектов противника на всю глубину его территории в предельно короткие сроки (до 1 часа с момента принятия решения).

Классический пример эффективного применения высокоточного оружия – бомбардировка авиацией США моста Тхэн-Хоа на Красной реке в Северном Вьетнаме. Было совершено около 4000 безуспешных боевых вылетов, израсходовано 4000 крупнокалиберных авиабомб, потеряно несколько десятков самолетов. Управляемой бомбой AGM-62 Walleye с телевизионным координатором мост был уничтожен с первого захода [1].

Анализ опыта войн и боевых действий прошлого и начала нынешнего столетия, показывает, что в современных войнах мосты на автомобильных и железных дорогах будут являться объектами первоочередного воздействия противника.

В военной науке продолжается исследование проблемы обеспечения живучести наиболее важных объектов на военно-автомобильных дорогах (ВАД), к которым относятся в первую очередь мостовые переходы. В настоящее время в качестве эффективного пути повышения живучести мостов рассматриваются мероприятия боевого обеспечения и в первую очередь их защита. Доказано, что сокращение времени перерыва движения может быть обеспечено либо мерами быстрого восстановления объекта (т.е. за счет мероприятий технического прикрытия), либо за счет противодействия средствам разведки и поражения противника. Возрастающее значение защиты связано с появлением современных средств разведки транспортных объектов (включая современные аэрокосмические средства), а также систем ВТО и автоматизированных систем управления этим оружием [2].

Защита мостов от воздействия высокоточного оружия достигается: противодействием техническим средствам разведки и наведения противника, применяемым в системах ВТО; маскировкой объектов с применением специальных радио-телопоглощающих, радио-теплорассеивающих и др. покрытий, радиолокационных и лазерных отражателей, аэрозолей (дымов), имитаторов (макетов) и др. ложных целей, использованием маскирующих свойств местности; рассредоточением мостов и их дублированием; организационно-техническими мероприятиями, повышающими защищённость мостов от ВТО.

Составной частью этого комплекса является защита от радиолокационного наведения ВТО на мост.

Ввиду того, что одной из важных характеристик мостов является их отражающая способность, то для скрытия мостов устраивают площадные маски-помехи из табельных уголкового отражателей. Сущность действия маски заключается в том, что на ограниченной площади создаётся большое количество радиолокационных объектов, что значительно затрудняет выбор цели [3].

Перспективным направлением защиты от воздействия высокоточного оружия с радиолокационной головкой самонаведения является применение радиопоглощающих материалов (РПМ) - материалов (конструкций), обеспечивающих максимально возможное преобразование энергии электромагнитного излучения в другой вид энергии (в конечном счете, в тепло).

К числу наиболее известных и рекомендованных для применения на различных объектах РПМ относятся защитный комплект «Накидка» и

маскировочный радиопоглощающий комплект МРПК, который представляет собой универсальное покрытие площадью 168 м². Основные характеристики МРПК представлены в таблице 1. Конструкционное исполнение обеспечивает возможность создания различных маскировочных устройств в виде чехлов для скрытия конкретных образцов вооружения и техники и сборку маскировочных покрытий в виде масок-перекрытий различной площади и конфигурации [1].

Таблица 1 – Технические характеристики маскировочного комплекта МРПК

Характеристики	Значение
Коэффициент отражения при нормальном падении электромагнитной волны на плоскую, закрытую радиопоглощающим материалом металлическую поверхность	Не более 23 дБ
Масса 1 м ²	1 кг
Диапазон длин волн эффективной работы	0,3-5 см
Цвета окраски покрытия	Светло- и темно-зеленый
Рисунок рабочей поверхности покрытия	Двухцветный, ассиметричный

В условиях современной войны для повышения живучести мостового перехода существующих средств пассивной защиты будет недостаточно. На сегодняшний день назрела необходимость изменить саму конструкцию военного моста, сделать ее более универсальной, мобильной, долговечной и малозаметной для противника. Одним из способов решения этой непростой задачи может стать применение композиционных материалов.

Целью создания композиционного материала, в широком смысле, является объединение различных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами и характеристиками, отличными от свойств и характеристик исходных компонентов. С появлением такого рода материалов возникла возможность селективного выбора свойств композитов, необходимых для нужд каждой конкретной области применения. Композиционные материалы, оказавшиеся и экономичными, и удобными в проектировании, сегодня используются везде – от производства наноматериалов до применения в космических аппаратах.

Использование композиционных материалов при изготовлении конструкций военных мостов позволит обеспечить не только улучшение технических характеристик мостов, таких как уменьшение общей массы конструкций моста, увеличение скорости монтажа и мобильности,

увеличение срока службы и хранения конструкций, но и обеспечивающих минимальное или полное отсутствие эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) мостов [4].

Применение композиционных и других инновационных материалов позволит, в определенной степени, создать мост – «невидимку» для радиолокационных средств разведки противника.

По заданию Департамента транспортного обеспечения Минобороны России в Военной академии материально-технического обеспечения определенные разработки в этом направлении ведутся (рисунок 1). Примечательно, что к этой работе в инициативном порядке подключаются предприятия промышленности, накопившие опыт в производстве различных изделий по технологии «Stealth».

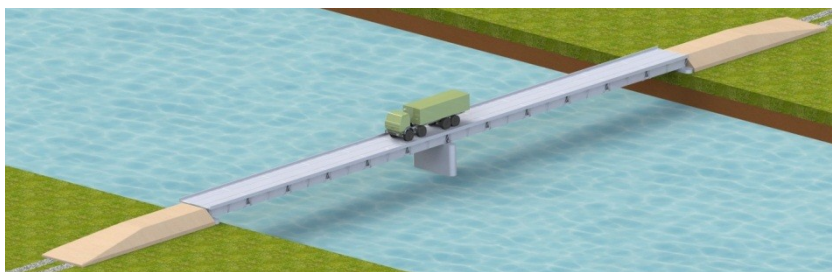


Рисунок 1 – Визуализация разрабатываемой конструкции автодорожного разборного моста из композитных материалов (вариант)

Перечисленные, в том числе, перспективные направления относятся к пассивным способам защиты, но для обеспечения высокой степени живучести мостовых переходов их может быть недостаточно. Многообразие возможностей атаки ВТО и комплексность его применения делают малоэффективными локальные мероприятия по защите отдельных транспортных объектов. Разветвленный и мощный разведывательно-ударный комплекс противника требует для успешного противостояния создания комплексной и структурированной системы защиты наиболее важных объектов. На решение этой задачи и должны быть направлены исследования по данной тематике.

С точки зрения организации эффективной активной защиты критически важных транспортных объектов вызывают особый интерес новейшие комплексы радиоэлектронной борьбы типа «Витебск», «Ртуть», «Красуха» (рисунок 2), предназначенные для противодействия бортовым радарам ударной, разведывательной и беспилотной авиации условного противника. Возможности установленной на комплексе широкополосной станции активных помех позволяют

эффективно бороться со всеми современными радиолокационными станциями, используемыми на самолетах различных типов.



Рисунок 2 – Комплексы радиоэлектронной борьбы «Красуха-2» и «Красуха-4»

Таким образом, в современных условиях внимание к разработке высокоэффективных комплексов, способов и средств защиты от ВТО должно быть адекватным угрозе. И как показывает опыт локальных войн, только комплекс защитных мер, причем нестандартных и всегда неожиданных для противника, может обеспечить живучесть транспортных объектов, оставляя современными и актуальными слова великого русского полководца А.В. Суворова: «Кто удивил, тот и победил».

Список литературы

- 1 **Борисов Е. Г., Евдокимов В. И.** Высоточное оружие и борьба с ним. Учебное пособие. СПб. : Издательство «Лань», 2013.
- 2 **Вуколов С. А., Аксёнкин В. И.** Исследование вопросов организации комплексной защиты мостов от высоточного оружия на военно-автомобильных дорогах. Монография. СПб. : ВАМТО, 2013.
- 3 Руководство по инженерным средствам и приемам маскировки сухопутных войск. Часть 1. М. : ВИ, 1986.
- 4 **Вуколов С. А., Бирюков О. Р.** и другие. Исследование проблемы обеспечения комплексной защиты мостов на военно-автомобильных дорогах от современных средств воздействия противника. Шифр «Защита-М». Итоговый отчет по НИР. СПб.: ВАМТО, 2015.

УДК 69.04

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В практике проектирования свайных фундаментов все большее значение приобретает применение средств вычислительной техники. При этом используются отдельные прикладные программы, комплексы программ, пакеты прикладных программ (ППП) и системы автоматизации проектных работ (САПР). САПР являются результатом объединения методического, программного, информационного и технического обеспечения. Как правило, САПР обеспечивает возможность комплексного и систематического применения вычислительной техники пользователями, не специализирующимися в программировании. Внедрение в практику указанных программных средств позволяет существенно сократить сроки проектирования, снизить себестоимость проектов, повысить качество и эффективность капиталовложений. Среди наиболее известных программных средств, применяемых для автоматизации проектирования оснований и фундаментов, можно выделить: программы обработки результатов инженерно-геологических изысканий; программы автоматизации расчетов фундаментов различных типов по методикам, реализующим рекомендации строительных норм; программы, обеспечивающие возможность решения задач механики грунтов, оснований и фундаментов на основе нелинейных математических моделей. Кроме этих групп, в структуре программного обеспечения выделяются сервисные программы, применяемые в той или иной степени во всех перечисленных разделах для формирования и выводов результатов выполнения программ в виде таблиц, графиков, наборов данных на внешних запоминающих устройствах.

Расчет свайного фундамента по грунтовым условиям можно выполнить при помощи следующего алгоритма, блок-схема которого представлена на рисунок 1.

1 Ввод исходных данных об инженерно-геологических условиях строительной площадки, внешних нагрузках, глубине расположения ростверка и типе применяемых свай.

2 Выбор конструкции сваи.

3 Проверка условия, залегает ли в основании слой плотного грунта: если да, то переход к п. 4; если нет, то переход к п. 6.

4 Проверка условия, работает ли данная свая по схеме сваи стойки: если да, то переход к п. 5; если нет, то переход к п. 6.

5 Определение несущей способности свай по грунту и переход к п.7.

6 Определение несущей способности свай по грунту.

- 7 Вычисление несущей способности свай по материалу.
- 8 Выбор наименьшей несущей способности.
- 9 Определение требуемого количества свай в фундаменте.
- 10 Размещение свай в плане и назначение конструкции ростверка.
- 11 Проверка условия, является ли данный фундамент центрально нагруженным $e \leq 0,03\ell$ (ℓ – длина ростверка): если да, то переход к п. 14; если нет, то переход к п. 12.
- 12 Увеличение количества свай на 20%.
- 13 Изменение размеров ростверка.
- 14 Вызов из библиотеки программ подпрограммы расчета конструкции ростверка в соответствии с требованиями норм проектирования железобетонных конструкций.
- 15 Вычисление нагрузки, приходящейся на каждую сваю.
16. Проверка условия: если да, то переход к п. 17; если нет, то увеличение количества свай в фундаменте и переход к п. 13.
- 17 Проверка условия, работают ли в данном фундаменте сваи по схеме свай-стоек: если да, то переход к п. 30; если нет, то переход к п. 18.
- 18 Определение осредненного угла внутреннего трения грунтов, прорезываемых сваями.
- 19 Вычисление основных размеров условного фундамента АБВГ.
- 20 Проверка условия, является ли данный фундамент центрально сжатым: если да, то переход к п. 21; если нет, то переход к п. 26.
- 21 Вычисление реактивных напряжений под подошвой условного фундамента.
- 22 Определение расчетного сопротивления грунта основания под подошвой условного фундамента.
- 23 Проверка условия $p \leq R$:
если условие выполняется, то переходим к п.24;
если нет, то увеличиваем количество свай и переходим к п.13
- 24 Выбор метода расчета осадок по схеме линейно деформируемого полупространства или линейно деформируемого слоя в зависимости от грунтовых условий строительной площадки.
- 25 Вычисление осадки по выбранной расчетной схеме с помощью вызова в оперативную память соответствующей подпрограммы и переход к п. 29.
- 26 Вычисление крайних и средних реактивных напряжений под подошвой условного фундамента (P_{\max}).
- 27 Определение расчетного сопротивления грунта основания.
- 28 Проверка условий $P_{\max} \leq 1,2R$; $P_{\min} > 0$; $P \leq R$: если условия выполняются, то переход к п. 24; если нет, то увеличение количества свай и переход к п. 13.

конструирования всех видов фундаментов «Фундамент» (ГПКИП Стройэкспертиза)	прочности основания, устойчивости на сдвиг, опрокидывание, отрыв подошвы, сейсмические воздействия, считает частоту собственных и вынужденных колебаний, амплитуду в уровне верхней грани фундамента)
Система программных средств Structure CAD(SCAD) (Фирма SCAD Soft)	Вычислительный комплекс SCAD – универсальная вычислительная система предназначенная для прочностного анализа конструкций различного назначения
Программный комплекс ЛИРА (ПК ЛИРА) (Научно-исследовательский институт автоматизированных систем в строительстве НИИАСС)	Многофункциональный программный комплекс для расчета, исследования и проектирования конструкций различного назначения. Кроме общего расчета модели объекта на все возможные виды статических нагрузок, ПК ЛИРА автоматизирует ряд процессов проектирования и т.д.

Таким образом, многофункциональные программные автоматизированные комплексы обеспечивают возможность комплексного и систематического применения вычислительной техники пользователями, не специализирующимися в программировании. Внедрение в практику указанных программных средств позволяет существенно сократить сроки проектирования, снизить себестоимость проектов, повысить качество и эффективность капиталовложений.

GSM-R ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГАЛУН ДАНИЕЛЬ

Iskratele, Telekomunikacijski Sistemi, D.O.O., г. Крань, Словения

Краткая история и область применения. GSM-R – это международный стандарт беспроводной связи для оперативных нужд железной дороги. Применяется для связи персонала, обслуживающего поезд, с диспетчерскими центрами, группами техобслуживания, а также административным и управляющим персоналом.

В тоже время стандарт определяет требования к радиоканалам передачи данных с целью обеспечения эксплуатационной совместимости на всем протяжении международных железнодорожных линий, включая пограничные переходы и участки с высокой интенсивностью движения поездов. Система разработана на основе технических спецификаций, обеспечивающих надежную передачу голоса и данных при скорости движения до 500 км/ч.

В конце восьмидесятых годов была выявлена потребность в замене существующей аналоговой радио-телекоммуникационной системы, используемой в то время, а кое-где еще и сейчас, железными дорогами для оперативной диспетчерской связи. В качестве альтернативы аналоговой системы рассматривались системы GSM или TETRA (*Terrestrial Trunked Radio*). Были изучены все преимущества и недостатки обеих потенциальных систем и на этом основании принято решение использовать проверенную и зарекомендовавшую себя в сетях общего пользования технологию GSM.

Вследствие принятия этого решения в 1992 году Международный союз железных дорог (UIC) при сотрудничестве с европейской комиссией и администрациями железных дорог приступили к реализации проекта европейской интегрированной усовершенствованной сети железнодорожной радиосвязи, получившему название EIRENE (*European Integrated Radio Enhanced Network*). Целью проекта было специфицировать функции и технические требования к мобильной сети, которые бы удовлетворяли специфическим потребностям железных дорог и обеспечивали эксплуатационную совместимость национальных сетей. В рамках проекта были организованы две ведущие рабочие группы, а именно:

- группа по разработке функциональных спецификаций (*Functional Requirement Specification - FRS*), которые бы в общем охватывали и описывали обязательные услуги, необходимые для достижения интероперабельности и группа по разработке системных спецификаций

(*System Requirement Specification - SRS*), основанных на функциональных требованиях. Документ в том числе точно определял технические особенности, связанные с оперативным управлением движением на железных дорогах и специфицировал дополнительные, так называемые, функции *ASCI (Advanced Call Speech Items)*, базирующиеся на стандартах *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)*.

Первая версия спецификаций *EIRENE* была представлена уже в 1995 году. В том же году с целью проверки пригодности предлагаемых для применения спецификаций на практике, *UIC* при сотрудничестве с европейской комиссией, управлениями железных дорог Франции, Италии и Германии, а также некоторыми поставщиками *GSM-оборудования*, готовыми поддержать систему *GSM-R*, приступили к новому проекту под названием *MORANE (Mobile Oriented Radio Network)*, главной целью которого было: апробация на практике пилотных проектов, базирующихся на утвержденных спецификациях и удовлетворяющих требованиям железных дорог. Проекты *EIRENE* и *MORANE* завершились в конце 2000 года публикацией утвержденной версии функциональных спецификаций (*FRS*) и системных спецификаций (*SRS*). С тех пор спецификации неоднократно изменялись и дополнялись, их последняя версия была выпущена в 2014 году.

Следующим шагом в развитии сети, началом которому послужили проекты *EIRENE* и *MORANE*, стало принятие *UIC* в 2000 году решения о запуске нового проекта под названием *ERTMS (European Rail Traffic Management System)*. За основу при принятии данного решения принималось решение Европейского парламента и Совета (№ 1692/96/ЕС) о руководящих принципах Сообщества в отношении развития трансъвропейской транспортной сети, принятое в 1996 году, определяющее, что система *ERTMS* состоит из нескольких компонентов, а именно *GSM-R* и *ETCS*. *GSM-R* в рамках системы *ERTMS* обеспечивает, помимо голосовой связи, также основную услугу, необходимую для передачи данных в *ETCS* (уровень 1, уровень 2, уровень 3 и *ETCS Regional*).

Поскольку система *ERTMS (GSM-R и ETCS)* зарекомендовала себя как исключительно успешная и практичная для железных дорог, география ее использования расширилось за пределы Европы практически на все континенты. Об этом свидетельствует представленная ниже таблица, отражающая объемы внедрения системы *GSM-R*.

Система *GSM-R* внедряется также в странах, не входящих в ЕС, таких как Алжир, Марокко, Саудовская Аравия, Китай, Индия, Россия, Австралия и т.д.

Описание системы GSM-R. *GSM-R* представляет собой гибкую систему, обеспечивающую широкий спектр услуг связи и точно определяющую функциональную составляющую цифровой радиосвязи на

железных дорогах стран Евросоюза. Данная система включает в себя передачу данных и голосовую связь, включая мобильную связь между пользователями одной сети, связь с центрами управления движением, связь с персоналом подвижного состава, с персоналом, выполняющим маневровые и прочие сервисные задачи, связанные с передвижением поездов, а также связь между техническим персоналом.

Страна	Общая длина путей (км)	Оснащены системой GSM-R (км)	GSM-R в процессе внедрения (км)	Завершение работ
Словения	1229		1229	2015
Дания	3102	3102		2013
Италия	16 700	11 200		2012
Франция	~16 000	6250	8800	2015
Германия	~29 300	28 600		2014
Австрия	~3500	3260		2014
Бельгия	~3000	3000		2010
Великобритания	~15 100	15 100		2014
Швейцария	3565	2321		2012
Швеция	~11 000	11 000		2008
Норвегия	4077	3800		2007
Финляндия	5825	5096		2009
Нидерланды	3110	3110		2006
Венгрия	~5000		~950	2015
Чехия	9496	730	5400	2015
Румыния	НЕТ ДАННЫХ	40	8000	2020
Польша	НЕТ ДАННЫХ	82	15 000	2022
Португалия	НЕТ ДАННЫХ	40	2000	20xx
Испания	~14000	~2300	~11000	20XX

Система является открытой, что позволяет выполнять интеграцию с другими системами связи, такими как сеть стационарной связи на станции, сеть общего пользования и прочими национальными сетями GSM-R. В рамках сети может выполняться ограничение связи, например, внутри одного сегмента или между сетями, что позволяет учитывать все функциональные специфические ограничения оперативной связи.

Пользователи в рамках системы могут обмениваться короткими текстовыми сообщениями (SMS), также поддерживается вызов абонентов по специальным функциональным номерам (например, вызов по номер

подвижного состава, что обеспечивается так называемой системой функциональной нумерации).

Система работает в частотном диапазоне GSM, при этом для системы GSM-R зарезервированы частоты 876 – 880 МГц (восходящий канал) и 921 – 925 МГц (нисходящий канал) с полосой пропускания 4 МГц.

Сеть GSM-R состоит из трех основных подсистем:

Подсистема коммутации - NSS (*Network Switching System*)

Радиосеть – BSS (*Base Station Sub-system*)

Подсистема управления сетью – NMS (*Network Management System*)

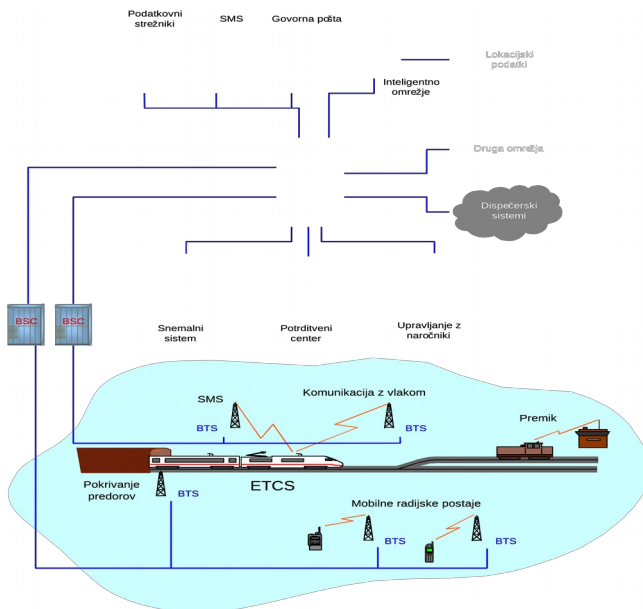


Рисунок 1 – Типовая топология сети GSM-R

Ядром подсистемы коммутации (NSS) является элемент MSC (Mobile (services) Switching Centre), который представляет собой центральный модуль коммутации, контролирующей работу всей системы и всех соответствующих сервисов и регистров. С его помощью также осуществляется связь с другими сетями.

Сеть радиосвязи (BSS) состоит из радиостанций BTS (Base Transceiver Station) и антенных систем, соединены между собой вдоль путей с помощью телекоммуникационных систем передачи. Радиостанции находятся под управлением контроллера BSC (Base Station Controller), который также подключен к центральному модулю коммутации (MSC).

Подсистема управления сетью (NMS) имеет централизованную архитектуру и включает в себя различные сервисы, обеспечивающие контроль над всеми событиями в сети, а также возможность конфигурирования сети. Одними из наиболее важных сервисов являются система выявления неисправностей, система контроля объема трафика в сети, система управления абонентами и т.д. Данная подсистема имеет ключевое значение для правильного и бесперебойного функционирования сети в целом, а также для ее управления.

Система GSM-R обеспечивает интеграцию всех имеющихся функций аналоговых систем радиосвязи в единую цифровую систему, а также предлагает новые функции и открывает возможности для развития дальнейшего функционала. Как было отмечено ранее, данная система является основой для функционирования системы ETCS, обеспечивая при этом высочайший уровень качества обслуживания (QoS).

Групповой вызов позволяет осуществлять вызов одновременно нескольких абонентов в рамках определенной географической зоны. Одновременно с вызывающим абонентом может говорить только один член группы, а остальные будут только слушать.

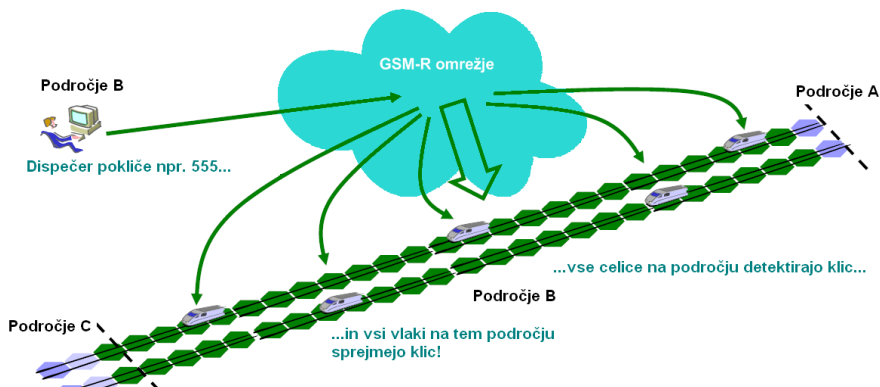


Рисунок 2 – Групповой вызов

Оповестительный вызов. Данная функция аналогична групповому вызову, лишь с той с разницей, что никто в группе не может говорить одновременно с вызывающим, все могут только слушать.

Приоритезация связи. Для нужд оперативной связи абоненты делятся на группы с различными приоритетами. В случае приема нескольких вызовов от абонентов с различными приоритетами, данные абоненты устанавливаются в очередь ожидания в соответствии с их приоритетами. При вызовах с самым высоким приоритетом (экстренные вызовы)

существующее соединение разъединяется и устанавливается приоритетный вызов.

Контроль доступа. Функция контроля доступа предназначена для контроля связи в сети GSM-R. Данный механизм позволяет разрешать или блокировать определенные каналы связи в рамках сети. Таким образом, только уполномоченный пользователь (например, диспетчер) может вызвать машиниста в качестве мобильного абонента. У остальных абонентов нет возможности осуществлять вызовы по функциональным номерам составов.

Функциональная адресация. Данная функция позволяет вызывать абонентов на основе выполняемых ими задач. Пример: диспетчеру, ответственному за все составы в рамках своей зоны, необходимо быстро и просто связываться с составами. В данном случае он может связаться с тем или иным составом, просто набрав номер поезда.

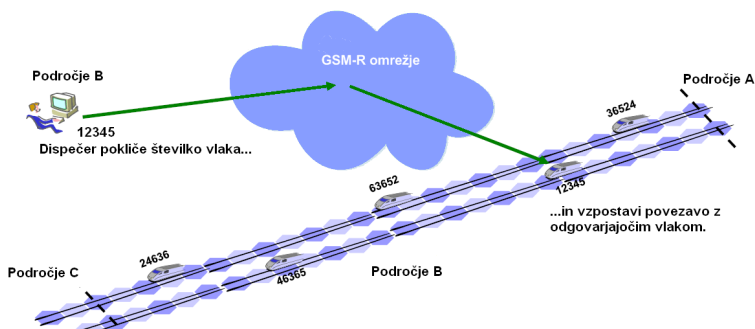


Рисунок 3 – Функциональная адресация

Адресация в зависимости от местоположения. Данная функция позволяет вызывающему абоненту независимо от своего местоположения (радиочейка, в которой находится абонент) всегда устанавливать связь с тем рабочим местом, которое ответственно за эту зону. При этом вызывающий всегда использует одним номер или специально запрограммированную для этого кнопку.

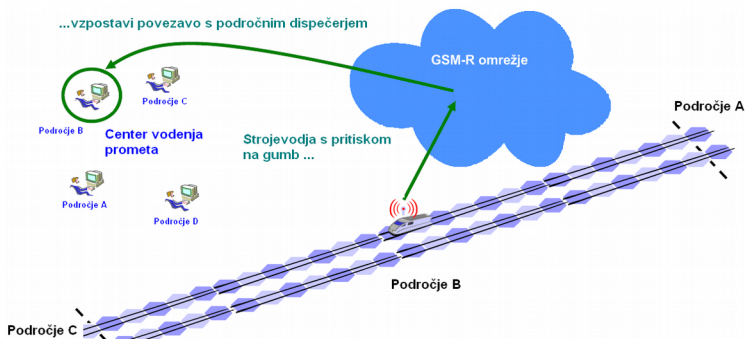


Рисунок 4 – Адресация в зависимости от местоположения

Для этого в рамках одной радиоячейки мы используем дополнительные радиомаяки, а также соединяем нашу систему с ETCS.

Экстренные вызовы. Это высокоприоритетные вызовы в случае наступления чрезвычайных ситуаций, когда требуется быстрое реагирование или приостановка всего движения на определенном участке. Вызов может быть инициирован персоналом подвижного состава или диспетчером. Все вызовы регистрируются.

Экстренные вызовы делятся на два типа:

- поездной экстренный вызов (без маневровых зон);
- маневровый экстренный вызов (без открытых путей)

Экстренные вызовы имеют самый высокий приоритет в системе. В случае такого вызова все абоненты в рамках определенной зоны получают информацию о поступлении такого вызова, и будут соединены с вызывающим абонентом.

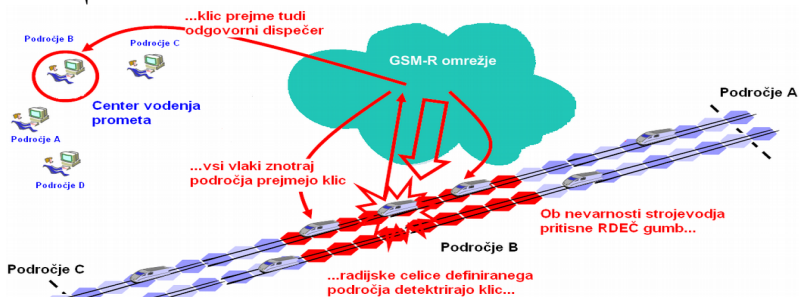


Рисунок 5 – Экстренные вызовы

Использование сети GSM-R в качестве транспортно-коммуникационной системы. В случаях, когда система GSM-R

обеспечивает транспорт для ETCS, данная услуга имеет абсолютный приоритет при передаче данных.

Также поддерживаются и другие сценарии использования, как например:

Расширение оперативных возможностей железнодорожного персонала (доступ к оперативным базам данных через Интранет, персонализированный доступ к расписаниям, тарифам и т.д.).

Использование для нужд диагностики, контроля или управления элементами на железной дороге или вдоль путей (например, переходы, телефонные шкафы вдоль полотна и т.д.).

Дополнительные услуги для пассажиров, например, системы информирования по телефону пассажиров в поездах и на перонах, покупка билетов, возможность заказа такси или гостиницы, и т.д.

На рисунке ниже приведены два возможных сценария использования системы GSM-R: управление системами информирования пассажиров на станциях, где нет другой телекоммуникационной инфраструктуры, и информационная система в поезде, которая позволяет пассажирам с помощью специальных дисплеев просматривать информацию о расписаниях, пересадках, опозданиях, следующих станциях (перрон, пересадка и т.д.).

На всех новых линиях (классических и скоростных) применяется абсолютно новый подход к развертыванию телефонных будок вдоль путей. Классических километровых и прочих телефонных будок больше нет, вместо них теперь используются пункты связи, работающие по GSM-R. Это означает, что нет необходимости в прокладке медных кабелей, и отпадает потребность в выполнении сервисных работ на месте установки аппаратуры. Такой подход применяется и на существующих железнодорожных участках, где есть GSM-R, так как он более эффективен как с точки зрения коммуникации, так и с позиции экономической рациональности.

Антенна
GSM-R



Железнодорожная система имеет жизненно важное значение для развития общества, являясь «позвоночником» экономики XXI века, при этом ее развитие основывается на трех фундаментальных составляющих: транспортной политике, технике и услугах. В транспортной политике практически во всем мире железнодорожная система признается одной из основных транспортных систем, способной в долгосрочной перспективе обеспечивать необходимую емкость и пропускную способность, не нанося непоправимого ущерба окружающей среде. При этом для технических систем действуют также дополнительные условия, такие как:

Экономическая целесообразность

Возможность взаимодействия

Соответствие

Доступность

Любая новая система, внедряемая на железной дороге, должна удовлетворять некоторым существенным условиям. Помимо технических требований, в рамках которых она должна отвечать техническим стандартам и обеспечивать интероперабельность (взаимодействие, соответствие и доступность) с широким спектром других продуктов и систем, и которые уже длительное время входят в разряд обязательных, в настоящее время не менее важным и решающим становится также такой фактор, как общие затраты на оборудование в течение его жизненного цикла (LCC), равно как и минимизация эффекта старения и эффективный переход на новые технологии (экономическая целесообразность).

Система GSM-R именно за счет стандартизации и широты применения, а также единой технической платформы, обеспечивает существенную экономию в следующих областях:

Мониторинг и управление системой и ее параметрами

Организация и проведение техобслуживания

Обеспечение запаса запчастей

Опыт показывает, что выгода при этом составляет от 20 до 40% по сравнению с расходами на поддержание старых систем. Следует также отметить, что чем больше технологическая пропасть между существующими (старыми) системами и новой системой, тем выше этот процент.

GSM-R оказывает существенное влияние также на оптимизацию работ персонала, т.е. тех, кто отвечает за безопасность, надежность и точность перевозок. Несмотря на стремления унифицировать правила работы данного персонала, между отдельными странами все еще существует разница. По этой причине для оценки положительных эффектов (оперативных и экономических), необходимо анализировать работу системы в каждой

стране отдельно. Однако, факт, что система GSM-R для транспортных компаний и их персонала увеличивает добавленную стоимость и облегчает работу, неоспорим. Также неоспоримо, что внедрение системы GSM-R позволяет создать среду, в которой обеспечивается по меньшей мере частичная централизация управления движением, за счет чего достигается уже непосредственный экономический эффект.

Высокая доступность и надежность системы GSM-R в свою очередь способствует обеспечению требуемой пропускной способности железнодорожных линий. Ограничение скорости поездов в связи с неспособностью коммуникационной системы обеспечивать связь между центром управления и машинистом (или же в связи с ее отсутствием) непосредственно сокращает пропускную способность железнодорожных участков (увеличение времени в пути, влияние на расписание движения, точность доставки товара и т.д.). Система GSM-R, которая при соответствующей конфигурации гарантирует 99,9996% доступность, такие ситуации практически сводит к нулю.

Благодаря возможности осуществления непрерывной связи в реальном времени между центрами управления, а точнее между диспетчерами и машинистами, открываются широкие возможности, уже подтвержденные на практике, для дополнительной оптимизации, а, следовательно, и экономии. Таким образом сокращается энергопотребление, т.е. потребление энергоносителей (электричество, нефть) при оптимальном движении транспорта. Наряду с этим положительные результаты выражаются также в снижении выбросов вредных веществ в атмосферу и снижении уровня шума. Некоторые из этих эффектов поддаются измерению и варьируются в диапазоне от 10% (экономия энергии) до 20% (эмиссия вредных веществ), в то время как другие технически можно измерить (напр. уровень шума в дБ), как и оценить в денежном выражении, однако их значение неизмеримо выше с точки зрения восприятия пользователями железнодорожных услуг и обществом в целом. Все это положительно влияет на формирование социального восприятия железнодорожного сектора как единой системы и способствует повышению его имиджа и оценки со стороны гражданского общества.

Система GSM-R, как единая коммуникационная платформа, не приносит преимущества лишь с точки зрения инфраструктуры, ее полезность также неоспорима как для транспортных организаций, так и для поддерживающих из служб. Унифицированное оборудование на транспортных средствах облегчает выполнение поездных и маневровых работ машинистам, за счет чего снижается уровень их нагрузки и, как следствие, повышается уровень безопасности движения. Также данная система позволяет упростить и удешевить процесс обучения и профессиональной подготовки кадров.

Стандартно оборудованные транспортные средства могут без ограничений передвигаться в рамках всей железнодорожной сети.

Коммуникация в реальном времени позволяет службам ремонта и технического обслуживания транспортных средств заблаговременно получать информацию о возможных неполадках пассажирского или товарного состава, возникших во время движения на перегонах, и устранять их или же отцеплять поврежденный вагон от состава уже на первой подходящей станции на пути следования. Это позволяет сократить временные потери, а также предупредить возможные более серьезные повреждения вагонов или даже составов в целом.

Благодаря всеобщему покрытию железных дорог, обеспечиваемому системой GSM-R, с помощью специальных интерфейсов также становится возможным контролировать состояние ключевых показателей спецсоставов (температура в холодильниках, давление в цистернах и т.д.).

Перечисленные возможности относятся к разряду услуг, которые должны обеспечиваться любой новой системой, как это было обозначено ранее, чтобы удовлетворять задекларированным условиям и ожиданиям.

Не в последнюю очередь стоит также упомянуть еще о двух существенных преимуществах, обеспечиваемых в техническом/технологическом и экономическом плане системой GSM-R.

Первое – это единая система, используемая практически во всем мире, что с точки зрения предполагаемых инвестиций выгоднее по сравнению с любой другой системой. Поставщик уже вследствие широты применения данной системы может и должен предлагать конкурентные цены как на этапе внедрения, так и в дальнейшем на этапе поддержки и обслуживания.

Второе из упомянутых преимуществ – это факт, что GSM-R является базовым элементом системы ERTMS. Чтобы не вдаваться в подробности и не описывать детально все функции и достоинства системы ERTMS, сосредоточимся лишь на подтвержденных практикой фактах.

Внедрение системы ERTMS/ETCS уровня 2 на существующих традиционных ж/д линиях позволяет существенно увеличить их пропускную способность. Хорошим примером является внедрение этой системы на участке пути Матштеттен – Ротрист в Швейцарии, длиной всего лишь 45 км, где время в пути сократилось на 15 минут (с 70 минут до 55), что позволило преодолеть узкое место и, как следствие, сократить время в пути также на других маршрутах, пролегающих через данный участок. Непосредственный результат - повышение точности выполнения графика движения поездов (пассажирских и товарных). Аналогичные результаты были достигнуты также в Италии, Франции, Испании и т.д. Всего этого невозможно было бы добиться без системы GSM-R.

Что особенно важно, такая система как ERTMS используется не только исключительно европейской железной дорогой, но и странами, которые с

точки зрения железнодорожных сетей являются независимыми островами (напр. Тайвань, Австралия). Причина кроется в том факте, что система ERTMS обеспечивает:

- увеличение пропускной способности железных дорог при существующей инфраструктуре до 40 %
- увеличение скорости;
- повышение надежности и, как следствие, точности;
- сокращение расходов на обслуживание;
- повышение безопасности пассажиров, работников и грузов;
- широкий круг поставщиков, что выражается в конкурентных ценах и снижении стоимости жизненного цикла (LCC).

При всем при этом уровень покрытия линий системой GSM-R является основным предварительным условием и требованием.

Заключение. Говоря о системе GSM-R, мы говорим о современной, стандартизированной, проверенной, высокодоступной и высоконадежной телекоммуникационной платформе. Система GSM-R поддерживает и гарантирует работу всех коммуникационных решений, существовавших до сегодняшнего дня на железных дорогах, и в тоже время открывает возможности для новых решений, отвечающих всем современным требованиям, обязательным для обеспечения надежности, точности и безопасности железнодорожных перевозок, а также их конкурентоспособности.

Можно сделать вывод, что система GSM-R является именно тем решением, которое не обеспечивает исключительно надежность и чистоту передачи голоса и данных, но в тоже время обеспечивает функционирование работающей в реальном времени системы управления железнодорожным движением ERTMS. Это один из факторов, который уже на практике зарекомендовал себя как основной фактор достижения конкурентоспособности железнодорожных перевозок. И это не только в Европе, но и во всем мире.

УДК 624.21:623.6

МЕТОДИКА УСКОРЕННОГО РАСЧЕТА ОБЪЕМОВ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Поражение войск и объектов тыла, экономики, коммуникаций на всей

территории противоборствующих сторон является характерной чертой современных войн.

Вероятные показатели воздействия противника на мостовые переходы в современных условиях по результатам последних исследований **могут быть представлены в следующем обобщенном виде. Обнаружение железнодорожных мостов, как и других объектов, в зависимости от их удаления от линии соприкосновения противоборствующих сторон, а для тыла страны – от государственной границы, составляют:**

2–4 ч	при удаленности	300–350 км
8–12 ч	при удаленности	350–1000 км
12–24 ч	при удаленности	1000–1700 км
20–24 ч	при удаленности	более 1700 км

Для разрушения мостов, находящихся на расстоянии до 1000 км от линии соприкосновения войск (государственной границы), с вероятностью 0,7–0,8 будут применяться самолеты тактической авиации, оснащенные 2–4 управляемыми авиабомбами калибра до 2000 фунтов (0,91 т) каждой. С вероятностью 0,2–0,3 удары могут производиться одной, двумя крылатыми или четырьмя управляемыми ракетами. Воздействие может быть – круглосуточным. При удалении мостов свыше 1000 км от линии соприкосновения войск (государственной границы) с вероятностью 0,7–0,8, следует ожидать воздействия 1–3-х крылатых ракет или с вероятностью 0,2–0,3 – стратегических бомбардировщиков с 1–4 управляющими авиационными бомбами калибром 2000–3000 фунтов.

В вооруженных конфликтах, отличающихся широким применением диверсионных и террористических методов, массовых разрушений искусственных сооружений на железных дорогах, как правило, не производится. Разрушению, почти с одинаковой вероятностью, подвергаются большие, средние и малые мосты, путепроводы, эстакады, реже трубы под насыпями.

Поскольку для подрывания искусственных сооружений используются заряды обычных взрывчатых веществ небольшой мощности, объемы разрушений на объекте обычно не велики и ограничиваются одним-двумя пролетными строениями на мостах, путепроводах и эстакадах.

Для принятия первоочередных решений руководителю необходимо иметь набор хотя бы минимальных начальных данных, которые он может получить непосредственно на месте или ускоренным расчетом.

При выяснение данных по объемам разрушений пролетных строений можно использовать следующий алгоритм.

Рассчитав вероятные радиусы разрушения (полные, средние, слабые) можно определить длины разрушений пролетных строений, а так же подсчитать приближенные значение их массы.

Для методики в качестве основных показателей принимаем конструкций с полным (частичным) радиусам разрушения, начало расчета производим от левого бережного устоя моста (рисунок 1).

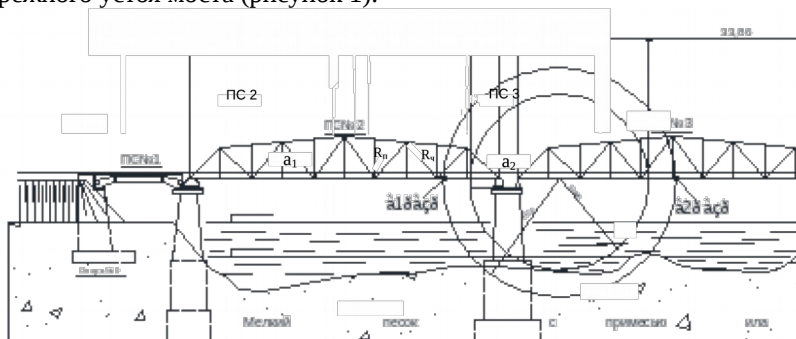


Рисунок 1 – Радиусы разрушения моста

Определение длины разрушения пролетного строения №2:

$$L_{пс2}^{разр} = a_{ок\ пс2} - a_1^{разр}, \text{ м}; \quad (1)$$

где $L_{пс2}^{разр}$ – длина разрушенной части пролетного строения №2; $a_{ок\ пс2}$ – расстояние от начала моста, до окончания пролетного строения №2;

$$a_1^{разр} = a_k - R_{п(ч)}, \text{ м}; \quad (2)$$

где $a_1^{разр}$ – точка от начала моста, до начала разрушения; a_k – расстояние от начала моста до места попадания снаряда; $R_{п(ч)}$ – радиус полного (частичного) разрушения.

Определение длины разрушения пролетного строения №3:

Зная точку прицеливания и коэффициент вероятного отклонения, получим:

$$L_{пс3}^{разр} = КВО + R_{п(ч)} + \frac{\Pi_3}{2}, \text{ м}; \quad (3)$$

где $L_{пс3}^{разр}$ – длина разрушенной части пролетного строения №3, м; $КВО$ – коэффициент вероятного отклонения от точки прицеливания; $R_{п(ч)}$ – радиус полного (частичного) разрушения, м; Π_3 – расстояние между пролетными строениями.

Определение длины уцелевшей части пролетного строения:

Длина уцелевшей части пролетного строения будет равна:

$$L_{\text{пс2}}^{\text{уцел}} = L_{\text{пс2}}^{\text{пол}} - L_{\text{пс2}}^{\text{разр}}; \quad (4)$$

где $L_{\text{пс2}}^{\text{уцел}}$ – длина уцелевшей части пролетного строения; $L_{\text{пс2}}^{\text{разр}}$ – длина разрушенной части пролетного строения; $L_{\text{пс2}}^{\text{пол}}$ – полная длина пролетного.

Определение массы разрушенной части пролетного строения:

В зависимости от массы цельного пролетного строения и его длины, можно произвести расчет массы разрушенной части, которое будет следующим:

$$M_{\text{пс2}}^{\text{разр}} = L_{\text{пс2}}^{\text{разр}} \cdot M_{\text{пс2}}^{\text{пол}} / 100\%; \quad (5)$$

где $M_{\text{пс2}}^{\text{разр}}$ – масса разрушенной части пролетного строения; $L_{\text{пс2}}^{\text{разр}}$ – длина разрушенной части пролетного строения в процентном соотношении от полной длины; $M_{\text{пс2}}^{\text{пол}}$ – масса целого пролетного строения.

Определение массы уцелевшей части пролетного строения:

$$M_{\text{пс2}}^{\text{уцел}} = M_{\text{пс2}}^{\text{пол}} - M_{\text{пс2}}^{\text{разр}}; \quad (6)$$

где $M_{\text{пс2}}^{\text{уцел}}$ – масса уцелевшей части пролетного строения; $M_{\text{пс2}}^{\text{разр}}$ – масса разрушенной части пролетного строения; $M_{\text{пс2}}^{\text{пол}}$ – полная масса пролетного.

Первоочередными самостоятельными объектами нападения на фронтных железных дорогах и железных дорогах центра станут тоннели, внеклассные и большие мосты, виадуки. В соответствии с действующими руководящими документами считается, что перечисленные объекты в ходе боевых действий на равнинной и среднепересеченной местности будут разрушены 100 % от их количества, средние мосты 30–50 %, малые мосты и трубы 5–10 %. В горной местности доля разрушения средних и малых мостов, а также труб может быть больше.

УДК 625.142.21

О ПОВЫШЕНИИ СРОКА СЛУЖБЫ МОСТОВЫХ БРУСЬЕВ В ВОЛКОВЫССКОЙ ДИСТАНЦИИ ПУТИ

*В. И. ИНЮТИН, В. Е. МИРОШНИКОВ,
О. В. ОСИПОВА, М. А. ХОМИЧ*

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта» г. Гомель

В Волковысской дистанции пути широко применяются мостовые брусья на железнодорожных мостах. Мостовые брусья являются одним из главных элементов мостового полотна, от прочности и долговечности которого в значительной мере зависит безопасность движение поездов и затраты на ремонт и содержание мостового полотна [1]. Одной из основной причин выхода из строя деревянных мостовых брусьев является механический износ.

Наиболее эффективным способом предупреждения механического износа брусьев является укладка путевых прокладок между металлической подкладкой и брусом: в качестве путевых прокладок используются полимерные и резиновые [2]. Полимерная прокладка в виду ее повышенной жесткости позволяет передавать давление от металлической подкладки на площадь на 15 % большую, чем резиновая, что снижает величину передаваемого давления и интенсивность износа древесины брусьев [3].

Годовая экономическая эффективность от продления срока службы мостовых брусьев за счет применения путевых прокладок на мост определяется по формуле [1]:

$$\Delta = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot A,$$

(1)

где Δ – годовый экономический эффект на 1 мост, руб.; C_1, C_2 – себестоимость единицы продукции по базовому и новому вариантам, руб; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; A – число мостовых брусьев на 1 мост.

Удельные капитальные вложения по базовому и новому вариантам в расчетном году определяются по формулам [2]:

$$K_1 = C + C \cdot \frac{t^H - t^6}{t^6} \cdot \frac{1}{\alpha_t}$$

(2)

$$K_2 = C + 2C_{np}$$

(3)

где C – цена мостовых брусьев, руб.; C_{np} – цена путевых прокладок, руб.; t^H – срок службы брусьев с прокладками (новый вариант), лет; t^6 – срок службы брусьев без прокладок (базовый вариант), лет; $1/\alpha_t$ – коэффициент приведения затрат соответствующего года к расчетному; $1/\alpha$ – коэффициент приведения затрат.

В состав меняющихся издержек входят отчисления на полное восстановление брусьев. Амортизационные отчисления на полное восстановление определяются по формулам:

$$C_1 = Ц \cdot \rho_1 + Ц \cdot \frac{t^H - t^6}{t^6} \cdot \frac{1}{\alpha_1} \cdot \rho_2 ;$$

(4)

$$C_2 = (Ц + 2Ц_{np}) \cdot \rho_2 ,$$

(5)

где ρ_1, ρ_2 – нормы амортизационных отчислений на полное восстановление.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Показатели	Вариант без прокладки	Вариант с прокладкой
Цена мостовых брусьев, тыс. руб.	667,7	667,7
Цена одной прокладки, тыс. руб.	–	14,2
Срок службы мостовых брусьев, лет	10	12; 14; 16; 18
Количество брусьев на мостах, шт.	1870	1870

Расчет экономического эффекта приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт экономического эффекта от продления срока службы мостовых брусьев

Показатели		Экономический эффект от продления срока службы мостовых брусьев			
		2 года	4 года	6 лет	8 лет
Амортизационные отчисления, тыс. руб.	C_1	44,4	45,7	46,4	46,6
	C_2	32,4	32,7	19,5	15,3
Удельные капитальные вложения, тыс. руб.	K_1	719,2	771,6	822,3	833,9
	K_2	696,1	696,1	696,1	696,1
Коэффициент приведения затрат	$1/\alpha$	0,386	0,386	0,386	0,386
Нормы амортизационных К отчислений	ρ_1	0,063	0,063	0,063	0,063
	ρ_2	0,047	0,036	0,028	0,022
Экономический эффект на один брус, тыс. руб.		15,1	31,9	45,8	58,0
Экономический эффект от 1870 брусьев, млн. руб.		28,2	59,7	85,6	108,5

Из расчётов приведенных в таблице 2 видно, что применение путевых прокладок на мостовых брусьях увеличивает их срок службы от 2 до 8 лет и позволяет получить экономический эффект от 28,2 до 108,5 млн. руб.

Список литературы

1 СТП БЧ 56.317 – 2015 Мостовое полотно на железнодорожных мостах. Устройство и конструкции. – Белорусская железная дорога. – Минск. – 2015. – 131 с.

2 Композиционный материал из отходов кожевенного производства для напильных прокладок / В. И. Инютин [и др.] // Пластические массы. – М. – № 10. – 2005. С. 144–46.

3 **Инютин, В. И.** Влияние жёсткости путевых прокладок на модуль упругости пути и износ деревянных шпал // В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. В. Пищук // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и техника, 2010. - № 1 (20). – С. 116–120.

4 **Инютин, В. И.** Эффективность применения путевых прокладок на мостовых брусках / В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. А. Привалова, М. А. Хомич // Материалы IV международной научно – практической конференции – Гомель; УО БелГУТ. – С. 244–246.

УДК 656.073.235:005.216.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

С. В. КИРИК

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта»

Контейнерные перевозки железнодорожным транспортом являются одной из наиболее популярной транспортных услуг, осуществляемой железнодорожным транспортом.

Одним из важнейших удобств использования контейнеров при перевозках грузов на большие расстояния заключается в том, что они могут применяться в смешенном сообщении.

Ещё одним из достоинств контейнерных перевозок является возможность доставки груза без риска потери сохранности, ведь содержимое контейнера доставляется напрямую от отправителя получателю – от склада до склада.

Переработка грузов осуществляется на контейнерных терминалах.

Одной из предпосылок успешной работы контейнерных терминалов является наличие достаточных площадей и оборудования, способных обеспечить на современном технологическом уровне их функционирование. Таким образом, терминалы должны быть приспособлены для прогрессивных методов переработки грузов, иметь развитое складское хозяйство для заблаговременного накопления груза, формирования партий груза, хранения товаров в ожидании перевозочных средств, сортировки по направлениям дальнейшего движения, что в свою очередь обеспечит экономичность, сохранность и повысит качество обслуживания грузовладельцев.

Кроме того в современных условиях большую роль играет внедрение энергоэффективных технологий при производстве погрузочно-разгрузочных работ с контейнерами.

Анализ размещения и оснащения существующих контейнерных терминалов выявил ряд особенностей:

1. Существующие схемы комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ, применяемые на станциях, были разработаны в 50-60 года прошлого века. Согласно данных схем железнодорожный подвижной состав, площадка для размещения и хранения контейнеров и автомобильные проезды расположены в одном уровне, что приводит как к значительным затратам по времени при осуществлении операций по подъему и опусканию грузов, так и значительным пробегам кранов по длине площадки и по специализации автомобилей.

2. Существующая методика расчета производительности погрузочно-разгрузочных машин не в полной мере учитывает время, затрачиваемое на разгон и замедление машин при выполнении грузовых операций.

Таким образом, ощущается необходимость более детального исследования этой темы на основе: современных погрузочно-разгрузочных машин, новых схем комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных и складских работ по перегрузке контейнеров.

В настоящее время переработка контейнеров на контейнерной площадке с помощью мостовых и козловых кранов производится, когда площадка для размещения контейнеров, железнодорожный путь и автомобильные подъезды расположены в одном уровне. При такой схеме переработки довольно много времени затрачивается на операции по подъему и опусканию грузозахватного устройства с груза и без него, а так же существуют значительные пробеги кранов вдоль площадки для размещения и хранения контейнеров.

В целях совершенствования технологического процесса перегрузки контейнеров предлагается рассмотреть схему комплексной механизации переработки контейнеров с использованием мостового или козлового крана, при которых железнодорожный подвижной состав и автомобильные проезды будут располагаться в разных уровнях относительно площадки для размещения и хранения контейнеров.

В этом случае возможны две схемы комплексной механизации переработки контейнеров:

1. Железнодорожный подвижной состав и автомобильные проезды располагаются выше площадки для размещения и хранения контейнеров.

2. Площадка для размещения и хранения контейнеров располагается выше уровня железнодорожного подвижного состава и автомобиля.

Данные схемы размещения позволяют уменьшить вертикальные перемещения при подъеме и опускании грузозахватного устройства как с грузом, так и без, уменьшить время на операции, связанные с подъемом,

опусканием груза и грузозахватного устройства без груза, что приводит к уменьшению времени продолжительности рабочего цикла крана и повышению технической производительности кранов.

Произведенные технико-экономические расчеты стоимостных и натуральных показателей по существующей и предлагаемым схемам переработки контейнеров показали возможность более рационального использования энергоресурсов, что позволяет снизить потребление электроэнергии и эксплуатационные расходы.

На основании сравнения двух предлагаемых вариантов с экономической точки зрения более эффективным является первый вариант (подъем железнодорожного пути и автомобильного проезда), однако с точки зрения безопасности производства работ, предпочтительным является второй вариант (подъем площадки для хранения контейнеров).

УДК 656.627:624.87

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПРАВ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРЕГРАДЫ

Э. П. КУЧИНСКИЙ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В военное время выполнение воинских перевозок и передвижение войск связано с преодолением водных преград в случае разрушения на них мостовых переходов. Восстановление мостов является непременным условием обеспечения непрерывности воинского движения, обеспечения выдвижения и перегруппировок войск, своевременного и бесперебойного подвоза материальных средств войскам.

Решающим фактором в выборе того или иного способа восстановления в условиях скоротечности и динамичности ведения современных войн являются сроки восстановления прерванного движения через водные преграды с максимальным использованием для этого всех имеющихся возможностей. Использование средств речного флота для организации переправ обеспечивает возобновление сквозного движения через водные преграды в кратчайшие сроки. Организация переправ с использованием средств речного флота является также эффективным средством дублирования мостовых переходов через крупные водные преграды в современных условиях.

К основным видам переправ из средств речного флота относятся наплавные мосты и паромные переправы. Целесообразность использования того или другого вида переправ определяется рядом факторов: интенсивностью воинского движения в районе переправы;

гидрогеологическими и навигационными условиями водного участка; интенсивностью судоходства на водном участке; наличием сил и средств для оборудования переправы; сроками восстановления сквозного движения; интенсивностью воздействия противника.

Преимущества наплавных мостов перед паромными переправами очевидны при необходимости обеспечения высокой пропускной способности переправы и небольшой ширине реки. При сильном воздействии противника возможен маневр местом переправы на водном участке (содержание наплавного моста в режиме пульсации) или переход от наплавного моста к паромной переправе в светлое время суток. В случае разрушения наплавного моста имеется возможность замены поврежденных барж или организации паромной переправы из оставшихся барж.

Применение барж обеспечивает возможность использования наплавных мостов независимо от характера грунта на дне и глубины водной преграды.

Речные суда (баржи-площадки) целесообразно использовать в качестве самостоятельных звеньев наплавного моста. В этом случае транспорт движется по палубе судов, поставленных в линию моста. Такие наплавные мосты называют мостами-лентами.

Для наведения наплавных мостов-лент на реках Беларуси возможно использовать речные баржи-площадки проекта 187 Г и 775 (775 А) (рисунок 1), которые имеют устройства для соединения в мост-ленту (бортовые и кормовые кронштейны и специальные соединительные балки) и обеспечивают пропуск техники с нагрузкой на ось до 9 т и массой до 60 т. Кроме того, баржи-площадки имеют значительную полезную площадь палубы, малую осадку, что упрощает их подготовку и использование в наплавных мостах-лентах.



Рисунок 1 – Баржа-площадка проекта 775

Наличие и основные характеристики барж-площадок, эксплуатирующихся на Белорусском речном бассейне, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики барж-площадок Белорусского речного бассейна

Наименование	Показатель	
	Проект 775	Проект 187
Длина габаритная, м	73,68	50,1
Длина по конструктивной ватерлинии, м	72,8	49,2
Ширина габаритная, м	10,18	10,6
Ширина на мидель-шпангоуте, м	10,0	10,0
Осадка, м:		
в порожнем состоянии	0,4	0,3
в груженом состоянии (с номинальным грузом)	1,77	1,1
Номинальная (регистрационная) грузоподъемность баржи, т	900	350
Допустимая нагрузка на палубу, т/м ²	10	10
Допустимая масса пропускаемой по палубе техники, т	60	40
Допустимая нагрузка, т/ось	9	6
Количество барж на бассейне	108	20

Общий вид баржи-площадки проекта 775 представлен на рисунке 2.

Схема наплавного моста-ленты определяется взаимным расположением барж в линии моста и зависит от типа используемых барж, их количества и местных условий (рисунок 3).

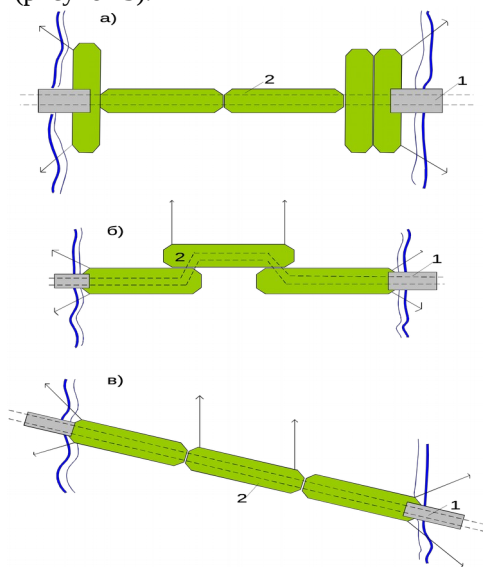


Рисунок 3 – Схемы установки барж-площадок в мостах-лентах:
 а – комбинированная; б – уступом; в – продольная (основная); 1 – перегрузочный мосток проекта 564; 2 – шарнирные соединения при помощи судовых кронштейнов и балок

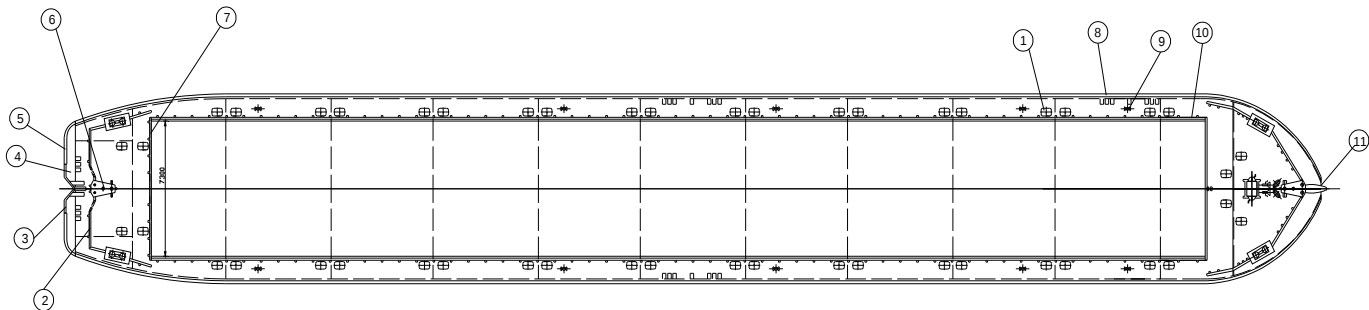


Рисунок 2 – Общий вид баржи-площадки проекта 775:

1 – крышка; 2 – фальшборт; 3 – лист упорный в сборе; 4 – кринолин; 5 – привальный брус; 6 – кнехт буксирный; 7 – стенка грузового бункера; 8 – привальный брус; 9 – кнехт швартовный; 10 – стенка грузового бункера; 11 – палуба и транцевая переборка в районе кормовых кронштейнов

При схеме лагом баржи устанавливаются по течению, бортом (лагом) друг к другу. Соединение барж между собой осуществляется специальными балками, которые шарнирно соединяют бортовые кронштейны двух рядом стоящих барж-площадок и дополнительной счалкой по всем бортовым кнехтам (рисунок 4).

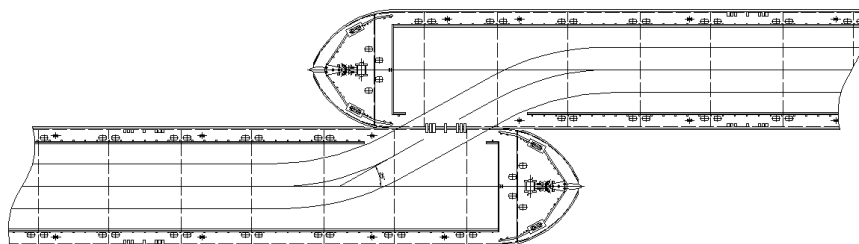


Рисунок 4 – Схема соединения барж-площадок

Наименьшее число барж, используемых для наведения моста-ленты, и наилучшие условия для движения техники достигаются при устройстве наплавных мостов и барж-площадок по основной схеме. Основная схема наплавного моста-ленты предполагает установку барж носовыми и кормовыми оконечностями друг к другу при шарнирном креплении оконечностей барж. Данная схема обеспечивает прямолинейное движение техники по наплавному мосту. Шарнирное соединение оконечностей барж и наличие ограничителей дифферента обеспечивает плавный переход техники с одной баржи на другую. Однако конструкция барж-площадок проектов 187Г и 775 (775А) не позволяет соединять их по такой схеме, из-за очертания носовой части, наличия на ней судового оборудования и отсутствия кронштейнов в носовой оконечности баржи.

Так как ширина реки не всегда кратна длине барж, возникает необходимость установки моста-ленты не строго поперек реки, а под некоторым углом к линии наименьшей длины мостового перехода. Иногда прибегают к комбинированной схеме установки моста, при которой сочетается продольная и поперечная установка барж в линию моста. В этом случае длина речной части моста может изменяться на величину, кратную ширине баржи.

Для сокращения числа барж в наплавном мосте-ленте применяется косая схема установки барж или установка барж в линию моста уступом. Эти схемы целесообразны при использовании для наведения наплавных мостов из барж-площадок, у которых носовые и кормовые оконечности, вследствие размещения на них судового оборудования и устройств (брашпиль, надстройки и т. д.), затрудняют сквозной пропуск

по всей длине баржи. Именно эту схему установки барж в линию моста целесообразно применять при использовании барж-площадок проектов 187Г и 775 (775А) Белорусского речного бассейна. К недостатку данных схем относится необходимость разворотов техники на мосту, что ухудшает условия движения, особенно длинномерной техники, и создает дополнительные горизонтальные нагрузки на соединения барж.

Соединение моста с берегом осуществляется перегрузочными мостками проекта 564, устанавливаемыми на бортовые (кормовые) кронштейны крайних барж (рисунок 5).

Количество балок-прогонов у мостка устанавливается в зависимости от веса техники и конструкции баржи (наличия кронштейнов) (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика разборного перегрузочного мостка

Количество балок	Допустимая нагрузка		Схема установки балок (вид с торца)
	масса гусеничных машин	нагрузка на ось колесных машин	
7	60	11	1 2 3 4 5 6 7
5	35	8	1 2 3 4 5
3	15	4,5	1 2 3

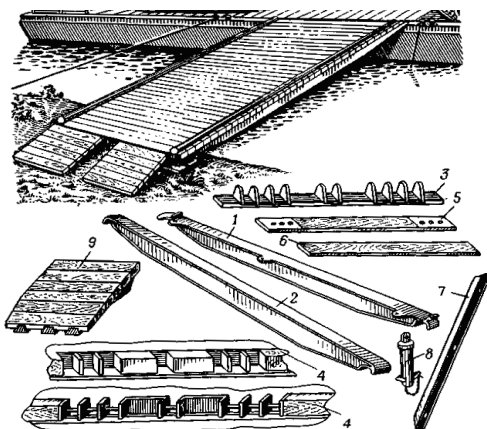


Рисунок 5 – Сборно-разборный перегрузочный мосток проекта 564:

1 – крайняя балка (прогон); 2 – средняя (промежуточная) балка; 3 – металлическая береговая опора; 4 – палубные и бортовые опорные кронштейны; 5 – соединительный брус настила;

6 – брус настила; 7 – накладной угольник; 8 – штырь; 9 – въездной трамплин

Для пропуска судов в мостах обычно предусматриваются выводные звенья. Длина выводного звена зависит от ширины судового хода. При наведении наплавного моста-ленты по основной схеме пропуск судов может быть обеспечен путем разворота всего или части моста до освобождения судового хода.

Сборка и эксплуатация наплавных мостов-лент должна обеспечиваться работниками речного транспорта.

Паромные переправы целесообразно использовать: при малой интенсивности движения на переправе; при значительной ширине водной преграды, когда наведение наплавных мостов затруднено; при сильном воздействии противника; при интенсивном судоходстве на участке или слабом ледоходе; в сочетании с мостом ограниченной грузоподъемности для переправы отдельных тяжелых единиц техники; при значительном смещении сухопутных подходов по берегам реки.

К основным элементам паромной переправы относятся: участок водного пути с навигационной обстановкой; паромы (транспортные и буксирные суда), подготовленные для перевозки войск и грузов; причальные сооружения на обеих сторонах водного пути, а также убежища и укрытия для защиты эксплуатационного персонала переправы и перевозимых войск, пункты ремонта и снабжения, автомобильные подходы к причалам, районы ожидания и сбора войск.

Простейшей паромной переправой является переправа, состоящая из двух причалов (по одному на каждом берегу) и двух паромов. Число барж в одном пароме обычно не превышает двух. При устройстве в одном районе нескольких паромных переправ их организационно объединяют в участок паромных переправ.

В качестве причалов для паромной переправы обычно используют плавучие причалы из стоечных судов (барж), сопряженные с берегом перегрузочным мостком проекта 564. Переход техники со стоечного судна на баржу парома осуществляется по трехсекционным переходным мосткам Заславского, обеспечивающим движение техники при разнице высоты бортов стоечного судна и парома до 0,7–0,8 метра. Устройство таких причалов требует минимальных затрат времени, сил и средств (рисунок 6).

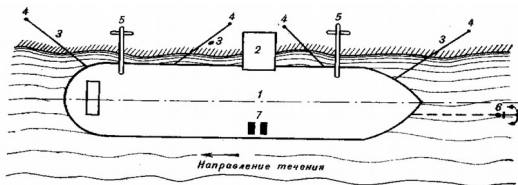


Рисунок 6 – Плавучий причал из стоечного судна:

- 1 – баржа-площадка (стоечное судно); 2 – сборно-разборный перегрузочный мосток;
- 3 – швартовочные тросы; 4 – мертвяки; 5 – стрелы (свайки); 6 – якорь; 7 – переходные мостки

При ограниченном числе судов сооружаются временные деревянные причальные сооружения из дерева на козловых, рамных и клеточных опорах (рисунок 7) и другие быстровозводимые причалы.

Причалы на козловых и рамных опорах допускают пропуск

гусеничной техники общей массой до 12 т, а колесной – с нагрузкой до 3 т на ось. Причалы на клеточных опорах допускают пропуск гусеничной техники общей массой до 60 т, а колесной – с нагрузкой до 11 т на ось.

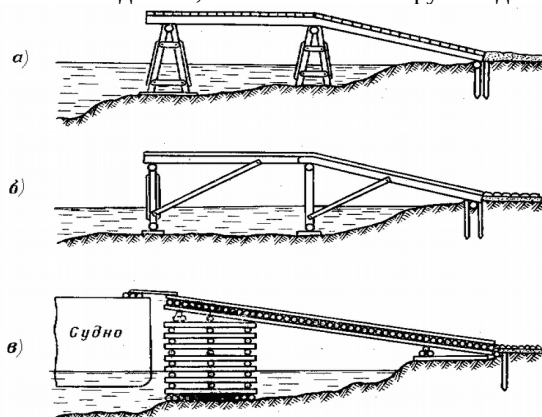


Рисунок 7 – Временные деревянные причалы:

а – на козловых опорах; б – на рамных опорах; в – на клеточных опорах

Перспективы применения средств речного транспорта для организации переправ через водные преграды обусловлены следующим:

1. Наиболее эффективным способом восстановления мостовых переходов является наводка наплавных мостов с использованием судов речного флота, так как наводка таких мостов обладает рядом положительных качеств: мобильность, высокие темпы наводки, наименьшая зависимость их применения от местных условий, достаточная живучесть. Эти основные и главные преимущества обеспечивают наплавным мостам ведущую роль.

2. Применение наплавных мостов с использованием судов речного флота позволяет высвободить для дальнейшего использования на других объектах восстановления табельные автодорожные мосты САРМ, САРМ-М, БАРМ и сократить потребность в силах и средствах по сравнению с низководными деревянными мостами.

3. Простота конструкций обеспечивает быстрые темпы строительства мостовых переходов.

4. Изложенные подходы к оценке эффективности применения судов речного флота при восстановлении мостов на ВАД позволяют проводить оценку целесообразности применения барж-площадок в качестве наплавных (комбинированных) мостов.

Максимальное использование средств речного транспорта для обеспечения непрерывности воинских перевозок при разрушении

мостовых переходов через водные преграды, сочетание их применения с использованием мостов из табельных средств, строительством деревянных низководных мостов позволит обеспечить непрерывность движения войск и подвоза материальных средств войскам в условиях непрерывного воздействия противника на транспортные коммуникации, снизить потери войск при применении высокоточного оружия и других современных средств поражения.

Вместе с тем, существует ряд проблемных вопросов, связанных, прежде всего, с современным состоянием речного флота и существующей законодательной базой. Все имеющиеся на Белорусском речном бассейне баржи-площадки проектов 187 Г и 775 (775 А) 1983–1991 годов постройки и постепенно выводятся из эксплуатации. Так, за последние 10 лет количество барж-площадок проекта 187 Г сократилось вдвое, а проекта 775 (775 А) почти на 20 % и тенденции сокращения несамоходного флота этих проектов сохраняются. Связано это, прежде всего, с их старением и падением объема перевозок, выполняемых этими судами. Однако в последние годы наметились перспективы роста речных перевозок и обновления парка несамоходного флота. В целях готовности речного флота к выполнению задач технического прикрытия важно, чтобы вновь спроектированные и построенные несамоходные суда-площадки имели устройства для их соединения в мосты-ленты, а это ведет к удорожанию строительства нового флота. Законодательно учитывать военно-технические требования при проектировании и строительстве судов речного флота в настоящее время проектировщики и судостроители не обязаны. Решение этих вопросов одна из задач, стоящих перед организациями, отвечающими за планирование и координацию действий государственных органов по техническому прикрытию транспортных коммуникаций.

УДК 656.627:624.87

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАПЛАВНЫХ МОСТОВ ИЗ ИМУЩЕСТВА НЖМ-56 НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

К. В. МАХАЕВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Гидрографическая сеть Беларуси включает 20 800 рек и ручьёв, общей длиной 90 600 км, более 10 тыс. озер, почти 2000 водохранилищ и прудов, транспортные и мелиоративные каналы. Преобладают малые реки и ручьи длиной менее 100 км, на долю которых приходится 93 %

всех рек. Только девять рек по общей длине относятся к категории больших: Днепр, Березина, Сож, Припять, Западная Двина, Неман, Западный Буг, Горынь и Ловать.

Реки имеют извилистые русла с большим количеством плесов и перекатов, небольшие уклоны и медленное течение. Местами они разделены на рукава. Во время весеннего половодья уровень воды в таких реках поднимается незначительно.

Крупные реки обычно имеют ширину от 80 до 120 м, а на отдельных плоских низинах она может увеличиваться до 500 м. Средняя глубина большинства рек до 1 м, на плесах крупных рек она может увеличиваться до 8 м и более.

По гидрологическому режиму реки Беларуси относятся к восточно-европейскому типу, со стоком во все сезоны года и весенним половодьем, которое лучше выражено на востоке и севере Беларуси. Летом и зимой на реках Беларуси обычно отмечается самый низкий уровень воды - летняя и зимняя межень.

Равнинный характер рек обусловил малую скорость течения, которая у крупных рек не превышает 0,6 - 0,7 м/сек, а у малых - более 1,5 м/сек.

Протяженность водных путей Республики Беларусь составляет около 2,5 тыс. км, однако их использование для внутренних перевозок во многих случаях нецелесообразно. Связано это с тем, что только на самых крупных водных артериях, сосредоточенных преимущественно по периметру республики, глубины достигают 1,5 м. Водные пути Беларуси никак не связаны между собой (за исключением Днепра, Припяти и Буга). Небольшие размеры государства и довольно развитая сеть автомобильных дорог не способствуют росту объемов внутренних перевозок речным транспортом.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод что использование имущества НЖМ-56 для устройства мостовых переходов возможно только на 9 больших реках в районах плесов при зеркале воды не менее 90-100 метров.

В рамках дипломных проектов курсантов-мостовиков рассматривались варианты восстановления мостовых переходов через реки Днепр, Сож и Березина при помощи инвентарных имуществ НЖМ-56. Так же и проектные соображения на восстановление больших мостов через эти реки предусматривает восстановление движения поездов через эти реки при помощи НЖМ-56.

Однако аномально жаркая погода последних 5 лет в летний период ставит нас перед необходимостью пересмотра данных вариантов восстановления. Приведем некоторые данные по состоянию гидрологии рек республики на июнь месяц разных лет.

В 2011 году в первой половине июня на всех реках республики наблюдался спад уровней воды с суточной интенсивностью от 1 до 35 см. Существенные дожди ливневого характера во второй половине месяца обусловили повсеместно замедление спада уровней воды, а на некоторых участках рек небольшой их рост. Ниже опасных низких отметок для судоходства уровни воды сохранялись на Западной Двине у г. Витебск, Днепре на участке Могилев-Речица, Березине у г. Борисов, Соже у г. Гомель и Пине у г. Пинск, в результате чего здесь ухудшились условия для работы речного транспорта. Водность в июне оказалась близкой к норме на Березине, Соже и Днепре выше г. Могилев, на 20-40% ниже ее на Западной Двине, Немане и Припяти, а на 40% выше средних многолетних значений для этого времени года на Днепре ниже г. Жлобин.

В 2012 году прошедшие в июне дожди, местами сильные, обусловили на реках замедление спада уровней воды и их рост.

В 2013 году во второй и третьей декадах июня на реках республики преобладал спад уровней воды. Пойменные земли освободились от паводковых вод на большем протяжении Днепра и Припяти, притоках Припяти реках Пина и Случь. Уровни воды опустились ниже опасных отметок для судоходства на Соже у г. Гомель и Днепре у г. Могилев.

В 2014 году в первой половине июня уровни воды находились ниже опасных отметок, лимитирующих судоходство, на Западной Двине на участке Сураж – Витебск, Немане у г. Гродно, Днепре на участке Могилев – Речица и Соже у г. Гомель. Уровни воды были близки к минимальным значениям для этого времени года на Западной Двине у г. Сураж, Днепре у г. Могилев и Беседи у д. Светиловичи, а на Западной Двине у г. Витебск и Днепре у г. Жлобин значения уровней воды оказались ниже многолетних минимумов за июнь.

Температура воздуха за вторую декаду августа в среднем по Беларуси составила +18,9°C, что выше декадной климатической нормы на 2,2°C.

Вторая декада августа оказалась очень сухой: в среднем по стране выпало лишь 4,8 мм осадков, что составило 19% декадной климатической нормы.

В 2015 году в течение июня на реках преобладал спад уровней воды. Водность большинства рек оказалась значительно ниже обычной для этого времени года. Значения уровней воды были ниже многолетних минимумов за июнь на Западной Двине у г. Сураж, г. Витебск и г. Полоцк, Днепре (участок Могилев – Речица), Березине у г. Бобруйск и г. Светлогорск, Соже у г. Кричев и г. Гомель, Беседи у д. Светиловичи, Припяти у г. Пинск, д. Черничи и г. Мозырь, Уборти у д. Краснобережье, Случи у д. Ленин. Уровень воды на Днепре у г. Жлобин оказался ниже исторического минимума за период наблюдений.

Неблагоприятные условия для работы речного транспорта наблюдались на Западной Двине на участке Сураж – Витебск и у г. Полоцк, Немане у г. Гродно, Днепре на участке Могилев – Речица, Березине у г. Борисов и у г. Светлогорск, Соже у г. Гомель, Припяти у г. Мозырь и Пине у г. Пинск.

Таким образом, исходя из приведенных данных можно сделать вывод о невозможности восстановления мостовых переходов с использованием барж и судов речного флота, а так же о дополнительных ограничениях на использование наплавных мостов из имущества НЖМ-56. При продолжающемся общем потеплении климата необходимо проводить мониторинг глубин и ширины зеркала воды в местах предполагаемой наводки мостов из имущества НЖМ-56 и произвести корректировку проектных соображений исходя из сложившейся обстановки.

УДК 358.2

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НА ПРЕОДОЛЕНИЕ РАЗРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ И СОДЕРЖАНИИ ПУТЕЙ ДВИЖЕНИЯ

И. М. НАРЫШКИН

Учреждение образования

«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

Любая наземная операция сопровождается передвижением войск по местности. Так называемые «гибридные» войны последних лет еще раз подтверждают необходимость в постоянных наземных перемещениях войск, особенно при проведении специальных действий, где необходимо проводить поисковые действия, блокирование, окружение и уничтожение противника. Во всех случаях для овладения территорией на ней должны действовать воинские подразделения. Практика показывает, что недооценка возможностей движения войск по местности подчас приводит к срыву выполнения боевых задач в назначенных районах, смене намеченных направлений перемещения, значительным потерям времени. Наличие на территории Республики Беларусь обширных площадей лесистых, болотистых участков и как следствие возможных районов завалов, разрушений и пожаров в ходе ударов противника, актуальным вопросом становится их преодоление войсками.

При подготовке путей движения войск предполагается выполнение комплекса задач по ликвидации всех видов заграждений на ширину земляного полотна или устройству в них проходов шириной,

соответствующей техническим требованиям к путям различной принадлежности.

Особенно сложной и трудоемкой является задача по устройству проходов в завалах. Возможные технические решения на устройство в них проходов зависят от вида завала, его размеров, характера и наличия сил, средств и времени.

Проходы в лесных завалах необходимо устраивать с применением путепокладчиков (бульдозеров), инженерных машин разграждения и с использованием боевых машин, оснащенных навесным бульдозерным оборудованием.

Проходы в завалах из деревьев диаметром менее 8–10 см и длиной до 10–15 м при любом их ориентировании целесообразно проделывать с помощью путепокладчиков (инженерных машин разграждения), движущихся вдоль оси прохода с рабочим органом в двухотвальном положении. Уширение прохода производится теми же машинами, движущимися параллельно оси прохода, уступом, с рабочим органом в грейдерном положении.

Проходы в завалах из деревьев диаметром до 20 см и длиной менее 10–15 м при параллельном их положении друг относительно друга и угле между осями стволов и осью прохода (дороги) $\alpha > 90^\circ$ возможно проделывать прямыми проходами путепокладчиков (инженерных машин разграждения) с рабочим органом в грейдерном положении (рисунок 1, а).

Проходы в завалах из таких же деревьев, но с углом между их осью и осью прохода $\alpha < 90^\circ$ проделываются с помощью путепокладчиков (инженерных машин разграждения), перемещающихся челночным способом с рабочим органом в бульдозерном положении, как показано на рисунке 1, б.

Проходы в завалах из деревьев диаметром более 20 см и длиной более 10–15 м при $\alpha < 90^\circ$ необходимо проделывать путем разборки крупных деревьев с помощью манипулятора ИМР с последующей дорасчисткой полосы движения прямыми проходами. Для увеличения темпа проделывания прохода может производиться перебивание деревьев по границе прохода с помощью сосредоточенных зарядов ВВ или УЗ. Эта задача может также выполняться вручную с использованием мотопил.

Крупные деревья целесообразно растаскивать с помощью тросов лебедок путепокладчиков (машин разграждения), пропущенными через блоки, последовательно закрепляемые к не поваленным деревьям или пням (рисунок 1, в). Этот же способ рекомендуется при устройстве проходов в минированных завалах.

Завалы в населенных пунктах, как правило, преодолеваются по верху (при высоте завала более 1 м), частичной или полной расчисткой полосы движения (при высоте завала до 1 м).

Переход завала по верху устраивается обрушением нависающих над проходом частей зданий (сооружений) взрывами контактных зарядов (перфораторами). Также дробятся крупногабаритные элементы конструкций, расположенные в пределах прохода, или растаскиваются с помощью манипулятора и лебедки инженерных машин за пределы прохода. Затем с помощью путеукладчика (машины разграждения, экскаватора) оборудуются въезд на завал, производится грубая планировка полосы движения на завале и оборудуется съезд с него.

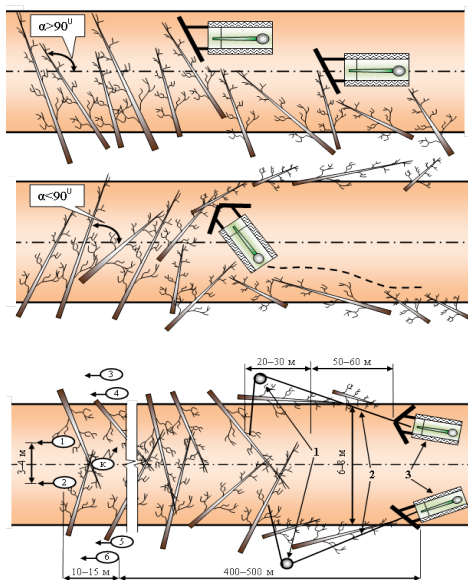


Рисунок 1 – Варианты устройства проходов в лесных завалах: а, б – при параллельном расположении стволов деревьев; в – из крупных деревьев и в минированных завалах;

← 1 – номера расчета; 1 – блок; 2 – тяговый трос; 3 – трос.

Для обеспечения заезда машин на завал необходимо оборудовать временную аппарель из местного грунта (каменного материала) или с помощью механизированного моста. Последовательными проходами машины разграждения (путеукладчика) с рабочим органом в двухотвальном или грейдерном положении осуществляется полная или частичная расчистка полосы движения. При большей высоте завала

необходимо устройство откосов в проходе. Поэтому ширина расчищаемой полосы на верху завала ($B_в$) должна быть больше, чем ширина завала понизу ($B_н$):

$$B_в = B_н + 2H_a,$$

где H_a – высота расчищаемой части завала.

По мере увеличения глубины прохода затрудняется сдвиг материала завала в стороны. При невозможности обеспечения сдвига материала завала в стороны, расчистка производится с помощью экскаватора с погрузкой материала завала в самосвалы. Уширение прохода большой глубины производят, обрушая материал завала на полосу движения с помощью экскаватора и выталкивая его машиной разграждения за пределы завала.

При возникновении массовых пожаров на дорогах, проходящих в лесу и населенных пунктах личный состав будет подвергаться раздражающему действию дыма, а в некоторых случаях и отравлению окисью углерода. Перед фронтом верховых лесных пожаров на удалении до дороги 150 м температура среды может достигать 45–50 С, а содержание окиси углерода – 0,5–0,8 мг/л, при этом дальность видимости может составлять не более 20–30 м. Продолжительность пребывания в этой среде с указанными параметрами для людей без индивидуальных средств защиты органов дыхания и зрения не должна превышать 1,0–1,5 часа.

Следовательно, для предотвращения поражения войск и обеспечения безопасности движения техники на участках дорог в зонах пожаров, необходимо осуществлять их содержание, которое будет заключаться в: организации комендантских постов с обеих сторон при въезде на участок дороги в зоне пожара; обозначении участка дороги хорошо видимыми в дыму дорожными знаками; обеспечении безопасности движения на участке.

Комендантские посты целесообразно располагать на удалении до 0,5 км от границы зоны пожара, которые оснащать шлагбаумами, средствами пожаротушения и площадками на обочинах дороги для проведения контрольного осмотра машин и подготовки техники и личного состава к преодолению зоны пожара.

На площадках перед преодолением зоны пожара личный состав надевает индивидуальные средства защиты органов зрения и дыхания, закрывает стекла кабин и тенты. На машинах подготавливаются к применению средства пожаротушения и шанцевый инструмент, удаляются или изолируют быстровоспламеняющиеся части машины и имущества, а в определенных условиях внешние части машин

обливаются водой или покрываются трудно воспламеняющимися растворами.

Движение колонн через зону пожаров необходимо осуществлять только в одном направлении, на увеличенных дистанциях между машинами, а при отсутствии задымления – на повышенных скоростях.

При наличии времени, в лесном массиве с обеих сторон дороги на удалении 150–200 м от нее оборудуются противопожарные полосы и удаляются с прилегающих к дороге участков сухие деревья и кустарники.

Наиболее эффективно для борьбы с пожарами могут использоваться путепрокладчики и инженерные машины разграждения, которые при прокладывании полос шириной 6–8 м имеют производительность в спелом лесу 0,5–0,8 км/ч, в мелколесье – 1,0–1,2 км/ч.

Участки с пожарами в населенных пунктах целесообразно обходить. Протяженность обхода может достигать по дорогам с усовершенствованными покрытиями 3 км на 1 км протяженности участка пожара в населенном пункте.

Восстановление земляного полотна и дорожных одежд.

При подготовке путей движения войск с использованием автомобильных дорог характерными разрушениями земляного полотна являются воронки и брешы, представляющие собой сплошное разрушение земляного полотна.

Воронки образуются в результате взрыва одиночных или групповых зарядов на выброс (фугасов, объектных и противотранспортных мин, фугасных авиабомб, боеголовок ракет, артиллерийских снарядов, зарядов специальных установок для разрушения дорог и др.).

По величине диаметра различают большие ($d > 6$ м), средние ($d = 5-6$ м) и малые ($d = 3-4$ м) воронки.

Брешы, как правило, образуются взрывом группы зарядов устанавливаемых на близком расстоянии, в водопропускных трубах или в результате размыва (разрушения) земляного полотна водой.

Для обеспечения движения по дороге, воронки (брешы) засыпаются грунтом или каменными материалами, перемещаемыми с помощью путепрокладчиков (автогрейдера, бульдозера) с обреза дороги, из откосов выемок, из тела насыпи или привозным грунтом. Грунт необходимо укладывать слоями толщиной 0,2–0,3 м и уплотнять движением машин. При невозможности уплотнения грунта необходима его подсыпка в ходе эксплуатации дороги и заравнивание возникающих колеи.

Воронки, затопленные водой на небольшую глубину, заполняются каменными материалами выше поверхности воды на 0,2–0,3 м. При использовании крупного камня (диаметром свыше 0,15 м) поверх каменной наброски насыпается слой грунта толщиной не менее 0,5 м.

Большие воронки, заполненные водой, перекрывают сборными мостами или устраивают в них бревенчатые клетки.

Способы восстановления дорожных одежд зависят от типа покрытия, характера и объема разрушения, а также наличия материалов. При подготовке путей дорожные одежды восстанавливаются частично или в объеме, обеспечивающем движение машин с заданной скоростью.

Восстановление дорожных одежд производится устройством слоев толщиной не более 15 см, при этом используется материал дорожной одежды или добавляется местный каменный материал

Движение в местах **разрушения водопропускных труб и малых мостов** (до 10 м) обеспечивается заполнением участка разрушения местным грунтом с устройством дренажа, местным каменным материалом аналогично способам, применяемым при преодолении воронок, наполненных водой, или устройством временного водопропускного сооружения.

Площадь поперечного сечения дренажного слоя целесообразно принимать в 1,5–2,0 раза больше площади рабочего сечения разрушенного сооружения.

Дренаж из камней с боков и сверху, с целью недопущения заплывания его за счет размыва грунта, необходимо обкладывать слоем хвороста или дерна.

При устройстве дренажа из деревянной клетки сверху устраивают сплошной поперечный настил из жердей или бревен. Нижний ряд бревен клетки на суходолах устраивается сплошным и укладывается непосредственно на грунт, а на постоянных водотоках на слой каменной наброски. Для пропуска воды в клетке оставляется отверстие в виде прямоугольной трубы. Кроме стандартных железобетонных труб на путях могут устраиваться трубы из дерева или камня (габионов). Основными используемыми при этом материалами являются бревна диаметром 12–22 см, а также пластины толщиной 4 см и шириной до 20 см.

Таким образом, проделывание проходов в завалах и разрушениях на путях движения, является трудоемкой задачей, которая потребует комплексного подхода, принятия обоснованных решений на применение инженерных машин, различных конструкций и материалов при планировании задач, связанных с подготовкой и, особенно с содержанием путей движения.

Список литературы

1. **Агейкин, Я. С.** Проходимость автомобилей. – М. : Машиностроение, 1981. – 231 с.

2. **Барахтанов, Л. В.** и др. Проходимость автомобиля : учеб. пособие / Л. В. Барахтанов, В. В. Беляков, В. Н. Кравец; Нижегородск. гос. техн. ун – т. Н.

Новгород, 1996. 200 с.

3. **Поляков, И. С., Захаров, О. В.** Уточнение расчетных параметров машин при оценке их проходимости по местности. Научно-технический сборник, вып. №7 – Балашиха: изд. ВТУ, 2003. – 151 с.

4. **Поляков, И. С.** Технические решения, применяемые при выполнении задач по подготовке путей движения войск. – М.:ВИУ МО РФ, 2002. – 112 с.

УДК 357.3

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ОХРАНЕНИЯ ЧАСТЕЙ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ВОЙСК

С. В. НИКИТЕНКО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Обеспечение воинских частей (подразделений) транспортных войск включает в себя: боевое обеспечение; идеологическую работу; техническое обеспечение; тыловое обеспечение.

В свою очередь боевое обеспечение включает в себя *охранение*, разведку, маскировку, инженерное обеспечение, РХБ защиту, радиоэлектронную защиту, топогеодезическое и навигационное обеспечение, и гидрометеорологическое обеспечение.

Охранение организуется во всех видах деятельности воинской части (подразделения): при передвижении – походное охранение; при расположении на месте – сторожевое охранение. Во всех условиях обстановки, кроме того, организуется непосредственное охранение. Особое внимание обращается на охранение ПУ.

Охранение организуется и осуществляется с целью не допустить проникновения разведки противника в район действий (расположения) своих воинских частей и подразделений, исключить внезапное нападение на них наземного противника, ДРГ, НВФ и обеспечить воинским частям и подразделениям условия для выполнения задач транспортного обеспечения.

Охранение может быть непосредственным, походным и сторожевым.

Походное охранение организуется для защиты колонн от возможного воздействия противника при их передвижении.

Сторожевое охранение выставляется при расположении воинских частей (подразделений) в районе сосредоточения (назначенном районе, на объекте технического прикрытия), когда существует угроза нападения наземного противника. Сторожевое охранение должно перекрывать все основные дороги и подступы к району расположения.

Непосредственное охранение организуют командиры подразделений, осуществляется оно, как правило, силами и средствами этих

подразделений. Оно включает в себя наблюдателей за противником, выделяемых в подразделениях, наблюдательные посты у ПУ и районов расположения подразделений, патрули, внутренний наряд и дежурные подразделения, а в ночное время и секреты.

При выполнении восстановительных работ, когда воинские части (подразделения) на одном месте будут находиться непродолжительное время, основу охранения могут составлять наблюдатели, с дежурными огневыми средствами и патрули. При необходимости могут выставляться сторожевые посты. При этом патрули и наблюдатели должны находиться друг от друга на удалении зрительной связи. На данный момент охранение осуществляется сторожевыми постами в составе отделения, выставляемыми при необходимости на угрожаемые направления на удалении до 1500 м, на скрытых подступах – секретами в составе 2–3-х человек, выставляемыми на удалении до 400 м от района расположения батальона, а в границах района расположения – непосредственным охранением, включающим парные патрули и постоянное дежурство наблюдателей на командно-наблюдательном пункте батальона.

В настоящее время структурные подразделения транспортных войск недостаточно оснащены техническими средствами, необходимыми для разведки труднодоступных и масштабных зон с целью не допустить внезапного нападения наземного противника, проникновения его разведки к главным силам и создания выгодных условий для организованного вступления в бой.

Наиболее перспективным направлением для решения данной проблемы, на наш взгляд, является применение беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА или дроны), которыми можно оснастить как секреты, наблюдателей так и сторожевые посты.

БПЛА получает изображение с матрицы цифровой камеры, обрабатывает его, сохраняет в памяти и отправляет через спутник оператору наземной станции. Последний анализирует ситуацию и даёт команду, которая идёт тем же путём.

Достижения в этой области дают возможность осуществлять полет в автоматическом режиме от взлета до посадки, решать задачи по обеспечению разведки, поиска, выбора и уничтожения целей в любое время суток и при любых метеоусловиях.

Применение БПЛА позволит:

- продолжительно наблюдать в режиме реального времени за участком местности;
- осуществлять мониторинг оперативной обстановки;
- выявлять попытки проникновения разведки противника в район действий (расположения) своих воинских частей и подразделений,

исключить внезапное нападение на них наземного противника, ДРГ, НВФ;

– проводить аэрофотосъемку территорий и объектов для решения других задач.

Существуют различные виды беспилотных летательных аппаратов и беспилотных авиационных комплексов. Нас интересует такой вид БПЛА, как мультикоптер. Он может придаваться в помощь сторожевым постам, выставляемым при необходимости на угрожаемые направления на удалении до 1500 м от пункта постоянной дислокации, секретам, выставляемым на удалении до 400 м от района расположения батальона, а также наблюдателям на командно-наблюдательном пункте батальона. Мультикоптер – это многороторный летательный аппарат, в котором управление моторами осуществляется специальной платой электроники на основе сигналов с датчиков. Количество роторов мультикоптера может быть самым разным – от трех и более. Самая простая и распространенная конструкция – квадрокоптер. В квадрокоптере нет никаких лишних движущихся частей – только электроника и моторы с винтами. Вся тяга винтов идет на удержание модели в воздухе, каждый винт работает максимально эффективно, поэтому аккумулятора хватает на более продолжительное время, а также модель может нести больше полезного груза, более качественную цифровую видеокамеру с GPS-навигатором.

Винтов у квадрокоптера четыре и они маленькие, поэтому вибрации у него настолько малы, что его уже не слышно, когда он находится на высоте нескольких десятков метров. А на высоте около ста метров он совершенно не виден, зато ему видно все. Еще один плюс мультикоптеров – это их неприхотливость. Они без проблем летают в любую погоду. Радиус действия такого БПЛА порядка 300 м, время полета от 10 до 30 мин.

Для управления квадрокоптером достаточно пульта управления и приемника сигнала в руках всего у одного оператора, входящего в состав секрета или сторожевого поста.

Решаемые БПЛА задачи:

- наблюдение в заданном районе за земной и водной поверхностью;
- поиск и обнаружение наземных (надводных) объектов;
- передача видеоинформации оператору.

Квадрокоптеры выполняют вышеуказанные задачи на малых расстояниях и в короткий промежуток времени. Для выполнения задач на больших расстояниях и более длительных промежутках времени можно применять БПЛА типа тактического беспилотного авиационного комплекса (далее ТБАК или комплекс).

Одним из ТБАК белорусского производства является комплекс «Беркут-1Э», который предназначен для оснащения тактических подразделений

по ведению оптико-электронной разведки местности в различных погодных условиях и в любое время суток, целеуказания огневым средствам.

Комплекс состоит из двух беспилотных летательных аппарата (БЛА), комплекта сменных целевых нагрузок (фотомодуль (фотокамера), модуль разведки в инфракрасном диапазоне (тепловизионная камера), модуль телевизионной разведки (телевизионная камера)), наземной станции управления, приемо-передающего устройства, контейнера для хранения и транспортировки беспилотного авиационного комплекса (БАК).

Решаемые комплексом задачи:

- наблюдение в заданном районе за земной и водной поверхностью, получение в реальном масштабе времени тепловизионного и телевизионного изображения местности;
- поиск и обнаружение наземных (надводных) объектов, определение их координат;
- передача разведывательной информации в реальном масштабе времени командирам подразделений тактического звена.

Основные характеристики комплекса указаны в таблице 1.

Технические возможности ТБЛА:

- полет в автоматическом режиме (с возможностью выполнять полет без участия оператора в соответствии с введенным полетным заданием, в том числе и выполнение посадки);
- полет в автоматизированном режиме (под управлением и по командам оператора);
- аварийное прекращение полета и возврат БЛА в заданный район в автоматическом режиме при нецелесообразности дальнейшего выполнения задания, в том числе и выполнение посадки.

Таблица 1 – Основные характеристики комплекса БЛА

Выполнение полета	В автоматическом режиме
Радиус действия	До 15 км
Способ взлета	«С руки»
Способ посадки	С использованием парашюта
Статический потолок полета с полезной нагрузкой	До 1000 м
Крейсерская скорость полета	В пределах 50–80 км/ч
Время полета	До 60 мин
Вес	До 3,5 кг
Вариант исполнения	Носимый
Боевой расчет	Не менее 2-х человек

Особенности и преимущества комплекса:

– запуск летательного аппарата осуществляется с руки. Для запуска не требуется подготовленной взлетно-посадочной полосы, что позволяет использовать БЛА в любом труднодоступном районе;

– возможен запуск летательного аппарата в черте городской застройки. Для безаварийной посадки БЛА с использованием парашюта достаточно ограниченной открытой площадки;

– комплекс обеспечивает возможность управления одним БЛА с наземной станции управления (НСУ). В базовой комплектации комплекс содержит до двух БЛА, однако возможно комплектование и большим количеством БЛА;

– конструкция БЛА обеспечивает его высокие лётные характеристики. БЛА выполнен по схеме «моноплана с толкающим винтом»;

– конструкция фюзеляжа позволяет осуществить быструю сборку и разборку, смену бортового оборудования, а также крепление целевых нагрузок без применения дополнительных (кроме имеющихся в ЗИП) технических средств и приспособлений.

Применение беспилотных летательных аппаратов является наиболее перспективным направлением в оснащении структурных подразделений транспортных войск техническими средствами, необходимыми для разведки труднодоступных и масштабных зон с целью не допустить внезапного нападения наземного противника, проникновения его разведки к главным силам и создания выгодных условий для организованного вступления в бой.

Список литературы

1 Боевой устав сухопутных войск. Ч. III. Взвод, отделение, танк. – Бобруйск, 2010.

2 Тактика подразделений дорожных войск : учеб. – М., 1993.

3 Тактика железнодорожных войск : курс лекций. – СПб., 2000.

4 Военные сообщения : учеб. пособие. – Гомель, 2014.

5 Тактика действия войск : курс лекций. – Гомель, 2014.

УДК 691.32 (043.3)

ПРИМЕНЕНИЕ РАСШИРЯЮЩИХСЯ СУЛЬФОФЕРРИТНЫХ И СУЛЬФОАЛЮМИНАТНЫХ ДОБАВОК В ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

И. П. ПАВЛОВА, Т. В. КАЛЕНЮК

Учреждение образования

«Брестский государственный технический университет»

Развитие технологии цементных композитов привело к получению высококачественных бетонов [1, 3], но не избавило их от главного недостатка – усадки. Одним из наиболее перспективных вариантов решения данной проблемы является применение бетонов на основе расширяющихся вяжущих. Высокие характеристики свойств, присущие бетонам на расширяющихся вяжущих, позволили с успехом применять их в различных областях строительства. Особенно эффективно применение таких бетонов в конструкциях и сооружениях, к которым предъявляются повышенные требования по трещиностойкости, водонепроницаемости и долговечности [4].

В Республике Беларусь на протяжении ряда лет ведутся целенаправленные исследования расширяющихся и напрягающих цементов (НЦ), бетонов и самонапряженных конструкций. Опыт применения напрягающих бетонов в строительной отрасли РБ представлен в работах [3–5].

Следует отметить, что в настоящее время в Республике Беларусь существенно сокращены объемы производства напрягающего и расширяющегося цементов, производимых промышленным способом. Одной из главных причин снижения объемов производства, несмотря на потребность в названном материале, следует считать отсутствие в Республике Беларусь доступного сырья. В настоящей работе представлены результаты исследований вяжущих на основе расширяющихся добавок, получаемых из отечественного сырья.

1 Экспериментальные исследования собственных деформаций цементного камня, изготовленного с применением расширяющихся добавок различного типа

Целью проведения настоящих исследований являлось определение влияния расширяющихся добавок сульфоалюминатного и сульфоферритного типа на прочностные и деформационные характеристики материалов на основе цементных вяжущих с различными минералогическими составами.

Результаты постановочных исследований и их анализ

Результаты испытаний образцов вяжущих, модифицированных сульфоферритными и сульфоалюминатными добавками, представлены на рисунке 1.

Введение расширяющегося компонента в виде суспензии приводит к некоторому росту прочностных показателей исследуемых составов (как прочности на сжатие, так и прочности на растяжение при изгибе) по сравнению с аналогичным составом, отличающимся сухим перемешиванием добавок. Однако прирост прочности не значителен (в пределах 1 %). Поэтому выбор способа введения добавки должен быть обоснован технологическими возможностями. При этом, составы с

расширяющимися добавками на основе метаксаолина и гипса дают спад прочности на сжатие по сравнению с эталонными составами на ПЦ (до 12 % в возрасте 28 суток), что объяснимо некоторым разуплотнением структуры на стадии свободного расширения

На рисунке 1 представлены данные по изменению прочностных показателей во времени для составов, модифицированных метаксаолином в смеси с гипсом, и составов с расширяющейся сульфферритной добавкой. Способ введения добавок – суспензия. Введение сульфферритной добавки приводит к росту прочности на сжатие, начиная с начальных сроков твердения. При этом образцы на составах «ПЦ-метаксаолин-гипс» показывают некоторый спад прочности (всё в сравнении с эталонными образцами на ПЦ). Видимо, этот эффект в случае сульфферритной композиции следует объяснять образованием железистого этрингита, способствующего большему уплотнению структуры и снижению пористости. Состав, приготовленный с применением метаксаолина, вследствие реализации значительных величин свободного расширения (около 0,6 %), приводит к разуплотнению структуры, и как следствие, снижению прочности.

Способ введения расширяющегося сульфферритного компонента в сухом виде приводит к росту прочностных показателей, как в сравнении с составом на основе метаксаолина и гипса, так и с эталонным составом. При этом, при введении добавки «метаксаолин-гипс» наблюдается спад прочности по сравнению с эталоном.

Применение комплексной добавки на основе смеси сульфферритного и сульфалюминатного компонентов (см. рисунок 2) приводит к спаду прочности на сжатие по сравнению с эталоном (снижение прочности составило около 43 %), и показывает прочность ниже прочности образцов, изготовленных из составов с отдельным введением добавок. Данный эффект объясним высоким содержанием в смеси вяжущего активной компоненты, которая, расширяясь, значительно разуплотняет структуру. Снижение содержания цементного клинкера в смеси вяжущего приводит к снижению количества новообразованного геля CSH, таким образом структура не успевает «самозалечиваться».

а)

б)

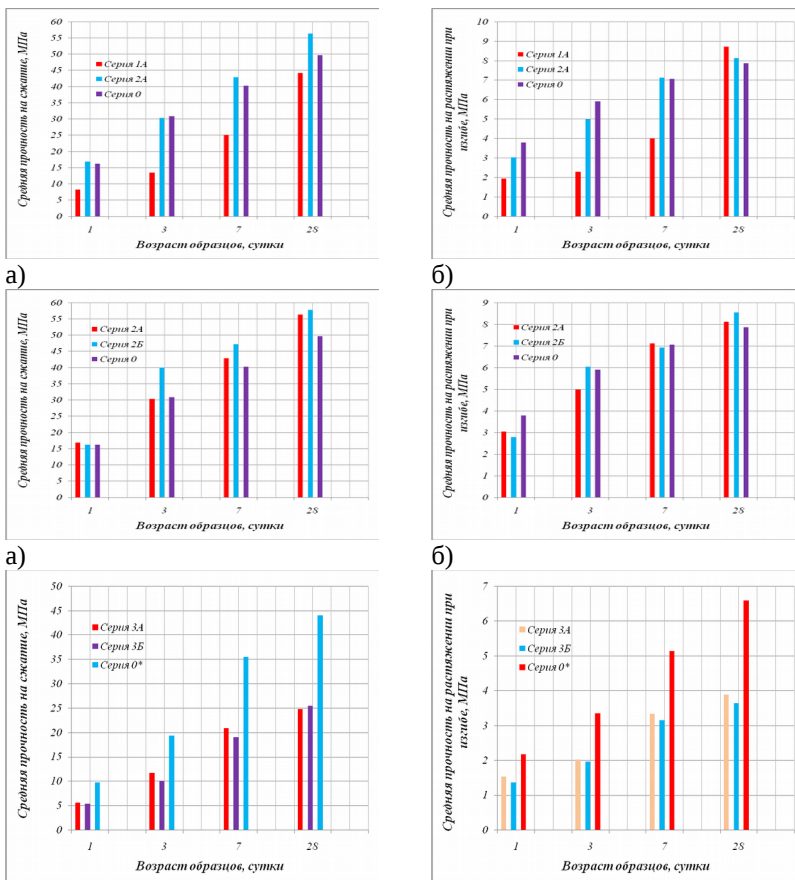


Рисунок 2 – Результаты испытаний прочности на сжатие (а) и растяжение при изгибе (б) образцов серии 3А/3Б

Изменения показателей свободного линейного расширения для исследуемых составов представлены на рисунке 3. Методика определения свободных и связанных деформаций была принята в соответствии с [6].

Как видно из рисунка 3 способ введения не влияет на итоговую величину расширения модифицированного цементного камня. Но, модификатор «метакаолин+гипс» дает рост линейного расширения порядка 0,6%, а аналогичных составов с применением расширяющейся сульфферритной добавки – 0,1 %. Полученные различия в деформациях свободного расширения следует, очевидно, обосновать тем обстоятельством, что сульфферритная добавка проявляет

максимальную деформацию расширения в первые сутки твердения, когда образцы еще не были распалублены и возможности снять отсчеты не было, либо тем, что формирование железистого этtringита не приводит к явным проявлениям изменения объема системы. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

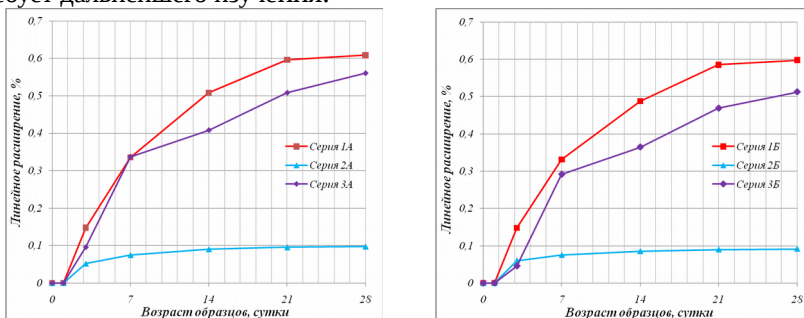


Рисунок 3 – Линейное расширение цементного камня, модифицированного метаксаолином и сульфферритной добавкой

Графики изменения во времени величины самонапряжения образцов, изготовленных из составов, модифицированных расширяющимися добавками сульфферритного и сульфалюминатного типа, представлены на рисунке 4.

Как следует из графиков, представленных на рисунке 4, образцы, твердевшие в условиях стандартного ограничения ($\rho_1=1\%$) [6], показывают схожую кинетику развития связанных деформаций, как и образцы, твердевшие в свободных условиях. Способ введения расширяющейся компоненты не оказывает существенного влияния на итоговую величину самонапряжения модифицированного цементного камня. Вместе с тем, при применении модификатора «метаксаолин+гипс» получены самонапряжения до 5 МПа, в то время как расширяющаяся сульфферритная добавка дает максимальную величину самонапряжения 2,2 МПа, Введение смешанной добавки дает промежуточное значение величины самонапряжения по сравнению с раздельным введением добавок. Вероятным объяснением является несбалансированный химический состав и снижение доли портландцемента в смеси. Разница в дозировке компонентов также оказывает безусловное влияние на итоговое самонапряжение. Так, расширяющаяся добавка типа «метаксаолин+гипс» вводится в количестве 29% от массы вяжущего, а сульфферритный модификатор – 10%. При этом, даже при дозировке 10% сульфферритная добавка дает возможность получать составы с энергией самонапряжения 2 МПа.

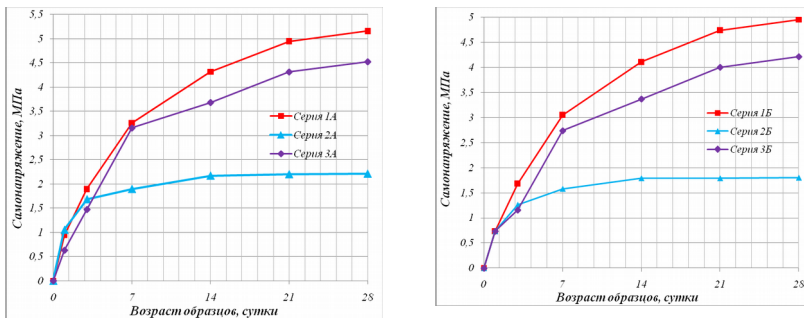


Рисунок 4 – Самонапряжение цементного камня, модифицированного метаксаолином и сульфферритной добавкой

По результатам постановочных испытаний можно сделать следующие **выводы**:

- Способ введения расширяющихся добавок (суспензия либо в сухом виде) не оказывает существенного влияния на изменение исследуемых прочностных характеристик и показателей свободного и связанного расширения;

- Применение сульфферритной добавки приводит к росту прочностных показателей цементных систем, что обусловлено уплотнением структуры и снижением пористости вследствие образования железистого этtringита. Введение метаксаолина и гипса приводит к спадам прочности из-за высокой энергии расширения, приводящей к частичному разуплотнению структуры;

- Применение сульфферритной расширяющейся добавки является предпочтительным в случае получения бетонов с компенсированной усадкой либо бетонов повышенной водонепроницаемости;

- Применение сульфалюминтаной добавки позволяет получать вяжущие и бетоны на их основе с высокой энергией расширения, что обуславливает область ее применения для получения напрягающих бетонов. Кроме того, учитывая большие деформации расширения и самонапряжения в условиях стандартного ограничения, дальнейшего изучения требует вопрос применения такой добавки в элементах с высоким процентом армирования, дисперсным армированием или в условиях двух- и трехосного расширения.

Список литературы

1. Блещик, Н. П. Особенности и технические проблемы новых видов конструкционных бетонов // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал. – Мн., 2005 – № 1. – С. 55–64.

2. Павлова, И. П., Тур, В. В. Параметрические исследования процесса расширения напрягающего бетона с использованием структурной модели расширяющегося композита // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2004. – № 1.

3. Тур, В. В. Направления развития цементного бетона в третьем тысячелетии // Архитектура и строительство. – № 5, № 6. – Мн., 2003.

4. Тур, В. В. Самонапряженный железобетон: исследования, опыт и перспективы применения // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал. – Мн., 2005 – №1. – С. 65–72.

5. ГПНИ 56 (№ госрегистрации 20142166) Разработка составов и технологических параметров получения расширяющих сульфоферритных добавок для напрягающих бетонов (Заключительный отчет) Брест, БрГТУ. – 96 с.

6. СТБ 1335-2002 «Цемент напрягающий. Технические условия» – Мн. : Стройтехнорм, 2003 – 14 с.

УДК 357.3

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ SOLIDWORKS

Е. В. ПЕЧЕНЕВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В современной методике обучений все чаще стали применять компьютерные программы для более наглядного и быстрого изучения той или иной дисциплины. Данные программы имеют своей целью дать начальные знания по предмету изучения, не покидая учебную аудиторию. Это позволяет обучаемому в короткий срок изучить предмет исследования с минимальными затратами материальной базы.

Все эти программы не только в большой степени сокращают время на обучения необходимого предмета, но сокращают расходы на обучение и затраты на обновление материальной базы учреждения образования.

Программа SolidWorks – программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства, который работает в среде Microsoft Windows. Он обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Основной целью использования программы SolidWorks является:

создание базы данных инвентарных пролетных строений применяемых в Транспортных Войсках Вооруженных Сил Республики Беларусь;

составлением схем мостовых переходов из имеющейся базы данных; внедрение программы в обучающий процесс, для повышения наглядности изучения пролетных строений;

SolidWorks работает с тремя типами документов:

деталь (расширение * SLDPRT);

сборка (расширение* SLDASM);

чертеж (расширение*SLDDRW).

Работа с интерфейсом SolidWorks (рисунок 1) при выполнении эскизов, создание моделей деталей, моделей сборок, а так же чертежей, комфортна так как интерфейс интеллектуальный и разработан с учетом особенностей пользователя.

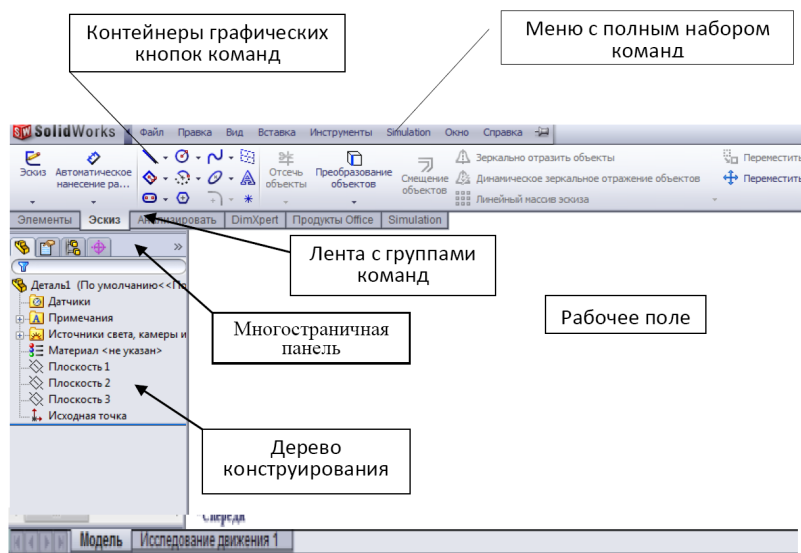


Рисунок 1 – Интерфейс CAD среды SolidWorks

На рисунке 2 наглядно видно, что из простейших компонентов созданных в программе SolidWorks можно создать пролетные строения инвентарных мостовых конструкций.

Нельзя не переоценить достоинства использования информационных технологий в учебном процессе. Сейчас тяжело представить проектную организацию без специалистов умеющих работать в средах резных

программ от элементарного Microsoft Word до ошеломляющих по возможностям САПР.

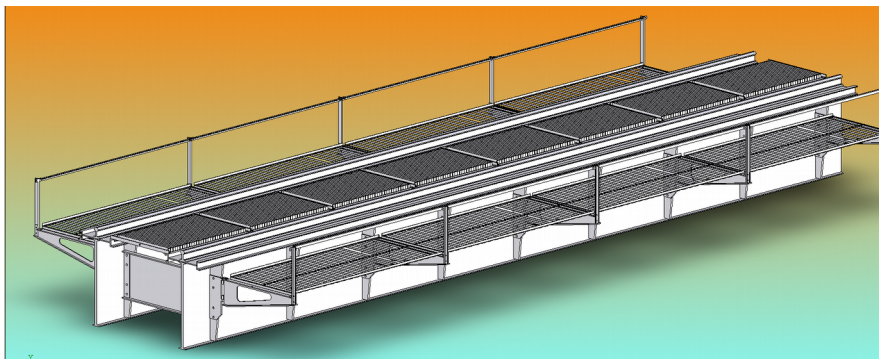


Рисунок 2 – Пример создания пролетного строения РЭМ-500 в программной среде SolidWorks

В первую очередь для использования программы SolidWorks в учебном процессе, для наглядного и простого изучения инвентарных пролетных строений, а также для составления схем мостовых переходов, необходимо создать базу данных этих конструкций. Для этого не требуются множества специалистов работающих в программе SolidWorks. Ведь даже самое сложное пролетное строение состоит из множества элементарных элементов. Внедрение программы SolidWorks в учебный процесс наряду с программой AutoCAD позволит не только разнообразить информационный ряд программ, но и послужит началом выполнения поставленной задачи. Студентам и курсантам будет предлагаться в виде задания по данному предмету выполнить элементарную деталь в среде программы SolidWorks. Для этого обучаемому будут даны все данные об объекте, такие как геометрические размеры, вид детали в трех плоскостях, его физические характеристики (масса, материал). По окончании задания студент или курсант сохранит полученное изделие под необходимым именем. Естественно каждому обучаемому дается свое изделие, которое ему необходимо выполнить. По окончании задания мы имеем большое множество простейших деталей от болта с гайкой до диафрагмы с траверсами, из которых, в конце концов, и состоит это сложное и громоздкое инвентарное пролетное строение.

На деле получается, что сами студенты и курсанты сделали ту базу данных пролетных строений, которая позволит им более качественно и наглядно изучать инвентарные пролетные строения. Да и не только. Возможности программы позволяют производить сложнейшие

механизмы из простейших деталей, что позволит создать базу данных не только инвентарных пролетных строений, но и всего необходимого для качественного обучения студентов и курсантов.

Главным фактором эффективности при внедрении программы SolidWorks в учебный процесс является наглядность и простота изучения необходимого предмета. Черчение схем на бумажном носителе и изучение необходимого материала по старым учебникам – это «прошлый век». В век современных технологий обучаемому необходимо, что то новое, интересное и инновационное, чем и является программа SolidWorks. Она позволит изучать элементы предмета в новом, более современном виде. Даже если необходимая конструкция (к примеру, пролетное строение) имеется на вооружении у университета, то для его изучения необходимо привозить обучаемых на полигон, где находится пролетное строение. Мало того для его полного и досконального изучения его необходимо разобрать, на что порой требуется специальное оборудование и техника. В свою очередь для полной разборки на простейшие элементы пролетного строения спроектированного в программе SolidWorks необходима лишь кликнуть мышкой. Мало того на реальном пролетном строении не указаны размеры и его масса, а в в программе SolidWorks все эти характеристики можно посмотреть на всплывающих окнах.

Хочу заметить, что внедрение базы данных инвентарных пролетных строений в процесс обучения не должен полностью исключать практическую работу обучаемых с реальными пролетными строениями. Качественная картинка в пространственном исполнении конечно хорошо, но это не как не заменит практических навыков в разборке и сборке пролетного строения. Поэтому полностью переходить на изучения объектов предмета на экране монитора нельзя. Следовательно, необходимо найти баланс между практическими занятиями и работой в учебных классах. На первых этапах изучения предмета можно использовать программу SolidWorks для наглядности и простоты изучения.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПРИКРЫТИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А. Я. САЯДЯН

В современных условиях ведения вооружённой борьбы, несомненно одной из основных приоритетных целей поражения будут являться

транспортные артерии государства. К таким артериям относятся, железные и автомобильные дороги.

Железнодорожный транспорт занимает особое место в системе национальной безопасности страны. Зная это и располагая огромными возможностями по разведке и разрушению транспортных объектов вероятный противник, очевидно, предпримет беспрецедентные меры огневого воздействия на транспортную систему страны для того, чтобы парализовать её работу. Этот вывод подтверждается результатами анализа ведения боевых действий в период агрессии стран блока НАТО в Югославии, а также в ходе проведения операции «Буря в пустыне» против Ирака.

Вероятный характер воздействия противника на железные дороги страны в основном определяется его взглядами на ведение стратегических (оперативно-стратегических) операций.

Как известно, на развитие форм и способов ведения военных действий влияют тенденции изменения характера вооруженной борьбы.

Сегодня уже очевидным является факт, что на смену «классическим войнам» приходят войны функционального избирательного воздействия с использованием оружия, разработанного на основе передовых технологий. Появляются возможности по решению стратегических задач относительно небольшими боеготовыми в мирное время группировками войск (сил).

В интересах нанесения решающего поражения противнику будет реализовываться концепция глобального удара путем нанесения массированных и групповых превентивных ядерных и неядерных ударов по критически важным объектам инфраструктуры противника. С одновременным наращиванием масштабов и сфер охвата информационных операций, при одновременном повышении устойчивости работы собственных средств управления, связи и разведки.

Основным содержанием всех концепций являются сдерживание, дезорганизация и уничтожение вторых эшелонов (резервов) войск противника до того, как они могут быть введены в сражение.

Сдерживание достигается за счет создания «узких» мест на путях движения войск. Эффективным считается разрушение мостов, узлов на железных дорогах, создание зон затопления. Принципиально новой формой военных действий в начале войны вероятным противником рассматривается первый массированный удар высокоточным оружием (ВТО), а также различными ракетами наземного базирования.

В соответствии с принятыми концепциями конечная цель операции достигается в три этапа. Основным содержанием и целями этапов являются:

первый этап – демонстрация силы, начало военных действий с нанесением массированного авиационного удара обычными средствами

поражения с системами высокоточного наведения, ведение борьбы за завоевание превосходства в воздухе. Главная цель этапа – дезорганизация системы военного и государственного управления, поражение важнейших промышленных объектов, транспортной системы страны, главных группировок Вооруженных Сил (ВС), срыв их планов стратегического развертывания;

второй этап – наращивание масштабов военных действий, продолжение завоевания превосходства в воздухе, проведение второй и последующих воздушно-космических операций (ВКО), огневые удары дальнобойными средствами ВТО, активизации диверсионно-разведывательного эшелона, начало воздушно-наземных операций (ВНО), огневые удары дальнобойными средствами морской операции. Глубина поражения – группировки и объекты второго оперативного эшелона и стратегических резервов. Цель этапа – удержать стратегическую инициативу, нанести огневое поражение группировкам прикрытия и первого оперативного эшелона, создать условия для вторжения;

третий этап – проведение на территории воюющей страны в высококомобильной форме глубоких операций всеми силами вторжения с целью завершения разгрома противника.

Таким образом, уже на первом этапе операции противник будет разрушать транспортную сеть страны с целью изоляции района боевых действий, воспрепятствования выдвигания наших оперативных и стратегических резервов из глубины страны в район боевых действий, ограничения свободы их маневра. Этот вывод определяет необходимость прогнозирования вероятного характера воздействия противника на железные дороги страны.

Логика (последовательность) прогнозирования вероятного характера воздействия противника на железные дороги страны в основном будет определяться целью решения этой задачи. В мирное время такой прогноз необходим для планирования воинских перевозок с применением прогностического моделирования данного процесса на основе цифровой карты местности (ЦКМ), которое позволяет учитывать множество факторов и достаточно точно воспроизводить развитие событий во времени и в пространстве описанные в методиках (1–3).

Существующие методики позволяют осуществлять принятие логистических решений при планировании воинских перевозок с использованием ЦКМ.

Эти методики необходимо включать в основу совершенствования существующей системы технического прикрытия железных дорог, разработки мероприятий по заблаговременной подготовке прикрываемых объектов (участков, направлений), сил и средств, а также

предложений по созданию мобилизационных запасов материальных средств и их эшелонированию по транспортному пространству.

Список литературы

1 Разработка математического обеспечения для планирования комбинированных воинских перевозок с использованием геоинформационных систем : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. Гордюк А. Г. ; исполн.: Демидов П. Г. [и др.]. – Гомель, 2011. – 147 с. – Библиогр.: с. 144–147. – Инв. № 07.07-190/2.

2 Демидов, П. Г. Методика и алгоритм выбора пункта погрузки (выгрузки, перегрузки) / А. Г. Гордюк, П. Г. Демидов, А. В. Коломиец // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы республ. науч.-практ. конф., Гомель, 31 марта 2012 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.: Т. М. Ризевская [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 150–159.

3 Булойчик, В. М. Выбор оптимального маршрута движения при планировании комбинированных воинских перевозок / В. М. Булойчик, П. Г. Демидов // Междунар. научн.-практ. журнал «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». – 2011. – Том 6, № 2. – С. 28–34.

УДК 625.06

АНАЛИЗ ЗАТРАТ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МОСТА

*А. М. СЕРГЕЕВА, А. А. БЕНДИКОВА,
А. А. БОТВЕНКОВ, В. А. СЕРБАЕВ*

*Учреждение образования «Белорусско-Российский университет»,
г. Могилёв, Республика Беларусь*

Роль мостовых сооружений на автомобильных дорогах в обеспечении бесперебойного движения транспортных средств и пешеходов трудно переоценить. Истории известны многочисленные случаи, когда отказ несущих конструкций мостов парализовал работу целых регионов. Жители города Могилева прочувствовали это на себе во время капитального ремонта моста через р. Днепр на проспекте Шмидта (2013-2014 г). Транспортный поток был переориентирован на другие мосты города, что привело к резкому увеличению интенсивности движения и заторам на действующих мостах, особенно в часы «пик». Протяженность заторов доходила до 2 км, скорость движения в них составляла 5-15 км/ч. На преодоление таких участков уходило до 30 мин. Скопление транспортных средств привело к увеличению выбросов в атмосферу отработанных газов и ухудшению экологической ситуации в городе.

На экономические затраты при капитальном ремонте мостовых сооружений влияет множество факторов. Часть из них в обязательном порядке учитывается сметной документацией, а часть остается за пределами проекта из-за сложности определения их экономического

влияния. В частности сметная документация проекта капитального ремонта моста не учитывает экономических затрат на топливо для общественного и легкового транспорта связанных с изменением скоростного режима и на наносимый при этом экологический ущерб.

Расчет затрат от экологического ущерба производился на основании [1]. Учитывались такие параметры, как объем движения транспортных средств, скорость движения транспортного потока, длина участка, количество остановок транспортного потока.

Выбросы веществ определялись как сумма выбросов при движении транспортного потока, при остановке (торможении-разгоне) и задержке (работе на холостом ходу). По расчетным формулам и таблицам выбросов загрязняющих веществ построены графики удельных выбросов вредных веществ от автобусного и легкового транспорта (рисунок 1, 2). На графиках четко прослеживается зависимость количества вредных выбросов от скоростного режима транспорта. Максимальное количество выбросов происходит при работе двигателя на холостом ходу. С увеличением скорости движения количество выбросов снижается.

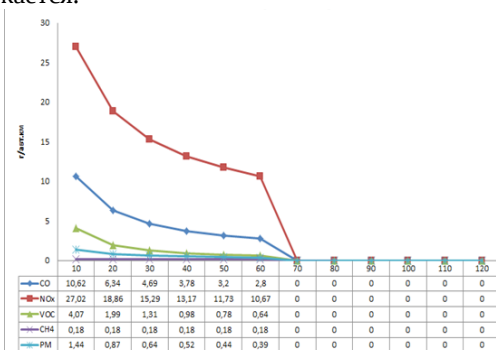


Рисунок 1 – График удельных выбросов загрязняющих веществ автобусного транспорта

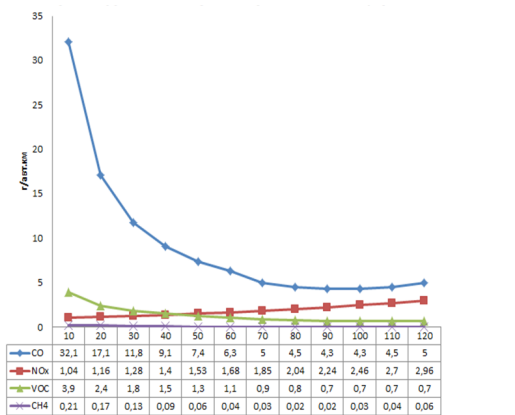


Рисунок 2 – График удельных выбросов загрязняющих веществ легкового транспорта

При движении автобусного транспорта со скоростью 60 км/ч количество вредных выбросов снижается в 3-5 раз (в зависимости от вида загрязняющего вещества), по сравнению со скоростью, с которой автобус движется в заторе, а для легковых минимальный расход топлива наблюдается при скорости 80 км/ч. На рассматриваемом участке, длина которого составляла 2км, из-за затора транспортные средства двигались со скоростью не превышающей 10 км/ч. Ввиду чего количество выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ значительно возросло, а значит возросли и экономические затраты.

Последствия воздействия выбросов загрязняющих веществ на атмосферный воздух определялись по формуле (1)

$$\Pi_{\text{В}} = \Pi_{\text{С}} \times K_{\text{пр}} \times \sum_j \Phi_{\text{п}j} \times \Pi_{\text{п}j} \quad (1)$$

где $\Pi_{\text{С}}$ – последствия воздействия выбросов загрязняющих веществ для субъектов воздействия, определяемые по формуле (2); $K_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий продуваемость дороги (0,7); $\Phi_{\text{п}j}$ – коэффициент, учитывающий подверженность j-той группы субъектов воздействия выбросам загрязняющих веществ (водители – 0,26, пешеходы – 0,15); $\Pi_{\text{п}j}$ – плотность j-той группы субъектов воздействия с учетом усреднения (водители $\Pi_{\text{п}j}$ – 40, пассажиры $\Pi_{\text{п}j}$ – 150, пешеходы $\Pi_{\text{п}j}$ – 150).

$$\Pi_{\text{С}} = 10^{-3} \times \sum_i E_i \times C_{\text{б}i} \quad (2)$$

где E_i – масса выбросов i- того загрязняющего вещества, г; $C_{\text{б}i}$ – стоимостный показатель последствий от воздействия выброса i- того загрязняющего вещества руб/кг;

В результате вычислений экологический ущерб составил 15229368000 бел. руб., что на 5419226250 бел. руб. больше по сравнению с нормальными условиями движения.

Определяя превышение затрат на топливо, по сравнению со штатным режимом движения, по данным [2] построен график потребления топлива в зависимости от скоростного режима (рисунок 3). Из графика видно, что максимальное количество топлива расходуется транспортными средствами при скорости 10 км/ч (это средняя скорость движения транспорта в пробке). При движении транспорта с такой скоростью помимо увеличения выбросов вредных веществ в атмосферу и увеличения количества расхода топлива значительно возрастает риск таких поломок как износ диска сцепления, тормозных дисков, коробки переключения передач, топливного насоса. Основываясь на данных графика (рисунок 3) оптимальной скоростью движения для транспортных средств является скорость 70 км/ч. При движении транспорта с такой скоростью можно существенно сэкономить топливо, а значит и денежные средства, сократить время на преодоление участка, продлить срок службы транспортных средств.

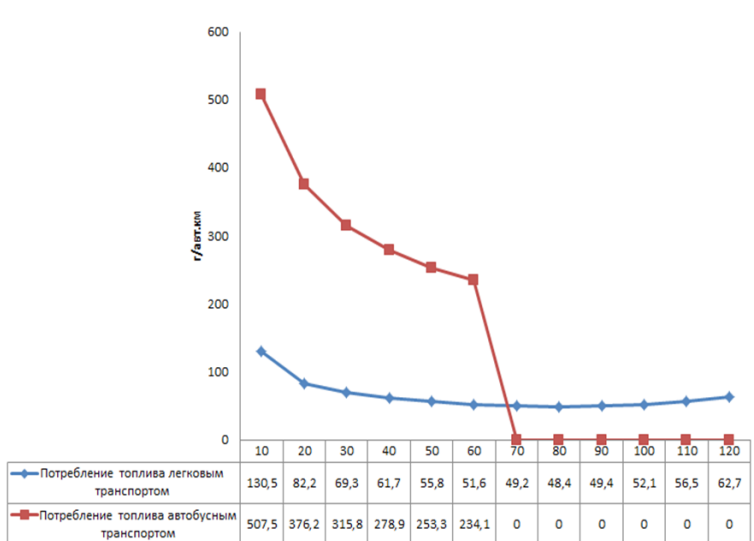


Рисунок 3 – График потребления топлива легковым и автобусным транспортом

Расчет расхода топлива для общественного транспорта определялся по формуле

$$G_4 = 1,03 \times G_{\text{ном}} \times k_{\text{дв}} \times k_{\text{дм}} \times k_N - k_x + k_x, \quad (3)$$

где 1,03 – коэффициент, учитывающий расход топлива в период запуска и регулировки; $G_{\text{ном}}$ – часовой расход топлива на номинальном режиме работы двигателя, кг/ч; $k_{\text{дв}}$ – коэффициент использования двигателя по времени; $k_{\text{дм}}$ – коэффициент использования двигателя по мощности; k_{N} – коэффициент, учитывающий изменение расхода топлива в зависимости от степени использования двигателя по мощности; k_{x} – коэффициент, учитывающий расход топлива при работе двигателя на холостом ходу.

Часовой расход топлива определялся по формуле

$$G_{\text{ном}} = N_e \times q_e \times 10^{-3}, \quad (4)$$

где $G_{\text{ном}}$ – часовой расход топлива; N_e – эффективная мощность двигателя, кВт; q_e – удельный расход топлива.

Для расчета по определению увеличения расходов на топливо общественного транспорта приняты характеристики МА3–103С. Количество автобусов, проходящих рассматриваемый участок за сутки, составило 1100 машин. Расход на топливо за один рейс автобуса в денежном эквиваленте увеличился на 600 бел. руб. Общие затраты автобусного парка за время капитального ремонта моста по проспекту Шмидта увеличились на 243540000 бел. руб.

Для расчета по определению увеличения расходов на топливо легкового транспорта приняты характеристики автомобиля марки Opel Zafira с объемом двигателя 2000 см³. Перерасход топлива на рассматриваемом участке определялся как разность между количеством топлива затрачиваемым в пробке и в нормальных условиях. Разница в денежном эквиваленте составила 900 бел. руб. в день, при условии пересечения данного участка дважды в сутки. По данным ГАИ в Могилеве зарегистрировано 102800 автомобилей. В среднем за день данный участок ежедневно пересекает около 40000 автомобилей, что составляет ≈14 760 000 автомобилей за период капитального ремонта моста. Общее увеличение затрат легкового транспорта на топливо за период ремонта составило 13461120 000 бел. руб.

Общее превышение экономических затрат на экологический ущерб, на топливо общественного и легкового транспорта за время ремонта моста составило 19123886250 бел. руб.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что необходимо уделять особое внимание регулярному проведению мероприятий по обслуживанию и своевременному ремонту конструкций мостов. Это позволит значительно продлить срок эксплуатации мостов, сэкономить денежные средства, значительно минимизировать количество вредных выбросов.

Список литературы

1 ТКП 17.08-03-2006 «Охрана окружающей среды и природопользования. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух».

2 Жук И.В., Миленький В.С., Николаев А.В. и др. Сборник норм расхода топлива и смазочных материалов для механических транспортных средств, судов, машин, механизмов и оборудования. В 2-х томах, Т.1. Издание 15-е, переработанное и дополненное. - Минск: БелНИИТ "Транстехника", 2010. – 300 с.

ПОРЯДОК ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНТРОЛЬНО-ГАБАРИТНЫХ УСТРОЙСТВ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

В. В. ТАЛЕЦКИЙ, П. Ю. ЭТИН

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

С целью предупреждения повреждений мостов подвижным составом и грузами при выходе их в пути следования за очертание габарита, и обеспечения появления сигнала, запрещающего дальнейшее следование поезда до устранения негабаритности, применяются контрольно-габаритные устройства (далее – КГУ).

КГУ устанавливаются перед станциями, ограничивающими перегон с ограждаемым сооружением. Место установки КГУ определяется комиссией отделения Белорусской железной дороги с учетом конкретных условий расположения того или иного сооружения.

Ограждающим сигналом должен быть соответствующий выходной светофор. Расстояние между контрольно-габаритным устройством и входным светофором определяется в зависимости от установленных скоростей движения и других местных условий и должно обеспечивать возможность своевременного восприятия машинистом изменения показания входного сигнала, а также остановку поезда на станции.

На электрифицированных участках КГУ необходимо располагать в середине мачтового пролета.

Работа КГУ основана на принципе контактного взаимодействия негабаритного груза (подвижного состава) с контрольным контуром устройства. Негабаритный груз (состав), проходя через КГУ, обрывает провод контрольного контура, сигнал об этом поступает на станцию, ограничивающую перегон с сооружением, и выходной светофор станции по маршруту для данного поезда перекрывается на запрещающий сигнал.

Разработано восемь схем КГУ для возможности применения устройства на неэлектрифицированных и электрифицированных железнодорожных линиях. Схема КГУ 1 на однопутном неэлектрифицированном участке представлена на рисунке 1.

Положение контрольного контура КГУ, как и размеры элементов конструкции, определяющих это положение, принято для сооружений, удовлетворяющих габариту «С» по ГОСТ 9238, и соответствует его очертанию. В этом случае обеспечивается беспрепятственный пропуск

через КГУ поездов с грузами всех степеней негабаритности без ограничения скорости движения.

При установке КГУ для ограждения негабаритных сооружений контрольный контур должен занимать положение, соответствующее их фактическим внутренним очертаниям в местах негабаритности и габариту «С», во всех остальных местах. Размеры элементов конструкции и их положение при этом должны уточняться в каждом конкретном случае.

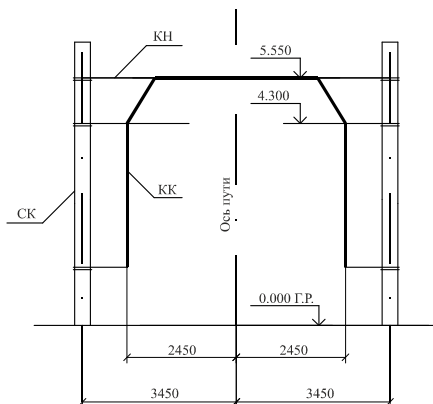


Рисунок 1 – Схема КГУ 1 на однопутном неэлектрифицированном участке
СК – стойка железобетонная; КН – консоль контрольного контура;
КК – контрольный контур

Контрольно-габаритное устройство состоит из несущей конструкции, контрольного контура и электрической схемы, взаимодействующей со станционными устройствами автоматики.

К несущей конструкции относятся железобетонные стойки для опор контактной сети ГОСТ 19330 с укрепленными на них металлическими консолями для подвески контрольного контура и жесткие металлические поперечины с освещением для контактных сетей перегонов и станций, на которых укрепляются вертикально-подъемные штанги с консолями для подвески контура в междупутье.

Отступление очертания контура КГУ от проектного не должно превышать 25 мм.

Осмотр КГУ проводится один раз в месяц комиссией в составе начальника станции, мостового мастера, дорожного мастера и механика СЦБ с занесением результатов в журнал ДУ-46.

Два раза в год, при весеннем и осеннем осмотре, проводится совместная проверка несущей конструкции и контрольной проволоки

КГУ работниками дистанции пути, дистанции сигнализации и связи, коммерческим ревизором.

Два раза в год, а также после всех ремонтов пути в пределах КГУ, работники дистанции пути проводят проверку правильности очертания контура контрольной проволоки и положение пути в плане и профиле в пределах КГУ.

Обслуживание контрольно-габаритного устройства возлагается:

– на дистанцию сигнализации и связи в отношении устройств сигнализации и контроля, включая кабельные ящики и контактные планки для подключения провода контрольного контура;

– на дистанцию пути в отношении несущей конструкции КГУ, подвески и замены нарушенного контрольного контура.

Граница зон обслуживания должна быть определена в местной инструкции по эксплуатации устройств КГУ.

Список литературы

1 ТКП 491-2013. Искусственные сооружения на железной дороге. Правила эксплуатации. – Мн. : БелдорНИИ, 2013. – 60 с.

2 ГОСТ 9238-2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. – М. : Стандартинформ, 2014. – 172 с.

3 ГОСТ 19330-2013. Стойки для опор контактной сети железных дорог. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2014. – 46 с.

УДК 693.23

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ДЕМАСКИРУЮЩИХ ПРИЗНАКОВ ОПОР КРАТКОСРОЧНЫХ МОСТОВ, ПРИ ИХ СООРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЫЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Д. И. ПОПОВ, А. Ю. ФЕДОРОВ

*Военная академия материально-технического обеспечения имени
генерала армии А. В. Хрулева, г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: район мостовых переправ, краткосрочный железнодорожный мост, высокоточное оружие, разделение работ, маскировка фундаментов опор.

1. Вопросы восстановления железнодорожных мостов по старой оси, в условиях активного воздействия противника.

В современный период развития вооружения быстрыми темпами развивается высокоточное оружие.

Эффективность воздействия высокоточного оружия на объекты транспортной инфраструктуры не уступает применению ядерных боеприпасов, и достигается за счет многократного использования обычных боеприпасов по периодичности, определяемой данными разведки объектов транспорта.

Критерием эффективности многократного применения высокоточного оружия является продолжительность цикла разведки – срок обновления информации. Продолжительность цикла разведки зависит от местоположения объекта, условий наблюдения, выбора средств разведки.

Для безопасного пропуска подвижного состава по восстановленному железнодорожному мосту, время на восстановление и пропуск подвижного состава должны быть меньше продолжительности цикла разведки.

Для исключения или существенного затруднения получения информации разработано множество способов. Их применение обеспечивает увеличение времени разведки объекта, что увеличивает время на восстановление и на пропуск подвижного состава.

Другим направлением снижения эффективности применения противником высокоточного оружия является увеличение времени на пропуск подвижного состава за счет снижения времени на восстановление объекта.

Оптимизация времени на восстановление моста может быть проведена за счет увеличения производственных возможностей мостовых подразделений, с применением новых технологических и технических решений.

2. Технологические решения, обеспечивающие увеличение производственных возможностей при восстановлении железнодорожных мостов по старой оси.

Наиболее трудоемкими работами по сооружению железнодорожных мостов являются работы по сооружению фундаментов опор, причем трудоемкость у опор в русловой части водной преграды в разы выше трудоемкости опор в пойменной части.

Сооружение фундаментов опор практически не демаскирует восстанавливаемый мост, поэтому время ведения восстановительных работ предлагается разделить на два этапа: подготовительный – период сооружения фундаментов опор моста и основной – окончательное сооружение опор и установка пролетных строений.

Предложенное технологическое решение, после выполнении подготовительных работ, позволит в разы увеличить производственные возможности мостовых подразделений.

В подготовительный период сооружения моста помимо работ по сооружению фундаментов опор, необходимо выполнить их маскировку.

Конструктивно – технологические решения при организации функционирования района мостовых переправ должны обеспечивать минимум неизбежных потерь сил и средств. Исходя из этого требования, конструкции опор должны или быть достаточно устойчивыми к воздействию ударной волны взрыва боеприпасов или допускать их быстрый демонтаж, с возможностью повторного использования. Существующие конструкции не в полной мере соответствуют этому требованию.

Наиболее эффективный способ минимизировать потери и одновременно организовать маскировку фундаментов опор - их перевод в подводное положение после сборки.

3. Технические решения, предназначенные для маскировки опор моста в подготовительный период его сооружения:

3.1. Технические решения для использования опор из имущества РЭМ-500.

Наиболее просто маскировка опор РЭМ-500 достигается их опусканием на грунт (рисунок 1), после установки их в проектное положение с применением плавучих кранов.

Для ускорения сборки моста, после опускания, стропы оставляют зацепленными. Для определения расположения опоры, к кольцу стропы прикрепляют поплавок.

Во время сборки моста, опора поднимается и удерживается плавучим краном до установки пролетного строения РЭМ-500.



Рисунок 1 – Схема установки плоских опор РЭМ-500 в подготовительный период

1 – плоская опора эстакады РЭМ-500; 2 – стропы; 3 – поплавок

Для исключения работы плавучего крана в процессе установки пролетных строений, после подъема опоры с использованием водолазных подразделений плоскую опору раскрепляют талрепами.

Установка плоской опоры в проектное положение из-за недостаточной высоты подъема крюка плавучего крана может вызвать затруднение. Для уменьшения высоты плоской опоры перед установкой

в проектное положение, автором предложено следующее техническое решение (рисунок 2).

Техническим результатом, предложенного технического решения является уменьшение высоты плоской опоры за счет опускания ригеля и распорок с диагональными связями в уровень первого яруса стоек и раскладывания стоек второго и последующих ярусов плоской опоры.

Технический результат достигается за счет установки в верхней части стоек первого яруса с внешней стороны шарнирных петель.

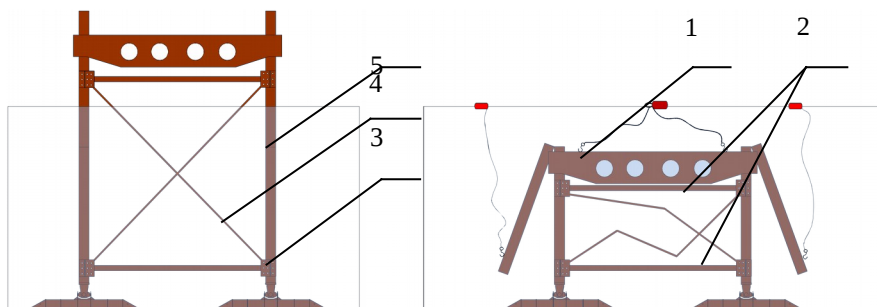


Рисунок 2 Порядок перевода плоской опоры РЭМ-500 в подводное положение.

1 – ригель; 2 – распорка К8; 3 – фасонка; 4 – диагональные связи; 5 – стойки

Для начала перевода опоры в подводное положение, необходимо закрепить верхние ярусы стоек технологической распоркой, а ригель застроповать краном и, после этого снять кронштейны. (Целесообразно для исключения работ по подаче кронштейнов прикрепить их к ригелю на мягких тросах.) После снятия кронштейнов снимаются стыковые накладки. Ригель и верхняя распорка соединяются технологическими связями, после этого снимаются болты, закрепляющие фасонки крепления верхней распорки К8.

Ригель с прикрепленной к нему верхней распоркой К8 краном опускается до нижнего яруса стоек и закрепляется. После этого разводятся стойки второго и следующих ярусов.

Собирается опора в обратном порядке. Для исключения работы водолазов по строповке конструкций, необходимо стропы не отцеплять от элементов опоры, а их обоймы и петли крепить к поплавкам.

Техническое решение для использования многоразового фундамента опоры вместо свайных фундаментов из пиленого леса.

Для сооружения фундамента в условиях неприемлемых для использования эстакады РЭМ-500, автором предлагается запатентованный многоразовый фундамент, способный заменить фундамент из пиленого леса. Состоит многоразовый фундамент из

платформы фундамента, винтовых свай с решетчатой направляющей, устройств для крепления решетчатой направляющей с платформой фундамента, средств доставки (рисунок 3).

Для облегчения работ по монтажу надстройки на платформе фундамента можно смонтировать либо башмаки эстакады РЭМ-500, балки М15 имущества УЖВ ЛТМП или другие элементы надстройки опоры.

Для увеличения максимальной глубины работы фундамента предлагается винтовые сваи и средства для их завинчивания объединить в один узел. Для облегчения предложенного узла за движитель принять гидродвигатель с дистанционной подачей рабочей жидкости от автономного источника или с берега.

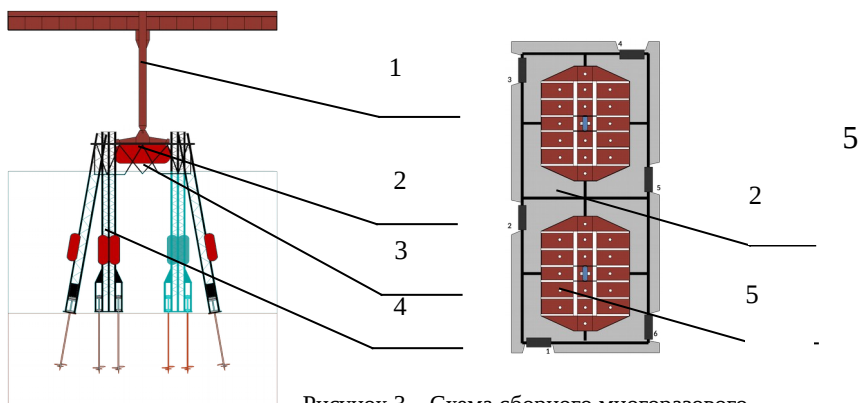


Рисунок 3 – Схема сборного многоуровневого фундамента.

1-эстакада РЭМ-500; 2-платформа фундамента; 3- понтоны для подъема платформы; 4-винтовые сваи с решетчатой направляющей; 5- башмак опоры РЭМ-500

Для увеличения глубины воды, при которой возможно использовать фундамент, соединение свазавинчиваемого узла с платформой предлагается посредством решетчатой направляющей.

Наиболее тяжелая задача представляется по проектированию устройства крепления решетчатой направляющей к краю платформы. Для нормального функционирования узел должен позволять изменять угол наклона и место крепления решетчатой направляющей, при этом передавать на грунт все виды нагрузок.

Для доставки фундамента в проектное положение винтовые сваи с решетчатой направляющей складываются наверху. После раскрепления лебедками опускаются и завинчиваются вертикальные маячные сваи. После закрепления маячных свай с платформой, от нее отводятся

средства доставки (понтон), опускаются и завинчиваются основные сваи.

Если крепление оставить только на вертикальных маячных сваях, то при ослаблении крепления платформу фундамента можно утопить, чем снизим вероятность ее обнаружения и поражения (рисунок 4).

Для разворота фундамента перед установкой надстройки платформа фундамента всплывает после закачивания воздуха в понтон и закрепляется на решетчатых направляющих.

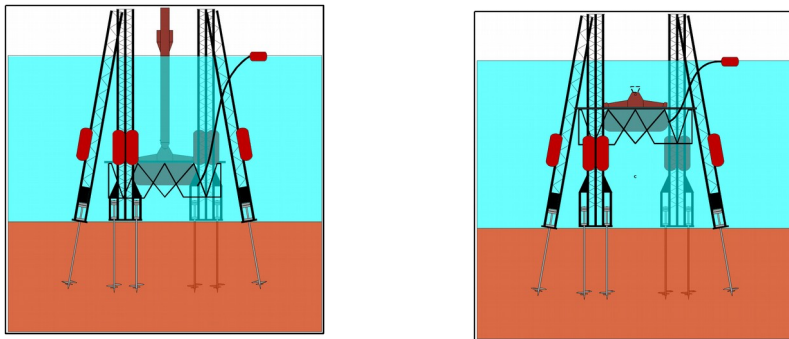


Рисунок 4 – Опускание под воду платформы фундамента после завинчивания винтовых свай

Таким образом, выполнение вышеперечисленных технологических и технических предложений, позволяет снизить эффективность применения противником ВТО и использовать способ восстановления мостов по старой оси в системе функционирования района мостовых переправ в режиме «пульсирования» при перекрытии крупных брешей.

Список литературы:

1 Металлическая эстакада РЭМ-500 техническое описание и инструкция по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации Военное издательство МО СССР Москва 1976 год.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТДЕЛЬНОЙ БРИГАДЫ ОПЕРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЙСК ВО ВНУТРЕННЕМ ВООРУЖЕННОМ КОНФЛИКТЕ

В. А. ЦХЕ, С. С. РУСЛЯКОВ

*Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева, г. Санкт-Петербург*

Аннотация: в данной статье идет речь о рекомендации по организации автоматизированного планирования технического обеспечения отдельной бригады оперативного назначения внутренних войск во внутреннем вооруженном конфликте.

Ключевые слова: органы управления (далее – ОУ), персональная электронно-вычислительная машина (далее – ПЭВМ), центр боевого управления (далее – ЦБУ), внутренние войска (далее – ВВ), автоматизированная система управления (далее – АСУ), пункт сбора и обработки информации (ПСОИ), техническое обеспечение (далее – ТехО), отдельная бригада оперативного назначения ОБрОН.

Целесообразность ориентации на применение вычислительной техники при реализации метода выработки решения на техническое обеспечение ОбрОН ВВ обусловлено не только обеспечением решения проблем «технического» характера (ввод-вывод информации и т.п.), но и возможностью практического осуществления наиболее рациональных форм и методов работы должностных лиц ОУ ТехО, в первую очередь – метода параллельного планирования. Это достигается за счет децентрализации вычислительных ресурсов: вместо одной (центральной ЭВМ) в интересах управления ТехО используется совокупность нескольких территориально-распределенных и одновременно функционирующих персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ), объединенных между собой линиями связи, так называемая локальная вычислительная сеть. При этом обеспечивается практически любое сочетание параллельного и последовательного методов работы, любая степень децентрализации обработки информации, возможность решения фоновых (локальных) задач непосредственно на рабочем месте должностного лица. Тем самым создаются благоприятные условия для преодоления противоречий между дефицитом времени и значительным объемом информации, подлежащей обработке в процессе выработки решения и организации планирования ТехО бригады ВВ во внутреннем вооруженном конфликте.

Выполненное исследование позволяет сформулировать ряд рекомендаций, одним из которых является упорядочение работы должностных лиц, причастных к планированию ТехО.

Так, одной из главных задач должностных лиц технической части ОБрОН и офицеров служб является организация сбора, подготовки и

обработки на электронной вычислительной машине (ЭВМ) необходимой по службам информации. В масштабах ОБрОНВВ эта задача может быть решена централизованно под руководством начальника штаба. Для этой цели необходимо использовать все имеющиеся каналы связи в интересах своевременного поступления на вычислительный центр (ВЦ) всего объема информации по этапам планирования в соответствии с ее потребностью.

Подготовку поступающей на ВЦ информации к вводу ее в ЭВМ целесообразно в определенных объемах проводить непосредственно в части, для чего следует использовать имеющиеся технические средства. При использовании АСУ во внутренних войсках возможно два подхода к использованию ЭВМ: централизованное решение комплексов задач по службам операторами вычислительного центра; выделение машинного времени различным отделениям и службам бригады ВВ для самостоятельного решения ими своих задач. В том и другом случаях для упорядочения использования ЭВМ необходимо разрабатывать график выделения машинного времени для соответствующих служб. Разработка графика должна осуществляться под общим руководством начальника штаба, с учетом потребности в машинном времени каждой службы для решения комплекса задач и разработки предусмотренных документов.

Реализация второго принципа использования ЭВМ предпочтительнее, однако, он может быть внедрен при условии, что должностные лица способны самостоятельно управлять ЭВМ, а на ЦБУ имеется несколько персональных ЭВМ или рабочих мест (дисплеев). Поэтому дальнейшее совершенствование АСУ ВВ представляется по пути создания в бригаде оперативного назначения автоматизированного рабочего места (АРМ) в каждой службе или полевых автоматизированных комплексов при выполнении СБЗ бригадой ВВ в отрыве от пунктов постоянной дислокации. Для подразделений, которые не включены в информационную систему АСУ, сбор информации должен осуществляться через пункты сбора и обработки информации (ПСОИ). На пункты сбора информации следует возложить задачи по сбору и предварительной обработке информации. В целях упорядочения этой работы в службах необходимо определить круг должностных лиц, ответственных за сбор, контроль и качество поступающей информации. Для чего следует этих лиц официально отдать приказом, как отвечающих за подготовку информации и ее обработку на ЭВМ.

Информационную базу для решения задач планирования следует создать по типу банка данных с отдельным хранением на внешнем накопителе постоянной, переменной и выходной информации. Формирование базы данных постоянной информации должно быть в основном завершено заблаговременно. Базу данных выходной информации целесообразно накапливать по мере решения комплекса

задач. Обновление переменной (оперативной) информации на внешних накопителях следует осуществлять ежесуточно, по мере поступления информации от подчиненных подразделений, и увязывать эти сроки с графиком работы ЦБУ. С целью сокращения времени на передачу сведений по каналам связи, а также их обработку, поступление информации должно осуществляться с соблюдением принципа «по изменению состояния».

Решение задачи по «Оценке наличия и состояния техники», специалистов, сил и средств ТехО следует производить ежесуточно, по мере поступления информации от подчиненных подразделений и в соответствии с графиком обработки информации на ЭВМ. Результаты решения данной группы задач целесообразно хранить на внешних накопителях и выдавать в службы только по санкционированному доступу как документы пояснительной записки к плану ТехО или в виде справок о наличии и состоянии техники, специалистов, сил и средств ТехО.

Решение задачи по «Оценке наличия и состояния техники», предназначенного для подготовки данных по запросам должностных лиц при выработке ими решения на организацию ТехО бригады ВВ, должно быть осуществлено не позднее чем за 4,0–4,5 часа, а решение по разработке основных документов плана ТехО - не позднее чем за 10,0–12,5 часа после получения задачи ЗКВ на планирование ТехО.

В зависимости от обстановки и потребности могут уточняться отдельные нормативы для планирования ТехО бригады.

Для этой цели предназначена задача по «расчету вероятных потерь техники», которая может решаться вне комплекса задач, а выходную информацию целесообразно хранить на внешних накопителях и использовать при планировании ТехО.

Выбор форм организации ТехО и направлений сосредоточения основных усилий сил и средств следует производить на основании данных, полученных при решении задач: по «Прогнозированию наличия и состояния техники в операции» и «Прогнозированию укомплектованности ОВрОН внутренних войск специалистами в операции», позволяющих принимать из множества возможных вариантов по критерию оптимальности наиболее рациональный.

Применение ПЭВМ дает возможность разрабатывать и применять унифицированные боевые документы по управлению техническим обеспечением (УБД ТехО). В настоящее время документы управления ТехО и информация в них, в связи с необходимостью обработки их на технических средствах АСУ ТехО, должны соответствовать следующим требованиям:

наличие стандартного формата и однообразной структуры расположения основных реквизитов;

минимальное количество разнообразных форм документов;
расположение реквизитов на документах должно обеспечить удобство их заполнения для последующей обработки;

построение форм должно быть удобным для обеспечения возможности контроля с учетом использования контрольных сумм, а также защитных кодов;

содержащиеся в документах термины и единицы измерения должны быть унифицированы для обеспечения сопоставимости взаимосвязанных показателей;

исключение избыточности и неоправданного дублирования информации, название любого документа должно быть построено по единым правилам, обеспечивающим автоматизированный поиск документа;

каждая форма документа должна включать не более одной таблицы.

Формы документов выполнены с учетом возможности применения их на АСУ, а также в условиях традиционных (ручных) методов работы.

Во всех случаях внедрения ЭВМ в практику работы ОУ согласно ГОСТ 24.204-80, 24.205-80 должна быть разработана у пользователя следующая технологическая документация: 1. Постановка (описание) комплекса задач; 2. Алгоритм решения комплекса задач; 3. Описание программ. Инструкция оператору-программисту по их применению. Программы на машинных носителях и их распечатки; 4. Инструкция офицеру штаба по использованию комплекса задач. Каждая часть документации должна быть оформлена в соответствии с требованиями руководящих документов.

Список используемых источников

1 Стативка, В. С. Проблема моделирования и оптимизации функционирования системы управления автотехническим обеспечением войск в операциях. Дис. докт. воен. наук. – Л. : ВАТТ, 1991.

2 Управление автотехническим обеспечением войск (сил). Учебное пособие, (под ред. докт. воен. наук профессора Стативка В.С.). – СПб. : ВАТТ, 1996.

3 Черненко, А. Н. и др. Статья «Проблемы совершенствования управления автотехническим обеспечением». Сборник рефератов депонированных рукописей. - М. : ЦВНИИ МО РФ, 1996.

4 ГОСТ 24.204-80, 24.205-80 Система технической документации на АСУ. Требования к содержанию документа «Описание постановки задачи», система технической документации на АСУ. Требования к содержанию документов по информационному обеспечению.

ПОВЫШЕНИЕ МОБИЛЬНОСТИ ВОЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ПОГРУЗО-ВЫГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Д. В. ШУВАЛОВ

*Военная академия материально-технического обеспечения имени
генерала армии А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург*

Предназначение практически всех военных предприятий и организаций (далее – организации) неразрывно связано с их частичными или полными территориальными перемещениями в целях оперативного выполнения поставленных задач.

Как правило, на вооружении практически всех военных организаций имеется техника. Перемещение этой техники в районы выполнения задач является острым вопросом. Проблема состоит в том, что большая часть воинских перевозок выполняется железнодорожным транспортом, что постоянно сопряжено с применением погрузочно-выгрузочных устройств, позволяющих машинам осуществлять погрузку и выгрузку с железнодорожных платформ.

С большой долей вероятности можно утверждать о том, что места назначения для перевозимых организаций будут характеризоваться отсутствием погрузочно-выгрузочных устройств, и проблему выгрузки машин придётся решать на месте, и скорее всего из подручных средств. Это предположение подтверждают многие источники (например, [1]), допускающие ситуации, когда погрузочно-выгрузочные устройства на перегонах и промежуточных станциях будут отсутствовать, и рекомендуют использовать для погрузки (выгрузки) вооружения и военной техники устройства из подручных материалов (брёвен, грунта и др.).

Сооружение платформ и аппарелей из рельсов и шпал для погрузки техники на железнодорожные платформы является трудоёмким и ресурсоёмким процессом. Достаточно отметить, что сооружение торцевой платформы шириной в одну шпалу требует выполнение работ командой из 20 человек в течение 2,3 ч. Потребность в материалах составит 140 деревянных шпал, более 30 м рельсов, 200 строительных скоб [4].

Необходимо учесть, что некоторым образцам машин, имеющихся на снабжении в организациях (бульдозеры, экскаваторы на гусеничном ходу, бурильные машины и др.), для въезда на железнодорожные платформы необходимы более широкие аппарели и платформы. Таким образом, для строительства торцевой платформы шириной в 2 шпалы необходимо привлечь команду численностью уже до 30 человек, силами которых указанная конструкция будет собираться уже из 300 шпал в течение 3,3 ч [1].

Боковая платформа длиной в 4 шпалы со сплошным съездом, собираемым перпендикулярно железнодорожному пути, будет собираться в течение 4,3 ч командой из 30 человек с использованием более чем 400 шпал [4].

Вышеизложенное настойчиво свидетельствует о необходимости разработки альтернативных конструкций и приспособлений, позволяющих более оперативно производить погрузку техники на железнодорожный транспорт и её выгрузку.

Автором статьи уже ранее предложены подобные конструкторско-технологические решения [2, 3, 4, 5], позволяющие избежать больших людских затрат и затрат техники для сооружения погрузочно-выгрузочных устройств. Особенностью этих разработок является то, что они все имеют основу – железнодорожную платформу. В настоящей статье представлено погрузочно-выгрузочное устройство, которое не имеет в основе железнодорожной платформы.

Мобильная саморазборная аппаратель [6] (рисунок 1) является конструкцией, позволяющей заезжать пневмоколесной и гусеничной технике (далее – технике) на открытые железнодорожные платформы с уровня земли и съезжать с этих платформ.

Мобильная саморазборная аппаратель перевозится на автомобиле, оборудованном краном-манипулятором, и имеющем упоры для предотвращения самопроизвольной разборки или смещения мобильной саморазборной аппаратели (рисунок 2).

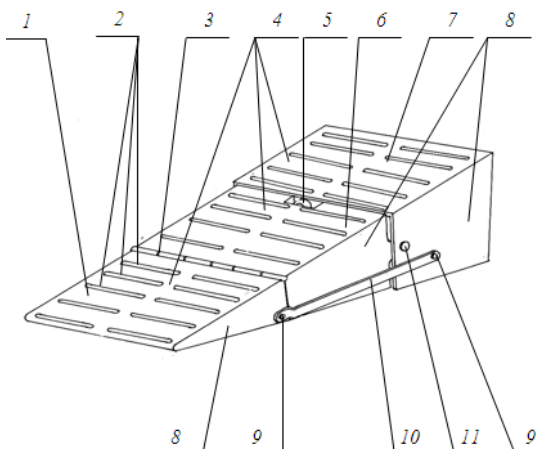


Рисунок 1 – Мобильная саморазборная аппаратель.

1 – малый блок; п
поверхность; п
большой блок; пи

оз. 4 – рабочая
лок; поз. 7 –
оз. 11 – цапфа

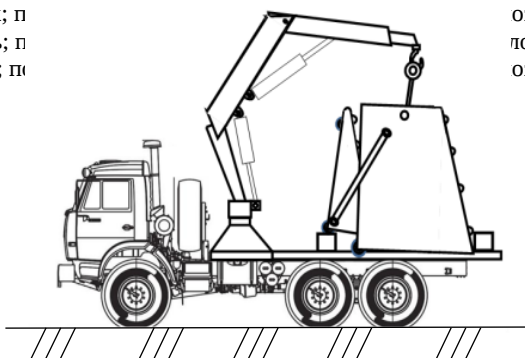


Рисунок 2 – Мобильная саморазборная аппарател
в собранном состоянии на автомобиле

Установка и использование мобильной саморазборной аппарели происходит следующим образом. Автомобиль, оборудованный краном-манипулятором, подъезжает к железнодорожной платформе, предназначенной для транспортировки техники и краном-манипулятором выгружает подвижную саморазборную аппарел таким образом, чтобы большой блок рабочей поверхности был обращён в сторону железнодорожной платформы (рисунок 3).

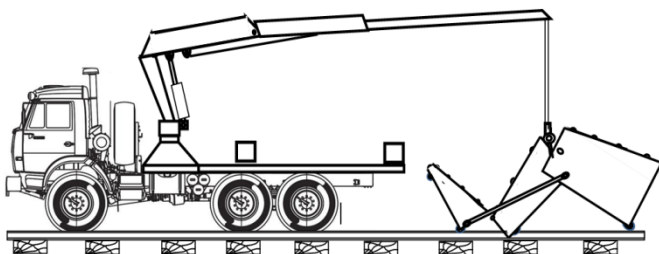


Рисунок 3 – Выгрузка мобильной саморазборной аппарели

При дальнейшем опускании мобильной саморазборной аппарели под действием сил тяжести мобильная саморазборная аппарел раскладывается, как показано на рисунке 4.

При этом большой блок с помощью рычага воздействует на малый блок. Мобильная саморазборная аппарел по железнодорожному пути при помощи, например, крана-манипулятора, перемещается вплотную к железнодорожной платформе, и там обездвиживается, например, железнодорожным башмаком.

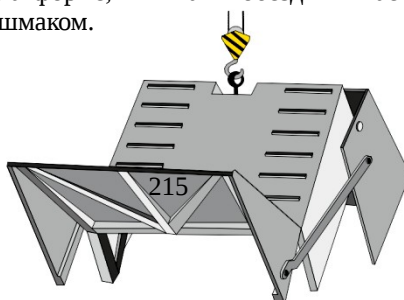


Рисунок 4 – Раскладывание мобильной саморазборной аппарели

Крюк крана-манипулятора отсоединяют от захватного устройства и автомобиль с краном-манипулятором отъезжает от мобильной саморазборной аппарели. Далее, мобильная саморазборная аппарель готова для погрузки машин (рисунок 5).

После завершения погрузки техники на железнодорожную платформу, последней на железнодорожную платформу заезжает автомобиль, оборудованный краном-манипулятором. Кран-манипулятор вытягивает стрелу так, чтоб крюк оказался над захватным устройством. Кран-манипулятор зацепляет мобильную саморазборную аппарель и начинает поднимать вверх. При этом, под действием сил тяжести конструкция начинает складываться (рисунок 6).

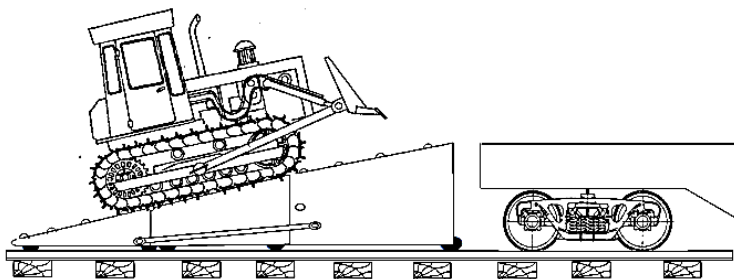


Рисунок 5 – Погрузка бульдозера на подвижной состав при помощи мобильной саморазборной аппарели

Таким образом, по сравнению с существующими аппаратами мобильная саморазборная аппарель позволит существенно уменьшить трудоёмкость её монтажа и демонтажа, повысить оперативность работ по погрузке техники на железнодорожные платформы и выгрузке техники с этих платформ, а так же позволит демонтировать мобильную саморазборную аппарель уже погруженными на железнодорожные платформы грузоподъёмными машинами.

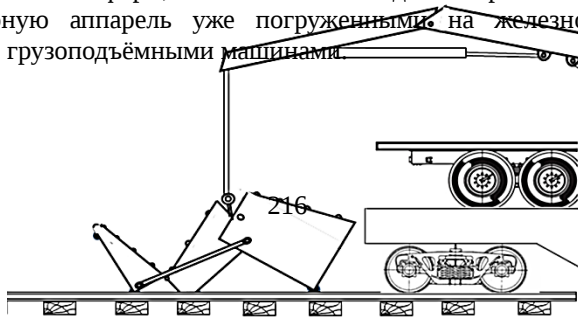


Рисунок 6 – Сборка мобильной саморазборной аппарели «с платформы»

Список литературы:

1 Наставление по перевозкам войск железнодорожным, морским, речным и воздушным транспортом. М.:Воениздат, 1985. – 304 с.

2 Шувалов Д. В., Ложечников Г. А. Перспективные технические разработки для транспорта России. / Д. В. Шувалов, Г. А. Ложечников// Материалы международной научно-практической конференции. 1-2 октября 2014 г. С-Пб.: ИПП РАН. -319 с.

3 Шувалов Д. В. и др. Универсальная механизированная железнодорожная платформа. Патент на полезную модель № 112130 от 10 января 2012 г.

4 Шувалов Д. В. Железнодорожная платформа с раздвижной аппарелью. Патент на полезную модель № 138076 от 05 февраля 2014 г.

5 Шувалов Д. В. Механизированная железнодорожная платформа для рельсоколёсных машин. Патент на полезную модель № 141670 от 05 мая 2014 г.

6 Шувалов Д. В. и др. Мобильная саморазборная аппарель. Патент на изобретение № 2563713 от 26 августа 2015 г.

УДК 624.21/8.004.68

**НЕОБХОДИМОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
МОСТОВ И ПУТЕПРОВОДОВ КАК РЕЗУЛЬТАТ
ФИЗИЧЕСКОГО И МОРАЛЬНОГО ИЗНОСА**

А. В. ЩЕГЛОВА

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Одной из причин, вызывающей необходимость реконструкции мостов и путепроводов, является физический и моральный износ пролетных строений и опор. Степень этого износа определяют натурными обследованиями, а в необходимых случаях — и испытаниями, выполняемыми мостообследовательскими станциями и лабораториями МПС, а также специальными организациями.

Моральный износ сооружения - несоответствие его несущей и пропускной способности постоянно возрастающим в процессе эксплуатации требованиям обеспечения эффективной работы автомобильного транспорта в отношении грузоподъемности моста, скорости в движении, безопасности движения по нему автомобилей [1].

Существует 2 разновидности морального износа. **Первая** из них возникает в том случае, когда фактические напряжения в основных конструктивных элементах моста от вновь вводимых и увеличенных расчетных временных нагрузок превышают допустимые, принятые при проектировании несущих элементов сооружения. **Вторая** разновидность морального износа обусловлена постоянным ростом интенсивности движения на мостах, вызывающим снижение пропускной способности сооружений. Скорость морального износа средних мостов в 4-5 раз выше, чем скорость физического износа их пролетных строений, т.е. моральное старение моста наступает на 10-14-й год его эксплуатации. В практике мостового строительства известны случаи, когда вновь построенные сооружения по уровню пропускной способности являлись морально устаревшими. Быстрый моральный износ мостовых сооружений объясняется следующими основными причинами.

Во-первых, высокими темпами роста грузооборота и интенсивности движения на автомобильных дорогах, которые, например, в районах с хорошо развитой дорожной сетью приводят к значительному износу моста, т.е. необходимость его перевода в следующий по величине габарит в среднем на 19-20-й год эксплуатации сооружения.

Во-вторых, недоучетом при определении нормативной интенсивности движения на мостах особенностей их работы как своего рода транспортных узлов на автомобильных дорогах.

Поэтому целесообразно при проектировании мостов на будущее увязывать срок службы, при котором моральный и физический износы были одинаковы. Для обеспечения в нормальных рамках эксплуатационных показателей нужно предусматривать требования перспективы [2]. Моральный износ сооружения происходит независимо от физического.

Физический износ – это снижение по времени грузоподъемности, прочности, долговечности и надежности моста или его отдельных конструктивных элементов в результате влияния внешних факторов (температуры, ветровых воздействий, расчетных временных нагрузок и т. д.). Физический износ основных конструктивных элементов сооружения (проезжей части, пролетных строений, опор и фундаментов) происходит неравномерно, что объясняется различными условиями их работы под воздействием эксплуатационных нагрузок. Наиболее быстро физически изнашиваются элементы проезжей части моста, которые находятся непосредственно под воздействием динамических временных

нагрузок (покрытий, деформационных швов, плит и т. д.), имеющих срок службы от 5 до 15 лет.

Несоответствие сроков службы отдельных конструктивных элементов сроку службы мостового сооружения в целом обуславливает необходимость замены элементов проезжей части и пролетных строений в процессе его эксплуатации, что осуществляется на практике при проведении капитальных ремонтов моста. При этом эффективность работ значительно возрастает, если наряду с физическим устраняется и моральный износ сооружения.

При реконструкции моста вследствие недопустимого физического износа его элементов в общем случае заменяют старые пролетные строения новыми и усиливают или переустраивают опоры. При замене пролетных строений следует применять типовые конструкции для новых мостов или специально разработанные для замены старых. А в индивидуальных решениях максимально использовать элементы типовых конструкций.

Изменения условий эксплуатации дороги или водного пути, на которых расположен мост, могут вызвать достаточно сложные и дорогостоящие работы по реконструкции [3]. Так, одним из массовых видов реконструкции мостов является переустройство однопутных мостов в двухпутные. В связи с электрификацией железных дорог в целом ряде случаев приходится изменять как по высоте, так и по ширине габаритные размеры внутреннего очертания пролетных строений.

При строительстве автомобильных дорог нередко возникает необходимость пересечения ими больших рек. Вместо сооружения в таких случаях дорогостоящих мостов можно на некоторый срок использовать существующие железнодорожные мосты для устройства на них автомобильных проездов. Вполне понятно, что технико-экономическая целесообразность переустройства железнодорожного моста в совмещенный должна быть обстоятельно исследована, при этом следует особенно тщательно проанализировать перспективы изменения подвижных нагрузок, порядок усиления, а также вопросы, связанные с устройством развязок, обеспечения безопасности движения и содержания моста [4].

В нашей стране накоплен небольшой опыт по реконструкции эксплуатируемых мостов в самых различных условиях. При реконструкции больших мостов на каждом из них неизбежны свои технические и организационные особенности, вызванные целым рядом обстоятельств, которые определяются директивными сроками реконструкции, условиями движения поездов, конструкцией и состоянием основных элементов моста и т. д.

Таким образом, изменение технического состояния искусственных сооружений в следствии получения ими в процессе эксплуатации морального и физического износов различных степеней приводит к необходимости реконструкции с применением типовых (стандартных) решений и заставляет в значительной степени использовать индивидуальные решения не только для объекта в целом, но и на стадии реконструкции отдельных элементов и конструкций.

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** О подходах к оценке физического износа / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 5(26). – с. 72–74.2

2 Общие сведения и обоснования реконструкции мостов / [S&T \(Super Tehnology\)](#) [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.snt.com.ru/obshchie-svedeniya-i-obosnovaniya-rekonstrukcii-mostov?page=2.pdf>. – Дата доступа: 06.03.2016.

3 **Саламахин П.М.** Мосты и сооружения на дорогах / Саламахин П.М// М, Транспорт. – 1991. – Уч.1. – 352.

4 **Саламахин П.М.** Мосты и сооружения на дорогах / Саламахин П.М// М, Транспорт – 1991 – Уч. 2. – 365.

УДК 624.21/8.004.68

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В МАТЕРИАЛАХ И КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОЖДБР ЗАДАЧ В ОПЕРАЦИИ ГВ(с)

Н. И. ЮРАСЮК

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Одной из главных задач отдельной железнодорожной бригады в ходе наступательной (КН) операции ГВ(с) является восстановление железнодорожного участка. Для успешного выполнения полученной задачи необходима четко налаженная организация обеспечения частей бригады восстановительными материалами и конструкциями (СВМиК), которая представляет собой комплекс мероприятий, проводимых в ходе подготовки к восстановлению разрушенного железнодорожного участка, а также и в ходе его восстановления. Выполнение комплекса названных мероприятий невозможно без эффективного функционирования существующей в Железнодорожных войсках системы материально-технического обеспечения [1]. Известно, что

организация обеспечения *ождбр* СВМиК непосредственно включает в состав своего понятия термина «планирование» потребности в СВМ и К, которое заключается в определении потребности СВМиК в соответствии с полученными задачами.

Успешное решение задач обеспечения *ождбр* СВМиК достигается: четкой организацией применения сил и средств материального обеспечения; своевременным подвозом и накоплением материальных средств, эшелонированием и маневром ими; высокой специальной подготовкой личного состава частей (подразделений), своевременным проведением мероприятий по защите, охране и обороне частей (подразделений) МТО (тыла); устойчивым и непрерывным оперативным и скрытым управлением ими.

Обеспечение соединений и частей ЖДВ ВО СВМиК может осуществляться с баз «Росрезерва», складов строительных материалов ОАО «РЖД» (организаций – владельцев инфраструктуры железнодорожного транспорта), баз строительных материалов Железнодорожных войск (бсм ЖДВ), а также за счет местных заготовок, войсковых (возимых) запасов частей.

Потребности в СВМиК для восстановления бригадного участка определяются на основе оценки характера и объема его разрушения, проектных решений на восстановление объектов и плановых норм потребности в материалах и конструкциях на восстановительные работы. При этом учитывается необходимость создания войсковых (подвижных) запасов к концу восстановления участка и возможные потери. Потребность в СВМ и К определяют с учетом их расхода, потерь и создания необходимых запасов к концу выполнения поставленных задач на основании заблаговременных проектных соображений по восстановлению железнодорожных объектов, а также принимаемых решений на восстановление разрушенных объектов.

Оценка потребности в СВМиК представляет собой довольно сложную инженерную и организационную задачу. Для ее решения разработан специальный аналитический метод, сущность которого заключается в следующем. Потребность G_{jk} в СВМ и К каждого k -о вида для каждого j -о объекта работ определяют, исходя из объемов восстановительных работ на объекте и норм расхода СВМ и (К) на единицу объема работ. В данном случае рассматриваемая потребность

рассчитывается по формуле (1), источник [3]:
$$G_{jk} = \sum_{\beta} \nu_{\beta}^{(k)} \cdot W_{\beta}^{(j)}$$

где $\nu_{\beta}^{(k)}$ – норма расхода материалов (конструкций) k -о вида в физических измерителях на измеритель объема работ β -о вида;

$W_{\beta}^{(j)}$ – объем работ β -о вида на j -м объекте в физических измерителях.

Объём работ $W_{\beta}^{(j)}$ определяют в результате выбора способа их ведения по прогнозируемым разрушениям объекта, либо по фактическим его разрушениям, полученным по данным технической разведки. Потребность в СВМ и К, полученная в результате расчёта по прогнозируемым объёмам работ, является ориентировочной и нуждается в уточнении по фактическим объёмам работ на объектах.

Потребность в СВМ и К определяется в период подготовки бригады к предстоящим действиям по двум методам: для барьерных объектов – по заблаговременным проектным соображениям с использованием вероятностных показателей, по не барьерным объектам – по укрупненным плановым нормам. В ходе операции – по разработанным на основании данных технической разведки проектам восстановления разрушенных объектов. Для оценки общей потребности в СВМ и К на восстановление железнодорожного участка добавляются объёмы материалов и конструкций прогнозируемых потерь и объёмы войсковых запасов, создаваемых для развертывания работ при выполнении последующей задачи.

Определение потребности в СВМ и К может осуществляться на разных этапах выработки решения и планирования применения бригады, как правило такая задача решается различными методами, а именно. При определении замысла потребность в СВМ и К определяется по заблаговременным проектным соображениям на восстановление объектов (по вероятностной методике) по зависимостям (2...5):

Общую потребность $M_r^{(общ.)}$ в СВМ и К каждого г-го вида рассчитывают по формуле:

$$M_r^{(общ.)} = k^{(рез.)} \cdot [M_r^{(расч.)} + M_r^{(пов.жив.)}]$$

где $k^{(рез.)}$ – коэффициент, учитывающий резерв СВМ и К ($k^{(рез.)} = 1,05$);

$M_r^{(расч.)}$ – расчетная потребность в СВМ и К;

$M_r^{(пов.жив.)}$ – потребность в СВМ и К для повышения живучести объектов.

$$M_{r\beta}^{(расч.)} = \sum_{i=1}^m M_i^{(r\text{ средн.})} + \alpha_{\beta} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m D(M_i^{(r)})}, \quad (3)$$

где $M_r^{(расч.)}$ – расчетная потребность в СВМ и К с надёжностью β ;

$M_i^{(r\text{ средн.})}$ – средняя потребность в СВМ и К для i -о объекта работ ($i = 1...m$);

α_{β} – коэффициент, зависящий от принятого уровня надёжности β ;

$D(M_i^{(r)})$ – дисперсия потребности в СВМ и К.

$$M_{ir}^{(средн...)} = \sum_{j=1}^n [M_j^{(ir)} \cdot P_j^{(i)}], \quad (4)$$

где $M_j^{(ir)}$ – потребность в СВМ и К по варианту j восстановления объекта;

$P_j^{(i)}$ – вероятность применения варианта восстановления объекта.

В ходе восстановления железнодорожного участка вероятностные показатели потребности в СВМиК уточняются по разработанным на основании данных технической разведки проектам восстановления разрушенных объектов. До начала восстановительных работ техническая разведка уточняет состояние разрушенных объектов и на основании ее данных выбирают способы восстановления разрушенных объектов, определяют объёмы восстановительных работ и уточняют потребность в СВМиК для каждого объекта. Уточнение потребности в СВМиК осуществляют с использованием средних норм расхода на измеритель объёма восстановительных работ по формуле:

$$M_{ir} = \sum_{v=1}^s [\mu_v^{(r)} \cdot W_v^{(i)}], \quad (5)$$

где $\mu_v^{(r)}$ – норма расхода СВМ и К на измеритель объёма работ v -го вида

($v = \overline{1...s}$);

$W_v^{(i)}$ – объём работ v -го вида на объекте в физических измерителях.

В современных условиях при значительном количестве восстанавливаемых объектов и значительной номенклатуре СВМиК задача расчета потребности в материальных средствах автоматизирована и решается по подготовленному программному продукту на персональной ПЭВМ. В условиях ограниченного времени требования, предъявляемые к планированию (научная обоснованность, оптимальность принимаемых решений, оперативность) – могут быть обеспечены только при применении ПЭВМ. Успешное применение ПЭВМ может быть достигнуто за счет использования заранее разработанных алгоритмов, программ и создания информационной базы для решения задач по обеспечению восстановления железных дорог материалами и конструкциями.

Задача покрытия потребности в СВМиК решается в следующей последовательности: оцениваются войсковые запасы в частях бригады и на складах *обмто* бригады, оцениваются планируемые поставки СВМиК с баз строительных материалов ЖДВ, с ГОЛБАЗЫ восстановительного имущества, затем учитываются централизованные

поставки с баз «Росрезерва», складов спецзапасов ОАО «РЖД», других источников, указанных в распоряжении по старшего начальника по службе МТО. Важным источником покрытия потребности бригады в СВМиК являются заготовки их из местных источников, которыми покрывается дефицит внутренних и централизованных поставок.

Список использованных источников

- 1 Учебное пособие. Основы материально-технического обеспечения Железнодорожных войск. С-Пб, ВА МТО, 2013.
- 2 Организация восстановления железных дорог. Учебник. СПб : ВАМТО, 2013 г.
- 3 Решение транспортных задач: учеб. пособие / А. В. Семериков. – Ухта : УГТУ, 2013 г.
- 4 Скобеев С.В. «Методика обоснования требуемых производственных возможностей отдельной железнодорожной бригады». С-Пб, ВАТТ, 2008 г.

УДК 624.21/8.004.68

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТОЧНЫМ ОРУЖИЕМ

М. Г. КОЗЛОВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В годы Великой Отечественной войны основным способом восстановления было возведение моста, открытие движения поездов по нему и передача эксплуатационным органам. Такой подход был оправдан тем, что объем повторных разрушений допускал возможность их ликвидации силами эксплуатационных формирований.

Наличие высокоточного оружия предполагает многократное воздействие на объекты мостовых переходов. Так, основной объект мост может быть повторно разрушен уже в процессе восстановления (строительства). Поэтому пересмотр и уточнение сложившихся взглядов на восстановление объектов железнодорожных мостовых переходов, а также поиск новых способов выполнения задач для обеспечения устойчивого функционирования мостовых переходов стал актуальным.

Современная техника разведки и наблюдения позволяет противнику достаточно надежно определить координаты объектов воздействия и их состояние, контролировать результаты первых ударов по объектам и

планировать удары по еще не разрушенным или восстановленным объектам. Прогнозируемый срок службы восстановленного большого моста до нанесения противником следующего удара не превышает нескольких часов или суток. В силу объективных причин это обстоятельство в настоящее время не учитывается при выборе способов восстановления объектов и при обосновании мероприятий по обеспечению их устойчивой работы.

Таким образом, возросшие возможности противника по обнаружению и поражению железнодорожных мостов требуют нового подхода к организации восстановления и технического прикрытия внеклассных и больших мостов. В современных условиях объекты мостового перехода требуется не только восстановить, но и обеспечить эксплуатацию в течение заданного периода, то есть обеспечить устойчивое его функционирование.

Устойчивое функционирование мостового перехода во многом будет определяться способом и восстановлением движения поездов. По существующим взглядам обоснование оптимального способа восстановления движения предусматривает исходить из минимального срока выполнения восстановительных работ при минимизации потребности в силах и средствах, однако повторные разрушения, как правило, не учитывались. В результате выбранный способ восстановления может быть не только не оптимальным, но и даже не рациональным.

Учитывать повторные разрушения целесообразно путем моделирования процессов восстановления и эксплуатации железнодорожного участка с мостовым переходом за расчетный период, т. е. прогнозировать продолжительность перерывов в движение поездов, затраты сил и средств для различных способов организации восстановительных работ и тем самым оптимизировать принимаемые решения.

Так как количество возможных вариантов за прогнозируемый период может быть значительным, то рассмотреть все возможные способы восстановления и повышения живучести можно только при определенных условиях обстановки. Оказалось, что для каждого цикла "поражения – восстановления" количество приемлемых вариантов возрастает в геометрической прогрессии. Анализ показывает, что комплексные характеристики вариантов проявятся уже в первые 2–3 цикла восстановления и эксплуатации мостовых переходов.

При первых двух циклах в ряде случаев возможно нечеткое проявление закономерностей восстановления и эксплуатации. Для надежного обоснования решений по восстановлению и обеспечению живучести

объектов рекомендуется рассматривать только первые три цикла "поражения – восстановления".

Наиболее сложной задачей при моделировании действий железнодорожных войск является прогнозирование возможных сроков функционирования железнодорожных объектов до их первичного и повторных разрушений. Продолжительность работы объекта до разрушения зависит от большого количества вероятностных факторов: потенциальных возможностей противника, его взглядов на ведение боевых действий, стратегии боевого воздействия; важности бесперебойной работы железнодорожного направления в общем комплексе воинских перевозок; степени эффективности вывода из строя данного железнодорожного объекта; удаления от линии соприкосновения с противником и возможностей средств поражения, а также от качества и полноты выполнения мероприятий по повышению живучести мостового перехода.

Важность объекта, целесообразность и возможность его поражения при моделировании учитываются вероятностью воздействия противника на данный железнодорожный объект до 1000 км от линии фронта. Уточненная таблица значений вероятности воздействия противника на железнодорожные объекты представлена в таблице 1.

Совокупность мероприятий по повышению живучести объектов мостового перехода условно допустимо разделить [1] на те мероприятия, которые могут сократить размеры разрушений и потери сил и средств, и на мероприятия снижения влияния разрушений на пропуск поездов через водные преграды.

Одним из важнейших мероприятий является защита мостовых переходов от ВТО. При организации защиты необходимо учитывать некоторые особенности конструкции ВТО: недостаточную защищенность его многоканальных систем наведения; возможность уничтожения управляемых боеприпасов на конечном участке полета или увода их на ложные цели; потребность в дополнительной проверке данных радиолокационной, радиотехнической, частично тепловизионной систем разведок визуальными и оптико-электронными средствами; высокую чувствительность оптико-электронной разведки и радиосвязи к помехам [3].

Приведенные выше мероприятия повышения живучести железнодорожных мостовых переходов уже достаточно проверены и обоснованы, имеется некоторый опыт применения в годы ВОВ, и на исследовательских учениях в послевоенный период. В последние годы развитие получило "дублирование и устройство ложных мостовых переходов", "применение аэрозольных завес", и другие мероприятия.

Таблица 1 – Оценочные значения вероятностей воздействия противника на железнодорожные мосты

Классификация объектов	Наименование и основные характеристики объекта	Значения при удалении объекта от линии фронта до 1000 км
Особой важности	Внеклассные мосты на основных железнодорожных направлениях с особо трудными условиями восстановления: длиной более 500 м и глубиной воды более 6 м, а также мосты высотой более 25 м	0,95–1,0
Первой категории	Большие и внеклассные мосты на основных железнодорожных направлениях длиной 200–500 м через реки с глубиной русла более 4 м	0,9–1,0
Второй категории	Большие мосты длиной 100–200 м и сложные средние мосты в стесненных условиях на основных и второстепенных направлениях	0,7–0,9

В современных условиях дублирование со 100%-ной готовностью моста нецелесообразно, так как удаление дублера даже на 3–5 км от капитального или временного моста не гарантирует его от уничтожения при ударах по действующему мосту. Кроме того, в этом случае повышается вероятность обнаружения, а значит и уничтожения как основного, так и моста-дублера. Поэтому может быть рациональным применение скрытого дублирования путем подготовки дополнительных створов для мостов на жестких опорах и запасных створов для наплавных мостов, создание условий для быстрого перехода к паромной переправе и т. д. В дополнительных створах могут быть сооружены мосты на жестких опорах, с выполненными работами по устройству фундаментов и запасом на некотором удалении от моста подготовленных к монтажу надстроек опор (при необходимости) и пролетных строений. Таким образом, на оси моста будут только отдельные точки фундаментов опор, что не позволяет противнику сделать предположение о возможности устройства моста в этом створе и в то же время уже будут заблаговременно выполнены наиболее трудоемкие и требующие значительных затрат времени работы. При таком подходе срок восстановления движения будет определяться временем установки пролетных строений и составит для существующих конструкций и технических средств транспортных войск, в зависимости от длины моста, количества и типа пролетных строений от 6 до 20 часов.

Приведенные сроки уже будут сопоставимы со сроками наводки наплавных мостов и могут быть существенно сокращены при изменении

технологии установки пролетных строений и весовых характеристик последних. Кроме того, применение дополнительных створов позволяет, при необходимости, сравнительно оперативно разобрать мост, тем самым сохранить наиболее дорогостоящие и дефицитные конструкции – пролетные строения. Рассмотренный выше способ обеспечения живучести мостового перехода уже находит применение в инженерных войсках [4].

Разновидностью этого способа, успешно используемого в инженерных и дорожных войсках, является содержание мостов в режиме "пульсирования". Он заключается в периодическом переключении движения поездов с одного створа на другой и разборкой (частичной или полной) выведенного из эксплуатации моста. Сроки переключения движения поездов будут зависеть от активности противника, погодных условий, объемов выполненных мероприятий маскировки, т. е. продолжительности безопасного функционирования моста на одном месте с заданной надежностью» на уровне 0,7–0,8.

Для мостов инженерных войск, расположенных на удалении более 150 км от линии соприкосновения с противником, периодичность действия может составить 5–6 часов, а для мостов дорожной бригады 1,5–4 часа [4]. Автором с учетом работы [4] предложена уточненная методика расчета продолжительности безопасного функционирования железнодорожного моста до смены створа. Оказалось, что эти сроки могут быть увеличены по сравнению с принятыми в инженерных и дорожных войсках, и составят от 10 часов до нескольких суток.

В настоящее время реально реализовать режим "пульсирования" можно только с помощью табельных наплавных железнодорожных мостов или собранных из судов речного флота. Имеется ряд проработок [5] по конструктивным и технологическим решениям мостов на жестких опорах, которые могли бы содержаться в режиме "пульсирования", а также использоваться в подводных мостах.

Подводный мост – единственный вид переправы, который обладает не только некоторыми свойствами скрытности, но и повышенной устойчивостью к воздействию по нему современными средствами поражения. Эффективность строительства подводных мостов в условиях современной войны подтверждена опытом боевых действий в Корее и Вьетнаме. Например, на одной из рек Кореи американская авиация в течение нескольких месяцев не могла обнаружить подводный мост, функционирующий наряду с низководными мостами. Низководные мосты непрерывно разрушались, на их восстановление расходовались значительные силы и средства, а подводный мост практически эксплуатировался непрерывно [6]. Их относительная взрывоустойчивость на порядок выше, чем у высоководных

(временных) мостов. В сочетании с ложными мостами такое решение может быть перспективным.

Однако следует отметить и недостатки: большая сложность и трудоемкость возведения из местных материалов, снижение пропускной способности за счет уменьшения скоростей движения. Для железнодорожных мостов существенным ограничением использования подводных мостов могут стать сложности сооружения подходов к ним. Однако направление перспективно и исследования в этом направлении не ведутся.

Практика железнодорожных (транспортных) войск, проведенных учений в области обеспечения живучести мостов показывает, что эффективными и распространенными приемами скрытия в современных условиях является применение радиолокационных отражателей, специальных покрытий, дымов, аэрозолей, табельных маскировочных сетей, вертикальных и горизонтальных масок.

Опыт ВОВ в области маскировки мостов заслуживает внимания, но с учетом новых средств разведки и поражения. Если в годы ВОВ применялось, как правило, визуальное наблюдение и фотографирование, то в зоне Персидского залива применялись средства разведки во всем диапазоне электромагнитного излучения. Многократно повысилась оперативность представления и обработки разведывательной информации, практически неограничены возможности разведки по глубине и времени суток.

В специальной литературе, как правило, различают маскировку путем постановки дымовых завес и образования прикрывающих аэрозольных облаков. Дымовые завесы предназначены для скрытия не только мостового перехода (переправы), но и перекрестков дорог, подходов к мостам и других ориентиров. Прикрывающие облака предназначаются для ослабления рабочего сигнала головки самонаведения (ГСН) и для усиления уровня шумов, поступающих в приемную часть средств нападения. Это приводит к выводу из строя ГСН, и оружие перестает быть высокоточным [7].

Применение аэрозолей также затрудняет ведение противником оптической и оптикоэлектронной разведки. Экспериментально подтверждено, что даже уже имеющимся на вооружении аэрозолями можно снизить эффективность ведения разведки противника до 80 % [7].

Однако отсутствие автоматического приведения в действие пиропатронов для образования аэрозолей снижает эффективность защиты. Имеющиеся опытно-конструкторские наработки требуют создания опытных образцов и проведение полевых испытаний, что в современных экономических условиях не может быть выполнено в ближайшие годы. Относительно простые и недорогие приемники

лазерного излучения от систем наведения УАБ не решают проблему комплексности защиты от других систем наведения (тепловизионных, радиолокационных, телевизионных и т. д.), на которые все больше ориентируются создатели этого оружия в странах НАТО.

Тем не менее, в ближайшие годы основной системой наведения УАБ при действиях с самолетов тактической авиации будут ФЛКЦ и ГСЛКЦ, работающие на приеме отраженной от цели лазерной энергии. Поэтому можно считать, что на удалении до 1000 км от линии фронта могут применяться аэрозольные облака с приводом от приемника лазерной энергии.

На удалении свыше 1000 км для поражения объектов в основном будут использоваться крылатые ракеты с системой наведения на конечном участке полета DSMAC, что делает целесообразнымкрытие прилегающих к мостовому переходу районов аэрозольными завесами (задымлением). Тем более что на этом удалении уже может сработать система оповещения о налете на объект.

Представляется, что задачи по электронному подавлению технических средств разведки и каналов управления систем наведения должны выполнять специализированные части РЭБ, которые привлекаются для защиты железнодорожных мостов по согласованию с командованием фронта или территориального объединения. С ними также должны решаться вопросы о выделении на прикрытие мостов дополнительных средств войсковой ПВО.

Транспортным войскам целесообразно сосредоточить внимание на подготовке к выполнению мероприятий пассивной защиты: скрытия элементов мостовых переходов, имитации объектов и действий войск.

В целом можно утверждать, что обеспечение устойчивого функционирования мостовых переходов достигается выполнением комплекса мероприятий повышения живучести, на территории, где находятся действующие мосты и подходы к ним, причалы переправ, станции ожидания, разъезды, ложные объекты, силы и средства, призванные обеспечить функционирование мостового перехода. Предлагается, по аналогии с устоявшейся терминологией в инженерных и дорожных войсках, данную территорию называть «районом мостов и переправ».

Основным критерием оперативной эффективности мероприятий защиты мостового перехода является вероятность его сохранения:

$$P_c = 1 - P_p = 1 - P_n P_{вс} P_{дп},$$

где P_n – вероятность нападения противника на данный железнодорожный объект; $P_{вс}$ – вероятность вскрытия мостового перехода. Для капитальных мостов принимается равной 1, для вновь построенных (наведенных)

военных мостов рассчитывается в зависимости от возможностей средств разведки и выполнения мероприятий маскировки; $P_{дп}$ – вероятность доставки боеприпаса и поражения объекта.

Показателем экономической эффективности мероприятий защиты являются совокупные затраты сил и средств для достижения оперативной эффективности.

Таким образом, рассмотренные выше основные направления повышения живучести мостовых переходов в условиях широкомасштабного применения высокоточного оружия являются актуальными как в научном, так и в практическом плане.

Список литературы

1 **Гусаров, Ф.Ф.** Организация технического прикрытия железных дорог: учеб. пособие / Ф.Ф. Гусаров, Л.А. Бутаков. – Л. : ВАГТ, 1989.

2 **Шацев, Н.З.** Основы живучести транспорта: учеб. пособие / Н.З. Шацев, В.П. Довбня – СПб. : ВАГТ, 1985.

3 **Громов, Б.В.** Организация защиты и восстановления боеспособности войск в условиях широкого применения противником высокоточного оружия / Б.В. Громов // Военная мысль. – № 2 (31). – 1987.

4 **Креховецкий, В.В.** Повышение эффективности района переправ на военно-автомобильной дороге / В.В. Креховецкий. – Л. : ВАГТ, 1991.

5 **Федоров, А.А.** Обоснование предельных перемещений опор при эксплуатации военных металлических железнодорожных эстакад / А.А. Федоров. – Л. : ВАГТ, 1988.

6 **Беляев, В.И.** Подводные мосты / В.И. Беляев. – М. : Воениздат, 1962.

7 **Омельченко, В.Г.** Аэрозольное противодействие средствам поражения высокоточного оружия при техническом прикрытии железнодорожных объектов: дис. на соискание к.в.н. / В.Г. Омельченко. – СПб. : ВАГТ, 1992.

8 **Григорьев, Б.М.** Организация восстановления мостов на железных дорогах: учеб. пособие. Ч. 2. Планирование и организация восстановления искусственных сооружений на железных дорогах фронта. – СПб. : ВТУ, 2006.

УДК 624.21/8.004.68

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

В. В. ЗМИЕВСКИЙ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В последнее время технология наземного лазерного сканирования все шире используется для решения задач инженерной геодезии в различных областях строительства и промышленности. Растущая популярность лазерного сканирования обусловлена целым рядом

преимуществ, которые дает новая технология по сравнению с другими методами измерений. Среди преимуществ хочется выделить главные: повышение скорости работ и уменьшение трудозатрат.

Суть технологии заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта. Это реализуется посредством измерения расстояния до всех определяемых точек с помощью лазерного безотражательного дальномера. Прибор, реализующий на практике приведенную технологию измерений, называется лазерным сканером. Результатом работы сканера является множество точек с вычисленными трехмерными координатами. Такие наборы точек принято называть облаками точек или сканами.

По облаку точек в дальнейшем, возможно, решать различные задачи:

- получение трехмерной модели объекта;
- получение чертежей, в том числе, чертежей сечений;
- выявление дефектов и различных конструкций посредством сравнения с проектной моделью;
- определение и оценка значений деформации посредством сравнения с ранее произведенными измерениями;
- получение топографических планов методом виртуальной съемки.

Все управление работой прибора осуществляется с помощью портативного компьютера со специальными программами. Полученные значения координат точек из сканера передаются в компьютер по интерфейсному кабелю и накапливаются в специальной базе данных. Следует отметить, что объемы данных, полученные со сканера, могут достигать сотен мегабайт, а порой и гигабайт.

Помимо высокой степени автоматизации, наземное лазерное сканирование обладает также следующими достоинствами:

- возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях;
- трёхмерная визуализация в режиме реального времени, позволяющая на этапе производства полевых работ определить «мёртвые» зоны;
- неразрушающий метод получения информации;
- отсутствие необходимости обеспечения сканирования точек объекта с двух центров проектирования (стояния);
- высокая точность измерений;

принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съёмке труднодоступных и опасных районов;

- высокая производительность НЛС сокращает время полевых работ при создании цифровых моделей объектов, что делает данную технологию экономически выгодной по сравнению с другими;

- работы можно выполнять при любых условиях освещения, то есть днём и ночью, так как сканеры являются активными съёмочными системами;
- высокая степень детализации;
- многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.

УДК 624.21/.8.004.68

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СВАЕБОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. В. МАРДАНОВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

При работах по восстановлению искусственных сооружений широко применяются установки, состоящие из копра и свайного молота. Они предназначены для погружения свай в грунт. Забивка свай осуществляется на грунтовой поверхности, на переувлажненных основаниях и на дне водоемов. Также требуется выполнение погружения свай, как вертикально так и под определенным наклоном. Перед разработчиками сваебойной техники стояли сложные задачи по решению вышеперечисленных вопросов.

Простейшая установка для погружения сваи состоит из направляющей стрелы и основания. Направляющая стрела служит для подвески, подъема и направления ударов свайного молота, а также для установки забиваемой сваи и удержания ее в требуемом положении. На основании крепится направляющая стрела, и размещается оборудование для подъема молота и сваи.

Развитие сваебойного оборудования шло по пути от простого к сложному. Так, простейшие установки представляли собой легкие сборно-разборные конструкции башенного типа. Первые образцы обеспечивали забивку только вертикальных свай. Масса погружаемых свай не превышала 1000 кг. Более усовершенствованные конструкции обеспечивали погружение свай как вертикальных, так и с наклоном 1:4, при массе до 4000 кг. Для выполнения работ на водной поверхности предусматривался монтаж установок на понтоны. Представителями данного типа сваебойных установок являются КДМ (копер дизель-молота), КДМ-1, КДМ-2, КДМ-2м. Главной отличительной особенностью данных копров являлось неповоротное основание. Данное обстоятельство снижало производительность. Достоинством являлась простота выполнения сборки и разборки, а также перевозки.

Погрузочно-разгрузочные операции могли выполняться даже без использования специальной техники (в том числе и грузоподъемных кранов) за время до 1 часа. Перевозка разобранного оборудования осуществлялась на 3 грузовых автомобилях с грузоподъемностью 3–3,5 т. Использование транспортных средств, не входящих в состав комплекта, вызывало определенные неудобства.

Избежать данного недостатка удалось с разработкой навесного сваебойного оборудования на базе самоходных автомобильных кранов. Данные установки в своем составе имеют автомобильный кран, навесное копровое оборудование с дизель-молотом и двухосный прицеп для транспортирования имущества в разобранном виде. Представителями данного типа копровых агрегатов являются УКА (на базе автомобильного крана 8Т-210), УКА-Г (на базе автомобильного крана КС-2572), УСА (на базе автомобильных кранов КС-4561, КС-4561А, КС-4562). Основные достоинства сваебойных установок на базе автомобильных кранов следующие:

- возможность использования базовых машин (кранов) не только на сваебойных работах, но и на других работах по восстановлению искусственных сооружений, поскольку на сборку и разборку навесного оборудования требуется мало времени;

- высокая маневренность, так как автокраны с прицепом могут перемещаться по автомобильным дорогам с большой скоростью;

- сокращение затрат времени, по сравнению с копрами типа КДМ, на выполнение передвижек от сваи к свае, благодаря возможности забивки с одной стоянки крана нескольких свай, используя поворот стрелы и изменяя ее вылет;

- уменьшение по сравнению с копрами КДМ объема подготовительных работ, так как отпадает необходимость устройства подкрановых путей;

- возможность забивки свай на некотором удалении от опорной площадки крана (например, вблизи берега).

Наряду с преимуществами установки на автомобильных кранах имеют и существенные недостатки:

- при работе на переувлажненных грунтах требуется устройство подмостей или щитовых площадок;

- при установке агрегатов на паромы, последние должны иметь больше, в сравнении с КДМ, грузоподъемность;

- более сложная технология закрепления автомобильного крана с копровым оборудованием на пароме;

- при работе на суше требуется горизонтальная площадка для установки автокрана;

- возможность забивки с одной стоянки нескольких свай ограничена, особенно если свая имеет квадратное сечение.

Монтаж и демонтаж оборудования УКА выполняется в течение 30 мин. Время на сборку агрегата УСА составляет 70 мин, на разборку – 35 мин. Проблема забивки свай на болотистом основании наиболее успешно решается с помощью копрового оборудования, навешиваемого на экскаваторы и трактора с уширенным гусеничным ходовым оборудованием. Для погружения тяжелых свай с водной поверхности может использоваться копровое оборудование к плавучим кранам (ПРК-30/50).

Существует самоходная сваебойная техника для погружения свай на болотистых основаниях и на воде. Представителями данных копровых установок являются ПСК-500, ПСК-500М, ПСК-2х500, ПСК-2х500М. Базовыми машинами таких установок являются плавающие транспортеры (К-61, ПТС-1). Поэтому данные установки можно использовать для забивки свай на суше и на воде. На воде возможно положение на плаву, а при глубине до 1 м – на гусеницах. Основные достоинства плавающих сваебойных копров следующие:

- хорошая маневренность как по дорогам, так и по бездорожью (до 30 км/ч, по воде – до 6 км/ч);
- универсальность в применении как на суше, слабых грунтах, так и на воде;
- меньшее время на перевод из транспортного в рабочее положение, в сравнении с другими (КДМ, УКА, УСА).

Недостатки:

- ПСК должен перемещаться после забивки каждой сваи;
- ограничение на применение при скорости течения воды более 1,5 м/с;
- затруднено применение на неглубокой воде при илистом дне водоема.

Отличие копров ПСК-500 от ПСК-500М заключается конструкцией поплавков, которые применяются при работе на воде. У первого поплавки съемные. Начиная с ПСК-500М, плавающие копры оборудованы несъемными поплавками. Копры ПСК-500 и ПСК-500М имеют одну мачту, а копры ПСП-2х500 и ПСК-2х500М оснащены двумя мачтами, что позволяет осуществлять забивку двух свай одновременно.

Идея создания копра, обеспечивающего забивку одновременно нескольких свай с обеспечением различных положений (вертикально, с наклоном в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) воплощена в конструкции порталных копров. Портальный копер ПК-2х500 и порталный копер-кран ПКК-2х1250 обеспечивают выполнение выше оговоренных условий. Конструкция позволяет выполнять сваебойные работы как на суше, так и на воде. ПКК-2х1250 дополнительно может

выполнять функцию порталного крана с грузоподъемностью по 10 т на двух грузовых крюках. Для работ на воде ПК-2х500 устанавливается на паром. Для работ на болотистых грунтах ПК-2х500 имеет в своем составе плиты, укладываемые под подкрановый путь. Перевозка копра в разобранном виде осуществляется на автомобильном транспорте.

Копер-кран ПКК-2х1250 для работы на воде в своем составе имеет табельные понтоны, оборудованные винтовыми двигателями с электрическим приводом. Перевозка копра-крана осуществляется на табельных автомобильных средствах. Наличие табельных средств подвижности упрощает транспортировку и повышает мобильность комплекта. Для транспортировки ПКК-2х1250 разбирается на составляющие, что приводит к увеличению продолжительности времени на последующие сборку и подготовку к работе.

Основные недостатки порталных копров связаны с необходимостью выполнять большой объем монтажных работ при переводе из транспортного положения в рабочее и обратно. Неудобства доставляют также потребность в дополнительных транспортных средствах при перевозке по автомобильным дорогам, а также потребность в источнике электрической энергии.

Идея создания автономного копра, не требующего больших затрат времени на перевод из транспортного в рабочее положение и обратно, прослеживается в конструкции мобильных сваебойных копров. В Российской Федерации на вооружение поступили копры МСК-1М. Мобильный складной копер МСК-1М с дизель-молотом УР2-1250Б предназначен для забивки вертикальных и наклонных свай массой до 3000 кг и длиной до 12 м на суше, со льда и на мелководье при глубине до 1 м. При оснащении копра дизель-молотом УР2-1800 он может применяться для забивки вертикальных свай массой до 5000 кг и длиной до 12 м (при этом стрела копра должна опираться на грунт с помощью встроенного в торец стрелы гидродомкрата). Автономность копра обеспечивается наличием в конструкции дизель-гидравлической станции и использованием в механизмах гидравлического привода. Транспортировка копра по автомобильным дорогам осуществляется на буксире грузового автомобиля, по железной дороге – на одной грузовой платформе, при выполнении сваебойных работ перемещение копра осуществляется механизмами самохода. Главное достоинство мобильного складного копра МСК-1М заключается в сокращении времени на перевод из транспортного положения в рабочее и наоборот, а также независимость от внешних источников энергии.

В настоящее время в Российской Федерации ведутся работы по созданию новых образцов. В народном хозяйстве Республики Беларусь более широко используется навесное оборудование для экскаваторов и

автомобильных кранов. В транспортных войсках на вооружении стоят копровые установки УКА-Г, УСА, ПК-2х500, ПМК-2х1250, ПСК-2х500М.

Подводя итог вышеизложенному, следует отметить, что совершенствование сваебойного оборудования – процесс непрерывный. Следует предположить, что дальнейшее развитие конструкций копровых установок будет идти в следующих направлениях:

- создания универсальных по условиям выполнения работ (суша, болотистые основания, водная поверхность);
- создание конструкций, способных выполнять погружение свай с использованием разных типов погружателей (дизельные молоты, вибропогружатели, штанговые молоты);
- повышение мобильности копровых установок, за счет уменьшения числа элементов, подлежащих демонтажу при транспортировке;
- разработка многомачтовых конструкций, что позволит увеличить производительность.

УДК 624

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК ЭЛЕМЕНТА ТЕХНОСФЕРЫ

А. В. ТОКАРЕВСКИЙ, С. Ю. КИРДЯКИН

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Республика Беларусь располагает всеми видами современного транспорта, образующими единую транспортную систему. Современный транспорт сделал доступным для человека и колоссальные скорости, и отдаленнейшие уголки планеты, позволил ему вырваться из околоземного пространства. Благодаря развитой транспортной сети стало возможным быстрое перемещение грузов и пассажиров в нужном направлении. Развитие транспортных средств является частью общего научно-технического прогресса, оно необходимо и не может быть приостановлено.

Конфликты между транспортными средствами и средой обитания человека серьезны. Однако эти конфликты вызваны целым комплексом разнородных факторов и в принципе поддаются устранению. Важную роль в решении этой проблемы играет комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых в области эксплуатации транспортных средств. К ним относится: совершенствование структуры парков подвижного состава, преимущественное развитие в городах малотоксичных видов транспорта, улучшение технического обслуживания, ремонта и контроля за техническим состоянием транспортных средств. На основе широкого использования новейших достижений научно-технического прогресса появляется возможность создания новых прогрессивных технологий, которые по самому своему существу становятся экологическими чистыми, не наносят ущерба окружающей среде, а также возможность одновременного решения экологических, технических, организационных и экономических проблем развития общественного производства при меньших затратах.

В современном мире человек сталкивается с множеством разнообразных проблем. Однако существует целый ряд проблем, которые являются общими для всех людей вне зависимости от расовой, государственной, национальной или социальной принадлежности: перенаселенность планеты, дефицит и качество питьевой воды, загрязнение воздуха и глобальное потепление, распространение опасных заболеваний, деградация почв и нехватка продовольственных ресурсов, кислотные дожди и разрушение озонового экрана, утрата ценных видов организмов и массовое размножение вредителей, сокращение площади лесов и наступление пустынь, промышленные аварии, радиация, гибель малых рек, потери природы в зонах военных действий. Во всем этом находят отражение проблемы экологии. Экологии – в ее распространенном обиходном понимании. Более строго обозначение приведенного перечня требует добавить и другое название – проблемы окружающей человека среды. Природопользование может быть рациональным (разумным) и нерациональным. При рациональном природопользовании, обеспечивающем экономически эффективное потребление и воспроизводство природных ресурсов, создаются возможности для удовлетворения потребностей в них не только настоящего, но и будущих поколений людей. К сожалению, нынешнее состояние природопользования в целом можно охарактеризовать как нерациональное, ведущее к истощению природных ресурсов, нарушению экологического равновесия и загрязнению окружающей среды. Нарушение экологических требований ведет к ухудшению природной среды и вызывает необходимость проведения специальных

природоохранных мероприятий. Охранять среду – означает не допускать появления в среде обитания людей вредных для здоровья агентов.

Эволюция развития человечества и создание индустриальных методов хозяйствования привели к образованию глобальной техносферы, одним из элементов которой является железнодорожный транспорт. Природная среда при функционировании элементов техносферы является источником сырьевых и энергетических ресурсов и пространством для размещения ее инфраструктуры. Функционирование любого элемента техносферы, в том числе и железнодорожного транспорта, должно основываться на следующих принципах:

- проведение количественной и качественной оценки общего и локального потребления природных ресурсов исходя из местных региональных и федеральных возможностей;

- проведение количественной и качественной оценки влияния различных видов деятельности общества на состояние экологических систем, природных комплексов и природных ресурсов;

- нормирование уровня антропогенных воздействий от различных видов деятельности общества, в том числе и объектов железнодорожного транспорта на природную среду;

- обеспечение равновесия в кругообороте веществ и энергии путем ограничения воздействия на природу, исходя из ее возможностей по самоочищению и воспроизводству;

- ограничения воздействия на природную среду с помощью различных методов и средств очистки выбросов в атмосферу, стоков в водоемы, отходов производства, физических излучений;

- создание экологически чистых производств, технологий, подвижного состава, оборудования и транспортных систем;

- непрерывный контроль за состоянием окружающей среды;

- использование методов экологической профилактики функционирования отраслей и объектов железнодорожного транспорта путем выполнения природоохранных мероприятий и внедрения технологических средств;

- использование экономических методов в управлении охраной окружающей среды и рациональным природопользованием;

- неотвратимость наступления ответственности за нарушение правил, норм, законов по охране окружающей среды.

Железнодорожный транспорт занимает ведущее место как загрязнитель окружающей среды электромагнитным излучением (ЭМИ). Электромагнитные поля (ЭМП) возникают в присутствии электрического тока электрифицированных линий железных дорог. Электромагнитное поле определяется как электростатическими

взаимодействиями, возникающими между заряженными частицами, так и магнитной составляющей ЭМП. Обе составляющие ЭМП (электростатическая и магнитная) различаются и по степени биологической активности и по устойчивости во внешней среде: электрические поля почти полностью блокируются естественными преградами (особенностями рельефа местности, деревьями, постройками), в то время как магнитные поля способны проникать через них. Ишемическая болезнь сердца у машинистов электролокомотивов регистрируется, начиная с 20–29 лет, и встречается в 2 раза чаще, чем у машинистов пригородных электропоездов.

Любой вид транспорта является источником нежелательных звуков, создающих акустический дискомфорт. На уровень шума наибольшее влияние оказывают следующие факторы: интенсивность, скорость и состав транспортного потока, тип двигателя, тип и качество дорожного покрытия, а также планировочные решения, включающие наличие зеленых насаждений и ограждения. Воздействие шума на живые организмы отличается степенью его восприятия. Наиболее опасным и дискомфортным воздействием транспорта на человека принято считать загрязнение углеводородами. Несмотря на развитие техники и технологий, отличительной чертой современной цивилизации остается использование углеводородного топлива как энергоносителя. С момента зарождения железных дорог основным видом топлива был уголь. При его сгорании в окружающую среду выбрасывалось большое количество загрязняющих веществ, в том числе угольная зола, содержащая большое количество тяжелых металлов и углеводороды. Составить точное представление о составе и количестве загрязнителей сложно. Это связано с большим разнообразием месторождений ископаемого топлива. В результате научно-технической революции произошли существенные изменения в техническом оснащении железной дороги. Изменения коснулись, главным образом, подвижного и тягового состава, что отразилось на качественных и количественных характеристиках выбросов загрязняющих веществ. Производственная деятельность железнодорожного транспорта оказывает воздействие на окружающую среду всех климатических зон нашей страны. Но по сравнению с автомобильным транспортом неблагоприятное воздействие на среду обитания существенно меньше. В первую очередь это связано с тем, что железные дороги – наиболее экономичный вид транспорта по расходу энергии на единицу работы. Основным источником загрязнения атмосферы являются отработавшие газы дизелей тепловозов. В них содержится окись углерода, окись и двуокись азота, различные углеводороды, сернистый ангидрид, сажа. Высокое содержание вредных примесей в отработавших газах дизелей при работе в режиме холостого хода обусловлено не только плохим смешиванием топлива с воздухом, но и сгоранием топлива при более низких температурах. Режим работы

маневровых тепловозов менее стабилен, чем поездных, поэтому и выделение токсичных веществ у них в несколько раз больше. Уровень загрязнения воздушной среды станций и прилегающих к ним зон отработавшими газами маневровых тепловозов зависит от числа одновременно занятых локомотивов. При этом наиболее значительно выделение окислов азота и сернистого ангидрида.

При мытье подвижного железнодорожного состава в почву и водоёмы переходят вместе со сточными водами синтетические поверхностно-активные вещества, нефтепродукты, фенолы, шестивалентный хром, кислоты, щелочи, органические и неорганические взвешенные вещества. Содержание нефтепродуктов в сточных водах при мытье локомотивов, фенолов при мытье цистерн из-под нефти превышают предельно допустимые концентрации. Во много раз сильнее сточных вод загрязняется почва на территории и вблизи пунктов, где производится обмывка и промывка подвижного состава.

Дальнейшая электрификация железных дорог, т. е. замена тепловозов электровозами, позволяет исключить загрязнение воздуха отработавшими газами дизельных двигателей. Основной путь снижения выбросов токсичных веществ тепловозами заключается в уменьшении их образования в цилиндрах двигателей. Также важное значение имеет обезвреживание отработавших газов. Негативное воздействие железнодорожного транспорта на природную среду в настоящее время остается достаточно высоким в результате выброса вредных веществ как от подвижного состава, так и от многочисленных производственных и подсобных предприятий, обслуживающих перевозочный процесс. При этом происходит загрязнение атмосферного воздуха, воды и почвы. На шпалопропиточных заводах загрязнение атмосферного воздуха происходит при остывании шпал после пропитки их антисептиком. В локомотивных и вагонных депо, на рельсосварочных предприятиях в воздушную среду выбрасываются пыль, газообразные вещества при литейных процессах, сжигании газа или мазута в печах пескосушильных камер, сварочных работах, промывке подвижного состава, пары растворителей, аэрозоль щелочей и красок при нанесении лакокрасочных покрытий. Производственные сточные воды локомотивных и вагонных депо образуются в процессе наружной обмывки подвижного состава, при обмывке узлов и деталей перед ремонтом, в гальванических цехах или участках, при промывке и заправке аккумуляторов, регенерации фильтров, при продувке и промывке паровых котлов, мытье смотровых канав и стирке спецодежды. Сточные воды пунктов обмывки пассажирских вагонов и электросекций содержат взвешенные вещества и нефтепродукты, бактериальные загрязнения, смываемые с подвагонных узлов, кислоты, щелочи, поверхностно-активные вещества. Эти стоки загрязнены тяжелыми минеральными примесями, содержат растворенные соли, нефтепродукты с ходовых частей, органические соединения. На

шпалопропиточных заводах при отстаивании обводненного антисептика в хранилищах, пропитке влажной древесины в воду попадают масла, фенолы, жирные кислоты и другие соединения, входящие в состав пропиточных масел, и содержащиеся в обрабатываемой древесине органические вещества. После промывки вагонов на дезинфекционно-промывочных станциях сточные воды этих предприятий содержат бактериальные загрязнения, вещества, применяемые при дезинфекции вагонов (хлорная известь, каустическая сода и др.).

Преобладающим загрязнением стоков щебеночных заводов являются минеральные взвешенные вещества, в незначительных количествах могут присутствовать нефтепродукты. Стоки рельсосварочных поездов содержат в основном нефтепродукты и взвешенные вещества. При использовании моечных машин стоки могут загрязняться щелочами и поверхностно-активными веществами. Сточные воды пассажирских станций в основном представляют собой хозяйственно-бытовые стоки, загрязненные минеральными и органическими примесями, включая жиры и моющие средства.

Необходимо предлагать и внедрять технологические процессы и технические средства совместного термического обезвреживания в местах образования и накопления таких характерных для предприятий железнодорожного транспорта отходов, как нефтешламы и их смеси, твердые производственные и бытовые отходы из пассажирских вагонов, деревянные шпалы, переводные и мостовые брусья, не годные к повторной укладке, а также осадки сточных вод очистных сооружений. На современном этапе экологически безопасная и экономически эффективная технология обезвреживания производственных и бытовых отходов на местах их образования и накопления на железнодорожных предприятиях включает совокупность промышленных методов сбора, сортировки, транспортирования, высокотемпературного (900–1200 °С) сжигания отходов и очистки отводимых газов до содержания вредных примесей в пределах допустимых концентраций.

УДК 624

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВИНТОВЫХ СВАЙ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ИХ ПРИМЕНЕНИЮ В ВОЕННОМ МОСТОСТРОЕНИИ

А. А. ЦИВИЛЁВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Винтовые сваи в военном мостостроении появились сравнительно недавно и с каждым днем область их применения расширяется. В транспортных войсках они с успехом применяются в подъемных опорах наплавного железнодорожного моста НЖМ-56 и в конструкции рамно-винтовых опор эстакады РЭМ-500. Превосходно винтовые сваи зарекомендовали себя и в составе инвентарных фундаментов моста САРМ-М и рамно-винтовой опоры РВО, недавно принятой на вооружение (рисунок 1).

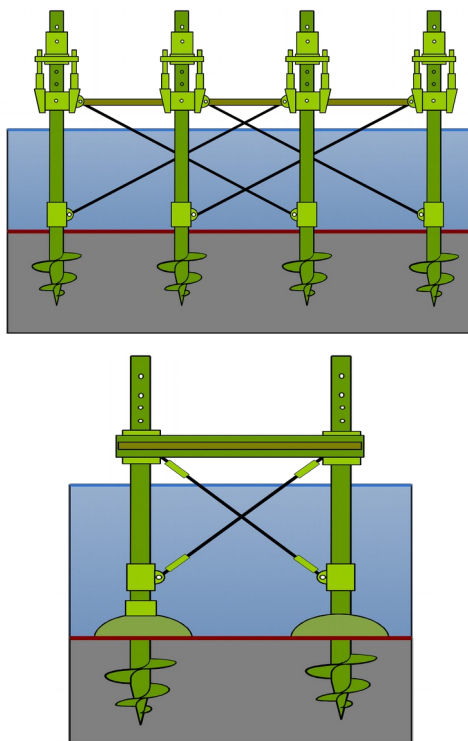


Рисунок 1 – Применение винтовых свай в транспортных войсках:
а – свайно-винтовой ростверк САРМ-М; б – свайно-винтовая опора РВО

Винтовые сваи имеют большую несущую способность как на сжимающие, выдергивающие, так и на горизонтальные нагрузки, что всегда привлекало внимание инженеров-проектировщиков и строителей.

Винтовые сваи можно применять в различных грунтовых условиях, кроме скальных. Они дают возможность избежать трудоемких работ по отрывке котлованов. Особенно целесообразно использовать винтовые сваи как анкерные устройства и фундаменты в обводненных грунтах.

Важным достоинством винтовых свай является возможность их многократного использования, поэтому их можно рекомендовать в качестве инвентарных анкеров. Установлено, что уже при двукратной оборачиваемости металлических винтовых свай затраты на их изготовление окупаются полностью.

Для выполнения данных задач разработаны конструкции металлических винтовых свай с плоскими лопастями диаметром от 500 до 1000 мм. Винтовая лопасть таких свай начинается на конусе заострения ствола и переходит на цилиндрическую часть, при этом ее ширина постепенно увеличивается (рисунок 2). Винтовые сваи могут быть сварными или литыми. Рассмотрим особенности их изготовления и применения для устройства опор мостов.





ЭСКИЗ															
	МАРКА	ВС 30-4,0	ВС 30-4,5	ВС 50 - 4,0 ВС 50 - 4,5 ВС 50 - 5,5	ВС 85 - 4,0- 1 ВС 85 - 4,5- 1 ВС 85 - 5,5- 1	ВС 85 - 4,0- 2 ВС 85 - 4,5- 2 ВС 85 - 5,5- 2	ВС 85 - 4,0- 3 ВС 85 - 4,5- 3 ВС 85 - 5,5- 3	Расчетная длина сваи, L м	4,5	5,0	4,5 5,0 6,0	4,5 5,0 6,0	4,5	5,0	6,0
Диаметр винтовой лопасти, D мм	300		500	850											
Прочность сваи по материалу, кН	500		500	250	500			750							
Масса, кг	241,9	241,9	262,4 288,2 339,7	367	397,7	458,9	363,5	394,2	455,4	388	418,7	479,9			

Рисунок 2 – Сварные винтовые сваи для талых и вечномёрзлых грунтов

С целью облегчения завинчивания сваи (анкера) на наконечнике должна размещаться часть лопасти в пределах $\frac{2}{3} - \frac{3}{4}$ витка.

Эта конструктивная особенность винтовой части сваи весьма существенна, поскольку позволяет отказаться от тяжелой осевой пригрузки. Для свай данной конструкции требуется минимальная пригрузка (практически во всех случаях достаточна пригрузка, создаваемая массой сваи и механизма завинчивания). Указанное преимущество новых свай дает возможность значительно упростить конструкцию установки и технологию процесса завинчивания.

Лопасть сваи выполняется из одного стального листа и усиливается накладками, имеющими ту же форму, но меньшую ширину. Для восприятия больших нагрузок накладки располагают с касанием не по всей поверхности лопасти, а только по наружному контуру. Лопастей рекомендуется изготавливать из углеродистой стали ВСт 3сп5 по ГОСТ 380-71 или низколегированной стали марок 09Г2С6, 10ХНДС, 10Г2СХ. Толщину основного листа лопасти следует принимать не менее 6 мм для низколегированной и не менее 8 мм для углеродистой сталей.

Усиление лопастей из низколегированной стали обеспечивается приваркой нижних накладок той же толщины, если $\delta \geq 8$ мм, и двухсторонних накладок при $\delta \leq 8$ мм.

При изготовлении лопастей из углеродистых сталей требуются двухсторонние накладки толщиной, равной основному листу ($\delta = 8$ мм).

Стволы свай рекомендуется изготавливать из стали прочностью не менее Ст20 по ГОСТ 8731-74 или 09Г26-6 по ТУ 14-3-500-76.

Приварка лопасти к стволу сваи выполняется двухсторонним швом с высотой катета не менее толщины листа лопасти, а накладок – односторонним. Обязательным условием является сплошной провар на всю толщину лопасти и накладок. Качество электродов должно соответствовать марке стали лопасти и ствола.

Конструирование металлических винтовых свай и анкеров для обычных (талых) грунтов целесообразно выполнять в следующих общих пределах основных параметров:

d_s – наружный диаметр металлической трубы ствола (ступицы анкера) от 168 до 325 мм при толщине стенки трубы $\delta = 8 \dots 16$ мм;

D_n – наибольший диаметр винтовой лопасти (2,5...5,0) d_s ;

a – шаг винтовой лопасти при $D_n = (850 \dots 1000)$ мм – (0,15...0,25);

$D_n = 500$ мм – (0,3...0,4) D_n ;

n – число витков лопасти, для одновитковой лопасти $n = 1,25 \dots 1,5$ (см. рисунок 2), а для двухвитковой $n = 2,25 \dots 2,5$ (рисунок 3);

h – высота конуса заострения ствола $n = (1,5 \dots 2,0)d_c$.

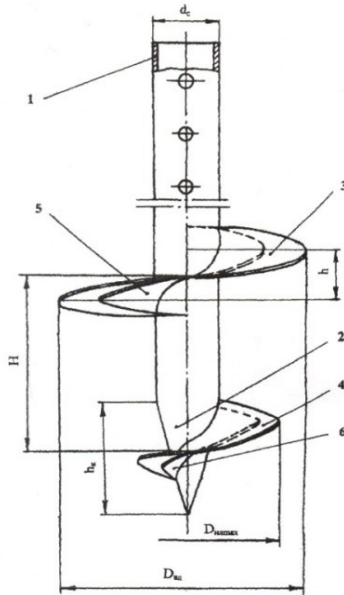


Рисунок 3 – Винтовая свая с разнесёнными по длине ствола витками:
1 – ствол; 2 – ступица; 3 – винтовые лопасти; 4 – накладки усиления

Рекомендуются винтовые сваи с диаметрами лопастей 500, 850 и 1000 мм. При выборе материала сваи и назначения размеров конструктивных элементов следует учитывать коррозионные свойства грунтов.

В зависимости от их коррозионной активности необходимо предусматривать защитные мероприятия (увеличение сечения элементов, применение материалов повышенной коррозионной стойкости, защитные покрытия). Максимальные нагрузки на винтовую сваю в зависимости от диаметра ствола, определяемые прочностью материала и сварного соединения, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные нагрузки на сваю

Диаметр ствола сваи	Максимальная нагрузка на сжатие Н, (кгс), не менее	Максимальная нагрузка на разрыв Н, (кгс), не менее	Максимальный крутящий момент Нм, (кгс м)
168	608008 (62041)	565500 (57704)	46071 (4700)
219	800000(81632)	696000(71020)	80970 (8262)

Для обеспечения повышенной прочности целесообразно проектировать двухвитковые сваи. С целью повышения несущей способности по сжатию и выдергиванию на 25–30 % и улучшения работы на восприятие горизонтальных нагрузок винтовая свая может изготавливаться с двумя лопастями, разнесенными по длине ствола на полтора диаметра (см. рисунок 3).

Сварные соединения должны соответствовать требованиям ГОСТ 14771. Швы сварных соединений по окончании сварки должны быть очищены от шлака, брызг и натёков металла.

Для твердомерзлых грунтов разработаны многовитковые сваи с лопастью малой ширины, такие сваи завинчивают в лидерные скважины того же диаметра, что и ствол сваи. Также для вечномёрзлых грунтов разработаны винтовые инвентарные трубчатые термосваи (рисунок 4) и винтовые сваи – рыхлители (рисунок 5).

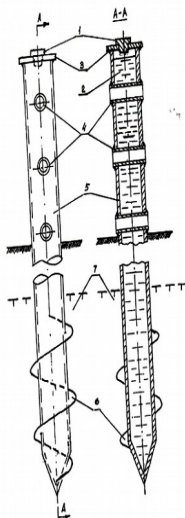


Рисунок 4 – Винтовая инвентарная трубчатая термосвая:
1 – пробка; 2 – теплоноситель – керосин; 3 – крышка; 4 – втулка

Литые винтовые сваи разработаны в научно-исследовательской лаборатории электросетевого строительства НИЛКЭС ОАО института «Севзапэнергопроект».

В настоящее время они изготавливаются на заводе «Винтовые сваи» город Алапаевск, на Уфилинском заводе металлургического машиностроения «УЗММ» и на заводе «Металлист» г. Качканар. Производственная мощность каждого завода не менее 2000 свай в месяц, что может обеспечить потребности транспортного строительства, в том числе автодорожных и железнодорожных войск.

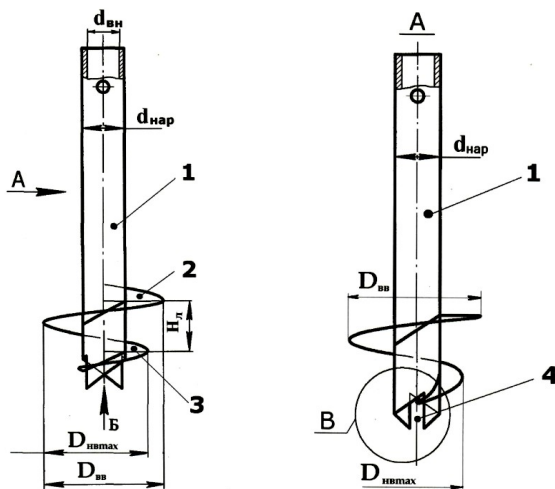


Рисунок 5 – Винтовая свая (рыхлитель)

В настоящее время внедрены в производство два вида свай:

1 Свая винтовая для талых и с сезонным промерзанием грунтов: свая винтовая широколопатная (отношение диаметра лопасти к диаметру ствола сваи 1,5, предназначенная для фундаментов сооружаемых в талых и с сезонным промерзанием грунтов (см. рисунок 6, а).

2 Свая винтовая для вечномерзлых грунтов: свая узколопатная (отношение, предназначенное для фундаментов, сооружаемых в вечномерзлых грунтах (см. рисунок 6, б).

Основные требования к точности формы и взаимного расположения поверхностей не должны превышать следующих значений:

- отклонение шага винтовой лопасти не должно превышать значения ± 10 мм;
- максимальная несоосность осей наконечника винтового и ствола сваи не должна превышать значения 2 мм.

Винтовой наконечник должен отливаться из стали 35Л, ствол сваи должен изготавливаться из стали 09Г2С или стали 20, при этом материал ствола должен быть внесён в код маркировки сваи.

Отливки из стали должны соответствовать требованиям ГОСТ 977 «Отливки стальные. Общие технические требования», материал проката

требованиям ГОСТ 8731 «Трубы стальные бесшовные горячекатаные. Технические требования».

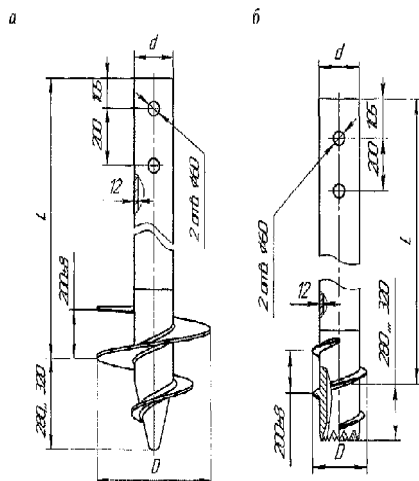


Рисунок 6 – Сваи стальные винтовые с литым наконечником:
а – для талых грунтов; б – для вечномёрзлых грунтов

Основные параметры и размеры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры и размеры

Диаметр ствола, d мм*	Длина сваи L , мм	Масса сваи, кг	Диаметр лопасти, D , мм	Площадь опорной поверхности лопасти, m^{**}	Обозначение сваи
168	4000±25	227	500±9	0,162	СВЛ-154
	5000±25	273			СВЛ-155
	6000±25	319			СВЛ-156
219	4000±25	278	500±9	0,162	СВЛ-254
	5000±25	339			СВЛ-255
	6000±25	400			СВЛ-256
	4000±25	352	850±9	0,532	СВЛ-284
	5000±25	413			СВЛ-285
	6000±25	474			СВЛ-286
219	4000±25	263	300±8	0,037	СВЛМ-234
	5000±25	324			СВЛМ-235
	6000±25	385			СВЛМ-236

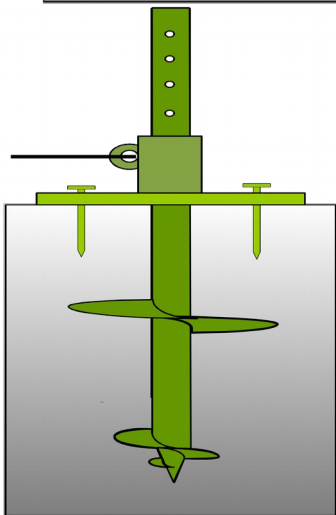
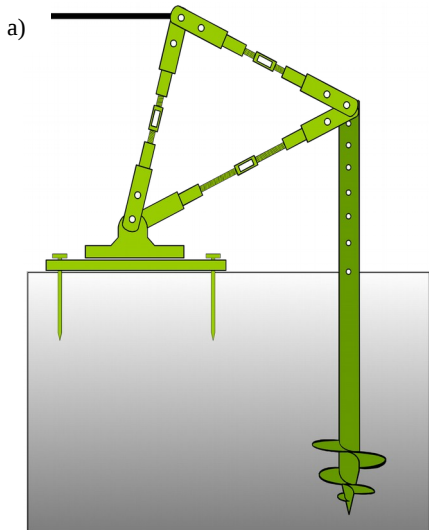
Диаметр ствола, d мм*	Длина сваи L , мм	Масса сваи, кг	Диаметр лопасти, D , мм	Площадь опорной поверхности лопасти, м**	Обозначение сваи
	4000±25	227	500±9	0,162	СВЛ-154
* Допуск на размер по требованиям ГОСТ 8732 «Трубы стальные бесшовные горячедеформированные». ** Определяется расчётами.					

Монтажным элементом винтовой сваи должны являться четыре отверстия диаметром 60Н14 мм, выполненные на расстоянии 105 мм от верхнего торца ствола сваи. Расстояние между отверстиями должно быть 200 мм.

Покрытие свай должно производиться грунтовками II группы материалов покрытия по ГОСТ 9.032 «Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения» в 1 слой толщиной 55–80 мкм.

Класс покрытия VI – по ГОСТ 9.032.

Кроме известных конструкций в военном мостостроении винтовые сваи с большой эффективностью могут использоваться и для анкерных закреплений тяговых лебедок разборных мостов, удержания наплавных мостов как на пойменных участках, так и на малых глубинах русла. Варианты применения винтовых свай в анкерных приспособлениях представлены на рисунке 7.



b)

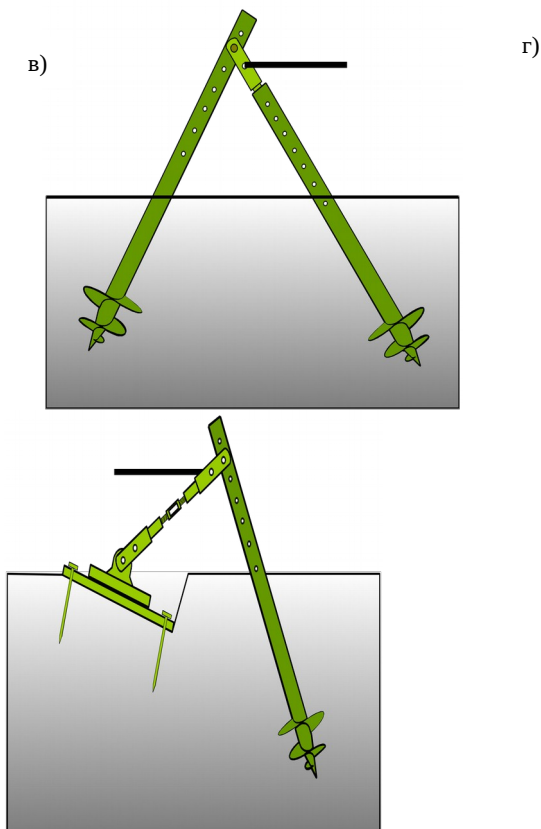


Рисунок 7 – Варианты применения винтовых свай в анкерных приспособлениях:
 а – винтовой анкер с горизонтальной плитой-упором; б – винтовой свайный анкер с разнесенными лопастями; в – винтовой козловой анкер; г – винтовой анкер с наклонной плитой-упором

Большой нереализуемый запас несущей способности винтовых свай на выдергивающие, сжимающие и горизонтальные нагрузки позволяет применять их в конструкциях двухсвайных винтовых опор, под различные пролетные строения как типовые, так и нетиповые (рисунок 8). Две винтовые сваи обеспечивают достаточную несущую способность расчетной нагрузки НГ-60, практически в любых грунтах, позволяя при этом обходиться без элементов продольной устойчивости моста.

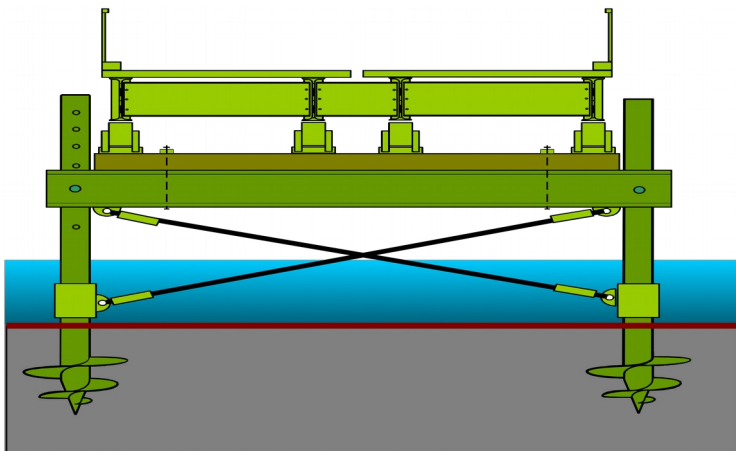


Рисунок 8 – Однорядная опора на винтовых сваях

Разработка инвентарных опор такого типа имеет далеко идущую перспективу, например разработка скоростного инвентарного низководного моста на винтовых сваях (рисунок 9), с расчетным темпом сооружения 3–4 ч на 100 м моста.

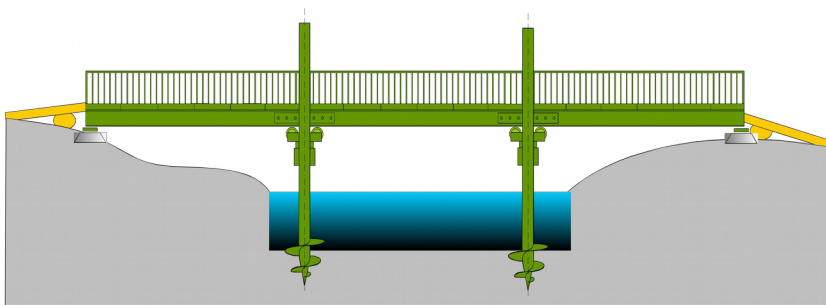


Рисунок 9 – Трехпролетный низководный мост на винтовых сваях

Таким образом, большой нереализуемый запас несущей способности винтовых свай требует более тщательного изучения и разработки упрощенных методик его оценки; перспективным направлением в области конструирования можно считать применение более легких и прочных материалов, повышенной коррозионной стойкости; в военном мостостроении с успехом могут применяться как сварные конструкции винтовых свай, так и литые, с диаметрами стволов от 168

до 325 м при толщине стенки 12–14 мм и лопастями 300; 500; 700; 850 и 1000 мм.

С Е К Ц И Я Ш
СТРОИТЕЛЬСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ.
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 656.08

ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ,
ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕВОЗКИ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ,
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ю. В. ГОНЧАРОВ

Учреждение образования

«Могилевский институт МВД Республики Беларусь»

Рост грузоподъемности подвижного состава автомобильного транспорта, расширение производства в добывающей, строительной, химической и других отраслях промышленности, внедрение поточных технологий и другие факторы технико-экономического порядка, влекут увеличение количества перевозок грузов. Прежде всего это обусловлено тем, что изготовление сложных конструкций и других изделий в заводских условиях с последующим монтажом или использованием на месте непосредственного применения ускоряет время производства работ, позволяет добиться существенной экономии времени и средств. Не редко это является единственно возможным способом решения той или иной технической проблемы. Увеличение объема перевозок способствует увеличению и совершенствованию специализированного парка транспорта большой грузоподъемности и крупнотоннажных прицепов к ним.

В соответствии с законодательством Республики Беларусь к крупногабаритным грузам относятся грузы, которые выступают за габариты транспортных средств, предназначенных для эксплуатации на дорогах общего пользования, спереди или сзади от 1 до 2 м, либо имеющие габарит более 0,4 м от внешнего края переднего или заднего габаритного огня. Согласно Правил дорожного движения их перевозка

допускается при условии обозначения специальными знаками «Крупногабаритный груз», выполненными в виде щитков размером 0,4 x 0,4 м [1].

К крупногабаритным грузам также относятся:

- одиночные транспортные средства длиной более 12 м;
- автопоезда длиной более 20 м и автопоезда, имеющие в своем составе два и более прицепа или полуприцепа, независимо от их общей длины;

- двухзвенные сочлененные автобусы и троллейбусы;
- транспортные средства с грузом и без груза шириной более 2,5 м (рефрижераторы и изотермические кузова более 2,6 м);
- грузы высотой более 4 м (с учетом высоты платформы);
- грузы, выступающие за заднюю точку габарита ТС более 2 м.

К тяжеловесным относятся следующие грузы:

- полная масса которых превышает значения в 12 тонн, для одиночного транспортного средства при расстоянии между осями равном 3 метра;

- осевая масса грузов превышает 4,5 тонны при расстоянии между осями до 1 метра;

- при движении по мостовым сооружениям полная масса груза превышает 30 тонн, при расстоянии между осями более 7,5 метров [3].

Среди крупногабаритных грузов наиболее распространены перевозки изделий, имеющих сверхнормативную ширину и высоту. Длинномерные грузы встречаются значительно реже, что обусловлено, прежде всего, сложностью осуществления их доставки к месту назначения.

Перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов ставят ряд проблем организационно-технического характера, поскольку при их осуществлении требуется предварительное решение вопросов не только *обеспечения безопасности движения, но и сохранности дорог и дорожных сооружений*, вплоть до предварительной реконструкции проезжей части, мостов, эстакад, подготовки объездов и т. д. Проведение этих мероприятий прежде всего связано с недостаточной шириной дорог, ограниченной высотой проездов, путепроводов, линий электропередач и связи, недостаточной прочностью дорожных покрытий и искусственных сооружений, малыми радиусами поворотов и т. д. В связи с этим нередко требуется изменение времени, маршрута перевозок, а также проводить разборку или облегчение перевозимых конструкций. Указанные обстоятельства определяют необходимость разрешительной системы в данном виде перевозок [2].

Проезд тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств (ТКТС) по автомобильным дорогам допускается в случае перевозки грузов, которые не могут быть разделены на части без чрезмерных

затрат или порчи этих грузов и только при наличии разрешения на перевозку с указанием маршрута движения, выданного уполномоченной организацией. В случае превышения допустимых весовых параметров транспортного средства до 2 процентов включительно наличие специального разрешения не требуется. К перечню данных грузов можно отнести: железобетонные балки мостовых пролетов и других сооружений, а также отдельные технологические блоки; сварные фермы мостовых и других производственно-технических конструкций; трубы большого диаметра, строительная техника и сельскохозяйственные машины и механизмы, и другие.

Перевозка указанных грузов будет законна, если перевозчик будет иметь проект и разрешение на перевозку крупногабаритного или тяжеловесного груза. Существенное значение при этом имеют протяженность маршрута и категория используемых автомобильных дорог. При осуществлении перевозки в пределах одного административного района или города либо по дорогам местного значения, то разрешение выдают соответствующие владельцы автомобильных дорог и другие территориальные дорожные органы, на которые возлагается управление той или иной сетью дорог.

Работы и услуги по проведению обследования, разработке технического заключения, проекта перевозки, проекта по усилению автомобильных дорог и искусственных сооружений и выполнению других мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения, сохранности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них выполняются на основании договора между владельцем (пользователем) ТКТС и специализированной организацией. Как правило, разрешение выдается на одну перевозку. Однако при систематических перевозках однотипных грузов по установленному маршруту срок действия разрешения может достигать до трех месяцев [3].

Скорость движения ТКТС при его сопровождении не должна превышать 50 км/ч. Уполномоченной организацией могут вводиться дополнительные ограничения скоростных режимов с учетом условий дорожного движения, состояния искусственных сооружений, характеристик груза, а также требований других организаций, согласующих маршрут движения ТКТС. Разрешенный режим движения может иметь переменный характер на различных участках маршрута движения ТКТС. Для обозначения движущегося ТКТС независимо от времени суток должен быть включен проблесковый маячок оранжевого цвета, расположенный на верхнем элементе конструкции ТКТС [2]. При ширине транспортного средства более 3,5 м проблесковыми маячками оранжевого цвета должны быть дополнительно оборудованы его крайние габариты по ширине.

При выборе маршрута движения ТКТС должны учитываться обстоятельства, связанные с выполнением дорожных работ, при которых значительно изменяются существующие схемы организации дорожного движения - закрытие полос движения, выезд на встречную полосу движения, ремонт инженерных сооружений, маршруты объездов закрытых участков и другие обстоятельства.

В зависимости от характеристик перевозимых грузов, для обеспечения безопасности дорожного движения, может возникнуть необходимость их сопровождения либо автомобилем прикрытия, либо сопровождения автомобилем Госавтоинспекции. Сопровождение ТКТС автомобилем прикрытия обязательно при наличии хотя бы одного из следующих условий:

- при ширине транспортного средства от 3,5 м до 4 м включительно;
- при высоте транспортного средства более 5 м, а также при высоте транспортного средства с грузом или без груза, когда при проезде хотя бы одного искусственного сооружения на маршруте движения не обеспечивается 40 см запаса в свету;
- при длине транспортного средства более 24 м и до 30 м включительно;
- при общей массе транспортного средства более 60 т и до 80 т включительно. Если параметры перевозимого груза превышают указанные величины, а также в процессе движения возникает необходимость проведения дополнительных мероприятий по регулированию дорожного движения для обеспечения безопасного проезда, обязательно использование автомобиля сопровождения. Автомобиль сопровождения или автомобиль прикрытия должен двигаться таким образом, чтобы максимально обеспечить безопасность дорожного движения исходя из сложившейся обстановки [3].

Увеличение численности автомобилей, перевозящих крупногабаритные и тяжеловесные грузы в Республике Беларусь может привести к увеличению потерь от дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Зачастую эти ДТП являются следствием повышения интенсивности дорожного движения в целом и отставанием от нее пропускной способности улично-дорожной сети (УДС) населенных пунктов или дорог, не соответствием существующих методов и технологий организации дорожного движения – современным требованиям, а также отсутствием должного контроля за перевозкой крупногабаритных грузов.

В сложных случаях, при осуществлении перевозки, желательно перевозчикам не решать проблемы транспортировки самостоятельно, а обратиться в специализированные предприятия, либо отказаться от перевозки. Как показывает практика, для предотвращения чрезвычайной ситуации при перевозке крупногабаритных грузов, необходимо соблюдение всех норм и требований законодательства, а также высокая квалификация лиц ответственных за организацию их перевозки.

Список литературы

- 1 Бершадский В. Ф. Правила дорожного движения: учебник / В. Ф. Бершадский, Н. И. Дудко, В. И. Дудко. – Минск : Амалфея, 2008. – 400 с. : ил.
- 2 Бершадский В. Ф. Основы управления механическими транспортными средствами и безопасность движения : учебник / В. Ф. Бершадский, Н. И. Дудко, В. И. Дудко. – 4-е изд. – Минск : Амалфея, 2010. – 458 с.
- 3 Об утверждении Инструкции о порядке участия в дорожном движении тяжеловесных и (или) крупногабаритных транспортных средств: постановление Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25 августа 2011 г. № 50 (в редакции постановления от 10.07.2012 №33) // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2016.

ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ

В. И. ГУРИНОВИЧ, А. А. ЦАЛКО, М. А. НАУМЕНКО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Без сварки металлов не обходится ни один производственный процесс. Строительство и реконструкцию искусственных сооружений также невозможно представить без проведения сварочных работ.

Основные направления работ по энергосбережению при сварочных работах – это оптимальный выбор способа электросварки, совершенствование технологии сварки, механизация и автоматизация электросварочных работ, сокращение холостого хода сварочных агрегатов и повышение их коэффициента мощности, использование инверторных сварочных агрегатов. Рассмотрим каждое направление.

Под оптимальным выбором способа электросварки понимают:

замена ручной дуговой сварки на переменном токе автоматической под флюсом (позволяет получить 5–7 % экономии электроэнергии);

переход от ручной электросварки на постоянном токе к полуавтоматической в среде углекислого газа (уменьшает удельный расход электроэнергии в 2–2,5 раза);

замена ручной дуговой электросварки точечной контактной (уменьшает удельные расходы электроэнергии в 2–2,5 раза);

замена дуговой электросварки на шовную контактную (снижает расход электроэнергии на 15 %);

перевод ручной дуговой сварки с постоянного тока на переменный (уменьшает расход электроэнергии в 2–3 раза).

При контактной сварке наиболее экономичной является точечная, поэтому расширение применения точечной сварки дает большую экономию электроэнергии.

Совершенствование технологии электросварки возможно:

за счет использования электродов с покрытием, в которое введен железный порошок (позволяет увеличить силу сварочного тока, повысить производительность и снизить удельные расходы электроэнергии на 8 – 12 %);

применения присадки в виде металла в порошке;

применения электрошлаковой сварки при сварке металлов большой толщины;

введения контактной сварки на жестких режимах;

правильного выбора режимов работы.

Сокращение холостого хода. Большую часть производственного времени сварочных трансформаторов составляет режим холостого хода, т. е. такой режим, когда трансформатор подключен к питающей сети, но сварка не производится. Ток холостого хода при этом, в зависимости от мощности сварочного аппарата, составляет от 10 до 20 А.

Существует множество способов сокращения холостого хода сварочных агрегатов. Рассмотрим одну из схем.

Силовые полупроводниковые вентили (тиристоры) включаются последовательно с первичной обмоткой трансформатора или сварочного выпрямителя. Такое схемное решение позволяет не только снизить напряжение холостого хода на сварочном электроде, но и уменьшить более чем в сто раз ток первичной обмотки. При этом снижаются потери мощности в стали и меди трансформатора, а также в подводящих линиях.

Принципиальная схема устройства и схема его подключения к сварочному трансформатору приведена на рисунке 1.

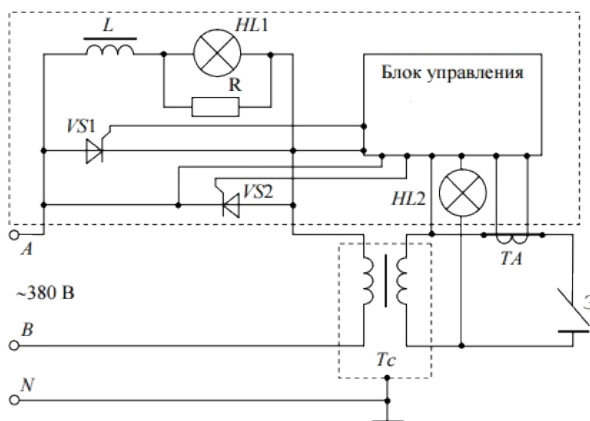


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства и схема его подключения к сварочному трансформатору

В исходном состоянии (режим холостого хода) сварочная цепь разомкнута, тиристоры VS1 и VS2 закрыты, пониженное напряжение на первичную обмотку подается через последовательно включенные дроссель L и лампу HL1. Лампа HL1 светится зеленым цветом, что указывает на то, что напряжение на вторичной цепи не превышает безопасного уровня, т. е. 12 В.

При касании электродом Э свариваемой поверхности вторичная цепь замыкается, и по ней начинает протекать небольшой ток, фиксируемый датчиком ТА. Блок управления вырабатывает сигнал включения,

который подается на управляющие электроды тиристорov VS1 и VS2. Тиристоры, открываясь, шунтируют дроссель L. На первичную обмотку подается полное напряжение и зажигается сварочная дуга. Зеленая лампа HL1 гаснет, а красная лампа HL2 – тускло мерцает.

После окончания сварки сварочная дуга разрывается, сигнал управления с VS1 и VS2 снимается, тиристоры закрываются, и сварочный трансформатор возвращается в режим ограничения напряжения холостого хода. Красная лампа HL2 гаснет, а зеленая лампа HL1 – загорается. Для того, чтобы зажечь сварочную дугу необходимо электродом ударить по свариваемой поверхности.

Такая схема позволяет не только обеспечить безопасность проведения сварочных работ в опасных условиях и условиях повышенной опасности, но и дает возможность значительно экономить электроэнергию.

Повышение коэффициента мощности сварочных агрегатов.

Большинство современных потребителей электрической энергии имеют индуктивный характер нагрузки, токи которой отстают по фазе от напряжения источника. Так для [сварочных аппаратов](#) реактивный ток необходим для создания переменного магнитного потока в трансформаторе. Активная мощность таких потребителей при заданных значениях тока и напряжения зависит от $\cos\varphi$:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

$\cos\varphi$ особенно сильно снижается при работе трансформаторов вхолостую или при большой недогрузке. Если в сети есть реактивный ток, мощность трансформатора используется не полностью. С уменьшением $\cos\varphi$ значительно возрастают [потери энергии](#) на нагрев проводов и катушек электрических аппаратов. Следовательно, повышение коэффициента мощности увеличивает степень использования мощности трансформаторов.

Для повышения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) электрических установок применяют [компенсацию реактивной мощности](#). Отсутствие компенсации реактивной мощности приводит к следующим последствиям:

у трансформаторов при уменьшении $\cos\varphi$ уменьшается пропускная способность по активной мощности вследствие увеличения реактивной нагрузки;

увеличение полной мощности при снижении $\cos\varphi$ приводит к возрастанию тока и, следовательно, потерям мощности, которые пропорциональны квадрату тока;

увеличение тока приводит к дополнительному нагреву обмоток, ухудшаются условия работы изоляции;

увеличение тока при снижении $\cos\varphi$ ведет к увеличению потери напряжения во всех звеньях энергосистемы, что вызывает понижение напряжения у потребителей.

Увеличения коэффициента мощности (уменьшения угла φ – сдвига фаз тока и напряжения) можно добиться следующими способами:

- 1) заменой мало загруженных сварочных аппаратов аппаратами меньшей мощности;
- 2) понижением напряжения;
- 3) уменьшением времени работы сварочных аппаратов на холостом ходу;
- 4) включением в сеть специальных компенсирующих устройств, являющихся генераторами опережающего (емкостного) тока.

Принцип работы инверторного сварочного аппарата. Это устройство предполагает использование электрической дуги с перепадом напряжения, необходимого для её возникновения. В целях оптимизации потребляемой энергии в схеме изделия может применяться специальный регулятор, который представляет собой микропроцессор.

Главный блок аппарата – инвертор. Его основная задача – преобразование поступаемого в систему переменного тока типа в постоянный, который впоследствии снова становится переменным, но уже гораздо более высоким по частоте. На этом этапе уместно использовать специальную регулировку, которая каскадно меняет величину его колебаний в секунду с целью получить необходимую силу тока.

Такой принцип позволяет изготавливать сварочные аппараты, обладающие сравнительно малым весом (не более 12 кг). При этом получается добиться высокого коэффициента полезного действия, достигающего значения в девяносто процентов.

Характерное преимущество изделия – низкий процент потребляемой электроэнергии, что в целом положительно сказывается как на состоянии окружающей среды, так и на средствах, которые необходимо отдавать за оплату счетов по полученной электрической энергии. Фактически расходы снижаются почти в два раза.

Широкий диапазон регулировки позволяет получать плавные настройки, достигая соотношения экономии ресурсов и при достаточном уровне качества.

Статистика показывает, что свыше 80 % сварочных работ при строительстве и реконструкции искусственных сооружений осуществляется электросваркой. Это дает большие возможности экономии электроэнергии.

Список литературы

- 1 Основы энергосбережения. Н. И. Данилов, Я. М. Щёлоков ; ред. Н. И. Данилов; Урал. гос. тех. ун-т.
- 2 Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 23 Грачев С.А. Вершини А.Н. – 2004. – № 2.
- 3 Портал ЭнергоСовет.ru – энергосбережение, энергоэффективность, энергосберегающие технологии 2006-2016.

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ СПОСОБАМИ

Н. В. БАНДЮК, А. П. ФЕЩЕНКО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Дороги являются важнейшим звеном транспортной системы страны, без которого не может функционировать ни одна отрасль хозяйства. Уровень развития и техническое состояние дорожной сети существенно и многообразно влияют на экономическое и социальное развитие страны. Одним из обязательных условий эффективной работы транспорта является обеспечение длительной устойчивости безупречной геометрии дорожного покрытия и дорожной одежды, рельсового полотна и рельсошпальной решетки в целом. От этого зависят энергоёмкость транспортирования, ресурс пути и подвижного состава, затраты на обеспечение их эксплуатационного состояния и, безусловно, пропускные возможности транспортных артерий. При этом должны решаться задачи по обеспечению исправности состояния всех его элементов, предупреждение появления неисправностей, своевременное их устранение, а также ликвидация причин, вызывающих появление неисправностей. Таким образом, решение данных задач необходимо начинать с диагностики всех элементов дорог и особое внимание следует уделять состоянию основания для дорожных одежд и верхнего строения пути – земляному полотну. Диагностика дорог является основой системы управления состоянием дорог, в том числе планирования, распределения и использования средств, направляемых на содержание, ремонт и реконструкцию. Цель диагностики и оценки состояния дорог состоит в получении полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог, условиях их работы, а также степени соответствия фактических потребительских свойств дороги, их параметров и характеристик требованиям безопасности движения.

Одним из самых интенсивно развивающихся методов является радиолокационный метод исследований среды, иногда называемый георадиолокационным подповерхностным зондированием или сокращенно просто георадарным методом.

В настоящее время георадары нашли применение в транспортном строительстве для определения толщины балластного слоя и мощности грунтов, изыскания карьеров дорожно-строительных материалов, оценки оснований под транспортные сооружения, определения глубины промерзания в грунтовых массивах и дорожных конструкциях,

содержания влаги в грунте земляного полотна и подстилающих грунтовых основаниях, эрозии грунтов на участках мостовых переходов, определения уровня грунтовых вод, качества уплотнения материалов, геометрических параметров дна в местах будущих мостовых переходов, устойчивости грунтов земляного полотна на подходах к мостам и путепроводам, состояния бетонных конструкций, обследования фундаментов глубокого заложения, месторасположения подземных инженерных коммуникаций.

Безусловно, одним из главных направлений применения георадаров является обследование существующих железных и автомобильных дорог. Именно оно позволяет на основе данных испытаний принять решение о выделении инвестиций в эффективные виды ремонтных работ. Особенностями применения георадаров в этом случае является необходимость быстрого получения длинных и непрерывных профилей волнового изображения.

Одной из основных причин, препятствующих широкому распространению георадарных технологий, является сложность интерпретации данных, требующая на современном этапе привлечения высококвалифицированных специалистов. Выход из этого положения заключается в создании математического аппарата решения обратной задачи радиолокационного зондирования, которая позволит минимизировать участие оператора в получении конечного результата.

В тоже время в целом ряде задач, где не требуется точное знание глубин залегания объектов или слоев, например при поиске местоположения трубопровода, радарограмма не требует никакой обработки и является конечным продуктом. Задачи такого типа решаются прямо на месте по изображению на экране радара. Глубина может быть оценена по задержке сигнала и средней скорости распространения радиоволны для зондируемой среды.

Метод георадиолокационного зондирования широко применяется за рубежом для неразрушающего контроля состояния железных и автомобильных дорог, необходимого для своевременного принятия мер по поддержанию их стабильной работы. При обследовании дорог георадиолокационные исследования используются для решения двух основных задач: промеры мощностей конструктивных слоев дорожной одежды и выявление дефектов и неоднородностей в грунтах основания дороги, влияющих на стабильность и долговременность работы дороги.

Технология георадарного зондирования в отличие от бурения позволяет обследовать дорогу не "точечно", а непрерывно без нарушения её целостности. Данные зондирования изображаются в виде георадарограмм, которые показывают распространение электромагнитных волн в разрезе дороги. Для построения разрезов на основании георадарограмм необходимы данные бурения скважин, которые позволяют определить электрофизические параметры и состав слоев дорожной одежды. Места заложения параметрических скважин

выбираются в соответствии с изменчивостью разреза дороги, устанавливаемой по характеру георадарограмм.

При оценке состояния земельного полотна дороги метод георадиолокации используют для определения мощности и степени однородности дренирующего слоя грунта, литологического расчленения насыпи, поиска локальных неоднородностей, которые могут быть связаны с различной степенью разуплотнения, глинистости и влажности грунтов.

Данные георадиолокации могут быть использованы не только для оценки состояния элементов земляного полотна при строительстве и эксплуатации, но и для работ по восстановлению земляного полотна транспортных сооружений.

УДК 614.8.086.5

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Н. В. БАКАЕВА¹, А. В. КАЛАЙДО²

*¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация*

*² ГОУ ВПО ЛНР «Луганский государственный университет
имени Тараса Шевченко», Украина*

Около 7000 часов современный человек проводит в зданиях и сооружениях, поэтому первоочередной задачей системы экологической безопасности строительства является создание внутренней среды, благоприятной для человека. Экологически безопасное сооружение – это объект, который защищает человека от воздействия неблагоприятных природных факторов, создает оптимальные условия для эффективного повседневного труда и отдыха, и при этом является абсолютно безвредным для человека.

В работах [1, 2] сформулированы принципы преобразования городской среды в благоприятную, комфортную и безопасную на основе концепции биосферосовместимых городов и поселений, развивающих человека, разработанной учеными Российской академии архитектуры и строительных наук под руководством В.А. Ильичева. Применительно к внутренней среде искусственных сооружений это означает, что должен быть обеспечен воздушно-тепловой, световой и акустический комфорт [3], а также соблюдены предельно допустимые концентрации аэрозолей и других загрязняющих веществ, уровни гамма-излучения строительных материалов, а самое главное – уровни радона.

Радон – благородный радиоактивный одноатомный газ без цвета и запаха, не имеющий стабильных изотопов и образующийся в процессе радиоактивных распадов в семействах урана, тория и актиния. Его дочерние продукты распада (ДПР) мигрируют в биосфере, заканчиваясь стабильными изотопами свинца.

Наибольшую опасность представляет основной изотоп **радон** ^{222}Rn , образующийся в семействе урана (рисунок 1, а). При дыхании его ДПР по причине малого периода полураспада не успевают вывестись, формируя дозу в легочных тканях. Период полураспада самого радона составляет 3,82 суток, чего достаточно для миграции на значительные расстояния от места образования.

Изотоп ^{220}Rn образуется в семействе тория (рисунок 1, б) и называется **торон** Tn . Его период полураспада $T_{1/2} = 55,6$ с, поэтому он не успевает существенно мигрировать от источника образования. Как следствие, вклад торона в дозовую нагрузку населения значительно меньше, хотя его ДПР значительно более опасны, чем ДПР радона.

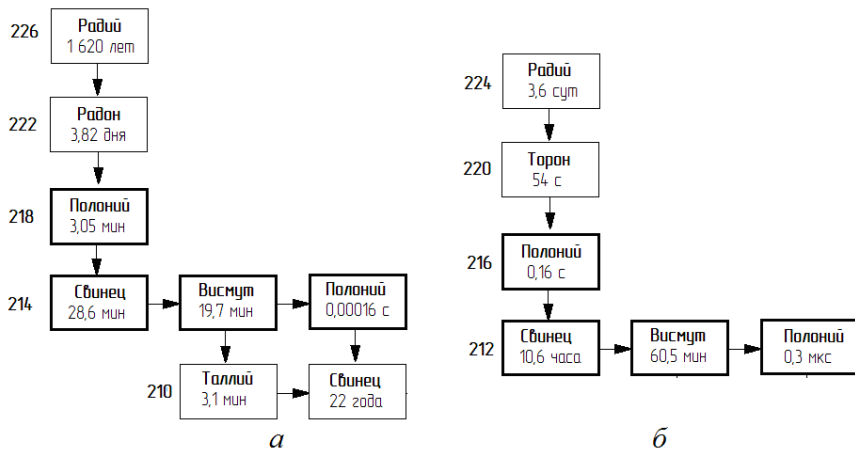


Рисунок 1 – Основные изотопы радона и их дочерние продукты распада:
а – семейство урана; б – семейство тория

Опасным является не столько сам радон или торон, сколько их дочерние продукты распада. Вклад радона во внутреннее облучение населения не превышает 2 %, тогда как на его ДПР приходится порядка 90 %, еще 8 % дозы внутреннего облучения формирует торон и его ДПР [4].

Уровни радона в помещениях зависят от соотношения его поступления и стока, поэтому доза облучения легких ДПР радона и торона определяется эквивалентной равновесной объемной активностью (ЭРОА)

$$\text{ЭРОА} = \text{ЭРОА}_{Rn} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{Tn}.$$

Уровни радона в помещениях испытывают серьезные суточные и сезонные вариации, что усложняет точное определение среднегодовой ЭРОА. Напротив, для внешнего гамма-излучения строительных материалов характерно постоянство временных характеристик и равномерность по всему объему помещения.

Годовая доза облучения населения в зданиях и сооружениях имеет внешнюю и внутреннюю составляющие:

- *внешнее облучение* – вызвано гамма-излучением естественных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах;
- *внутреннее облучение* – формируется изотопами радона и их ДПР, поступающими в помещение из геологического пространства под зданием и эксгаляцией из строительных материалов.

По результатам радиационного мониторинга помещений ЛГУ имени Тараса Шевченко был определен вклад внешнего и внутреннего облучения в формирование годовой дозы, получаемой сотрудниками и студентами университета.

На рисунке 2 показана структура годовой дозы по трем главным учебным корпусам, а также в целом по университету. При расчете эффективной дозы от ДПР радона время пребывания в университете принималось равным 2 000 ч/год, коэффициент дозового перехода – 11,9 нЗв/(Бк·ч/м³), согласно стандарта безопасности МАГАТЭ «Защита населения от природных источников излучения в зданиях» (DS421) [5].

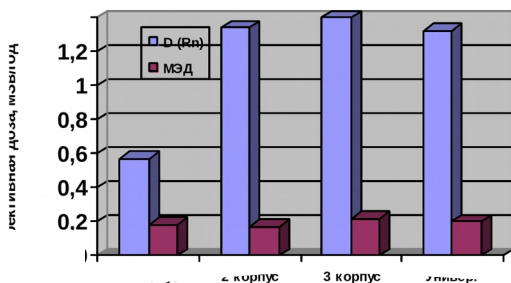


Рисунок 2 – Структура дозы облучения в помещениях

Составляющие годовой дозы радиоактивного облучения в помещениях относятся к управляемой компоненте – факторам риска, интенсивность которых может быть снижена применением организационных и технических мероприятий. При проектировании новых зданий и сооружений устанавливаются следующие требования [6]:

мощность дозы гамма-излучения не должна превышать мощности дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч; среднегодовая ЭРОА района и торона в воздухе помещений не должна превышать 100 Бк/м³.

Выполнение первого требования достигается использованием строительных материалов с эффективной удельной активностью $A_{эфф}$ не более 370 Бк/кг. В то же время, обеспечение радоновой безопасности зданий является куда более сложной задачей. Еще более сложной задачей является обеспечение установленных уровней радона в эксплуатируемых зданиях.

Противорадоновые мероприятия, направленные на обеспечение установленного значения среднегодовой ЭРОА, наиболее эффективны на стадии проектирования зданий и сооружений. Их стоимость не превышает 3 % от стоимости строительства, что куда более экономично, чем последующая реконструкция зданий [7]. Так, изоляция внутреннего объема помещений от грунтового основания монолитным фундаментом в большинстве случаев позволяет обеспечить не превышение установленных уровней радона.

Большей частью радон поступает в помещения через места соединения конструкций, неплотности в зданиях, трещины в фундаменте. В таком случае необходима герметизация щелей, стыков и швов специальными вспенивающимися или пластичными материалами [8]. Существенное снижение поступления радона из почвы под зданием достигается путем создания небольшого избыточного давления в помещениях нижнего этажа при работе приточной вентиляции.

Более сложным и более эффективным средством обеспечения радоновой безопасности является устройство коллектора радона – расположенной в основании здания системы сбора и отвода в атмосферу почвенного радона. В скандинавских странах широко используются радоновые колодцы, предназначенные для сбора радона из почвы за пределами здания. Недостатком подобных конструкций является их высокая стоимость.

Для снижения поступления радона в помещения нижних этажей также применяют различного рода пленочные материалы и покрытия, которые одновременно выполняют и гидроизоляционные функции. Экранирование экскаляции радона из стен, потолка и пола в помещениях осуществляется обоями, краской или любым другим тонким строительным материалом. Но данные материалы имеют низкое сопротивление прохождению радона из-за значительной кинетической энергии атомов отдачи (ДПР радона) непосредственно после альфа-распада [9].

Наиболее эффективным, простым и дешевым методом снижения уровней радона в эксплуатируемых зданиях является вентиляция: однократный воздухообмен за час снижает ЭРОА радона на два порядка

[10]. На рисунке 3 показаны результаты одного из экспериментов по определению эффективности естественной вентиляции в частном жилье. При начальном ЭРОА радона в 396 Бк/м^3 в результате получасовой естественной вентиляции предельно допустимый для эксплуатируемых зданий уровень радона в 200 Бк/м^3 был превышен только через 12 часов. Строение – одноэтажный жилой дом в наиболее радоноопасном районе города, измерения проводились в циклическом режиме с интервалом в 30 минут.

Организационным методом защиты от радона является отказ от строительства зданий и сооружений на потенциально радоноопасных территориях. Для этого радиоэкологические исследования территории будущей застройки (особенно малоэтажной) должны входить в комплекс изыскательных работ в качестве обязательного компонента [11].



Рисунок 2 – К определению эффективности вентиляции

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Не менее 75 % годовой дозы облучения человек получает, находясь в зданиях от излучения стройматериалов и ДПР радона.
2. Доза облучения может быть существенно снижена за счет применения противорадиационных мероприятий, которые наиболее эффективны на стадии проектирования здания.
3. Даже простейшие защитные мероприятия (систематическая вентиляция) позволяют снизить уровни радона в десятки-сотни раз.

Список литературы

- 1 **Ильичев, В. А.** Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 6. – С. 3–12.
- 2 **Ильичев, В. А.** Инновационная практика в городах и доктрина градоустройства / В. А. Ильичев, С. Г. Емельянов, В. И. Колчунов, Н. В. Бакаева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2014. № 1. С. 4–6.

3 **Петров, В. Э.** Обеспечение экологической безопасности при строительстве и модернизации жилых зданий // Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура, 2015. Вып. 41(60). – С. 93–103.

4 **Chen J., Moir D., Pronk T., et. al.** An update on thoron exposure in Canada with simultaneous ^{222}Rn and ^{220}Rn measurements in Fredericton and Halifax. Radiat. Prot. Dosim. 2011. No. 147(4). P. 541 – 547.

5 IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. – Vienna, April 2012. – 92 p.

6 **Сидельникова, О. П.** Радиационный контроль в стройиндустрии. М. : АСВ, 2002. – 208 с.

7 **Жук, Л. В.** Проблема радонового ризику в екології // Л. В. Жук, В. О. Васійчук, В. С. Гончарук, С. І. Качан // Екологічна безпека та природокористування. – 2013. – № 1. С. 43–50.

8 **Ахременко, С. А.** Современные способы противорадовой защиты зданий / С. А. Ахременко, С. В. Полехина, Е. А. Шерстюк // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2015. – № 4 (12). – С. 66–72.

9 **Кургуз, С. А.** Влияние физических свойств радона на его распределение внутри зданий и помещений [Текст] / С. А. Кургуз // Радиоэкология XXI века: материалы междунар. науч.-практ. Конф., Красноярск, 14–16 мая 2012. – Красноярск: СФУ. – 2012. – С.145–150.

10 **Жуковский, М. В.** Радон: измерение, дозы, оценка риска / М. В. Жуковский, И. В. Ярошенко. – Екатеринбург : УрО РАН ИПЭ. – 1997. – 231 с.

11 **Влацкий, Ф. Д.** Исследование содержания радона в жилых помещениях Первомайского района Оренбургской области // Вестник ОГУ. – 2005. – № 10. – Т. 2. – С. 68–73.

УДК 624.19:677.021.122.6

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ

М. Н. ДОЛГАЧЕВА, А. Б. ДРОБЫШЕВСКАЯ

Учреждение образования

«Белорусский государственный Университет транспорта»

Тоннель это одно из самых важных древних изобретений, которое появилось в Древнем Риме, Египте и Греции. Первоначальная функция тоннеля заключалась в открытом водоснабжении и добычи полезных ископаемых. Но, спустя много веков, тоннели обрели новое дыхание, их начали использовать и для военных функций. И уже в середине 19-ого века был построен первый железнодорожный тоннель, который находился в Англии. В России тоннелестроение развивалось уже в середине 19 начале 20-ого веков в большей степени на Урале, Кавказе и

Крым, благодаря топографическим условиям местности [1]. Первоначально использование этого материала на территории России стало возможно, благодаря закупки этого материала из-за рубежа, а уже спустя несколько лет и упорных исследований в научно-исследовательских отраслевых университетах, Россия могла похвастаться и собственными новинками в мире геосинтетических материалов.

Геосинтетический материал (геосинтетик, геотекстиль) – это тканый или нетканый синтетический материал на основе полиэфира, полиэтилена, полипропилена, полиамида и полиарамида, волокна которого скреплены механическим или термическим способами [2]. Существует множество причин использования именно этого материала, такие как повышение долговечности конструкций и качества выполняемых работ, а также уменьшение объема дополнительных работ и повышение культуры производства. Из основных свойств геосинтетического материала, можно отметить такие как дренажная и фильтрующая функция и возможность использования его в качестве армирующего материала, который позволяет повысить прочность проектируемой конструкции [3, 4]. Геосинтетический материал отлично пропускает воду и препятствует заиливанию. Благодаря своей частой волокнистой структуре он прекрасно пропускает пары воды и влаги и не пропускает крупные твердые частицы, в следствие чего можно добиться высоких фильтрационных свойств этого материала [5, 6]. А также *использование геотекстиля* позволяет равномерно распределить внешние и внутренние нагрузки, обеспечивая тем самым безопасность конструкции и снизить воздействие гидростатического давления. Такой материал как геотекстиль не подвержен гниению, а также воздействию грибков и плесени. В случае пожарной опасности он не выделяет токсические вещества, опасные для человеческой жизни. Он обладает таким свойством как высокая коррозионная стойкость, а так же он биоразлагаем и экологичен для окружающей среды [7, 8]. Материал надежно защищает проектируемую конструкцию от воздействия корневых систем, не только травы и кустарников, но и относительно больших деревьев. Также он не боится грызунов и насекомых. Он обладает высокой устойчивостью к низким температурам и агрессивным средам. Геосинтетический материал обладает таким свойством как преднапряженность материала, которое обеспечивает сопротивление проколу, износу и раздиру, а при механическом воздействии способно удлиняться до 60 %, что позволяет минимизировать повреждения при укладке. Высокий модуль упругости геосинтетика позволяет равномерно распределять воспринимаемую нагрузку и выполнять армирующую функцию при относительно малых деформациях. При использовании геосинтетического материала при резких перепадах температур не появляются температурные трещины,

что говорит о хорошей устойчивости материала. Геосинтетический материал представляет собой сплошное полотно в рулонном выполнении, которое способно функционировать в несколько направлений одновременно [9].

Благодаря вышеперечисленным качествам геотекстиля появляется возможность увеличения срока службы конструкции тоннеля и значительно сократить затраты на её обслуживание. Срок эксплуатации геотекстиля составляет около 30 лет. Область применения геосинтетического материала очень широка: он может применяться как в строительстве железных дорог и автомобильных покрытий временного и постоянного типа, при укреплении берегов, откосов и пляжей, а так же при проектировании оснований и фундаментов.

Во время проектирования конструкций тоннелей любой сложности необходимо предусматривать современную, экологичную и прочную систему укреплений. Устройство тоннелей является одной из самых сложных областей в строительстве, которая требует высокого профессионализма, а также использования современных надежных и эффективных материалов и технологий. Благодаря этому обеспечиваются безопасные условия эксплуатации как внутри тоннеля, так и лежащей над ним поверхности. Для того чтобы защитить конструкцию от каких-либо повреждений возможно применение нетканых материалов. Как правило, такие материалы отлично повышают прочность изоляционного покрытия и обеспечивают отличные дренажные качества будущей конструкции. Происходит это путем оттока дождевой воды и воды грунтового происхождения и тем самым обеспечивается защита дренажа от попадания в него частиц почвы. Также геотекстиль позволяет выполнять защитную функцию между породой основания и изоляционным покрытием. Благодаря использованию геосинтетических материалов при проектировании тоннелей появилась возможность совмещать в одном материале дренажные, функционально защитные цели и изоляционные. Благодаря низкой способности этого материала задымлению, есть возможность его использовать в качестве внутреннего отделочного материала.

В итоге хотелось бы сказать, что геосинтетический материал совершил прорыв в области конструкторских решений по устройству тоннелей. Его основополагающие качества, такие как гидроизоляция и дренаж позволяют существенно сократить расходы при укладке материала, путем объединения двух материалов в один. Ещё совсем недавно такой материал применялся только на Западе при строительстве подобных сооружений, в то время как в России защита и укрепление достигалось за счет применения бетона, чугуна, железа в конструкции, а дренаж выполняли из щебня и песка. Сегодня же, благодаря совершенствованию и развитию химической промышленности геотекстиль используется во многие сложных и ответственных сооружениях. К тому же с течением времени стоимость за

м² снижается, что делает ещё более эффективно и выгоднее использовать геосинтетический материал. Уникальные свойства геосинтетика замечены и востребованы и в других отраслях, но в строительстве объектов подземного базирования они просто незаменимы. В Беларуси геотекстиль можно приобрести в среднем 24000-46000 руб. за м², что весьма оправданно при проектировании крупных объектов. [10]

Список литературы

- 1 <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
- 2 <http://www.eurodor.ru>.
- 3 <http://geo-sm.ru/primenenie-geotekstilya-v-stroitelstve-tonneley>.
- 4 http://minsk1.net/view_news.
- 5 <http://tegola.ua/wp-content/uploads/2015/11>.
- 6 <http://rmnt.net/primenenie-geotekstilya-v-stroitelstve-tonnelej/30243>.
- 7 <https://domashke.com/referati>.
- 8 <http://www.geotekstil.ru/>.
- 9 <http://maccaferri.ru/main/products/geosintetika>.
- 10 <http://www.geovostok.ru/fotogalereya>.

ДОРОГИ ИЗ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

М. Н. ДОЛГАЧЕВА, А. Б. ДРОБЫШЕВСКАЯ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В наши дни электрические автомобили больше напоминают о будущем, чем в 60-е годы, когда люди мечтали о ракетных двигателях в автомобилях. Но даже, несмотря на то, что электротранспорт не выделяет выбросов, ему по-прежнему необходимо электричество, которое в настоящее время далеко не полностью производится с использованием экологичных технологий. Об одной из них – солнечных батареях в, казалось бы, самом неожиданном применении, и пойдет речь.

Изобретение американской семейной пары, Скотта и Джули Брюсо, представляет собой поистине новый виток эволюции покрытий дорог. Как любая заслуживающая внимания техническая новинка этого века, данный инновационный продукт выполняет не только свою прямую функцию, но и решает ряд сопутствующих задач, включая облегчение нагрузки на экологию. На пике производственных возможностей данная система способна производить втрое больше электроэнергии, потребляемой населением. Появится возможность обеспечивать электропитание электрических транспортных средств через «передатчик», который установлен на дороге.

Одним из достоинств является использование в качестве сырья пластика и пластиковых отходов с использованием фотоэлементов. Также данное покрытие будет содержать небольшие светодиоды, используемые для создания дорожной разметки, а так же передачи сообщений водителям. В батареи будут вмонтированы датчики давления, которые будут предупреждать о возможных препятствиях на дороге. Кроме того, проводные сети в каждой из ячеек смогут работать как резисторы, слегка подогревая дорогу и тем самым растапливая снег.

Покрытие дороги представляет собой сборную конструкцию из модульных панелей с солнечными батареями. Панели имеют форму шестиугольника и могут быть установлены в любом месте.

Основным препятствием для внедрения данной технологии является ее высокая стоимость изготовления. Одна миля «солнечной» дороги, шириной 4 метра обойдется в 4,4 млн. долларов, срок окупаемости составит 20 лет. Однако в этих расчетах не учитывалась электроэнергия вырабатываемая самим покрытием. Квадратный участок солнечной дороги со стороной 3,6 x 3,6 м способен выдержать нагрузку в 40 тонн и

вырабатывать до 7,6 кВт*ч электроэнергии за световой день. Планируется, что окупаемость дорог будет происходить за счет электроснабжения близлежащих домов и предприятий.

Что касается безопасности, солнечные дороги могут быть безопаснее привычных асфальтных дорог. По твердости стекла солнечных панелей находятся где-то между сталью и нержавеющей сталью, а также они не накапливают пятен масла на поверхности. В дополнение поверхность стекла будет текстурирована таким образом, что позволит улучшить сцепление шин с поверхностью. Такое стекло будет проще и быстрее заменить.

Каждая панель снабжена своим микропроцессором и не зависит от остальных. Микропроцессор не допускает нагревания панелей, что ведет к снижению парникового эффекта. Панели сообщаются между собой с помощью беспроводной связи, постоянно контролируя состояние друг друга. Таким образом, если одна панель выходит из строя, остальные панели продолжают работу. Это отличает солнечные дороги от электростанций.

В некоторой степени достоинством солнечных панелей является их весомая трудоемкость при монтаже, так как панели укладываются вручную, необходимо большое количество людей, что влечет за собой создание новых рабочих мест.

Поверхностный слой прозрачный и достаточно прочный, чтобы выдержать усилие тяжелых грузов в наиболее худших условиях. Слой электроники контролирует нагревательные элементы, освещение, связь и мониторинг, создавая интеллектуальную систему шоссе.

Монтаж солнечных панелей схож с устройством обычного дорожного полотна. Вначале производится утрамбовка грунта основания, если возникает необходимость грунт заменяют на более твердый. Далее производится укладка слоя бетона с использованием заполнителей средней крупности. Дорога состоит из трех основных слоев. После схватывания бетона укладывается базовый слой, который принимает энергию из слоя электроники и распространяет ее в дома и офисы, подключенные к проезжей части. Затем идет слой электроники, который необходим для управления коммуникациями и освещением на дороге, контролирует нагревательные элементы, связь и мониторинг, создавая интеллектуальную систему шоссе.

Третий слой, завершающий, состоит из прочного и полупрозрачного стекла со светодиодами, которые выполняют роль разметки, и солнечными батареями. Панели крепятся к основанию анкерами. Между пластинами предусмотрен зазор, который выполняет роль деформационного шва и системы водоотведения.

Главными достоинствами «умного» покрытия является:
освещение дороги в ночное время;

- подогрев панелей зимой и охлаждение панелей летом;
- система очистки от масел и антифризов;
- система водоотведения;
- обработка и фильтрация воды;
- система транспортировки воды для полива и сельскохозяйственных нужд;
- сигнальная система, предупреждающая о поломке панели;
- подзарядка электромобилей от солнечных панелей;
- информирует водителей о появлении диких животных или людей на дороге;
- дорожная [экология](#);
- неуязвимость для хакеров и террористов, так как каждая панель является независимым звеном;
- в отличие от электростанций и других источников энергии, при транспортировке энергия практически не теряется, это связано с близким расположением потребляющих объектов;
- система самообеспечения;
- парниковый эффект снижается на 75 %, в случае, если заменить все дороги в стране;
- высокая ремонтоспособность и др.

Прототипом солнечного шоссе является велосипедная дорожка SolaRoad недалеко от Амстердама. За год дорожка [SolaRoad](#) сгенерировала более 9800 кВтч энергии. Если для большинства частных домов установка солнечных панелей дорогое удовольствие, то дороги, которые в качестве бонуса могут обеспечивать электричеством весь [город](#) – это очень перспективная идея.

Результаты функционирования удивили даже самих разработчиков. На каждый квадратный метр дорожка вырабатывает в среднем 70 кВт/час чистой энергии, этого достаточно, чтобы обеспечить электроэнергией три семьи. Дорожка стоит 3 миллиона евро. Дорожка выполнена таким образом, что большинство людей даже не видят разницы с обычной велосипедной дорожкой. Это именно то, чего хотят добиться специалисты, когда будут монтировать шоссе: дорога адекватно выполняет свою роль, и в то же время генерирует солнечную энергию.

Однако за всеми достоинствами скрывается ряд недостатков:

- относительно большая стоимость;
- трудоемкость и точность установки;
- малая индустриальность.

Подводя итог, можно сказать, что средний срок амортизации солнечной дороги в районе 20 лет, но за такой продолжительный промежуток времени технологии шагнут далеко вперед и, возможно,

солнечные покрытия станут неактуальны и на смену им придут более современные конструкции.

Список литературы

1. <http://rodovid.me/bikes/solaroad.html>
2. <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1575933>
3. http://rodovid.me/eco_friendly_product_design/solar_roadways.html
4. <https://share.america.gov/ru>
5. <http://coolidea.ru/2014/05/18/dorogi-iz-solnechnyh-paneley/>

УДК 614.8.086.5

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ГОРОДСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А. Г. ЖУЕВА

*ГОУ ВПО ЛНР «Луганский государственный университет
имени Тараса Шевченко», Украина*

В настоящее время около 80 % энергопотребления на планете обеспечивается за счет углеводородного топлива. При этом от общего количества вырабатываемой энергии 34 % приходится на использование нефти, 21 % – природного газа и 24 % – угля [1].

Согласно имеющимся оценкам, при таком темпе использования разведанных в мире запасов угля должно хватить еще на 300 лет, запасов нефти – приблизительно на 50...65 лет, а природного газа – на 60...70 лет. Прогнозы будут уточняться по мере открытия новых месторождений, но несомненно одно – запасы нефти и газа будут исчерпаны уже в XXI веке. Поэтому уже в настоящее время все большее внимание уделяется методам выработки электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии. К ним относят использование энергии ветра и солнечной энергии, энергии приливов и отливов, биогаза, выделяемого при разложении органических отходов и геотермальных источников для теплоснабжения.

Наиболее перспективными и доступными источниками чистой энергии являются ветровая энергия и солнечное излучение, их потенциала достаточно для нужд населения Земли. Так, использование всего 0,5 % энергии солнечного излучения позволило бы полностью покрыть потребность человечества в электрической энергии [2].

Солнечная энергия является доступной и может использоваться разными способами. Пассивное тепло, получаемое от солнца можно использовать для дополнительного обогрева зданий и в системах для

нагрева воды. Однако наиболее актуальной является возможность преобразования солнечной энергии в электрическую.

Фотовольтаика – метод выработки электрической энергии путем использования фоточувствительных элементов для преобразования солнечной энергии в электричество. Батарея фоточувствительных элементов, преобразующих солнечный свет в электрический ток, называется солнечной батареей. *Солнечная батарея* (панель) – устройство, предназначенное для преобразования энергии Солнца в электрическую. Принцип работы солнечных батарей основан на явлении внутреннего фотоэффекта – возникновении электродвижущей силы на границе контакта металл-полупроводник под действием солнечного излучения.

Исключительный интерес для солнечной энергетики представляет вентильный фотоэффект, при котором непосредственное преобразование световой энергии в электрическую происходит на границе двух полупроводников с разным типом проводимости без всяких вспомогательных механизмов [3]. КПД вентильного фотоэлемента определяется отношением получаемой электроэнергии к падающей на фотоэлемент энергии солнечного излучения, то есть зависит от уровня инсоляции.

Инсоляция – это облучение прямыми солнечными лучами застраиваемых территорий, ограждающих конструкций и помещений в зданиях. Уровень инсоляции представляет собой количество энергии, падающей на единицу поверхности рассматриваемого объекта в единицу времени и измеряется в $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Чем выше уровень инсоляции, тем большее количество энергии вырабатывают гелиопанели.

Для оценки целесообразности использования солнечных батарей на территории Луганского государственного университета имени Тараса Шевченко проводились измерения инсоляции на протяжении 2015 года. Измерение освещенности выполнялись с интервалом в один час с 7-00 до 17-00 при фиксированном (горизонтальном) положении селенового светочувствительного элемента. Приведенные выше результаты измерений усреднялись:

- по дате измерений – для получения значений средней по светловому времени дня инсоляции территории университета;
- по времени измерений – для получения информации о динамике изменения освещенности в течение светового дня.

На рисунке 1 представлен график изменения средней освещенности территории по всему периоду измерений.

Как видно из рисунка 1, средняя по световому дню инсоляция испытывает колебания значительной амплитуды (более 20 000 лк) –

максимумы на графике соответствуют солнечным дням, а минимумы – пасмурным.

Не меньший практический интерес представляла и динамика изменения инсоляции на протяжении светового дня. Средние величины для каждого конкретного времени измерений представлены на рисунке 2.

Изменение освещенности в течение светового дня имеет форму кривой, близкой к нормальному распределению. В первые и последние часы измерений интенсивность светового потока не превышает 5–15 % от максимального, т. е. выпадают из работы 4 часа светового времени. Для обеспечения наибольшей выработки электроэнергии в данном случае необходимо использовать системы гидрирования, позволяющие следить за движением Солнца.

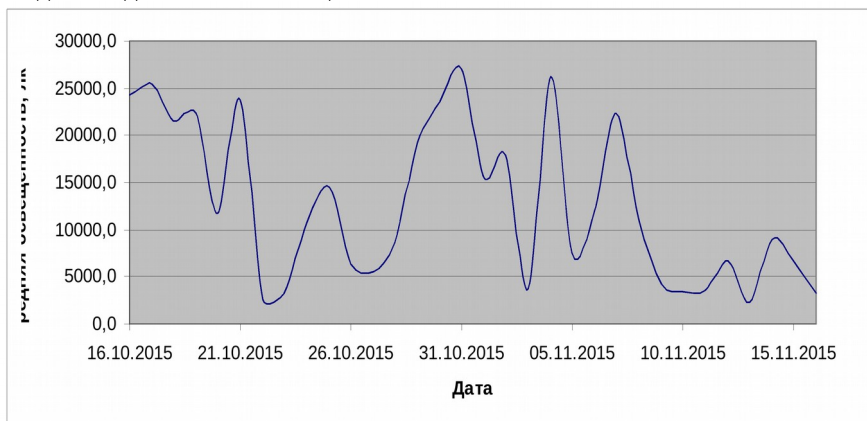


Рисунок 1 – Результаты изменения средней инсоляции территории университета (октябрь-ноябрь)

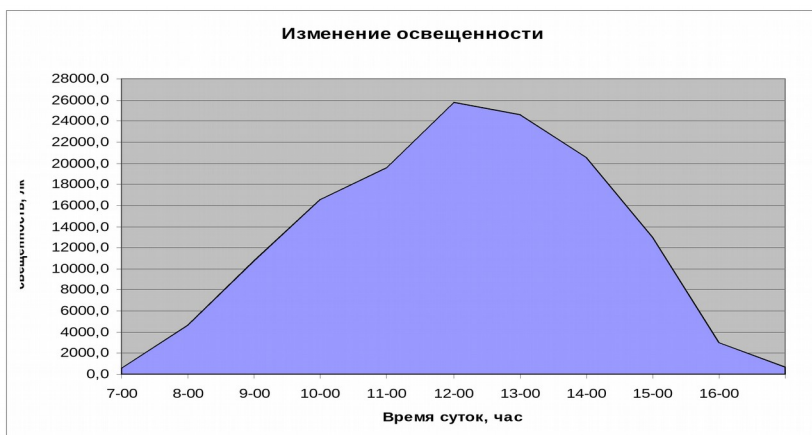


Рисунок 2 – Динамика изменения освещенности на протяжении дня (по результатам всего цикла измерений)

Угол θ падения излучения на светоприемную поверхность зависит от ее ориентации (угла наклона к горизонту α и азимута γ), часового угла ω и склонения Солнца δ , определяясь формулой [4].

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \alpha - \sin \delta \cos \varphi \cos \gamma \sin \alpha + \cos \delta \cos \varphi \cos \alpha \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \cos \alpha \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \alpha \sin \omega,$$

где φ – широта местности, γ – азимут нормали к плоскости коллектора (угол между нормалью и плоскостью небесного меридиана: за начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается положительным, к западу – отрицательным), ω – часовой угол Солнца.

Системы слежения (трекеры) позволяют изменять угол наклона светоприемников по отношению к азимуту и угол наклона к горизонту, однако использование подобных систем существенно сказывается на стоимости установки, так как требует специфической конструкции опор, точной механики в системе привода гидрирования по обим координатным осям, внешнего электропитания и необходимости микропроцессорного управления. В самых простых системах для обеспечения более эффективной выработки электроэнергии рекомендуется устанавливать светоприемники под углом к горизонту, равным широте местности (для Луганска – 48°) [5].

В данной работе было определено, что при использовании неподвижного гелиоприемника с углом наклона равным широте места наблюдения годовая сумма солнечной радиации составляет 67–70 % от максимально возможной суммы, достигаемой при полном гидрировании.

В то же время, при гидировании только по азимуту процент используемого потока составляет 93–95 %. Наиболее сложным вариантом являются системы гидирования с двумя степенями свободы, позволяющие изменять не только угол наклона светоприемников по отношению к азимуту γ , но и угол наклона к горизонту α . Добавление второй степени свободы для монтировки гелиоприемника позволяет увеличить годовой поток лишь на 5–7 % (рисунок 3).

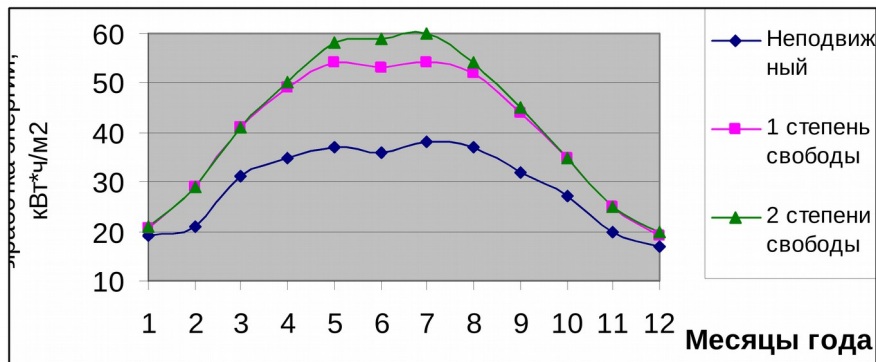


Рисунок 3 – Выработка энергии для разных схем батарей в течение года, кВт·ч/м²

Исследование изменения среднесуточной освещенности показало вариации освещенности глубиной более 20 000 лк, что указывает на необходимость дополнительного использования аккумуляторной аппаратуры для обеспечения постоянной электрической мощности на выходе.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В центральной инсоляционной зоне, в которой расположен Луганск, использование солнечных батарей является обоснованным.
2. Высокая эффективность солнечных батарей может быть обеспечена при использовании системы гидирования с одной степенью свободы.
3. Введение второй степени свободы системы гидирования нецелесообразно, т.к. затраты не покрываются увеличением выработки энергии.
4. Постоянство вырабатываемого тока можно обеспечить использованием аккумуляторной аппаратуры.

Список литературы

1 **Меликов, М. М.** Грозит ли нам исчерпаемость углеводородных ресурсов // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН, 2006. – № 50. – С. 51–53.

2. **Шерьязов, С. К.** Определение доли замещаемой энергии при раздельном и совместном использовании солнечной и ветровой энергии // Ползуновский вестник, 2008. – № 1-2. С. 161-162.

3. **Хусейн К. Д., Денисова А. Е., Дорошенко А. В.** Оптимизация угла наклона солнечных коллекторов в гелиосистеме // Труды Одесского политехнического университета, вып. 2 (28), 2007. – С. 6–11.

4. **Матвеев А. В., Пахалуев В. М., Щеклеин С. Е.** Работа солнечного коллектора в режиме естественной циркуляции теплоносителя // Альтернативная энергетика и экология, 2007. № 4(48). – С. 4.

5. **Каркач Д.В.** Расчет инсоляции и определение оптимальной пространственной ориентации гелиоприемника // Строительство и техногенная безопасность, 2012. – № 44. – С. 107 – 115.

УДК 453.346.2

ПРОЦЕСС ИНФРАКРАСНОГО РЕМОНТА АСФАЛЬТА

А. Ф. КОМОК

Учреждение образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

Технология ремонта асфальта с применением инфракрасного излучения является современным решением старой проблемы. Применение технологии инфракрасного прогрева устраняет большинство недостатков присутствующих при технологических процессах ремонта асфальта используемых на сегодняшний день, такие как: холодные соединения, повышенные шумовые показатели, скорость выполнения работ, затраты энергоресурсов, не полная утилизация материалов и удаление отходов. Принимая во внимание вышеуказанные недостатки, использование процесса инфракрасного ремонта, по качеству сопоставимо с капитальным ремонтом (без учёта проблем с основанием). Данная технология успешно применяется при ямочном ремонте, нанесении термопластичных разметок при внешних температурах ниже нуля, устранению деформаций слоя покрытия и ремонтов ряда других дефектов дорожных покрытий.

Процесс инфракрасного ремонта асфальта предназначен для быстрой, бесшумной и эффективной работы по текущему и аварийному ремонту и устранению дефектов дорожного полотна, круглый год.

При ремонте и регенерации асфальта чрезмерный нагрев открытым огнем или чрезмерного тепла бывает, вреден асфальту. Скорее всего,

результатом был пересушенный пережженный асфальт, и разрушение отремонтированных таким методом участков за короткий промежуток времени. Причиной этого является то, что при нагреве открытым методом тепло начинает проникать через чрезмерный нагрев верхнего слоя в отличие от инфракрасных лучей, которые легко проникают внутрь покрытия. Чем дальше и глубже необходимо доставить тепло, тем сильнее поверхность нагревается от источника тепла и, как результат происходит пережог асфальта. В случае применения при ремонте и регенерации инфракрасного излучения количество производимой тепловой энергии является относительным до определенной степени. Не так важно максимальное количество выделенных калорий, а важно максимальное количество произведенных инфракрасных лучей с минимальным количеством тепловой энергией. Как излагает справочник Вебстера, инфракрасные лучи имеют способность “производить тепло глубоко внутри предмета”. По этой причине при ремонте и регенерации асфальта допускается глубокий нагрев без вскипания, отслаивания и разделения битума от заполнителя. Таким образом, процесс выполнения инфракрасного нагрева не изменяет собственных характеристик асфальта.[1,2]

Сравнение инфракрасного ямочного ремонта с обычным традиционным:

Необходимо сделать определенные шаги для правильного ремонта асфальта, не зависимо от того, используется ли обычный метод или инфракрасное излучение. Также имеются определенные ограничения при ремонте асфальтовых покрытий.

Работы, описанные ниже, применяются при обычном методе ремонта асфальта. Главным недостатком обычного метода ремонта является холодное соединение. Даже если работа выполнена очень основательно, все равно укладывается нагретый материал на холодное основание. Всякий раз, когда используется два материала с разной температурой при укладке вместе, формируется холодное соединение, а это слабое место. Связь двух поверхностей, даже заглаженных и уплотненных до необходимой степени не является прочной и, в конце концов, эти участки разделятся. Это создает место для попадания мусора и воды в глубину основания, и в итоге приведет к разрушению смеси для ремонта.

Обычный ремонт: (без проблем с основанием).

1. Ровно обрезать края участка предназначенного для ремонта.
2. Срезать старый материал.
3. Погрузить и вывезти старый материал в отвал (если возможно).
4. Очистить участок от мусора и/или воды.
5. Подготовить поверхность участка и нанести под грунтовочный слой на холодные кромки.
6. Перемешать старый материал с новым и уложить обратно.

7. Разровнять гладилкой.
8. Уплотнить уложенный материал до необходимой степени.
9. Нанести необходимый герметизирующий состав.

Ремонт с использованием инфракрасного излучения: (без проблем с основанием).

1. Очистить участок от мусора и/или воды.
2. Установить инфракрасный излучатель над участком, предназначенным для ремонта.
3. Включить инфракрасный излучатель от 5 до 9 минут в зависимости от глубины, времени года и заполнителя.
4. Перемешать скребком размягченный на месте материал, устраняя старые соединения, швы и неровности.
5. При необходимости добавить материал для создания ровной поверхности.
6. Разровнять гладилкой.
7. Уплотнить уложенный материал до необходимой степени.

Когда при ремонте используется инфракрасное излучение, то ремонтируемые участки и примыкающие к ним площади подвергаются воздействию температуры одновременно: т.е. ширина нагрева на 20-25 см превышает ширину ремонтируемого (разрыхляемого) участка. Это устраняет любые холодные соединения или швы, и создает на участках термальную связь в существующем дорожном покрытии. Нет точек непрочности, это также устраняет возможность попадания воды и мусора в швы и основание и не допускает разрушение смеси для ремонта.

Устранение деформации дорожного покрытия (колеиности):

Ремонт деформаций верхнего слоя дорожного покрытия в продольном и в поперечном направлениях с применением технологии инфракрасного излучения. Стандартные технологии устранения деформаций верхнего слоя покрытия в продольном направлении обладают рядом серьезных недостатков и ограничений, связанных с сезонностью проведения работ, избытком отходов, высоким уровнем шума, высокой стоимостью и недолговечностью восстановленного полотна. Технология ремонта асфальта с применением инфракрасного излучения является современным решением старой проблемы. Инфракрасные лучи способны проводить тепло глубоко внутрь асфальтового покрытия, по этой причине при ремонте допускается глубокий нагрев без вскипания, отслаивания и разделения битума от заполнителя, то есть процесс нагрева не изменяет собственных характеристик асфальта. Асфальт, приобретает свои первоначальные качества и рабочую температуру, что позволяет повторную укладку без нужды его полной замены, новый асфальт добавляется только для восстановления уровня асфальта, утерянного за счет образования

дефекта. Одним из главных недостатков обычного метода ремонта является укладка горячего асфальта на холодное основание. При этом формируется холодное соединение, в скором времени допускающее влагу к глубине основания, что приводит к несвоевременному разрушению покрытия. При ремонте методом инфракрасного излучения ремонтируемые участки и примыкающие к ним площади одновременно подвергаются воздействию температуры. Это создает на участках термальную связь в существующем дорожном покрытии, устраняя точки непрочности.

Ремонт колеиности с использованием инфракрасного излучения:

1. Очистить участок от мусора и/или воды.
2. Установить инфракрасный излучатель над участком, предназначенным для ремонта.
3. Включить инфракрасный излучатель от 5 до 9 минут в зависимости от глубины, сезона и заполнителя.
4. Перемешать скребком размягченный на месте материал, устраняя старые соединения, швы и неровности.
5. Добавить материал для создания ровной поверхности.
6. Разровнять.
7. Уплотнить уложенный материал до необходимой степени.

Области применения: инженерные сети, ямочный ремонт, участки с трещинами, участки вокруг люков, работы на мостах и пандусах, температурные швы, нанесение термопластика, ж/д переезды, спаивание кромки при укладке асфальта, нагрев и сушка покрытия перед маркировкой, выравнивание вздутостей, подготовка участков для установки колец, выравнивание швов на парковках и шоссе, выравнивание дорожных обочин и ливневых стоков, рулежные дорожки в аэропортах, прогрев земли в зимний период.

Таким образом, использование процесса инфракрасного ремонта асфальта позволяет не только производить экономически выгодные ремонтно-дорожные работы круглый год, где экономия средств достигает до 30 % по отношению к обычному ремонту, но увеличивает после реставрационный срок эксплуатации дорожного полотна.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ АЭРОДРОМОВ И ДОРОГ

П. В. КОСТИК, А. Н. КОЛОСКОВ

Учреждение образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

Главной задачей инженерно-аэродромной службы ВВС и войск ПВО является поддержание аэродрома в постоянной боевой готовности, обеспечение взлета и посадки летательного аппарата в любых условиях.

В настоящее время одним из условий повышения безопасности полетов является усовершенствование грунтовой части летного поля. Основное предназначение ГВПП является аварийная посадка в случае отказа выпуска шасси, либо при разрушении противником основной ИВПП при ведении боевых действий.

Так как ГВПП на аэродромах государственной авиации используется в исключительных случаях, то основной задачей для аэродромной службы является повышение качества грунтовой полосы, а именно ее уплотнение и уменьшение разрушения от ударной нагрузки стоек шасси самолета.

При этом для улучшения характеристик грунтовой части, специалисты инженерно-аэродромного обеспечения добиваются максимального уплотнения грунта и его устойчивости к любым видам нагрузки. Это включает в себя мероприятия по укосу травы, уплотнение грунта катками, поддержание в исправном состоянии водоотводной и дренажной системы.

Повышение качества ГВПП, сроков ее использования, можно добиться с помощью геоматериалов, которые применяются в европейских странах при строительстве автодорог и аэродромов.

В качестве геоматериала целесообразно использовать георешетку, которая повысит устойчивость грунта, фиксацию основания и улучшения дренажной системы участка.

Георешетка один из видов геосинтетиков, который представляет собой двухмерную или трехмерную сотовую структуру, изготовленную из полос полиэфирного иглопробивного полотна или полиэтиленовых и полипропиленовых лент, скрепленных между собой сварными швами высокой прочности. При растяжении в рабочей плоскости образует устойчивый горизонтально и вертикально каркас, предназначенный для армирования заполняющих ячейки георешетки грунтов, грунтощебня, щебня, песка и других строительных материалов.

Область применения георешеток:

- 1) армирование рыхлых и неоднородных грунтов;
 - 2) противоэрозионная защита;
 - 3) фиксация устойчивости дорожных оснований;
- В автодорожном строительстве:

Плоская георешетка используется при строительстве дорог, а также их реконструкции и ремонте с целью повышения качества дорожного покрытия, уменьшения колейности и сокращения появления первичных и вторичных отраженных трещин. В качестве армирующего материала георешетка используется для равномерного распределения нагрузки, что позволяет существенно увеличить межремонтные сроки.

В аэродромном строительстве:

Одним из самых эффективных материалов для стабилизации грунтовой основы асфальтового покрытия аэродромов является полимерная объемная георешетка – прочный сотовидный материал, ячейки которого заполняются щебнем, песком или другими материалами. В зависимости от геологических условий укрепление георешеткой может производиться в один или несколько слоев. А так же применяется для эффективного дренажа, образующий прослойку между слоем геоячеек и грунтовой основой. Благодаря простоте монтажа земляные работы по армированию грунтового покрытия можно произвести в сжатые сроки и без вовлечения специализированной техники. Георешетка легко транспортируется в компактной форме сложенных лент, что позволяет снизить расходы на перевозку и хранение материала на складских помещениях [1].

Георешетку можно использовать в местах стоянок и вертолетных площадок, а также может использоваться при строительстве ГВПП, тем самым мы повысим устойчивость и плотность грунта, лучший дренаж, а так же значительно уменьшим борьбу с кротами на грунтовых участках летного поля [2].

В этом случае посадка летательного аппарата на ГВПП будет более безопасна, так как грунт станет более устойчивый при воздействию на него шасси самолета. Зарывание шасси можно избежать применением георешетки, а также это позволит приземлять на ГВПП транспортные самолеты. Таким образом, применение этих инновационных материалов в строительстве аэродромов, облегчат эксплуатацию и уход за грунтовой частью летного поля. Тем самым значительно уменьшится количество взрывления грунта кротами, колейность от автомобильного транспорта при покосе либо поливке травы, увеличим плотность и устойчивость грунта к различным видам нагрузки. Это все повысит безопасность полетов авиации.

Таким образом, использование и применение в инженерно-аэродромном обеспечении геоматериалов, повысит боевую готовность и безопасность полетов авиационных частей.

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ: МИРОВЫЕ НОВИНКИ И ТЕНДЕНЦИИ

А. В. МАЦКЕ, А. Н. КОЛОСКОВ

Учреждение образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

Современный мир трудно представить без автомобильных дорог и аэродромов. В последнее время плотность потока автомобилей и самолетов настолько велика, что существующим сегодня покрытиям становится все труднее пропускать его через себя. Военная авиация в этом вопросе также не должна оставаться в стороне. В последнее время в Вооруженных Силах Республики Беларусь и других стран в ходе проведения учений и тренировок авиационными частями и подразделениями активно используются аэродромные участки дорог. В задачи инженерно-аэродромной службы при проведении этих мероприятий входит: ремонт, восстановление, оборудование и поддержание в постоянной боевой готовности аэродромных участков дорог. В ходе взлета и посадки воздушного судна на данные участки дорог воздействуют динамические и статические нагрузки, которые приводят к постепенному разрушению покрытия. Также в случае нанесения ударов противником по аэродромам авиации появится необходимость в более широком рассредоточении авиационной техники. Для этого необходимо увеличивать количество таких участков и поддерживать дорожные покрытия в постоянной боевой готовности. Эти мероприятия сопряжены со значительными затратами сил и средств воинских частей, поэтому существует целесообразность улучшения качества материалов дорожных покрытий и внедрение новых технологий в оборудование этих участков.

Проведя анализ последних разработок можно выделить из них наиболее целесообразные, экономически выгодные, полезные изобретения, которые помогут повысить безопасность полетов авиации и избежать грядущих проблем с автомобильным транспортом.

В декабре 2014 года независимая международная инженерно-дизайнерская компания ARUP опубликовала доклад-прогноз под названием «Будущее скоростных шоссе». В ближайшие десятилетия, говорится в докладе, количество машин на дорогах мира будет ежегодно увеличиваться на 3 %. И большинство из этих авто помчатся по городским дорогам, поскольку к 2050 году 75 % населения Земли будет жить в городах. Поэтому нам необходимы качественные изменения в

дорожном строительстве, некоторые из них начинают воплощаться уже сегодня.

Например, разработчики из Нидерландов в рамках проекта «Умное шоссе» предлагают светящуюся в темноте разметку дорог. Разноцветные линии, нанесенные фотолюминесцентной краской, с наступлением вечера сами начинают светиться. Кроме того, в состав краски входит компонент, реагирующий на изменение температуры. Если она опускается ниже нуля (а значит, дорога становится скользкой), на ней появляются символы в виде белых снежинок, предупреждающие водителей.

Аналогичную идею использовали для своего проекта британские специалисты. В прошлом году они предложили светящееся дорожное покрытие, днем аккумулирующее энергию, а ночью — ее отдающее. По описанию авторов изобретения, чем темнее ночь, тем ярче светится дорожное покрытие, а с рассветом оно, наоборот, тускнеет. Разработанное англичанами покрытие может быть использовано на любых твердых поверхностях. Оно чрезвычайно удобно в работе: на покрытие новинкой 150 кв. м площади уходит всего полчаса.

Применение богатых возможностей солнечной энергии лежит и в основе ряда инфраструктурных проектов последнего времени, предложенных инженерами европейских стран. Помимо экономии средств, удобства использования и повышения уровня безопасности, такие разработки преследуют цель максимально снизить вредные выбросы в атмосферу. Солнечные батареи уже установлены вдоль некоторых скоростных шоссе в Германии, Швейцарии, Нидерландах, Австрии и Франции.

Департамент транспорта штата Орегон в партнерстве с отделением компании General Electric еще несколько лет назад осуществил в г. Портленде первый в США проект с использованием фотоэлектрического эффекта для освещения шоссе. А группа разработчиков проекта «Солнечные дороги» из штата Айдахо сумела собрать более \$2 млн, чтобы начать выпуск солнечных панелей, по которым можно не только ходить, но и ездить на автомобилях. Панели были рассчитаны таким образом, чтобы выдержать вес до 115 тонн, то есть им не страшна нагрузка даже самых тяжелых автомобилей.

Голландский производитель лакокрасочных материалов AkzoNobel недавно предложил химический состав Ecosel Asphalt Protection – для обработки поверхности дорог в зимнее время с целью предотвращения их оледенения. Ecosel значительно замедляет скорость замерзания воды в пористой асфальтовой поверхности. Состав не допускает повторяющегося процесса замораживания-размораживания, который способствует разрушению дорожного покрытия. По расчетам исследователей компании, замерзая в асфальте, вода расширяется до 9 %

своего объема. Использование нового состава на 50 % сокращает ущерб дорогам от мороза. К тому же Ecosel, естественно, способствует уменьшению пробок, сокращает время и расходы на чистку дорог и повышает их безопасность.

Две британские компании, Carbon Trust и Lafarge Tarmac, провели успешное тестирование своего недавнего изобретения – энергосберегающего дорожного покрытия, которое в течение ближайших 10 лет, после завершения трехлетнего испытательного срока, даст экономию в дорожном строительстве свыше \$70 млн. Новый проект основан на использовании при строительстве дорог низкотемпературного асфальта. Он снизит расход энергии и примерно на 40 % сократит вредные выбросы в атмосферу – такой эффект можно сравнить с уменьшением выбросов, которые производят порядка 345 тыс. автомобилей.

Вышеуказанные разработки не требуют больших материальных затрат, подразделения Инженерно-аэродромной службы способны их выполнить в кратчайшие сроки. Это поможет расширить возможности использования авиационной техники, повысить ее живучесть и безопасность полетов. Таким образом применение вышеуказанных разработок на аэродромных покрытиях наиболее целесообразно использовать Голландский химический состав Ecosel Asphalt Protection, но, он нуждается в доработке, чтобы его можно было использовать не только на асфальтобетонных, но и на цементобетонных покрытиях. Так же на покрытия аэродромов в мирное время можно внедрить светящуюся разметку. Это позволит экономить немалые денежные средства, которые затрачиваются на освещение аэродромных покрытий в темное время суток. На автомобильных дорогах возможно использование всех вышеперечисленных инновационных разработок в дорожном строительстве. Помимо безопасности повседневного дорожного движения это позволит расширить возможности использования аэродромных участков дорог и повысит живучесть и боеспособность авиации.

УДК 625.717

К ВОПРОСУ О ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ИСКУССТВЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ АЭРОДРОМОВ

Р. И. МОГИЛЯНЕЦ, О. А. ПЛИГОВКА, К. К. КРАМНИК

Учреждение образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

Надежность и долговечность аэродромных покрытий во многом определяются конструктивным решением, заложенным в проект, качеством применяемых материалов, используемой технологией строительства, адекватностью расчетных моделей системы "покрытие-основание" реальной картине, условиями эксплуатации, а также объемом внешних воздействий, учитываемых при проектировании (температура внешней среды, влажность, гидрология, сейсмика, рельеф и т.д.).

Из всего многообразия факторов, влияющих на покрытие, наилучшим образом к настоящему времени изученными являются силовые воздействия. Они входят составной частью в математические модели и в методы расчета несущей способности и прочности покрытий и оснований. Кроме того, достаточно хорошо изучены физико-механические характеристики материалов, применяемых при строительстве покрытий. Но в этой части, за редким исключением, наши знания ограничиваются, в основном, рамками нормальной температуры и влажности.

В меньшей степени уделяется внимание вопросам, связанным с оценкой влияния на поведение и работу покрытия внешней среды как на стадии строительства, так и в период эксплуатации. Это объясняется тем, что теплофизические и влажностные характеристики материалов и грунтов на широком интервале изменения тепловлажностного состояния окружающей среды (особенно при низких температурах) изучены недостаточно: отсутствуют точные математические зависимости или табличные представления для установления их величин.

Причина кроется в том, что воздействие внешней среды и зависящее от него состояние аэродромных покрытий столь разнообразно, что его сложно выразить более или менее точной математической моделью.

Однако за последние годы в этом направлении наблюдается определенный прогресс. Для упрощения задачи многие исследователи выделяют основные факторы и строят решения вокруг них. Это прежде всего относится к температуре внешней среды. Для нее при исследованиях изменения температурных полей в системе "покрытие-основание" при суточных и годовых колебаниях принимают гармонический закон [1], а для самой системы применяют уравнения теплового переноса, как для капиллярнопористых тел, в зависимости от фазового состояния переносимого в материале вещества. Другой особенностью температурно-влажностных воздействий внешней среды на аэродромные покрытия по отношению к силовым нагрузкам является то, что температурные и влажностные воздействия изменяются непрерывно в течение всего жизненного цикла аэродромного покрытия,

а воздействие вертикальных нагрузок от воздушных судов является периодическим.

Результаты натурных обследований аэродромных покрытий и теоретические исследования их напряженно-деформированного состояния показывают, что деформации и напряжения, возникающие в эксплуатационный период при изменении температуры и влажности окружающей среды и грунтового основания, могут приводить к различным дефектам (шелушению, сколам в швах, выпучиванию плит в жаркое время), а в период промерзания грунтов - к пучению, если под покрытием обнаруживается вода или пучинистый грунт.

Кроме того, многократный переход температуры внешней среды через нулевую отметку влияет на состояние верхних слоев покрытий, на которых при наличии микротрещин бетон переувлажняется, что в период его промерзания способствует более интенсивному разрушению поверхности покрытий. Именно поэтому бетон, работающий в условиях многократного промерзания-оттаивания, должен удовлетворять повышенным требованиям к морозостойкости.

В результате температурно-влажностных воздействий и особенно при переувлажнении основания (что происходит повсеместно при плохом состоянии швов, через которые проникает дождевая вода, и при естественной миграции влаги снизу в сторону покрытия при нарушенной системе дренажа, либо неправильно запроектированном основании) изменяется структура материалов в покрытии и основании, ухудшаются их свойства.

Предусмотреть эти процессы и принять соответствующие технические решения без предварительных расчетов весьма сложно, так как для этого необходима полная информация о происходящих в природе изменениях (изменение температуры и влажности внешней среды, солнечной радиации, скорости ветра и т.д.). Кроме того, необходимо знать такие характеристики материалов покрытия (бетон, асфальт) и основания, как теплопроводность, влагопроводность, температуропроводность, коэффициенты переноса тепла и переноса вещества, удельная теплоемкость и массоемкость материалов, удельная теплота фазовых превращений, интенсивность внутренних источников тепла и влаги и др., а также законы изменения этих свойств в зависимости от изменения температуры и влажности в широких пределах - от повышенных температур вплоть до низких отрицательных.

Природно-климатические условия (воздействия) являются неотъемлемой и составной частью внешних нагрузок, которые, в конечном итоге, и определяют значения температурных и влажностных деформаций и напряжений в аэродромных покрытиях. Температурным и влажностным воздействиям на строительные конструкции посвящены

специальные главы СНиП "Нагрузки и воздействия" [2]. Но из всего многообразия температурных и влажностных нагрузок регламентируются только температурные климатические воздействия. В отношении влажностных воздействий нормирование их параметров практически отсутствует, хотя имеются рекомендации: параметры должны учитываться в случаях, предусмотренных техническим заданием, и устанавливаться в зависимости от условий строительства и эксплуатации вводимого объекта.

Также расчетом рекомендуется устанавливать глубину сезонного промерзания, или для вечномерзлых грунтов - оттаивания, с учетом теплофизических характеристик материалов оснований и покрытий.

Важным при выполнении таких расчетов является выбор закона изменения параметров внешней среды. Что касается температуры, то гармонический закон, либо табличные выражения температуры являются наиболее приемлемыми сегодня для аналитических решений и для численной реализации соответственно.

При решении задач о температурном режиме в системе "покрытие-основание" необходимо правильно сформулировать граничные условия особенно на границе "воздух-покрытие".

Список литературы

- 1 Горецкий Л. И. Эксплуатация аэродромов. - М. : Транспорт, 1986. – 280 с.
- 2 СНиП 2.01.07-85.Нагрузки и воздействия // Госстрой СССР - М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 36 с.

УДК 691: 67.017

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Г. Я. МУСАФИРОВА

Учреждение образования

«Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»

Все искусственные сооружения (мосты, переправы опорные конструкции, трубы и водоотводы, лестницы, сходы, тоннели, переходы, тротуары, ограждения) подвержены разрушающим воздействиям природного, искусственного и механического характера в виде подмывания, эрозии, выветривания и др. Проектирование и строительство надежных искусственных сооружений и их содержание, поддержание в работоспособности является важной задачей для современного строительства. В Беларуси, с её достаточно суровыми зимами и частыми оттепелями, обильными паводками весной, довольно

частые явления – смывания дамб и мостов, подмывания и частичное разрушение мостовых и опорных конструкций, а также водоотводных труб. Это всё может привести к полному разрушению искусственных сооружений [1]. В связи с чем увеличение сроков службы искусственных сооружений в заданных условиях с гарантированной сохранностью эксплуатационных свойств является актуальной задачей современного материаловедения.

В бетоне, эксплуатируемом в различных средах, наиболее уязвимым компонентом является цементный камень, который часто подвергается коррозионному разрушению. Поэтому для повышения стойкости бетонов к процессам коррозии применяют проникающие капиллярные сухие строительные смеси уплотняющие структуру бетона. Наряду с традиционными мероприятиями для антикоррозионной защиты монолитных и сборных бетонных и железобетонных искусственных сооружений, которым предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и коррозионной стойкости, рекомендуется использовать сухие проникающие капиллярные смеси системы «Гидропен», «Кольматрон», «Пенетрон», «Пенеплаг», «Пенекрит», и др. [2].

В данной работе рассмотрен новый подход к решению проблемы гарантированного сохранения эксплуатационных свойств искусственных сооружений. Такой подход заключается во введении определенного количества гидроизоляционного состава «Гидропен Плаг» (ГП) в бетонную смесь в процессе изготовления. «Гидропен» - это готовые к применению строительные смеси на основе акриловых полимеров, содержащие добавки, обеспечивающие удобство использования, быстроту схватывания и высокую адгезию [3].

Проведенные исследования по использованию состава «Гидропен Плаг» в качестве модифицирующей добавки в бетон показали, что химические реагенты добавки равномерно распределяются в объеме бетонной смеси на стадии изготовления и вступают в химические реакции с минералогическими составляющими цемента [4].

Методика исследований

В состав разработанного модифицированного бетона, входили следующие компоненты: портландцемент 500–Д0 (ГОСТ 10178-85) с нормальной плотностью цементного теста 25%; кварцевый песок с модулем крупности 2-2,5 (ГОСТ 8736-93), щебень фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93) и модификатор структуры бетона – сухая гидроизоляционная добавка «Гидропен Плаг» (ТУ 5745-004-92645851-2014).

Следует отметить, что «Гидропен Плаг» вводили в цементное вяжущее в небольших количествах (1-5% от массы цемента по сухому веществу) и тщательно перемешивали, затем добавляли кварцевый песок и щебень, снова перемешивали до однородного состояния, затем

вводили воду затворения. Полученную бетонную смесь перемешивали в автоматическом миксере Auto-mix в течение 30 сек. до однородного состояния.

Готовую смесь укладывали в формы в виде кубов с размером ребер 70x70x70 мм и уплотняли на виброплощадке в течение ≈1мин. Спустя 28 суток определяли предел прочности при сжатии, среднюю плотность, водопоглощение, коэффициент размягчения, а также коэффициент конструктивного качества полученных образцов. Для определения прочностных характеристик полученных образцов применяли гидравлический пресс ВМ-3.4Д.

Водопоглощение по массе полученных образцов определяли согласно ГОСТ 12730.3-78.

Для исследования эксплуатационных показателей разработанных образцов определяли их водостойкость. Водостойкость - свойство материала сохранять прочность при насыщении его водой. Для исследования водостойкости одну партию образцов высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 60-65°C, другую партию образцов помещали в воду на 3 месяца. Перед испытанием образцы, хранившиеся в воде, тщательно протирали [3].

Коэффициент конструктивного качества материала (К.К.К.) характеризует его конструктивные свойства. Этот показатель является очень важным при проектировании и строительстве таких ответственных объектов, как искусственные сооружения. К.К.К. определяют делением предела прочности при сжатии материала на его относительную плотность. Относительная плотность – безразмерная величина, равная отношению средней плотности материала к плотности воды при 4°C, равной – 1 г/см³.

Результаты исследований

Проведенные эксперименты показали, что при содержании в разрабатываемом материале до 3,5% гидроизоляционного состава «Гидропен Плаг» наблюдается повышение предела прочности при сжатии до 60% (таблица 1).

Таблица 1 – Эксплуатационные характеристики модифицированного мелкозернистого бетона

Содержание ГП, %	0	1	3,5	5
Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	28,3	35,5	45,6	18,1
Водопоглощение W, %	5,2	4,5	3,4	4,6
Коэффициент размягчения, K_p	0,78	0,97	0,99	0,9
Коэффициент конструктивного качества К.К.К.	11,2	14,2	16,3	7,1

Это объясняется микроармированием минеральной матрицы полученных образцов дисперсным акриловым полимером,

содержащемся в составе «Гидропен Плаг» [4-6]. Подтверждается это и увеличением коэффициента конструктивного качества разработанного бетона. При содержании дисперсной гидроизоляционной добавки в разрабатываемом бетоне до 3,5 % увеличивается его К.К.К. до 45 %, что особенно важно для ответственных конструкций искусственных сооружений постоянно работающих в условиях повышенной влажности, а также агрессивных средах (Таблица).

Анализ данных таблицы показал, что при увеличении содержания дисперсной гидроизоляционной добавки до 3,5 % в разрабатываемом бетоне существенно улучшаются и его гидрофизические показатели: коэффициент размягчения увеличивается в среднем на 25 %, а водопоглощение уменьшается на 35 % (см. таблицу 1).

Проведенные эксперименты показали, что применение разработанного модифицированного мелкозернистого бетона для строительства искусственных сооружений позволит увеличить срок их службы, сэкономить расход гидроизоляционного состава, снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность модифицированного бетона.

На основе полученных результатов исследования можно заключить, что при содержании в разработанных образцах до 3,5 % гидроизоляционного состава «Гидропен Плаг» наблюдаются повышенные физико-механические, улучшенные гидрофизические и эксплуатационные показатели.

Таким образом, результаты испытаний опытных образцов показали, что разработанный модифицированный мелкозернистый бетон целесообразно применять при строительстве надёжных искусственных сооружений, эксплуатируемых во влажных средах.

Список литературы

1 Проектирование и строительство искусственных сооружений [Электронный ресурс]: <http://magistral.pro/uslugi.html> – Дата доступа 14.03.2016.

2 Гидропен [Электронный ресурс]: <http://gidropen.ru/products.html> – Дата доступа 14.09.2015.

3 **Мусафирова, Г. Я.** Оценка эксплуатационных показателей разработанного мелкозернистого бетона модифицированного гидроизоляционным составом «Гидропен ПЛАГ» / Г. Я. Мусафирова, Э. В. Мусафиров // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : материалы XX междунар. науч.-метод. семинара. Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2016. – С. 279–281.

4 **Бровкина, Н. Г.** Повышение водонепроницаемости и морозостойкости цементных бетонов пропиточными растворами: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 Н. Г. Бровкина ; АлтГТУ. – Барнаул, 2012. – 30 с.

5 **Мусафирова, Г. Я.** Модификация цементного вяжущего дисперсной добавкой вторичного полиамида / Г. Я. Мусафирова [и др.] // Техника и

технология силикатов: Международный журнал по вяжущим, керамике, стеклу и эмалям. – 2015. – Т. 22. – № 3. – С. 2–5.

6 Каприелов, С. С. Уникальные бетоны и опыт их реализации в современном строительстве / С. С.Каприелов, А. В.Шейнфельд, Г. С. Кардумян // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 42–44.

УДК 504.054:656.13

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АЭРОДРОМНОГО КОМПЛЕКСА

Д. Ю. МЯГКОВ, А. Н. КОЛОСКОВ, М. Н. МАНУЙЛОВ

Военный факультет в учреждении образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием авиации существенно увеличилась доля выбросов, поступающих в атмосферу от подвижных источников. Это обусловило научный и практический интерес к решению данной проблемы. Исследования, проведенные в этом направлении, освещены в работах Е.И. Павлова (2000); И.Р. Голубева, Ю.В. Новикова (1987); В.Г. Ененкова (1986); В.Е. Квитки (1984); Б.Н. Мельникова (1992); из зарубежных авторов следует выделить работы Баррета [1, 2] (1991-1992); Ж. Крайстона (1992) и других.

В настоящее время нет общепринятой методики оценки возможного загрязнения воздушного бассейна аэродромов. Это связано с трудностями точного количественного определения величин выбросов загрязняющих веществ от перемещающихся источников загрязнения, какими являются воздушные суда, и условий распространения выбросов загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы с учетом многочисленных взаимно влияющих факторов (скорости и направления ветра, рельефа местности, температуры и давления воздуха) [3].

Общепризнанным критерием качества состояния окружающей среды является предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, принятые в большинстве стран. Однако принцип задания ПДК в каждом государстве свой – в разных системах единиц усреднение осуществляется за разные отрезки времени, и даже в пределах одной страны могут существовать различные ПДК. В связи с этим, ПДК многих стран практически несопоставимы между собой. Поэтому они неприемлемы для осуществления глобального мониторинга и не могут

быть оценены из-за различных основополагающих принципов в их установлении.

Известно, что источником загрязнения природной среды называется объект, выбрасывающий (сбрасывающий) загрязняющие вещества, энергетические излучения и информацию в окружающую среду.

В результате проведенных исследований нами были определены источники загрязнения природной среды аэродромного комплекса:

- аккумуляторно-зарядная станция (наличие емкостей для сбора кислотосодержащих жидкостей, отработанного электролита, наличие средств нейтрализации кислот и их контроля);

- парк: контрольно-технический пункт; пункт предварительной очистки; пункт заправки топливом; пункт чистки и мойки; пункт технического обслуживания и ремонта; места стоянки (хранения) вооружения и военной техники; пункт сбора отработанных масел (ПСОМ); аккумуляторная; склады военно-технического имущества; система отвода ливневых и дренажных вод; локальные очистные сооружения для очистки стоков нефтепродуктов; места сбора и складирования твердых отходов (наличие моек, техники с обратным использованием воды, места сбора отработанных масел, отсутствие пролива ГСМ и масляных пятен);

- дизельные электростанции (твердые частицы, окись углерода, окислы азота, диоксид серы, пятиокись ванадия, нефтепродукты);

- котельные на твердом топливе (твердые частицы, окись углерода, окислы азота, диоксид серы);

- пункты заправки автомобилей (герметичность резервуаров, трубопроводов запорной арматуры, отсутствие проливов ГСМ и масляных пятен, наличие площадок из бензостойких материалов, лотков);

- место для мойки машин в автопарке (очистные сооружения – техническое состояние эффективность работы);

- водопровод (герметичность, ограждение зон строгого режима, чистота территории, укомплектованность водомерными приборами);

- канализация (техническое состояние водозаборных сооружений, герметичность территории, укомплектованность водомерными приборами);

- пожарное подразделение (химические пенообразующие вещества);

- система водоснабжения (герметичность, ограждение зон строгого режима, чистота территории, укомплектованность водомерными приборами);

- склады горюче-смазочных материалов (базовый и расходные в зонах рассредоточения): участок приема-выдачи горючего; резервуарный парк; хранилища и площадки для ЛВЖ и ГЖ в таре; трубопроводы; насосные станции; система отвода ливневых и

дренажных вод; локальные очистные сооружения производственных вод;

- склады и хранилища химических средств службы РХБЗ (дихлорэтан, аммиак, СПАВ, хлорпикрин, едкий натр).

Так же был проведен анализ выполнения природоохранных мероприятий, выполненных за год по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов. В результате анализа был выявлен ряд недостатков. Постоянно действующие комиссии по предотвращению отрицательного воздействия войск на природную среду и штатные инспекторы по охране окружающей среды работают неэффективно, планы обеспечения мероприятий по охране окружающей среды составляются без учета реальных экологических проблем.

В разделе «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» плана организации хозяйственной деятельности на год отражаются два-три малозначащих мероприятия общего характера.

Анализ состояния природоохранной работы и подведение итогов выполнения плана обеспечения мероприятий по охране окружающей среды за год с изданием приказа командира воинской части не проводятся.

Не разработаны нормативы допустимых выбросов и разрешения на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Инструкции по обращению с отходами производства не согласованы с территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Контроль за содержанием мусоросборников со стороны ответственных должностных лиц воинских частей ослаблен, площадки хранения не имеют твердого покрытия, контейнеры не промаркированы, не обслужены, крышками не закрываются, что приводит к ухудшению санитарного состояния прилегающей территории.

Места для сбора оработанных масел не обозначены, не имеют ограждений, отсутствуют таблички с ответственными должностными лицами и распорядком работы.

Допускаются случаи пролива нефтепродуктов на грунт, нет запаса песка для их нейтрализации, отсутствуют оборудованные площадки для временного хранения изношенных автомобильных шин.

С нарушениями хранятся отходы черных металлов и строительного мусора.

Список литературы

1 Barrett M Aircraft pollution. Environmental impacts and future solutions. WWF Research Paper, 1991. –10p.

2 Crayston J. ICAO group identiflest environmentalJ problems associated with civil aviation // ICAO Journal., 1992, 17, №8. – P. 4–5.

3 Маслов В.А., и др. Размещение приборов контроля окружающей среды в районе аэродрома / Межвуз. сб. научно-методич. трудов «Совершенствование наземного обеспечения авиации». Ч. IV. – Воронеж: ВВАИИ, 2000.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ДОБАВКИ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

На сегодняшний день 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.

Для решения этой задачи одним из широко распространенных методов исследования структурно-группового состава вещества, применяемом в химии и материаловедении, является инфракрасная спектроскопия. Универсальность этого метода делает его одним из важнейших инструментов изучения структурных особенностей вещества. Каждый спектр какого-либо соединения строго индивидуален, что позволяет точно установить структуру молекул в веществе и достаточно четко интерпретировать вид и характер структурных связей, а также наличие тех или иных молекулярных группировок в материале независимо от его состояния.

Методика ИК-спектроскопии

Аналитическая химия является фундаментальной химической наукой, занимающей видное место в ряду других химических дисциплин. Вместе с тем аналитическая химия теснейшим образом связана с повседневной практикой, поскольку без данных анализа о содержании в пробе вещества в сырье или ином объекте основных компонентов и примесей невозможно грамотное проведение диагностики заболеваний или технологического процесса в любой отрасли промышленности. Данные химического анализа требуются при

решении экономических и других важных вопросов.

Предметом аналитической химии является разработка методов анализа и практическое выполнение анализов, а также широкое исследование теоретических основ аналитических методов. Одним из важных вопросов, которые успешно решает аналитическая химия, является анализ объектов окружающей среды. Заметно возросла роль аналитической химии в данном вопросе в связи с тем, что больше внимания стало уделяться состоянию и контролю за загрязнением окружающей среды, контролю за технологическими выбросами, сточными водами [1].

ИК-спектроскопия основана на явлении поглощения химическими веществами инфракрасного излучения с одновременным возбуждением колебаний молекул.

В ходе классического спектроскопического эксперимента входящее в призмный или решеточный монохроматор полихроматическое излучение (белый свет) разделяется на бесконечное число монохроматических пучков. Спектр получается путем пространственного разделения выходящих из призмы пучков с различными длинами волн. Дифракционная решетка работает подобным же образом, за исключением того, что число пучков равно числу штрихов решетки и для каждой длины волны на выходе получается больше одного максимума. Различные порядки спектра, которые перекрываются, необходимо разделять. Разрешение, достигаемое в спектрометре, определяется шириной щели, задающей полосу длин волн, которая попадает на фотоприемник, и порядком спектра [2].

Исследование материалов, полученных из отходов производства Мозырского НПЗ, которые можно использовать в качестве реагентов для обработки дорожных покрытий, производили на ИК-спектрофотометре с Фурье-преобразованием «ИКАР» в ИММС им. В.А.Белого НАН Беларуси.

Основными узлами оптической системы данного прибора является источник ИК излучения, интерферометр, лазерный тракт, кюветное отделение, ИК – детектор (рисунок 1).

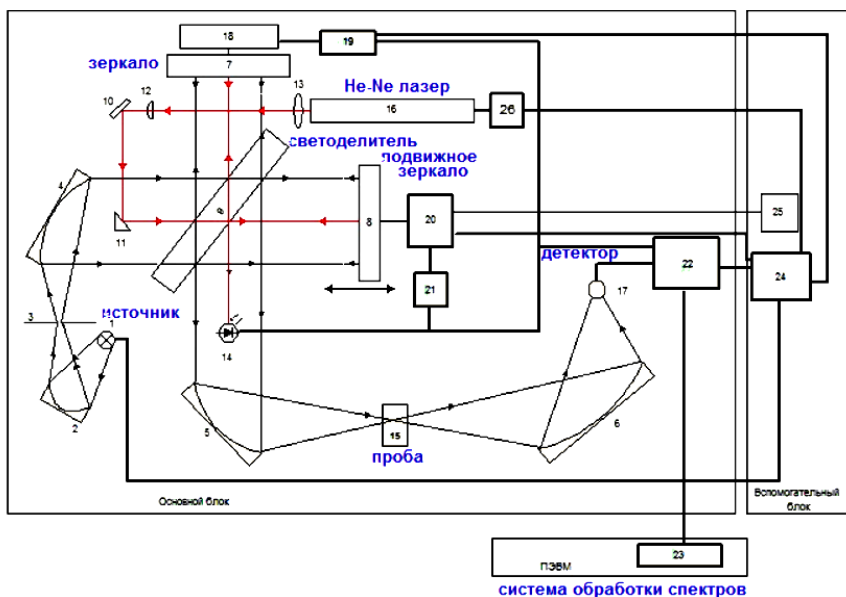


Рисунок 1 – Функциональная схема ИК Фурье-спектрометра «ИКАР»:

1. Источник ИК излучения; 2. Поворотное сферическое зеркало; 3. Диафрагма; 4,5 Параболические зеркала; 6. Эллиптическое зеркало; 7. Неподвижное зеркало интерферометра; 8. Подвижное зеркало интерферометра; 9. Светоделитель и компенсатор; 10,11 Зеркала; 12, 13. Линзы; 14. Приемник лазерного излучения; 15. Проба; 16. Гелий-неоновый лазер; 17. Приемник ИК излучения; 18. Узел автоустойровки неподвижного зеркала; 19. Система управления автоустойровкой; 20. Узел движения подвижного зеркала; 21. Система управления движением; подвижного зеркала; 22. Аналого-цифровой преобразователь; 23. Интерфейсная плата; 24. Источник питания; 25. Компрессор; 26. Источник питания лазера

Во время работы прибора подвижное зеркало интерферометра совершает возвратно-поступательное движение. При этом на приемник ИК излучения, расположенный на выходе интерферометра, поступает переменный световой поток.

Все элементы конструкции смонтированы на массивном основании. В качестве ИК-источника используется нихромово-керамический излучатель с размерами излучающей площадки диаметром 2,4 мм и яркостной температурой 1000° . В качестве ИК-приемника используется пирозлектрический приемник, имеющий коэффициент преобразования около $7 \cdot 10^3$ В/Вт, порог чувствительности не более $4 \cdot 10^{-10}$ Вт·Гц^{1/2}.

Для исследуемых материалов – отходы производства Мозырского НПЗ (рисунок 2), являющихся вязкими средами, спектры готовят методом жидкой пленки, который наиболее эффективен для получения

качественных обзорных спектров нелетучих, неакционноспособных, нерастворимых жидкостей.

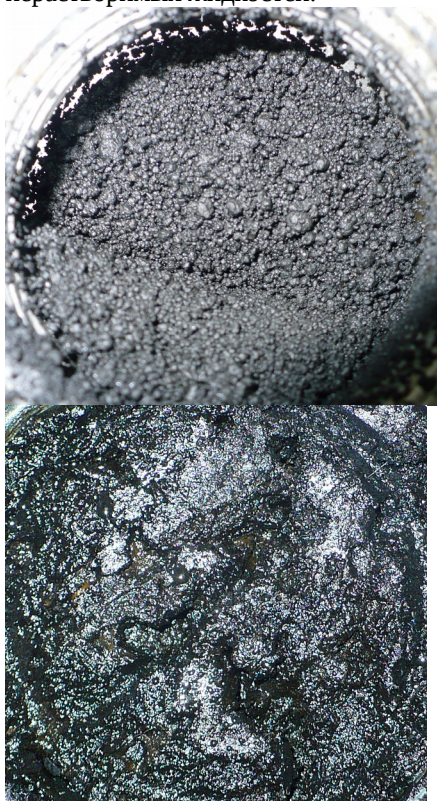


Рисунок 2 – Отходы производства Мозырского НПЗ

Расшифровка ИК-спектра.

Исследуемые материалы предварительно растворялись в летучих растворителях, далее высушивались в вакуумном эксикаторе до полного удаления растворителя, после чего было произведено исследование, результате было получено несколько ИК-спектров.

На рисунке 3 представлен ИК-спектр вещества, которое является базисным веществом, которое необходимо получить из отходов промышленности для последующего применения.

Для расшифровки области ИК-спектра, он разбивается в диапазоне от 4000 см^{-1} до 1000 см^{-1} на 3 участка, в каждом из которых производится анализ имеющихся пиков.

Среди имеющихся в спектральной кривой пиков выделяют наиболее интенсивные и информационные.

На участке от 4000 см^{-1} до 2500 см^{-1} находятся два сильных пика 2920 см^{-1} и 2850 см^{-1} . Они несут отражение два типа связей между атомом водорода и углерода в виде валентных колебаний атомов Н – С.

На участке от 2500 см^{-1} до 2000 см^{-1} отсутствуют интенсивные пики.

Участок менее 1500 см^{-1} («отпечатков пальцев») содержит наибольшее количество пиков, различающихся по интенсивности и информативности. Связи между атомами водорода, углерода и кислорода отражаются пиками средней интенсивности при частоте 1750 и 1710 см^{-1} в виде деформационных колебаний $\text{OH}-\text{C}=\text{O}$. При этом связи между атомами кремния и кислорода в виде деформационных колебаний на данном участке отражаются в виде пиков средней интенсивности при частоте 1110 см^{-1} .

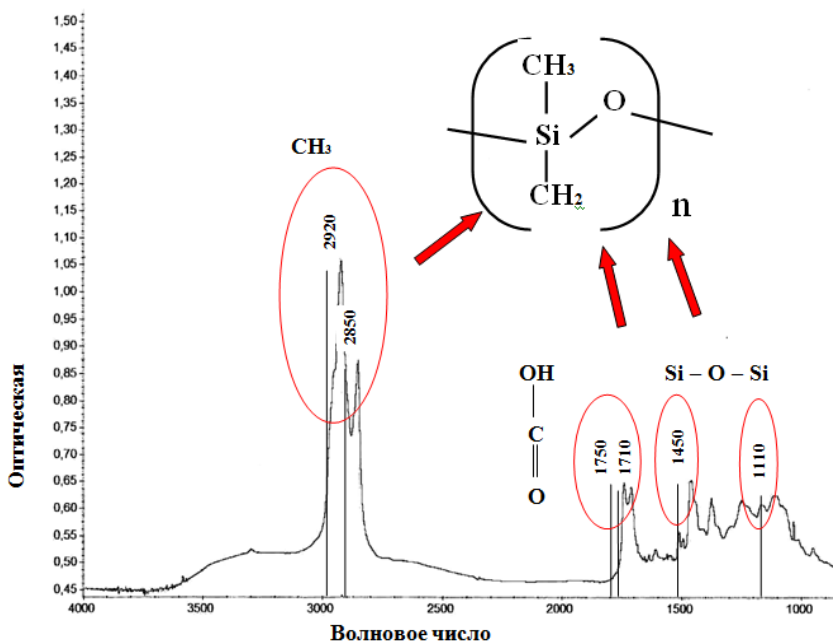


Рисунок 3 – ИК-спектр базисного вещества, полученный Фурье-спектрометром «ИКАР»

Обобщая полученную информацию, мы получаем, что данный спектр относится к группе полидиметилсилоксановых каучуков.

Далее произвели ИК-спектроскопию имеющихся отходов производства Мозырского НПЗ, которые представлены на рисунке 4.

На рисунке 4 два сильных пика находятся на участке от 4000 см^{-1} до 2500 см^{-1} , они несут отражение два типа связей между атомом водорода и углерода в виде валентных колебаний атомов Н – С. Данные результаты по пикам совпадают с базисным веществом спектр представлен на рисунке 3.

Исходя из полученных данных по результатам ИК-спектроскопии можно говорить о том, что наполнителем для материала поверхностной обработки можно использовать отходы производства Мозырского НПЗ

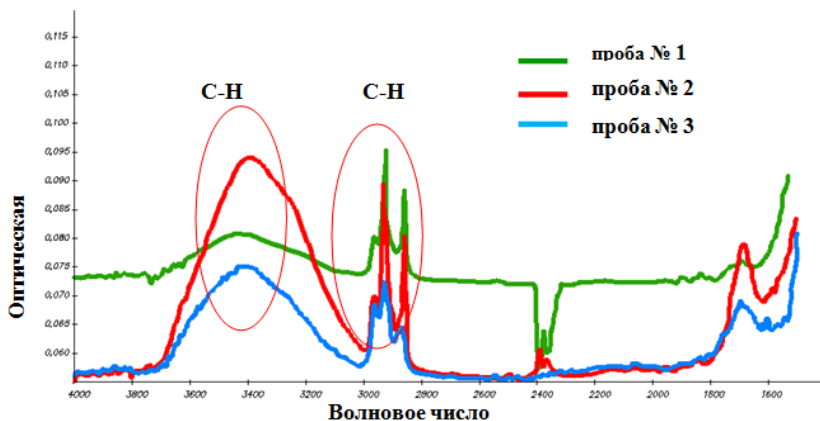


Рисунок 4 – ИК-спектры отходов производства Мозырского НПЗ

Заключение

Результаты представленных в настоящей работе исследований композиций, содержащих производные каучука, с помощью инфракрасной спектроскопии позволили интерпретировать состав материала, а продолжить экспериментальные исследования состава и концентрации материалов в готовом веществе.

Список литературы:

- 1 Валова (Копылова) В.Д. Основы экологии. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2002. – 264 с.
- 2 Марпл, С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М. : Мир, 1990. – 580 с.
- 3 Тарасевич, Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. – М. : 2012. – 55 с.
- 4 Чистяков, Е. Г. Разработка методов повышения эксплуатационно-прочностных характеристик автомобильных дорог с учетом циклического воздействия нагрузок : автореф. диканд. техн. наук : 05.23.11 / Чистяков Е. Г. – Волгоград, 2010. – 23 с.

5 **Леонович, И. И., Мельникова, И. С.** Погодно-климатические условия и их учет при выборе технологии и организации дорожных работ/ Труды БГУТ. – 2011. – № 2 : Лесная и деревообработ. пром-сть.

6 **Шаповалов, В. М.** Влияние полимерных модифицирующих добавок на физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов / Шаповалов В. М., Бочкарев Д. И., Купчинов Б. И. // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2006. Т. 11, № 1. – С. 68–73.

7 **Шаповалов, В. М.** Полимерные модификаторы и технологические аспекты получения на их основе композиционных дорожно-строительных материалов / Шаповалов В.М., Бочкарев Д.И., Плещачевский Ю.М. // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2005. – Т. 10, № 3. – С. 52–62.

8 **Шаповалов, В. М.** Влияние модификаторов на физико-химические процессы в композиционных битумоминеральных материалах / Шаповалов В. М., Бочкарев Д. И., Плещачевский Ю. М. // Доклады НАН Б. – 2007. – № 1. – С. 100–103.

9 Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия: СТБ 1062-97. – Введ. 01.07.1997. – Минск: Минскстройархитектура, 1997. – 28 с.

10 Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия: СТБ 1220-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минскстройархитектура, 2010. – 24 с.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА 3D-ПЕЧАТИ МОСТОВ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, Е. Д. ТОЛКАЧЁВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Мост – искусственное сооружение, возведенное через реку, озеро, болото, овраг, пролив или любое другое физическое препятствие. Мост, возведённый через дорогу, называют путепроводом, мост через овраг или ущелье – виадуком.

Рассмотрим как голландский стартап разработал роботизированный сварочный аппарат, который «напечатает» мост в Амстердаме. Уникальная технология 3D-печати позволит строить мост на месте с нуля и над водой что показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Создание моста

Голландский дизайнер Йорис Лаарман (Joris Laarman) откроет новую страницу в развитии строительных технологий. Он запустит робота, который автоматически "напечатает" металлический мост над водой канала в Амстердаме за два месяца, сваривая металлические конструкции. Мост будет таким же прочным, как и мосты, построенные по традиционным технологиям. И сможет прослужить многие десятилетия, и, возможно, доживет до тех времен, когда 3D-печать горячим металлом станет привычным делом.

Технология 3D-печати MX3D похожа на обычную трехмерную печать, только вместо пластиковой нити использует металлическую, а вместо подвижного в трех плоскостях экструдера – манипулятор с шестью осями (рисунок 2).

Нить из обычной или нержавеющей стали, меди, алюминия, бронзы подается к печатающей головке робота и расплавляется. Робот использует капли расплавленного металла для наращивания строящейся конструкции. Разработчики дополнили его сварочным аппаратом и специальным программным обеспечением, которое позволяет печатать 3D объекты из металла. При этом происходит горячая сварка, то есть изделие имеет высокую прочность сварного шва.

Роботы от MX3D обладают шестью степенями подвижности, что позволяет им создавать сложные трехмерные объекты, накладывая небольшое количество стали слой за слоем. Также механизмы могут продвигаться по мере выполнения работы. В случае со строительством моста они будут двигаться друг к другу, пока мост не будет соединен посередине.



Рисунок 2 – Робот от MX3D

За счет этой подвижности роботы могут производить объекты любого масштаба. Будущий мост в Амстердаме будет пока не очень большим — всего 8 метров в длину. Роботы изготовят всю конструкцию полностью, а также соберут специальную поддерживающую часть, которая будет выдерживать вес самих механизмов.

Особенность роботов от данного стартапа заключается в том, что они не повторяют однообразные действия, а выполняют сложные и разнообразные задачи. Для этого MX3D создали специальное программное обеспечение. Разработчики планируют усовершенствовать программы в будущем, дополнив их скриптами и кодами для создания других крупных объектов (рисунок 3).

Специализированные роботы-строители запрограммированы таким образом, чтобы вытягивать и сваривать вместе стальные сегменты, формируя тем самым сеть структурных линий и кривых, для формирования несущих конструкций этого моста. Если проект удастся воплотить, то он станет первым проектом подобного рода в мире, и подобные технологии можно будет использовать для строительства высотных зданий в будущем.

Сообщается, что в Амстердаме мост будет построен из нового стального композита, созданного специалистами Университета Делфта.

Этот сплав прочен, как сталь, и может применяться для печати с помощью технологии MX3D. После постройки мост будет использоваться в обычном режиме, то есть по нему можно будет пройти.



Рисунок 3 – Распечатка экспериментальной конструкции из металла

Новая технология имеет огромные перспективы, поскольку позволяет быстро создавать сложные металлические сооружения без возведения каких-либо сопутствующих поддерживающих конструкций, например лесов или временных промежуточных опор. Проще говоря, 3D-сварка MX3D сама строит себе опору и двигается вперед по возводимой конструкции. Это ускоряет и упрощает строительство, к тому же MX3D требует минимального участия человека и может работать круглосуточно (рисунок 4).



Рисунок 4 – Создание аппаратом MX3D прочных металлических прутков из капель расплавленного металла

В будущем новая технология 3D-печати может найти самое широкое применение: от строительства мостов и сложных арматурных конструкций под заливку бетоном, до постройки морских судов и ферм для космических станций на орбите.



Рисунок 5 – Первый напечатанный мост из металла в Амстердаме

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ В ЗДАНИЯХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ю. И. ШАНДРАК

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь на протяжении последнего десятилетия реализует комплекс мероприятий, направленных на снижение энергопотребления при возведении и эксплуатации объектов жилищного и гражданского назначения. Эти мероприятия включают в себя развитие и создание инновационных проектных и технических решений, имеющих энергосберегающий потенциал, использование доступных на территории Республики Беларусь альтернативных источников энергии и изучение достигнутых с их помощью результатов, непрекращающееся совершенствование нормативной и законодательной базы в строительной отрасли.

Регулярным изменениям подвергается ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» [1]. Строительные нормы проектирования», являющийся основополагающим документом для расчета и проектирования теплозащитной оболочки здания. Так, вышедшее к вышеупомянутому документу в 2014 году изменение №4 продиктовало новое требование об обязательном использовании коэффициента теплотехнической однородности ограждающей конструкции для определения величины ее сопротивления теплопередаче. Данное требование вполне обосновано для многоэтажных и общественных зданий, однако, возникает резонный вопрос о целесообразности столь детальных расчетов в отношении малоэтажных зданий индивидуальной жилой застройки по причине того, что проведение проектных и строительных работ данного типа зданий в абсолютном большинстве случаев полностью ложиться на плечи застройщика, являющегося рядовым гражданином нашей страны. Поскольку строительство индивидуальных жилых зданий преимущественно ведется хозяйственным способом, что практически всегда приводит к отступлениям от проектных решений, а сам процесс проектирования несомненно вырастет в цене, так как на данном этапе для подобных расчетов потребуется использование узкоспециализированного программного обеспечения и использование

труда специалистов, имеющих соответствующие навыки работы, поскольку готовых к применению в расчетах коэффициентов однородности для различных конструктивных решений практически не встречается, то появляется резонный вопрос: оправдывает ли цель средства ее достижения, ведь в результате все моральные и материальные затраты будут возложены на застройщика?

В связи с этим была поставлена задача: провести по данному вопросу исследование и выявить влияние, которое оказывает коэффициент термической неоднородности на учет тепловых потерь в зданиях малой этажности и индивидуальной жилой застройки.

Для решения поставленной задачи был проведен расчет удельного расхода тепловой энергии, потребляемых малоэтажными и индивидуальными домами на отопление и вентиляцию. Для всех исследованных наружных ограждений была применена легкая штукатурная система утепления. Данное решение связано с тем, что в настоящий момент она является единственной, имеющей описание значения коэффициента однородности ограждающей конструкции в нормативной документации. Так как учет коэффициента теплотехнической однородности происходил только при теплотехническом расчете наружных стен, то для прочих ограждающих конструкций сопротивления теплопередаче было принято равным нормативному значению.

В здании принято заполнение световых проемов одинарными деревянными переплетами с двумя нитками остекления, имеющими твердое низкоэмиссионное покрытие и уплотненными прокладками из полушерстяного шнура; двутрубная система отопления с терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе; естественная система вентиляции, что соответствует наиболее распространенным на практике решениям при строительстве индивидуальной жилой застройки.

Исследование позволило выявить полиномиальную зависимость второго порядка расхода энергии на отопление и вентиляцию в зданиях индивидуальной жилой застройки и малой этажности от расчетной компактности зданий. Пример характерных полученных результатов вычислений представлены в таблице 1.

На основании полученных в процессе исследования данных можно говорить о том, что необходимость учета коэффициента термической однородности ограждающей конструкции тем выше, чем меньше площадь проектируемого жилого здания и, в то же время тем меньше, чем площадь здания больше. Поэтому можно говорить о том, что обязательный учет коэффициента термической однородности для индивидуальных жилых домов вполне обоснован, так как во время эксплуатации здания (а большинство из них эксплуатируются порядка

90-100 лет), стоимость за потребляемые энергоресурсы, использованные на восполнение неучтенных потерь, многократно превысят первоначальные затраты на проведение корректного расчета на этапе проектных работ.

Таблица 1 – Неучтенные потери теплоты в индивидуальных жилых зданиях Δ , %

Ограждающая конструкция наружной стены	Коэффициент однородности ограждающей конструкции, γ	Индивидуальные жилые здания			
		Общая площадь, м^2			
		101,0	114,5	150,0	167,5
Газосиликатный блок с легкой штукатурной системой утепления	0,973	9,0	7,0	6,8	5,8
	0,978	7,1	5,6	5,4	4,6
	0,982	5,7	4,5	4,3	3,7
Керамический кирпич с легкой штукатурной системой утепления	0,973	9,8	7,7	7,5	6,3
	0,978	7,7	6,1	5,9	5,0
	0,982	6,2	4,9	4,7	4,0
Расчетный показатель компактности $k_e^{\text{des}}, \text{м}^{-1}$		1,10	1,03	1,01	0,97

Кроме того, экономическая целесообразность применения подробных расчетов будет тем выше, чем ниже станет стоимость проводимых дополнительных расчетов на стадии проектных работ. Оптимальным стало бы применение упрощенной методики определения значения неучтенных потерь тепловой энергии ограждающими конструкциями здания. Для этого было решено на основании полученных в ходе работы данных разработать инструмент для определения средней величины неучтенных потерь исходя из расчетного показателя компактности здания, выполненный в виде графиков, составленных для той или иной конструкции стены.

График зависимости неучтенных потерь тепла от расчетного показателя компактности для здания с наружными стенами из газосиликатного блока с легкой штукатурной системой утепления изображен на рисунке 1; для здания с наружными стенами из керамического кирпича с легкой штукатурной системой утепления на рисунке 2.

Разработанные графики могут быть использованы при реконструкции зданий индивидуальной жилой застройки для упрощенной методики расчета при разработке мероприятий по тепловой

модернизации наружных ограждающих конструкций. Кроме того, данные графики возможно применять при разработке мероприятий, направленных на приведение типовых проектов жилых зданий в энергоэффективный формат.

Изменения нормативных документов, направленные на актуализацию в соответствии с передовыми достижениями в области энергоэффективного строительства, должны позволить проектировщикам создавать высокоэффективную теплозащитную оболочку здания, а также решить вопрос оптимального подбора инженерного оборудования. Однако, на данный момент введенные изменения создали условия, в которых зачастую использование упрощенных методик, изложенных в них же, стало практически невозможным, а применение детальных методов весьма трудоемким.

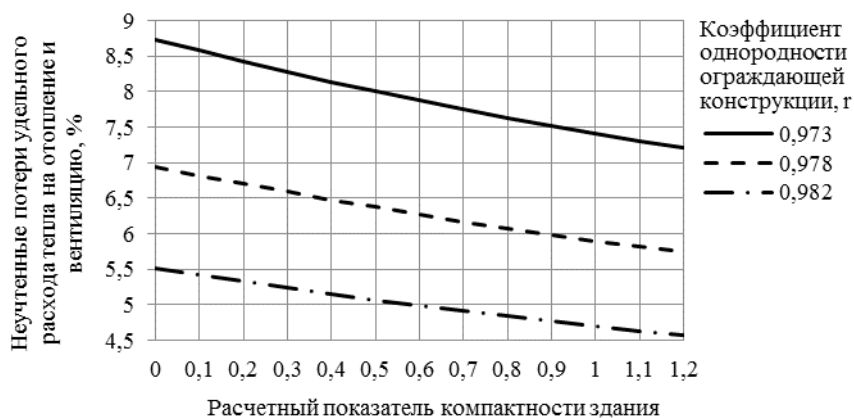


Рисунок 1 – График неучтенных потерь удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию для зданий с ограждающими конструкциями наружных стен из газосиликатного блока с легкой штукатурной системой утепления

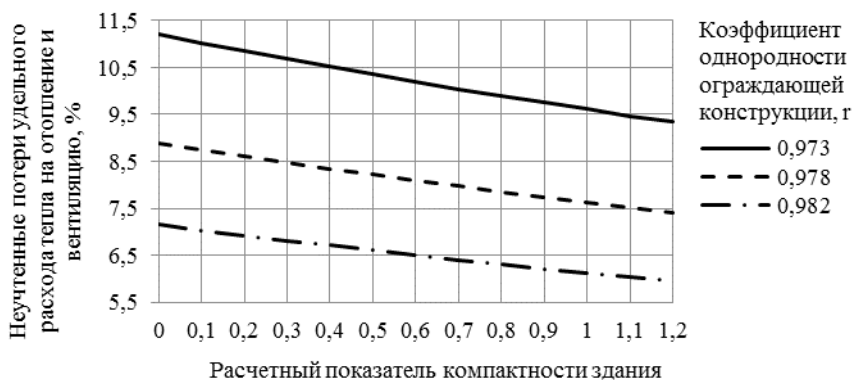


Рисунок 2 – График неучтенных потерь удельного расхода теплоты на отопление и вентиляцию для зданий с ограждающими конструкциями наружных стен из керамического кирпича с легкой штукатурной системой утепления

Список литературы

1 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 35 с.

**АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЕКТА
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
«ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ» В ЧАСТИ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Ю. И. ШАНДРАК, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта»

В странах бывшего Советского Союза осознание необходимости перехода к строительству энергоэффективных зданий пришло намного позже, нежели в других странах мира. Это произошло по причине того, что ряд проблем, созданных нефтяным кризисом 70-х годов прошлого века СССР не коснулся, а те, что затронули государство, им же и были решены, не потребовав личного участия каждого жителя страны, как это было во всем мире. Лишь после распада Советского Союза бывшие страны-участники приняли проблему и приступили к поиску ее решения.

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 европейскими и белорусскими требованиями, а также отличия между определением «энергоэффективного дома» как такового, можно говорить о том, что за все 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). Красноречивые цифры.

Несмотря на это, нельзя сказать, что в Беларуси ничего не сделано или работа над энергоэффективными стандартами и строительством энергоэффективных зданий не ведется. Началось активное освоение нормативной базы стран ЕС. Ключевое значение в данном случае заняли стандарты Германии, а также вышеназванная Директива 2010/31/ЕС. Однако на этапе анализа методик, изложенных в стандартах других

стран, явно ощущается нехватка переведенной на русский язык технической литературы и стандартов других стран, которая позволила бы присоединиться к процессу всем заинтересованным лицам. В данный момент РУП «Стройтехнорм» ведет разработку Технического регламента Республики Беларусь «Энергоэффективность зданий», который должен быть с гармонизирован с Директивой 2010/31/ЕС и станет 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, 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 это значение составляло порядка 37 % [1]. Концепцией государственной жилищной политики Республики Беларусь на 2012-2015 годы одной из задач было доведение доли индивидуального жилищного строительства до 50 % общего ввода жилья в эксплуатацию, и, вероятно, этого показателя удалось бы достичь, если бы не возникшие кризисные явления в мировой экономике. Но факт остается фактом, ежегодно порядка 40 % новых жилых площадей даже не рассматриваются для использования в них энергоэффективных решений. Не получил признания этот факт и в проекте Технического регламента, где этому вопросу не уделено никакого внимания. 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 уверенным 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. Опираясь на данные 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, и лишь замыкают пятерку солнечные электростанции [2]. Эти данные позволяют понять на сколько нерационально расходуются средства из-за недостаточной осведомленности как инженеров, так и самих застройщиков.

Стоит отметить и тот факт, что 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 РБ 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 пристраивается 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 всплывает вопрос, решить который на данный без изменения данного требования не представляется возможным: как проводить реконструкцию в деревнях и селах, 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 фоне 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 потребляет 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 ремонтнопригодными, должны получить более развернутое отражение в тесте 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 работу на длительном отрезке времени.

Отсутствие в Техническом регламенте четких требований к оценке технической, функциональной и экономической целесообразности принимаемых в проекте инженерных решений создает прецедент, когда любое решение может трактоваться как единственно верное при рассмотрении вопроса с удобной позиции. В данном случае, необходимо вести оценку исходя из работы конструктивного элемента или системы здания, а также проектных решений исходя из анализа жизненного цикла зданий. Задачу виртуального моделирования всего жизненного цикла от момента строительства до момента сноса здания и утилизации материалов, с учетом затрат на плановые и текущие ремонты, а также капитальные ремонты и реконструкцию, как и задачу по изучению химической и физической сочетаемости материалов возможно решить с применением технологии «BIM» (Building Information Modeling или Building Information Model), которая позволяет создать и изучать информационную модель здания на всех этапах его существования. Первые шаги в этом направлении уже сделаны: подписан Приказ №298 от 27.10.2014 года «О применении BIM-технологий в проектировании», а также по инициативе Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь ОАО «Инкотех» создана официальная общепромышленная библиотека семейств (виртуальных строительных элементов, имеющих все физические характеристики и геометрические размеры их реальных аналогов). Но применение BIM-технологий в нашей стране до сих пор недооценено и имеет ряд барьеров, главным из которых является небольшое количество специалистов владеющим в достаточной мере современным программным обеспечением.

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. Обращаясь к Директиве 2010/31/ЕС можно отметить, что 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, что 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 требования, своеобразной рекламой для программы

строительства энергоэффективного жилья в стране, ведь маркетологам давно известно, что именно «сарафанное радио» является самым дешевым и самым действенным способом борьбы за умы потребителей, а в данном случае индивидуальных застройщиков. Тем не менее, кроме этого вопроса на пути к практической реализации процесса сертификации придется решить ряд других, общих как для многоэтажного, так и для индивидуального строительства, среди которых можно выделить необходимость создания требований к процессу сертификации и технических условий для его проведения, а также вопрос о том, кто и когда должен проводить данную сертификацию, какое образование и опыт работы должен иметь, какие допуски должен получить. Без сомнения, стране необходима процедура и порядок проведения работ по сертификации, которые позволят создать единую базу специалистов, аттестованных на данный вид работ, а также единые 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.

Таким образом, изучив лишь часть вопросов, возникающих к проекту Технического регламента Республики Беларусь «Энергоэффективность зданий», который должен стать документом, отражающим цели, задачи и пути их достижения для национальной программы энергоэффективного строительства нашей страны, можно говорить о том, что предложенный документ требует серьезного анализа и доработки, иначе он не только не создаст подспорье для грамотной и продуктивной работы строительной отрасли в сфере индивидуальной жилой застройки, а умножит проблемы, решать которые в дальнейшей перспективе придется каждому жителю страны.

Список литературы

1 Программа индустриального индивидуального жилищного строительства Республики Беларусь до 2016 года. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2013. – 12 с.

2 PROТепло №2, октябрь 2014 / Электронный журнал «PROТепло» [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://proteplo.pro/issues/>. – Дата доступа : 04.02.2016.

УДК 624.2/8: 621.3.03

ПОДСИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА КАК ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМЫ

СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. Г. ШЕВЧУК, В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, Д. К. КРЮКОВА

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В современных условиях работы Белорусской железной дороги возрастают требования к обеспечению безопасности движения поездов, а также безопасных условий строительства и эксплуатации сложных инженерно-технических сооружений железной дороги, к которым, конечно же, относятся и железнодорожные мосты.

Постоянные воздействия внешних факторов приводят к постепенному износу мостовых сооружений, а при сверхнормативных нагрузках это может привести к ускоренному износу, необратимым деформациям и разрушению элементов конструкции. При обследовании эксплуатируемых мостов оценивается их физическое состояние, на основании которого разрабатываются рекомендации по дальнейшей их эксплуатации.

Сравнение результатов съемки, полученных в различные периоды эксплуатации сооружения, дают возможность проследить за изменением отдельных частей сооружения в пространстве, получить материалы для установления причин их возникновения и в случаях опасных отклонений принять меры по устранению или прекращению их дальнейшего развития. Однако, при возникновении критической ситуации, такие измерения не позволяют получать оперативные данные, а также не несут достаточной информации для расчета действительных текущих динамических характеристик сооружения, чтобы сравнить их с проектными значениями.

Поэтому актуальной задачей является разработка постоянно действующей системы спутникового мониторинга мостовых сооружений, способной осуществлять сбор, систематизацию, анализ, преобразование, отображение, хранение и распространение пространственно-координированных данных о контролируемых элементах мостового сооружения во время эксплуатации.

Автоматизированная система мониторинга деформаций мостового сооружения (АСДМ) является подсистемой спутникового мониторинга инфраструктуры железной дороги и представляет собой комплекс аппаратно-программных средств (КАПС) для осуществления измерений, интерпретации получаемых результатов, определения параметров объекта и инфраструктуры, обеспечивающей их работу, а также хранения результатов измерений и прогнозирования поведения контролируемого объекта.

КАПС включает в себя набор датчиков, установленных в критических точках элементов конструкции мостового сооружения, спутниковое геодезическое оборудование, высокоточные измерители углов наклона (инклинометры), геотехнические датчики, электронные тахеометры, коммуникационную аппаратуру, компьютерное оборудование, а также программное обеспечение для управления средствами сбора, обработки данных, визуализации определяемых параметров, анализа результатов и формирования отчетов и сообщений.

Инфраструктура, обеспечивающая работу КАПС, должна включать центр управления системой, оборудование, систему электропитания и систему коммуникаций (рисунок 1).

Вблизи моста устанавливают аппаратуру и антенны опорной навигационной станции, получающей информацию с космических аппаратов глобальных навигационных спутниковых систем (КА ГНСС).

В таблице 1 приведены данные о развитии этих систем в настоящее время. Как видно из таблицы, наибольшее развитие имеют американская система Navstar GPS – Navigation Satellite Timing & Ranging GPS – система спутникового временного и ранжированного глобального определения местоположения и российская система ГЛОНАСС – глобальная навигационная спутниковая система.



Рисунок 1 – Подсистема спутникового мониторинга моста

Таблица 1 – Развитие глобальных навигационных спутниковых СИСТЕМ

ГНСС	Покрывтие территорий Земли	Дата старта проекта	Статус	Спутников запущенных в настоящее время	Спутники в по плану
Navstar GPS	вся планета	1974	запущен	32	24
ГЛОНАСС	вся планета	1982	запущен	29	24
NSS Beidou	Китай и близлежащая Азия	2000	развивается	20	35
NSS Galileo	Европа	2005	развивается	10	30
QZSS	Япония, Австралия, Новая Зеландия	2006	развивается	1	4
IRNSS	Индия, Пакистан, Афганистан	2013	развивается	4	7

Системы GPS и ГЛОНАСС удачно дополняют друг друга, т. к. большинство спутников системы GPS находится на экваториальных орбитах, а большинство спутников системы ГЛОНАСС – на орбитах, проходящих в приполярных областях земного шара. При этом точность позиционирования при одновременном использовании обеих ГНСС может составить до нескольких сантиметров.

На мосту устанавливаются датчики системы ГЛОНАСС/GPS, антенна навигационного датчика колебаний моста и др.

Информация о состоянии моста от различных датчиков и систем собирается в объектовом центре мониторинга, расположенном в сооружении около моста с последующей передачей по проводному или цифровому радиоканалу обобщенной информации в дорожный центр мониторинга мостовых сооружений и, при необходимости, в структуры аварийно-восстановительных подразделений.

Применение автоматизированной системы мониторинга деформаций на мосту (рисунок 2) позволяет оперативно контролировать состояние мостовой конструкции, смещения и прогибы, возникающие в результате влияния внешних природно-климатических воздействий, а также интенсивной транспортной нагрузки.



Рисунок 2 – Аппаратура спутниковой системы мониторинга моста

Важной функцией системы также является мгновенное оповещение сотрудников службы эксплуатации моста и службы быстрого реагирования (МЧС и др.) о потенциально опасной ситуации в случае превышения допустимых размеров деформаций конструкции. Это увеличивает безопасность движения транспорта по мосту и под мостом, позволяет избежать тяжелых последствий в случае чрезвычайной ситуации. КАПС выводит на монитор оператора дорожного центра мониторинга мостовых сооружений отображение информации о группировке спутников ГЛОНАСС и GPS над мостом в текущее время (рисунок 3); данные мониторинга состояния мостового сооружения, в т. ч. вертикальных и горизонтальных смещений под воздействием сильной ветровой нагрузки и движения поездов по мосту (рисунки 4–5).

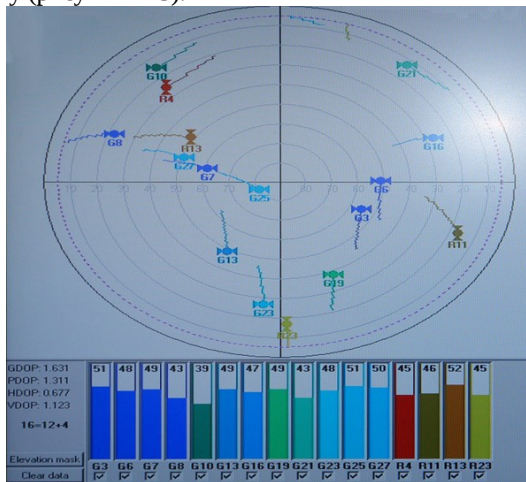


Рисунок 3 – Отображение группировки доступных спутников ГЛОНАСС и GPS над мостом

Анализ их позволяет увидеть тенденции к возможным предельно-допустимым изменениям конструкции мостового сооружения, своевременно получить и обработать нужную информацию и принять обоснованное решение о необходимости изменения режима эксплуатации моста или его текущего ремонта.



Рисунок 4 – Вертикальные смещения моста от сильных порывов ветра и движения поездов





Рисунок 5 – Горизонтальные смещения моста от сильных порывов ветра и движения поездов

Предупредительные меры позволят сэкономить средства, не прибегая к капитальной реконструкции мостового сооружения, которая может стать необходимой в случае непредсказуемой деформации или разрушения моста.

УДК 2131.32

НАВЕСНОЙ АГРЕГАТ НА БАЗЕ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС» ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЛЬДА И ТЕКУЩЕГО (ЯМОЧНОГО) РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЧ РАЗОГРЕВА

В. О. ХАРЧЕНКО

Учреждение образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

Для выполнения работ по текущему ямочному ремонту асфальтобетонных покрытий рекомендуется работать с глубиной выбоин (разрушений) до 40 мм и площадью ремонтируемого покрытия в

одном месте до 0,5м² (0,5 x 1,0 м). Для заделки карт используют горячую асфальтобетонную смесь.

СВЧ - агрегат представляет собой матрицу размером 1,5м x 1,0м с размещёнными сверху генераторами СВЧ электромагнитного поля общей мощностью 20 кВт. Он предназначен для нагрева СВЧ полем диэлектрических материалов расположенных на поверхности земли. В частности, его можно применять для разогрева асфальтовых покрытий при их ремонте, для удаления ледяного покрова с поверхности асфальта без его разрушения. Возможно применение СВЧ - агрегата и по другим назначениям.

Ремонтные технологии сегодня в основном базируются на заплаточном подходе. Но, как известно, срок службы заплатки от нескольких месяцев до года (в лучшем случае). Все дело в том, что само основание, в которое укладывается заплатка является не подготовленным. Как правило, оно влажное, холодное и химически инертное. Если использовать СВЧ-технологии для нагрева места, в которое наносится заплатка, а также для нагрева самой заплатки, чтобы сваривание материалов носило не только физический, но и химический характер. Тогда срок службы заплатки становится больше срока службы остального дорожного полотна.

Агрегат состоит из:

1. Рама – 1шт.
2. СВЧ модули двухмагнетронные – 10 шт.
3. Блоки питания сдвоенные – 10 шт.
4. СВЧ защита по периметру рамы.
5. Вентиляторы сдвоенные – 20 шт.
6. Кожух с системой вентиляции.
7. Пульт управления (расположен в кабине трактора).
8. Трактор «Беларус».

Технические характеристики:

1. Размер матрицы (площадь захвата обрабатываемой поверхности) - 1,5м x 1,0м.
2. Мощность СВЧ излучения – 20 кВт.
3. Частота излучения – 2450 МГц.
4. Источник питания – 220В, 50 Гц, 30 кВт (синхронный 3-х фазный генератор с самовозбуждением)
5. Потребляемая мощность – до 30 кВт.

6. Величина неиспользуемого СВЧ излучения на расстоянии 0,5 м от поверхности устройства не более 10 мкВт/см².

7. Скорость удаления льда (независимо от его толщины) 0,5-1,0 м/мин.



Организация и технология производства работ:

текущий ремонт асфальтобетонных покрытий выполняют в сухую погоду при температуре воздуха не ниже 5°C.

разогрев асфальтобетонных покрытий производят до температуры 100–120°C с применением СВЧ разогрева.

блок СВЧ устанавливается параллельно ремонтируемой поверхности.

время разогрева асфальтобетона примерно 30 минут (определяется мощностью СВЧ блока).

предельную степень разогрева определяют по появлению синего дыма над поверхностью покрытия, что указывает на начало выгорания вяжущего.

Состав работ при ремонте асфальтобетонных покрытий:

1. установка технических средств организации дорожного движения;

2. очистка поверхности ремонтируемого покрытия;

3. разметка мест ремонта;

4. СВЧ разогрев асфальтобетонного покрытия;

5. разрыхление (вскиркование, удаление разогретой смеси);

6. придание вертикальности по контуру карты;

7. планировка вскиркованной смеси;

8. укладка и разравнивание новой смеси;

9. дополнительный СВЧ разогрев;
10. уплотнение уложенной смеси;
11. уборка отходов;
12. снятие технических средств организации движения.

УДК 630.116.25

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ГРУНТОВОЙ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЕ АЭРОДРОМА

А. К. ЮШКЕВИЧ, Д. Ю. МЯГКОВ

Учреждение образования

«Белорусская государственная академия авиации», г. Минск

В соответствии с Руководством по эксплуатации аэродромов Вооруженных Сил Республики Беларусь (далее – РЭА) [1], дерновый покров на летном поле должен удовлетворять следующим требованиям:

иметь равномерный и густой травостой и плотное сплетение корней на глубину не менее 12 см;

быть однородным по составу трав-задернителей;

обладать упругостью и устойчивостью к истиранию;

иметь по возможности однородную структуру и плотность почвы на всей рабочей площади летного поля.

Уход за дерновым покровом включает: прочесывание, прикатывание, скашивание трав, уничтожение сорняков, подкормку трав минеральными удобрениями, искусственный водополив, борьбу с грызунами. Так же дерновый покров не должен способствовать привлечению и сбору птиц в районе аэродрома, приводящих к ухудшению орнитологической обстановки.

Для достижения вышеуказанных необходимых условий, создания прочного и долговечного дернового покрова, используют травосмеси, включающие луговые злаки и бобовые растения.

Для создания дернового покрова используется в большинстве случаев травосмесь «Аэродромная» [2]. Она применяется для засева летных полей, взлетных площадок и полос, для предохранения их от вымывания и выветривания, а также для задерживания пыли, которая может затруднять видимость при взлетах и посадках, создавая опасность катастрофы, оседать на корпусах и механизмах, приводя их в негодность.

Для улучшения качества дернового покрова на старто-финишных участках грунтовой взлетно-посадочной полосы, которые наиболее

подвержены внешнему воздействию, предлагается совместно с травосмесью «Аэродромная», использовать травосмесь «Дорожная» [3]. Данная травосмесь обладает очень высокой устойчивостью к внешним повреждениям. Травосмесь «Дорожная» обеспечивает прочный и жесткий дерновый покров, который на должном уровне выдерживает нагрузку от пневматиков шасси летательного аппарата, сильного ветра и осадков. Также она обеспечивает устойчивость к огню, вытаптыванию, долговременное сохранение внешнего вида, способность к дренажу почвы, и что не маловажно – устойчивость к загрязнению почвы солью, задымленности, оседанию продуктов сгорания топлива.

Типы трав, представленные в составе травосмеси «Дорожная», обеспечат сохранение необходимой орнитологической обстановки на аэродроме, так как не являются семенными и не привлекают птиц в район аэродрома.

Таким образом, способность данного дернового покрова противостоять вытаптыванию, огню, обеспечивает возможность проведения работ по уходу и ремонту грунтовой части летного поля с использованием техники без ограничений. Так же обеспечивается сохранение дернового покрова в случае возгорания травы, воздействия отрицательных температур, сильных ветров, загрязнения почвы солью, задымленности, оседании продуктов сгорания топлива. Прочность данного дернового покрова обеспечит безопасную посадку летательного аппарата в аварийной ситуации.

Список литературы

1 РУКОВОДСТВО по эксплуатации аэродромов Вооруженных Сил Республики Беларусь, утвержденное приказом командующего ВВС и ВПВО от 11.11.2015 года №400.

2 Интернет источник http://www.msemena.ru/pages_5/travosmes_ajerodromnaja.html от 29.03.2016 г.

3 Интернет источник http://www.msemena.ru/pages_5/dorozhnyj-gazon.html от 29.03.2016 г.

УДК 696.48-67

МОДИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Т. В. ЯШИНА

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В строительстве реализуются десятки сложных и ответственных строительных проектов; возросли требования к качеству сооружений, коммуникаций, дорог, дорожных покрытий, а значит, и к бетонам и к железобетонным конструкциям транспортного назначения. Несомненно, это выдвигает дополнительные требования к производству и совершенствованию строительных материалов, и в первую очередь, относится и к традиционному бетону. Наиболее часто встречающиеся на дорогах искусственные сооружения – это мосты и водопропускные трубы, реже – 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. Все 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 сильнопластифицирующие добавки. Они снижают водоцементное отношение и повышают прочность при высокой удобоукладываемости. При добавлении в бетонную смесь они «разжижают» её, увеличивая растекаемость до 63 см без добавления лишней воды, стабилизируют процесс гидратации цемента, тем самым, повышая характеристики бетонной смеси. Несмотря на некоторое удорожание стоимости бетона, применение добавок экономически оправдано из-за улучшения ряда технологических параметров и повышения эксплуатационных свойств.

Объектом исследования являлись композиционные строительные материалы - бетоны, растворы, модифицированные новыми химическими

добавками комплексного действия и тонкодисперсными наполнителями, и железобетонные конструкции из них, применяемые для инженерных сооружений.

Для повышения морозостойкости и водонепроницаемости бетона, улучшения технологических свойств бетонной смеси и экономного расходования цемента нормами рекомендуется вводить в бетонную смесь химические добавки пластифицирующего, пластифицирующе-воздухововлекающего, воздухововлекающего или газообразующего действия [1]. 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, 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.

Эти добавки “нового поколения” позволяют получить весь спектр свойств, который так остро необходим в технологии производства бетона: высокое качество и долговечность бетона, существенное энергосбережение, эффективную защиту арматуры от коррозии. Наибольшее распространение получили супер- и гиперпластификаторы (например, серии Хидетал – ГП-9 модификации альфа, бета, гамма, эпсилон), улучшающие многократно 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°C), что актуально для возведения сооружений в наших климатических условиях.

Выбор состава бетона должен соответствовать достижению заданной прочности и морозостойкости при минимальном расходе цемента и обеспечении заданной подвижности бетонной смеси. Для уменьшения расхода цемента в морозостойких бетонах следует снижать водопотребность бетонных смесей путем введения в них комплексных добавок, содержащих наиболее эффективные пластификаторы [1].

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 [2]. 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 совместно с тонкодисперсными наполнителями в бетонах заключается не только в улучшении строительно-технических свойств (повышении удобоукладываемости бетонной смеси, значительном ускорении твердения, повышении плотности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона), но и экономии вяжущего, уменьшении дефектности конструкций, а, следовательно, повышении качества и долговечности искусственных сооружений.

Список литературы

1 СТБ 2221-2011 Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия. – Введ. 2012–01–01. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2012. –21 с.

2 Соломатов В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах Мд. Интенсивная технология бетона – М.: Стройиздат, 1999. – 264 с.

УДК 63.3(2)5 68

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИГРАНИЧНЫХ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ – КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ АГЛОМЕРАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ДО XX ВЕКА

А. М. СЕРГЕЕВ

Учреждение образования

«Московский государственный строительный университет»,

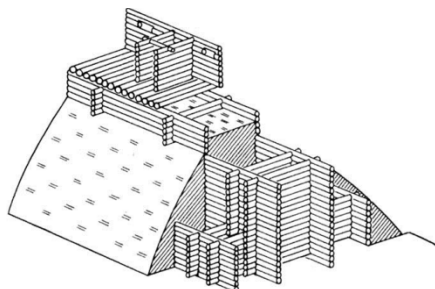
Защита территорий и его населения. Начиная с первобытно-племенного строя, для обеспечения нормальной жизнедеятельности людей, постоянно стояли две задачи: защита и освоение новых территорий. Защита как племени в целом, так и отдельных его групп в частности. Охотники, обеспечивающие пищу всему племени, постоянно вынуждены были расширять ареал зоны своей охоты. Иногда они были вынуждены удаляться на несколько дневных переходов и осуществлять ночевки в местах, не имеющих естественного укрытия. В целях защиты от диких зверей они были вынуждены на своих основных маршрутах устраивать временные убежища из подручных материалов. В основном это были круговые ограждения из деревянных столбов или высоких камней, вкопанные в землю. Так появились прообразы первых искусственных оборонительных (фортификационных) сооружений.

В ходе всего исторического развития нашей территории эти искусственные сооружения постоянно модифицировались, исходя из состояния исторических реалий, государственно-политической ситуации и научно-технической мысли на конкретный момент. Менялось и их назначение. При появлении государственности, такие сооружения из чисто оборонительных стали носить и территориально-административные функции.

Понятие крепости. Классификация крепостей в начале XX века [1].

Этапы развития пограничных фортификационных сооружений

На ранней стадии государственности пытались защитить всю территорию по границе **непрерывными оградами**. Как пример – Великая Китайская стена или Змиевы валы.



В 1984 году комплексная археологическая экспедиция Академии наук СССР проводила раскопки на Змиевых валах (южная часть Украины). Эти валы создавались нашими предками для защиты от набегов «степняков». Используя рельеф местности, они возводили искусственные сооружения – земляные валы высотой от 8 до 12 метров. Возведение таких сооружений проводилось в течение многих веков. Их возраст определяется от трех с половиной до двух с половиной тысяч лет. Положение менялось со временем, расширяясь в сторону степи.

На валах, через определенные расстояния, зависящие от оперативно-тактических схем обороны территории, устраивались дополнительные

оборонительные сооружения, предназначенные для расквартирования и обороны постоянных воинских гарнизонов. Большая часть таких сооружений, возводимых по технологии «ряж» [1], находилась в земляном теле валов, где из дерева устраивалась облицовка для подсобных помещений фортификационного сооружения:

- складов продовольствия, одежды, вооружения
- конюшен
- складов фуража и т.п.

В пристраиваемых сооружениях, обнесенных защитным тыном из бревен, а в некоторых случаях и стеной из камня, устраивались необходимые служебно-бытовые помещения. Во многих местах под защитой таких городков разрастались сельские поселения.

В *средневековье*, вместо приграничной сплошной защиты, хаотично создавались многочисленные укрепленные центры (феодалные замки, крепости на основных торговых путях). Только во Франции существовало около 50000 таких сооружений [2]. С ростом абсолютизма и возрастанием роли купечества и городов большинство феодальных замков потеряли свою защитную функцию.

В *конце XVII века* впервые систему защиты приграничья государства (Франции) разработал и внедрил маршал Вобан (1633-1707) [3].

В дальнейшем его идеи нашли широкое распространение по всей Европе. К середине XIX века (1848) в 16 континентальных государствах Европы насчитывалось 673 крепости, в том числе во Франции – 199, Австро-Венгрии – 53, России – 44 [2].

Этапы развития территории России в период 16 -19 веков

1581 – 1585 г.г. завоевание Сибири Ермаком

1648 – 1671 г.г. освоение Восточной Сибири и части Дальнего Востока Ерофеем Хабаровым

8 (18) января 1654 года в Переяславе состоялась **Переяславская рада**, на которой было объявлено об объединении территории Войска Запорожского с Русским царством

1696 – 1721 г.г. военные походы Петра I позволившие России:

Завоевать крепость Азов, начать строительства порта Таганрог и флота на Черном море, что обеспечивало защиту от нападения со стороны Крымского ханства на южные границы России.

После победы в Северной войне расширить территории России в Прибалтике

Присоединить Камчатку

12 (23) сентября 1723 года был заключён Петербургский договор с Персией, по которому в состав Российской империи включались западное и южное побережье Каспия с городами Дербент и Баку и провинциями Гилян, Мазендеран и Астрабад

1 «Словарь фортификационных терминов». Государственный музей истории Санкт-Петербурга, 2014

2 **Величко, К. И.** «Инженерная оборона государств и устройство крепостей. Сухопутные крепости». Изд. 2-е – Москва, Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012, 248 стр. (Академия фундаментальных исследований истории)

3 Вобан Себастьян Ле Претр де «Большая советская энциклопедия : [в 30 т.]» — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.

4 «Повестка дня на XXI век». Принята на Конференции ООН по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро, 3—14 июня 1992 года. Издатель ООН, 23 апреля 1993 г., 300 стр.

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
«ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ – ГОРОД-СПУТНИК»
ЗА РУБЕЖОМ В КОНЦЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКОВ**

Т. А. ВЛАСЮК

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В конце XIX и начале XX веков Э. Говардом, английским социологом и теоретиком градостроительства, была предложена теория децентрализации крупных городов путем создания вокруг них городов-спутников, именуемых им как города-сады, являющиеся типовыми поселениями, призванными разгрузить мегаполис через сеть железных дорог и создать гармоничную среду для жизнедеятельности человека. При этом пропуск железнодорожных линий в центральные районы городов привел к сложным планировочным решениям из-за постепенного «расползания» территории, занимаемой железнодорожной инфраструктурой. Почти каждая железнодорожная линия, входящая в город, образно говоря, «обрастала» подъездными путями с последующим строительством складов, а обширные территории железнодорожных станций делили город пополам, что потребовало в дальнейшем устройство путепроводных развязок и эстакад и привело к формированию системы «город – железнодорожный транспорт – город-спутник», в которой пассажирские станции, вокзалы, участки железной дороги, обслуживают как внешние, так и внутригородские сообщения.

Города-спутники явились эффективным ресурсом использования потенциала городов-центров и решения их сложных социально-экономических и градостроительных проблем на основе железнодорожного сообщения часто при помощи окружной железной дороги, которую следует рассматривать, согласно исследований Бутко С. О. как обходной, распределительный и объединяющий транспортный канал связи, который может принимать форму круга (Париж, Берлин, Ливерпуль, Бирмингем, Бордо, Бухарест, Москва, Копенгаген, Рим), прямоугольника (Лондон, Мюнхен, Майнц), треугольника (Лион, Вена, Лилль, Амстердам), многоугольника (Гамбург, Нюрнберг, Кельн), находясь во взаимном влиянии с планировочной структурой города.

В таблице 1 представлена схема Парижа и его окрестности, где кругами очерчены так называемые города-сады, строившиеся на протяжении 30-х годов и, которые благодаря сети железных дорог имели устойчивую транспортную связь городом-центром, что стало одним из

важнейших факторов расширения агломерации.

Таблица 1 – План-схема Парижской агломерации и ее железнодорожной сети

Схема размещения городов-садов в Парижской агломерации	Сеть главных магистралей и железнодорожный узел
 <p>-  - города – сады  - железная дорога</p>	 <p>Вокзалы: 1 – Сен-Лазар; 2 – Северный; 3 – Восточный; 4 – Венсенский; 5 – Лионский; 6 – Орлеанский; 7 – Данфер; 8 – Монпарнас; 9 – Инвалидов</p>

Приведенный пример показывает, что одним из ключевых факторов способствующих формированию и развитию городов-спутников в странах Западной Европы является наличие железнодорожной сети, которая в конце XIX в составила 297, 2 тыс. км (таблица 2).

Таблица 2 – Схема железнодорожной сети стран Западной Европы

Схема сети железных дорог Европы в первой половине XIX в	Краткая характеристика густоты сети по соотношению длины железной дороги к площади наиболее развитых страны Западной Европы на каждые 100 км ² пути, км		
	Великобритания	Германия	Франция
	32	56	50
	Протяженность железных дорог на 1000 км, км		
	100	74	65
Протяженность железных дорог на 100000 жителей, км			
84	84	90	

Как видно из таблицы 2 в странах Западной Европы преобладает радиальное развитие железных дорог, строившихся от столиц к периферийным промышленным районам. В таблице 3 представлена железнодорожная сеть стран Европы и США в период 1910 – 1916 гг.

Таким образом, исторический анализ системы «город – железнодорожный транспорт – город-спутник» показал, что железнодорожный транспорт является значимым фактором в реализации потенциала городских территорий и повышении уровня транспортного обслуживания населения. При этом он обеспечивает связность

территорий города с его пригородами и интенсивность их освоения.

Таблица 3 – Железнодорожная сеть стран Западной Европы и США

Страна	Увеличение железнодорожной сети, %
Италия	7,6
Голландия	6,4
Германия	6,3
Австро-Венгрия	4,1
Франция	4,1
Бельгия	3,6
Англия	2,8
Испания	2,4
Россия	22,6
США	7,9

Список литературы

1 **Борщевский, М. В.** Город. Методологические проблемы комплексного социального и экономического планирования / М. В. Борщевский, С. В. Успенский, О. И. Шкаратан – М. : Наука, 1975. – 204 с.

2 **Брайловский, Н. О.** Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский -М., Транспорт, 1978. – 126 с.

3 **Браде, И.** Районная планировка и разработка схем расселения / Браде И., Перцик Е. Н, Питерский Д. С. – М., 2000. 136 с.

4 **Перцик, Е. Н.** Геоурбанистика : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е. Н. Перцик. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 432 с.

5 **Перцик, Е. Н.** Города мира. География мировой урбанизации. / Перцик Е. Н. – М. : Издательство: «Международные отношения». – 1999. – 384 с.

С Е К Ц И Я IV
МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ
СООРУЖЕНИЙ

УДК 629.432

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА ПОДКЛЮЧЕНИЯ
НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

В. С. МОГИЛА, О. С. АНАНЬЕВА, В. Н. ПОДОЛЬСКАЯ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Метрополитен является одним из основных средств перевозки пассажиров в транспортной системе крупных городов. Надежность и экономичность этого вида транспорта, в значительной степени, зависит от параметров системы электроснабжения метрополитена (далее – СЭМ).

Особенностью электрической нагрузки СЭМ является ее неравномерность, что сопровождается значительными потерями электрической энергии в ее элементах. Одним из способов снижения этих потерь является применение накопителей электрической энергии (далее – НЭЭ) в тяговых сетях. Наиболее перспективным устройством, в техническом и экономическом отношении, является НЭЭ на базе суперконденсаторов, который способен накапливать электрическую энергию, в достаточно большом количестве, за короткий промежуток времени с последующей отдачей ее потребителю. Устройства такого типа в основном применяются на участках с рекуперативным торможением. Энергия рекуперации при этом частично потребляется электрическим подвижным составом (далее – ЭПС), работающим в данный момент в зоне питания, и частично накапливается в НЭЭ.

На кафедре «Электрический подвижной состав» (далее – «ЭПС») учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» (далее – УО «БелГУТ») были проведены исследования по определению эффективности использования НЭЭ на тяговых подстанциях (далее – ТП) метрополитена в условиях отсутствия на

участках рекуперативного торможения. Для решения поставленной задачи была рассмотрена работа одного участка тягового электроснабжения метрополитена, состоящая из одной межподстанционной зоны. Расчетная схема участка содержала две тяговые подстанции (ТП1–ТП2) и единицу подвижного состава. При это НЭЭ был расположен на ТП1, подключенный непосредственно к шинам ТП1. Схема замещения для рассматриваемого расчетного участка представлена на рисунке 1.

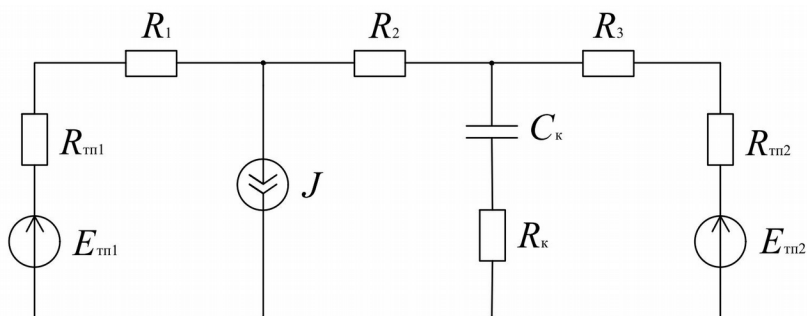


Рисунок 1 – Схема совместной работы электрического подвижного состава и системы тягового электроснабжения с НЭЭ

На рисунке 1, $E_{тп1}$, $E_{тп2}$ – эквивалентные ЭДС первой тяговой подстанции и второй соответственно; $R_{тп1}$, $R_{тп2}$ – эквивалентное внутреннее сопротивление первой и второй тяговой подстанции; R_1 – сопротивление участка контактной сети от ТП до места потребления тока подвижным составом; J – суммарный ток тяговых двигателей поезда метрополитена находящегося в режиме тяги; R_2 – сопротивление участка цепи контактной сети от тяговой подстанции до места подключения НЭЭ к контактной сети; $R_к$ – внутреннее сопротивление НЭЭ; $C_к$ – емкость НЭЭ; R_3 – сопротивление участка контактной цепи от места подключения НЭЭ до тяговой подстанции.

Расположение НЭЭ на ТП упрощает их эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

В момент отсутствия нагрузки в зоне питания НЭЭ работает в режиме накопления энергии, при этом заряд происходит от шин преобразователей. Сопротивление цепи, в которой установлены НЭЭ, не велико, заряд при этом протекает достаточно интенсивно. В период времени, когда на фидерной зоне появляется ЭПС, работающей в режиме тяги, контактная сеть отключается от шин ТП и подключается к НЭЭ. Переключение осуществляется при помощи бесконтактного

коммутирующего устройства, позволяющего безынерционно осуществлять переключение.

Расчеты, проводимые по разработанной на кафедре «ЭПС» методике, показали, что применение НЭЭ в системе тягового электроснабжения оказалось экономически выгодным. Это определяется тем, что потери электроэнергии в СЭМ без установки в ней накопительных устройств, за один пуск составили 6,7 кВт ч, потери с установленным накопителем составили 5,1 кВт ч. Экономия электроэнергии за счет применения НЭЭ за один пуск составила 1,6 кВт ч. За год расход электрической энергии снижается на 241 МВ ч на однопутном участке. На двухпутных участках, значение сэкономленной энергии достигает 481 МВт ч в год. Расчеты проводились при интервале попутного следования поездов 180 с. Капитальные затраты на установку одного НЭЭ составляет 4 18500 деноминированных бел. руб., при этом расчетный срок окупаемости составляет не более 7 лет. Однако, интервал попутного следования на линиях Минского метрополитена предполагается снизить до 105 с, что повысит уровень экономии электроэнергии и снизит срок окупаемости. Очевидно, что в результате применения рекуперативного торможения повышает эффективность применения НЭЭ на участках электроснабжения метрополитена.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что установка НЭЭ на участках электроснабжения Минского метрополитена позволяет уменьшить расход электроэнергии на движение поездов, за счет снижения потерь в тяговой сети, а их применение является технически обоснованным и экономически целесообразным.

УДК 629.423:621.3.025

ВЛИЯНИЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ В ТОЧКАХ ОБЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

В. С. МОГИЛА, В. А. ЗАГОРЦЕВ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

При вводе в эксплуатацию на Белорусской железной дороге (далее – БелЖД) электрического подвижного состава (ЭПС) с асинхронным тяговым приводом и возможностью применения рекуперативного торможения возникла необходимость оценки его влияния на систему тягового и внешнего электроснабжения. К таким типам тягового подвижного состава относятся грузовые электровозы серии БКГ-1 и

БКГ-2, пассажирские поезда ЭП20, и электропоезда фирмы «Stadler». На перечисленных ЭПС наряду с пневматическим торможением применяется и рекуперативное, имеющее высокую мощность и развивающее значительное тормозное усилие; оно в основном применяется в качестве регулировочного, для подтормаживания на затяжных спусках.

Рекуперативное торможение является одним из видов электрического торможения, и представляет собой процесс преобразования кинетической энергии поезда в электрическую, вырабатываемую тяговыми двигателями локомотива, работающими в генераторном режиме. Электроэнергия, получаемая в результате рекуперативного торможения, возвращается в контактную сеть, при этом уровень напряжения на токоприемнике электровоза должен превышать значение напряжения в контактной сети.

Для обеспечения устойчивого режима рекуперации необходима надежная передача вырабатываемой электроэнергии в систему тягового электроснабжения (СТЭ), при этом возможны два основных случая ее утилизации: энергия рекуперации будет потребляться в границах СТЭ или, в случае отсутствия потребителей – отдаваться в систему внешнего энергоснабжения.

Экономически наиболее выгодным является случай, когда энергия, выработанная электровозом при торможении, будет потребляться другим ЭПС работающим на данной фидерной зоне в режиме тяги. Как показали расчеты, проведенные работниками научно-исследовательской лаборатории «Системы тягового электроснабжения» кафедры «Электрический подвижной состав» БелГУТа потери в тяговой сети при применении рекуперативного торможения несколько возрастают, однако общий расход электроэнергии на тягу поездов снижается в значительной степени.

Расчеты с использованием математической модели совместной работы ЭПС и СТЭ 1х27,5 кВ показали, что даже если в зоне питания находится значительное количество ЭПС работающего в режиме тяги, не всегда энергия рекуперации потребляется в границах тяговой сети – часть ее отдается в систему внешнего энергоснабжения. При этом коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности в точках общего присоединения превышает нормально и предельно допустимые значения, а значит качество этой энергии не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97 [1].

Для подтверждения результатов расчетов были проведены натурные испытания целью которых было исследование эффективности рекуперативного торможения электровоза БКГ-1. Грузовой поезд массой 6000 т ведомый электровозом БКГ-1 осуществлял регулировочные торможения используя рекуперативный тормоз на участке БелЖД,

электрифицированном по СТЭ 1х27,5 кВ. При этом на тяговой подстанции было установлено измерительное оборудование (энергомониторы) контролирующее параметры системы на первичной и вторичной обмотках тягового трансформатора. По результатам исследований было установлено, что качество напряжения в точках общего присоединения не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97, так как отклонения некоторых параметров превышали нормально и предельно допустимые значения.

В эксплуатации возврат энергии рекуперации в сеть внешнего энергоснабжения носит случайный характер, при этом выработанная электроэнергия имеет низкое качество, и продавать ее не представляется возможным. Наиболее рационально энергию рекуперации использовать исключительно в границах СТЭ на тягу поездов, что требует оптимизации графика движения поездов и, возможно, расположения в зоне питания накопителей электрической энергии. Это позволит сделать потребление электрической энергии более равномерным во времени, снизить пиковые значения нагрузки графиков тяговых подстанций, уменьшить потери электрической энергии в тяговой сети и снизить общий расход энергии на тягу поездов.

Список литературы

0. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. ГОСТ 13109-97. Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 12 – 97 от 21 ноября 1997 г.).

УДК 629.423.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИВодОВ С АСИНХРОННЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Д. Н. РАКОВ, В. Н. ГАЛУШКО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В настоящее время в эксплуатацию на Белорусской железной дороге введены электропоезда с асинхронным тяговым приводом (далее – АТП), построенным на базе полупроводниковых элементов, которые позволяют осуществлять регулирование амплитуды напряжения и частоты на двигателях, при работе их в различных режимах (тяга, рекуперация).

На электровозах переменного тока нашли широкое применение схемы, собранные по принципу источник питания–выпрямитель–инвертор–двигатель. Необходимость в преобразователях на подвижном составе переменного тока обусловлена, прежде всего, применением тяговых двигателей переменного тока, на которые необходимо подавать пониженное переменное синусоидальное напряжение. Номинальное напряжение в контактной сети переменного тока с промышленной частотой 50 Гц составляет 25 кВ, а рабочее напряжение силового оборудования электровоза значительно меньше, поэтому необходимо понижать это напряжение до номинальных значений, а также осуществлять регулирование частоты и амплитуды выходного напряжения на асинхронных тяговых двигателях для изменения их скорости вращения и регулирования силы тяги электровоза.

Цель исследования:

–проанализировать работу автономного инвертора напряжение в условиях использования метода широтно-импульсной модуляции;

–проанализировать гармоники по напряжению в режиме тяги для АИН;

–с помощью Matlab Simulink собрать математическую модель: источник питания, АИН, система управления, двигатель;

–выбрать оптимальный режим работы инвертора в тяге при минимальных потерях и амплитудных значениях гармоник напряжения;

–на полученной модели получить результаты для разных значений электромагнитного момента и частоты и выявить их связь с параметрами системы управления.

В настоящее время рассматривается работа схемы инвертор-двигатель и проводится анализ потерь на выходе самого инвертора, а также влияние этих потерь на электромагнитный момент и частоту вращения ротора. Для этого в среде Matlab собрана схема, представленная на рисунке 1.

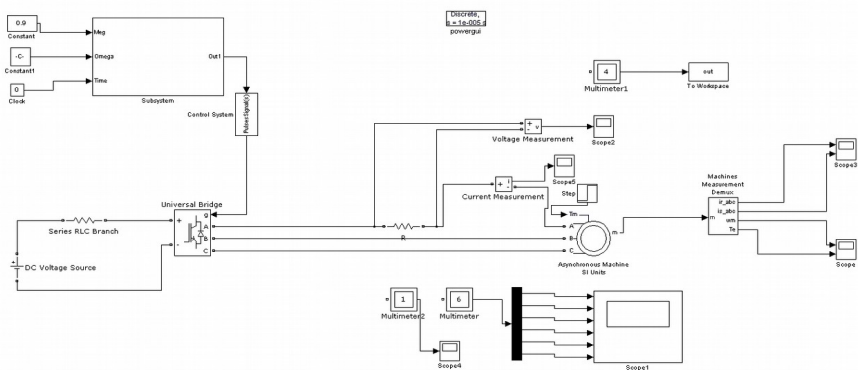


Рисунок 1 – Схема инвертор-двигатель

Описание схемы: источник постоянного напряжения *DC Voltage Source* подает напряжение амплитудой в 540 В на вход инвертора *Universal Bridge*, который работает на *IGBT* транзисторах. Система управления *Subsystem* имитирует широтно-импульсную модуляцию для управления инвертором напряжения. Напряжение после инвертора поступает на трехфазный асинхронный двигатель *Asynchronous Machine*. Нагрузка на двигатель имитируется блоком *Step* и составляет 200 Н. Параметры напряжения U_{sw} и токов I_{sw} на транзисторных ключах измеряются блоком *Multimeter* и выводятся на осциллограф *Scope1*. Блок *R* установленный последовательно на фазе *A* инвертора имитирует сопротивление провода для измерения напряжения этой фазы. Чтобы проверить, выполняется ли широтно-импульсная модуляция, необходимо запустить схему. Результаты выходного напряжения на фазе *A* инвертора представлены на рисунке 2.

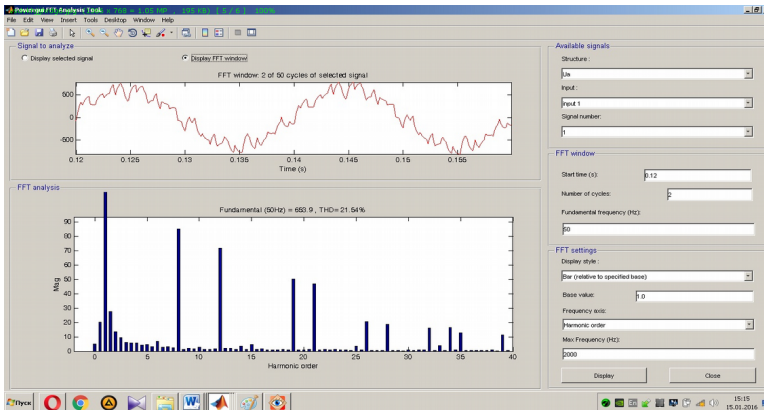


Рисунок 2 – Результаты выходного напряжения автономного инвертора напряжения

Сформулируем следующие общие требования к работе автономного инвертора напряжения:

- при использовании метода ШИМ, сократить потери мощности АИН в режиме тяги;
- уменьшить значения коэффициентов мощности гармоник напряжения;
- проанализировать целесообразность использования метода ШИМ в электровозах с асинхронным тяговым приводом.

По результатам моделирования было установлено, что ШИМ выходного напряжения является наиболее эффективным способом управления режимами работы асинхронных двигателей и позволяет получить практически синусоидальное напряжение на их обмотках, однако при этом некоторые из высших гармоник питающего напряжения могут достигать высоких значений. Эти гармоники негативно сказываются на работе двигателя и могут привести к ускоренному старению изоляции обмоток, возникновению тормозного момента на валу двигателя и др. Поэтому, для уменьшения их амплитуды, без установки дополнительных фильтров, необходимо подобрать оптимальный алгоритм управления, при котором амплитуда 3, 5 и 7 гармоник снизится практически до 0. Данный алгоритм управления поможет снизить затраты на производство и установку дополнительных фильтров гармоник.

Список литературы

- 1 Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных схем на ПК. Учебник по моделированию мехатронных схем / Герман-Галкин С. Г. – СПб. : Корона-Век, 2008. – 368 с.

ВЗАИМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МАШИН С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Т. С. КОРОЛЁНОК, В. И. ГУРИНОВИЧ, И. С. ДЕМИДОВИЧ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Подразделения транспортных войск способны выполнять задачи в отрыве от пунктов постоянной дислокации, т. е. в условиях отсутствия промышленной системы электроснабжения. Образцы техники, использующей электропривод, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Образцы штатной техники транспортных войск

В особый период следует предусмотреть ситуацию, когда образцы вооружения, определяющие способность выполнить задачу по предназначению, будут выведены из строя в результате воздействия средств поражения противоборствующих сторон. В случае отсутствия образца для выполнения своевременной замены, может оказаться

сорванной задача по восстановлению или строительству таких объектов, как мосты, насыпи, водопропускные сооружения, верхнее строение пути и т. д. При этом в ряде подразделений имеются образцы, не участвующие непосредственно в выполнении основной задачи, и в то же время оснащенные источниками электрической энергии. Это обстоятельство позволяет предположить возможность использования таких образцов вооружения в качестве аварийных.

На военно-транспортном факультете в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» выполнены исследования с целью определения возможности использования самоходных машин для их взаимного электроснабжения при выходе из строя штатного источника электрической энергии.

В ходе исследований были рассмотрены варианты восстановления электропитания следующих образцов специальной техники:

- мостовых консольных кранов СРК-20Л и СРК-50 с использованием передвижных электростанций, железнодорожных кранов серии КДЭ или ЕДК и автомобильного стрелового грузоподъемного крана КС-4561, имеющих дизель-электрический привод;

- железнодорожных кранов КДЭ-163, КДЭ-253, ЕДК-300, ЕДК-500 с использованием передвижных электростанций;

- порталного путеукладчика ПБ-3М с использованием передвижных электростанций и автомобильного стрелового грузоподъемного крана КС-4561.

В результате работы получены результаты, которые позволяют сделать следующие выводы:

- образцы техники, имеющие в своем составе силовой генератор, подлежат рассмотрению в качестве потенциальных источников;

- взаимное электроснабжение образцов может быть организовано только при соизмеримых характеристиках их электроустановок;

- при значительной разнице в мощности (когда мощность источника меньше мощности потребителя), могут использоваться варианты перевода потребителя на кооперационный режим работы или частичное отключение второстепенных цепей;

- образцы техники, имеющие в своем составе электропривод, при организации взаимного электроснабжения рассматриваются, как в качестве потенциальных источников, так и потребителей.

В ходе работы были проанализированы штатные образцы техники подразделений транспортных войск и предложен алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения в аварийной ситуации (рисунок 2).

В результате анализа штатных образцов техники подразделений транспортных войск были предложены варианты их использования для обеспечения электроснабжения. Часть типовых решений представлена в

таблице 1.

Предложенные способы взаимного электроснабжения образцов техники позволят выполнять задачи при выходе из строя штатного источника электроэнергии.

Данное техническое решение актуально в первую очередь в условиях Вооруженных Сил, но может быть с успехом применено и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

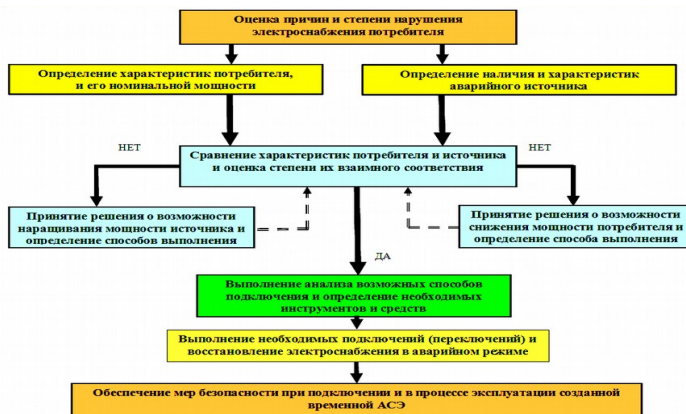


Рисунок 2 – Алгоритм принятия решения о способе восстановления электроснабжения

Таблица 1 – Варианты систем электроснабжения потребителей, стоящих на вооружении транспортных войск

Источники					Потребители					
КДЭ-163, КДЭ-253, ЕДК-300	75	400	50	Не т	Да/ Да (ТСЗИ 230/380)	Путевой инструмент	0,4- 5,5	230	50	Да
					Да/ -	Освещение. Однофазны е потребител и	до 75	230	50	Да
					Да/ -	Трехфазные потребител и	до 75	230, 400	50	Да
					Да/ Да (ТСЗИ 230/380)-	Путевой инструмент	0,4- 5,5	230	50	Да

8Т210	25	400	50	Нет	Да/ -	Освещение. Однофазные потребители	до 25	230	50	Да
					Да/ -	Трехфазные потребители	до 25	230, 400	50	Да
КС-4561А КС-4562	37,5	400	50	Нет	Да/ Да (ТСЗИ 230/380)-	Путевой инструмент	0,4-5,5	230	50	Да
					Да/ -	Освещение. Однофазные потребители	до 37,5	230	50	Да
					Да/ -	Трехфазные потребители	до 37,5	230, 400	50	Да
ПБ-3М	37,5	400	50	Нет	Да/ Да (ТСЗИ 230/380)-	Путевой инструмент	0,4-5,5	230	50	Да
					Да/ -	Освещение. Однофазные потребители	до 37,5	230	50	Да
					Да/ -	Трехфазные потребители	до 37,5	230, 400	50	Да
СРК-50 АД-30Т/400	30	400	50	Да n× 30	Да/ Да (ТСЗИ 230/380)-	Путевой инструмент	0,4-5,5	230	50	Да
					Да/ -	Освещение. Однофазные потребители	до 30	230	50	Да
					Да/ -	Трехфазные потребители	до 30	230, 400	50	Да

Список литературы

1. Могила В.С., Королёнок Т.С. Использование транспортных средств с электрической комбинированной силовой установкой при ликвидации чрезвычайных ситуаций. / Могила В.С., Т.С. Королёнок, // Чрезвычайные ситуации: теория. Практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24-25 мая 2012 г. В 2 ч. Ч. 1/ Гомел. Инженер. Ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомел. Фил

Нац. Акад. Наук Беларуси; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 257 с.

2. Могила В.С., Королёнок Т.С. Мобильный энергетический комплекс на базе транспортных средств с электромеханической трансмиссией. / Могила В.С., Т.С. Королёнок, // Чрезвычайные ситуации: теория. Практика, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24-25 мая 2012 г. В 2 ч. Ч. 1/ Гомел. Инженер. Ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомел. Фил Нац. Акад. Наук Беларуси; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 257 с. Могила В.С., Королёнок Т.С. Системы электроснабжения мобильных и удаленных потребителей./ Могила В.С., Т.С. Королёнок, // Развитие транспорта в регионах России: проблемы и перспективы: материалы II Всероссийской научно-практ. конф., 30 октября 2012 г.

3. Королёнок, Т. С. Подвижные мастерские по ремонту и техническому обслуживанию вооружения, военной и специальной техники транспортных войск: учеб. пособие / Т. С. Королёнок, В. И. Гуринович, Н. Н. Галуза ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 67 с.

УДК 621.873.7: 624.21/8

ПЛАВУЧИЕ КРАНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. В. ДЕНИСЕНКО, С. А. КЛИШИН

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

В мостостроении применяют плавучие краны двух основных групп: специальные сборно-разборные плавучие краны; плавучие установки сухопутных (стреловых полноповоротных, жестконогих дерриков, козловых) кранов на плашкоутах из инвентарных понтонов или, на баржах общего назначения.

К первой из рассматриваемых групп относятся выпускавшиеся ранее серийно краны двух типов: ПРК-30/40 и ПРК-100. Отличительная особенность этих кранов – малые их маневренность (низкие скорости выполнения рабочих операций) и производительность. Краны второй группы по этому показателю более благоприятны.

Плавучие установки кранов разрабатываются индивидуально и применительно к конкретным условиям отдельного строительства.

Плавучие краны предназначены для обслуживания работ по строительству причальных оградительных и берегозащитных сооружений на морях, реках и водохранилищах; по погрузке и выгрузке с судов тяжеловесных грузов в портах и на рейдах; по перегрузке сыпучих грузов; по достройке судов, спущенных со стапелей, а также по

ремонту судов, находящихся на плаву. Кроме того, они могут быть использованы при сооружении мостовых опор. Однако большие высоты плавкранов ограничивают область их применения низовыми участками крупных рек, впадающих в море.

Современные универсальные плавучие краны строятся полноповоротными с качающейся стрелой, двумя крюками – главным и вспомогательным – для больших и малых грузов и оборудуются грейферами.

Плавкраны, работающие в морских условиях, большей частью самоходные, а краны для речных работ обычно перемещаются при помощи буксирных судов. Для передвижения на короткие расстояния в процессе работы плавкраны оборудуют приводными шпильями и швартовыми концами.

Универсальные плавучие краны нашли широкое применение в гидротехническом строительстве благодаря следующим своим достоинствам: значительная грузоподъемность (от 50 до 100 т при грузовых моментах от 1000 до 3000 тм), позволяющая возводить такими кранами сооружения из крупных элементов весом до 100 т; быстрый перевод из транспортного положения в рабочее и обратно без монтажа и демонтажа конструкций и механизмов крана; свободное перемещение на плаву вдоль фронта строящегося объекта, для чего не требуется никаких временных сооружений (эстакады, пути и т. п.); сравнительно небольшая осадка (1,5–2,5 м), позволяющая возводить плавкранами берегоукрепительные сооружения в непосредственной близости от берега.

Вместе с тем этим кранам присущи некоторые недостатки, к которым в первую очередь относятся: – большой вес (от 300 до 1100 т вместе с судном). Поэтому у плавкранов значительно хуже весовая характеристика (0,5–2,4 тм/т), чем у деррик-кранов, а следовательно, и выше стоимость машино-смены; – ограничение работы при волнении свыше 2–3 баллов и льдообразовании, из-за чего на открытых акваториях плавкран может работать от трети до половины календарного времени года; – большие габаритные размеры, не позволяющие перегонять 50–100-т плавкраны по внутренним водным путям, в том числе между Черным, Балтийским и Каспийским морями, что сокращает маневренность кранового парка; – ограничение веса сборных элементов речных гидротехнических сооружений до 15 т, так как для их монтажа можно использовать лишь небольшие по грузоподъемности и габаритам краны, которые могут пройти под мостами и через шлюзы на реках и каналах. Тем самым исключается возможность использования в речном гидротехническом строительстве наиболее распространенных плавкранов грузоподъемностью от 50 до 100 т с высотой в транспортном положении от 15 до 40 м и шириной

судна от 18 до 21 м; отсутствие дистанционного управления, в результате чего команда плавкрана состоит из 6–12 чел.; это в свою очередь резко увеличивает стоимость машино-смены.

По своей конструкции плавкраны подразделяются на универсальные, сборно-разборные и комбинированные. По своему назначению краны делятся на морские и речные. К морским относятся универсальные полноповоротные краны, а к речным – как универсальные, так и сборно-разборные и комбинированные.

Универсальные плавучие краны строятся как самоходными, так и несамоходными (сборно-разборные и комбинированные краны самоходными не выпускаются).

Наиболее широко применяемые для гидротехнического строительства универсальные краны по своей грузоподъемности могут быть отнесены к одной из следующих четырех групп: краны малой грузоподъемности – от 10 до 15 т с грузовым моментом от 300 до 500 тм. Эти краны, отличаясь большой маневренностью и высокими скоростями выполнения всех операций (скорость подъема груза 15–45 м/мин, поворота 1–1,5 об/мин), допускают совмещение подъема груза с изменением вылета стрелы и поворотом крана. Грузоподъемность на всех вылетах обычно одинакова. Краны оснащены одним грузовым крюком, который может быть заменен грейфером. Краны такой грузоподъемности, как правило, несамоходные и по своим габаритам могут плавать по внутренним водным путям 1–3-го классов. Основное назначение кранов этого типа – обслуживание массовых погрузочно-разгрузочных работ с сыпучими и штучными грузами в речных портах, а также строительство речных портовых сооружений. Некоторые краны (например, кран «Блей-херт» грузоподъемностью 15 т) могут работать и в морских условиях; краны средней грузоподъемности – от 30 до 60 т с грузовым моментом от 500 до 1500 тм. Скорости операций у кранов этого типа составляют: подъема груза – 5–10 м/мин, поворота – 0,5–0,25 об/мин.

Большинство кранов самоходные и по своим габаритам могут плавать по внутренним водным путям только 1-го класса и то с частичным демонтажем верхнего строения. Основное назначение кранов – погрузка и выгрузка с судов тяжеловесных грузов, а также гидротехнические работы в морских портах; краны большой грузоподъемности – от 100 до 150 т с грузовым моментом от 2000 до 3000 тм. Скорость подъема груза 2–4 м/мин, поворота 0,1–0,3 об/мин. Имеется возможность совмещения операций. Краны оснащены двумя крюками. Краны самоходные, но ввиду большой парусности при морских переходах требуют буксировки. По своим габаритным размерам они не могут проходить по внутренним водным путям. Основное назначение их – погрузка и выгрузка тяжеловесных грузов с

высокобортных судов, обслуживание работ по постройке судов у достроенных набережных и гидротехническому строительству на открытых и закрытых акваториях; уникальные плавучие краны грузоподъемностью 200–400 т с грузовым моментом 5–10 тыс. тм. Краны снабжены несколькими грузовыми крюками. Скорость главного подъема 1–3 м/мин, поворота – 0,1–0,2 об/мин. У некоторых кранов при подъеме предельного груза ограничивается угол поворота стрелы в плане.

Уникальные краны строятся самоходными и несамоходными. Отличаются они своими колоссальными размерами: высота достигает 100 м, а мощность силовых установок – 3000-8000 л. с. Эти краны строят для выполнения конкретных задач, поэтому количество их невелико и исчисляется во всем мире несколькими десятками.

Сборно-разборные плавучие краны состоят из элементов, монтируемых на плашкоутах из понтонов типа КС-3. Эти краны выпускают трех типов: грузоподъемностью 40, 70 и 100 /л; первые два типа неповоротные, а последний может поворачиваться только при грузе не свыше 30 т. Скорости всех операций у этих кранов в 2–3 раза медленнее, чем у универсальных. Из-за недостатка универсальных кранов сборно-разборные краны широко применяются в мостостроении.

Комбинированные краны представляют собой установленные на понтонах КС-3 сухопутные колесные или гусеничные краны, краны-экскаваторы и жестконогие деррик-краны грузоподъемностью от 10 до 60 т. с полезным вылетом стрелы от борта 5–25 м. Эти краны имеют достаточную скорость всех операций. Для надстроек на понтонах применяют стандартные элементы УИКМ. Краны широко используются в мостостроении и могут с успехом применяться при речном портовом строительстве.

В качестве плавучих кранов могут быть использованы некоторые плавучие копры, допускающие наклон стрелы за пределы понтона.

Все плавучие краны состоят из трех основных частей: собственно крана, судна или понтона, на палубе которого смонтирован кран, и дизельной или дизель-электрической силовой установки для привода в действие всех механизмов крана и судна.

АНАЛИЗ ПОЛОМОК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВС МАШИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РЕМОНТЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. М. КУКСО

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Вряд ли найдутся возражения, что о надежности и долговечности двигателя машины судят в основном по работе коленчатого вала. Коленчатый вал не просто "жертва" всего многообразия действующих на него весьма значительных нагрузок – сил давления газов, передаваемых через шатуны от поршней при сгорании топлива, и сил инерции от их возвратно-поступательного движения, вызывающих естественный износ или повреждения при неправильной эксплуатации. Это деталь, которая должна успешно противостоять самому длительному и опасному – многоцикловому режиму нагружения со знакопеременными нагрузками, принимая на себя все последствия сопротивления длительной усталостной прочности.

Износы деталей изучались на ДВС, поступивших в текущий, средний и капитальный ремонты в ремонтные подразделения транспортных войск.

Аналізу подлежали износы основных деталей, лимитирующих срок службы двигателя, а именно: коренные и шатунные шейки коленчатого вала.

Износы коленчатого вала определялись по износу коренных и шатунных шеек.

Анализ износа двигателей, поступивших в ремонт, показали, что у подавляющего большинства этих двигателей износы коленчатых валов (коренных и шатунных шеек) не достигли своих предельных значений. Только один двигатель из шести КамАЗ-740 имеет износ близко к предельно-допустимому. Износ этого двигателя в плоскости, проходящей через ось коленчатого вала, составляет 0,38 мм. У всех других двигателей износ коренных и шатунных шеек коленчатого вала составляет 0,08–0,10 мм. Это в два и более раз меньше предельного значения этих деталей.

Полученные результаты лишней раз подтверждают, что большинство двигателей поступают в ремонт не по причине естественного износа двигателя, а по причине преждевременного появления трещин, задиров и т. д. Немаловажной задачей является еще изучение одного из главных факторов качества поверхности – шероховатости. Увеличение шероховатости трущихся поверхностей подвижных сопряжений ведет к удлинению периода обработки и повышенным износам. На основании замеров шероховатости шеек коленчатого вала установлено, что шероховатость коренных шеек составляет $H_{\text{ск}}=0,80..0,85$ мк, а шероховатость шатунных шеек – $H_{\text{ск}}=0,7..0,8$ мк. Таким образом, шероховатость коренных шеек соответствует 7-му классу, а шатунных – 8-му классу чистоты поверхности по ГОСТ 2789-51. Различие шероховатости коренных и шатунных шеек объясняется тем, что

шлифовка их производится на различных станках и один из них обеспечивает большую по сравнению с другим шероховатость.

Ухудшение частоты поверхности шеек коленчатого вала приводит к разрушению приработки рабочих поверхностей вкладышей подшипников. Он указывает, что на вкладышах, работающих в паре с шатунными шейками, исходная частота которых достигала $H_{ск} = 0,56$ мк (8-й класс) были отмечены следы местного потемнения и выкрашивания баббитового слоя. Кроме этого следует заметить, что продолжительность приработки при ухудшении частоты поверхности будет увеличиваться, а следовательно двигатель после ремонта будет получать 100%-ную нагрузку, что подвергнет повышенному износу коренные и шатунные шейки коленчатого вала.

Был проанализирован износ составных частей коленчатого вала и количественная оценка ресурсов двигателей. Цель – узнать, какие дефекты возникают при эксплуатации двигателя. Исследование показали, что при эксплуатации коленчатого вала были обнаружены следующие дефекты: износ шатунных шеек 96 % и коренных шеек 94 %, следом идет износ шпоночного паза 50 %, износ отверстия под направляющий штифт 17 %, изгиб вала 10 % и трещины 7 %.

Что касается количественной оценки ресурсных отказов двигателей, то анализ показал, что при эксплуатации двигателя больше всего изнашиваются шейки коленчатого вала и вкладыши подшипников скольжения, также возникают обрывы шатуна с его болтами, обрывы болтов крепления маховика, обрыв поршня. Основная причина – недосмотр за необходимым количеством смазки в двигателе, реже длительная работа двигателя на максимальных оборотах, еще и недостаточно прогретого.

В транспортных войсках коленчатые валы ДВС успешно ремонтируются в пределах своих ремонтных размеров путем шлифования, но стоит размера вала выйти из ремонтных, как появляется необходимость в наращивании поверхностей.

УДК 625.08

**ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ МАШИН
ДЛЯ РЕМОНТА УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ,
ИМЕЮЩЕГО ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ С
АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ**

Д. Ю. МАКАЦАРИЯ, Д. В. МАРТИНОВИЧ

Учреждение образования

«Могилевский институт МВД Республики Беларусь»

В статье рассматривается процесс выбора машин и механизмов с целью формирования оптимального комплекта машин, предназначенного для восстановления работоспособности участка автомобильной дороги, на котором присутствуют искусственные сооружения с асфальтобетонным покрытием. Особое внимание уделяется оценке эффективности использования каждой машины, включаемой в комплект, с учетом процесса ее старения и изменения основных технико-экономических параметров.

Процесс формирования комплектов строительных и дорожных машин (СДМ) – это один из начальных этапов, связанных с организацией их последующей эксплуатации. От того, насколько оптимален будет сформированный комплект СДМ, зависит время выполнения работ, затраты на эксплуатацию машин и механизмов, а также качество выполненных работ – отремонтированных участков дорог. Эффективность социально-экономического развития нашей страны во многом зависит от протяженности и качества сети автомобильных дорог. Уникальное расположение территории нашей страны «на перекрестках Европы» позволяет получать положительный экономический эффект от транзита пассажиров и грузов, следующих из стран западной Европы в Россию и из балтийских стран в Украину и обратно. Для этого необходимо создавать соответствующую инфраструктуру развивать и строить новые автомобильные дороги, а также поддерживать и восстанавливать существующие дороги, искусственные сооружения и коммуникации [1].

Если рассматривать процесс восстановления работоспособности участка автомобильной дороги с искусственными сооружениями, то наиболее изнашиваемым и затратным ее элементом является дорожное покрытие. В настоящее время на дорогах нашей страны наиболее распространены асфальтобетонные дорожные покрытия. Их строительство традиционно ведется еще с советских времен и во многом обусловлено наличием техники, необходимой для выполнения работ такого типа, накопленным опытом проведения работ с асфальтобетонным материалом, сформированными базами по обслуживанию и ремонту СДМ. Однако в процессе эксплуатации асфальтобетонного дорожного покрытия под воздействием возрастающей интенсивности движения, увеличения нагрузки на ось автомобильного транспорта и из-за внешнего воздействия окружающей среды образуются дефекты, влияющие не только на комфорт и скорость передвижения транспортных средств, но и на безопасность дорожного движения.

Ежегодное увеличение объемов работ по ямочному ремонту асфальтобетонного покрытия свидетельствует о необходимости совершенствования традиционных подходов к организации проведения ремонтных работ на участках автомобильных дорог. Они не позволяют в условиях реального времени обеспечить требуемые показатели качества и безопасности. Одна из причин возникновения данной ситуации связана с процессом формирования комплектов машин для реализации современных технологий [2].

Технологии регенерации асфальтобетонного дорожного покрытия хорошо зарекомендовали себя в странах западной Европы и США. В отличие от традиционной технологии проведения ремонта дорожного покрытия, предусматривающей укладку дополнительных слоев асфальтобетона на изношенное дорожное покрытие, общий подход реализации технологий регенерации включает в себя операции по снятию материала существующего дорожного покрытия, накопившего в себе различные дефекты, и укладку нового слоя асфальтобетонного покрытия. При этом снижаются затраты на дорожно-строительные и ремонтные материалы и увеличивается качество выполненных работ. Технология регенерации предусматривает формирование соответствующего комплекта машин, позволяющего выполнить каждую отдельную технологическую операцию во взаимосвязи с другими машинами. Однако в условиях ограниченного финансирования на приобретение новых СДМ импортного производства и необходимости реализовывать технологии перспективные регенерации в дорожных организациях нашей страны принят компромиссный подход к формированию комплектов машин для регенерации [2].

Процесс формирования комплектов машин для реализации современных технологий основывается на разделении всей технологии на отдельные операции. Далее выбираются операции, для реализации которых подходят машины из существующего парка СДМ. Затем осуществляется поиск резервов приобретения особого технологического оборудования, необходимого для реализации оставшихся операций. При этом в комплект СДМ могут попасть машины, подобранные технологически, но слабо связанные с точки зрения технико-экономических показателей эксплуатации. Такой комплект сможет выполнять технологические операции, но не позволит полностью достигнуть заданного результата. Это происходит из-за того, что приобретаемая импортная техника имеет более высокую надежность, производительность и более низкие эксплуатационные затраты по отношению к технике, имеющейся в белорусских организациях дорожной отрасли, с высокой наработкой, технологическими простоями и суммарными затратами на проведение технических обслуживаний (ТО) и ремонтов [3].

В связи с этим необходимо совершенствовать подходы к выбору машин, входящих в комплект для регенерации асфальтобетонного дорожного покрытия на автомобильных дорогах с искусственными сооружениями, с индивидуальным учетом процесса старения СДМ и связанным с ним изменением технико-экономических показателей: надежности, рабочего времени, производительности, себестоимости машиночаса и др. Следует обратить особое внимание на определение и динамику изменения технико-экономических показателей новых машин импортного производства.

Для реализации технологии холодной регенерации асфальтобетонного дорожного покрытия в условиях нашей страны приобретаются дорожные фрезы импортного производства. Наиболее распространенной моделью дорожной фрезы является Wirtgen 2000 производства ФРГ. Данная машина позволяет снимать материал существующего асфальтобетонного дорожного покрытия полосами шириной равной 2 м. Установленный на данной машине фрезерный барабан диаметром 0,98 м и 162 резцами, установленными на расстоянии 15 мм друг от друга позволяет осуществлять фрезерование на глубину до 0,32 м. Охлаждение осуществляется водой, подаваемой из резервуара емкостью 3430 л. При этом асфальтобетонное дорожное покрытие превращается в измельченный асфальтогранулят – дорожный материал пригодный для повторного использования. Транспортировка асфальтогранулята осуществляется через приемную ленту шириной 0,8 м, а разгрузка материала в кузов автосамосвала – через разгрузочную ленту аналогичной ширины. Двигатель фирмы Caterpillar мощностью 433 кВт обеспечивает рабочую скорость машины до 84 м/мин, а транспортную скорость – до 5 км/ч. Топливный бак емкостью более 1300 л обеспечивает бесперебойную работу машины даже при многосменной работе [2].

Анализ эксплуатации данных дорожных фрез в условиях Могилевской области показал, что среднегодовая наработка машины в течение сезона находится в интервале от 925 до 1821 моточас. Уменьшение наработки в течение 8 лет эксплуатации составило 896 моточас, что представляет собой практически 50 % от наработки новой машины. Связано это со снижением показателей надежности техники в процессе ее старения. Исследования показали, что для оценки динамики изменения выходных параметров можно использовать значения комплексного показателя надежности – коэффициента технического использования (Кти) и коэффициента внутрисменного использования (Кп). Так, снижение значения Кти свидетельствует о увеличении времени простоев в ТО и ремонтах и связанные с этим изменения периодичности, продолжительности и трудоемкости мероприятий, направленных на поддержание и восстановление работоспособности

машин. Снижение значения K_p свидетельствует об увеличении эксплуатационных перерывов в работе машины на объекте. Динамику уменьшения K_{ti} и K_p можно проследить в зависимости от наработки машины с начала эксплуатации. Определив данные зависимости, можно будет проследить динамику изменения в процессе старения машины количества часов ее рабочего времени ($T_{ч}$), часовой эксплуатационной производительности ($P_{э}$), годовой эксплуатационной производительности ($P_{эг}$), себестоимости машиночаса эксплуатации СДМ ($C_{мч}$) и других технико-экономических показателей, влияющих на выбор данной машины при включении ее в комплект.

В комплект машин для регенерации асфальтобетонного покрытия на участках дорог, имеющих искусственные сооружения, кроме дорожной фрезы необходимо включить ведущую машину – асфальтоукладчик. Данная машина имеет приемный бункер повышенной вместимости для приема асфальтобетонной смеси из кузова автосамосвала, шнеки питателя, предназначенные для равномерного распределения асфальтобетонной смеси слоем заданной толщины на всю полосу автомобильной дороги, и выравнивающий брус – для придания ровности покрытию и его предварительному уплотнению. Материал асфальтобетонной смеси производится на асфальтобетонных заводах (АБЗ), а затем транспортируется при помощи автосамосвалов к месту проведения работ. Для осуществления поэтапного уплотнения свежеложенной асфальтобетонной смеси используются дорожные катки различного типоразмера [2].

Наиболее оптимальными машинами для включения в комплект будут являться СДМ с наименьшей наработкой с начала эксплуатации, которые могут эксплуатироваться с учетом многосменного режима и имеющие наибольшую производительность и наименьшую себестоимость машиночаса эксплуатации.

Список литературы

1. Макацария, Д.Ю. Подходы к организации транспортировки материалов при проведении регенерации асфальтобетонного покрытия на дорогах с искусственными сооружениями / Д.Ю. Макацария, Д.В. Мартинович // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 351-355.
2. Максименко, А.Н. Производственная эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие / А.Н. Максименко, Д.Ю. Макацария. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 390 с.
3. Максименко, А.Н. Оценка эффективности этапа эксплуатации жизненного цикла машины с учетом динамики выходных параметров в процессе ее использования / А.Н. Максименко, В.В. Кутузов, Д.Ю. Макацария, Е.В. Заровчатская // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2015. – №1. – С. 52-59.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Е. С. ТИМОЩУК

Военный институт (Железнодорожных войск и Военных сообщений)

Военной академии материально-технического обеспечения

им. генерала армии А. В. Хрулёва

Леонардо да Винчи – гений, чьи изобретения, безраздельно принадлежат как прошлому, настоящему, так и будущему человечества. Он жил, опережая время, и если хотя бы малая часть того, что он изобрел, была воплощена в жизнь, то история Европы, а возможно и мира, была бы другой: уже в 15 веке мы разъезжали бы на автомобилях и пересекали бы моря на подводных лодках.

Выработку направлений совершенствования техники применяемой в современных условиях при строительстве и восстановлении искусственных сооружений целесообразно вести, на наш взгляд, на основе исторического опыта, а так же с учетом современных достижений научно-технического прогресса. В этой связи можно выделить три периода:

I период – от начала строительства железных дорог до I мировой войны (1816–1914);

II период – после окончания I мировой войны до II мировой войны (1918–1945);

III период – после окончания – II мировой войны по настоящее время.

I период – характеризовался крупномасштабным строительством железных дорог во всем мире. При этом механизация строительных работ была крайне низкой. Практически отсутствовали машины специального назначения, а весь комплекс работ выполнялся с использованием ручного труда и конной тяги.

II период - строительство железных дорог во всем мире продолжало наращиваться. Железные дороги в транспортном обеспечении экономики и военного дела заняли ведущее место. В этот период характеризуется началом механизации отдельных видов работ при строительстве железных дорог: земляные работы, погрузо-разгрузочные. Стали появляться машины специального назначения: консольные краны, путеукладочные краны, балластировочные машины и т.п.

III период - при строительстве железных дорог стала бурно развиваться механизация. Создавались новые машины и совершенствовались машины специального назначения. Повысились требования к качеству железных дорог, пропускной и провозной способностям, что повлекло за собой необходимость внедрения в конструкции машин достижений научно-технического прогресса.

Этот период определил современное состояние укомплектованности техникой. В соответствии с предполагаемыми значительными объемами работ по восстановлению ИССО и использование в основном свайных фундаментов было разработано большое количество марок специальной техники для выполнения мостовых работ (сваепогружающего оборудования, сборно-разборных кранов и т.д.).

Стремительный рост научно-технического прогресса и проведенные реформы выдвинули новые требования к техническому оснащению. В этой связи, по нашему мнению, можно говорить о начале нового периода в оснащении специальной техникой.

Основные условия и факторы, определяющие направления развития машин для ИССО.

- повышение требований к производственным возможностям в связи с сокращением сроков восстановления объектов;

- увеличение доли применения краткосрочных способов восстановления с использованием инвентарных конструкций;

- готовность к решению задач в различных видах и формах действий: глобальные и локальные конфликты, контртеррористические операции и т.п.

- необходимость функционирования и соответствия общей системе информационных технологий;

- переход на качественно новые образцы специальной техники, сопоставимые с требованиями, предъявляемыми к технике;

Учитывая сказанное, возникает необходимость в разработке научно обоснованных предложений по перспективам развития. Вопросы изобретения новых многофункциональных образцов техники в настоящее время были бы не совсем уместны, к тому же в учебном процессе для будущего инженера важно это понять, как формируется новый агрегат, поэтому модернизация отдельных элементов существующих образцов техники наиболее качественно позволит изучить вопросы создания новых машин. Рассматривая итоги модернизации мы в конце можем получить совершенно новую машину.

Для решения этой задачи на кафедре было проведено соответствующее исследование. При проведении прогноза использовалась методика, основанная на определении коэффициента инженерно-технической значимости принципа (направления) развития техники.

Предложен алгоритм решения поставленной задачи, в основу которого положен расчет коэффициента технической значимости принципов (направлений) развития техники, а также определение значений прогнозируемых параметров с использованием корреляционно-регрессионного анализа.

Данный коэффициент предлагается определять по формуле

$$\tau_i = \frac{k_i \cdot \gamma_i}{N}$$

- где k_i — количество изменений, внесенных в конструкцию согласно принципа (направления) i -го типа развития техники за анализируемый период;
- i — общее число используемых принципов (направлений) за анализируемый период, от 1 до m ;
- N — общее количество машин, выпущенных за анализируемый период (использующих в своей конструкции данный принцип (направление)).
- γ_i — коэффициент учета новизны изделий, использующих в конструкции i -й тип развития техники.

$$\gamma_i = \frac{t_i}{T_n}$$

- где t_i — год изготовления новой машины или модернизации старой, в котором использовался i -й тип развития техники;
- T_n — период (использующих в своей конструкции данный принцип (направление)).

Выбор принципов осуществляется на основании таблицы 1, разработанной на основе «функции полезности», описанной в работе [Адлера Ю.П. «Введение в планирование эксперимента»](#).

Таблица 1 – Оценка прогнозной перспективности развития техники

Количественное значение τ_i	Прогнозная перспективность принципа (направления) развития техники
1,00 ... 0,80	Весьма перспективный
0,79 ... 0,60	Среднеперспективный
0,59 ... 0,40	Перспективный
0,39 ... 0,20	Малоперспективный
ниже 0,19	Неперспективный

Учитывая тот факт, что коэффициент инженерно-технической значимости является ничем иным, как долей машин, в конструкции которых используется тот или иной принцип. В общем, их количестве, можно принять, что принципы (направления) конструкционного развития машин, относящиеся к категориям «весьма перспективных»,

«среднеперспективных» и «перспективных», являются основными при модернизации и создании новой техники железнодорожных войск.

Исходя из изложенных выше положений, предложен следующий алгоритм решения задачи научного обоснования путей развития специальной техники ЖДВ и прогнозирования ее показателей (рисунок 1).

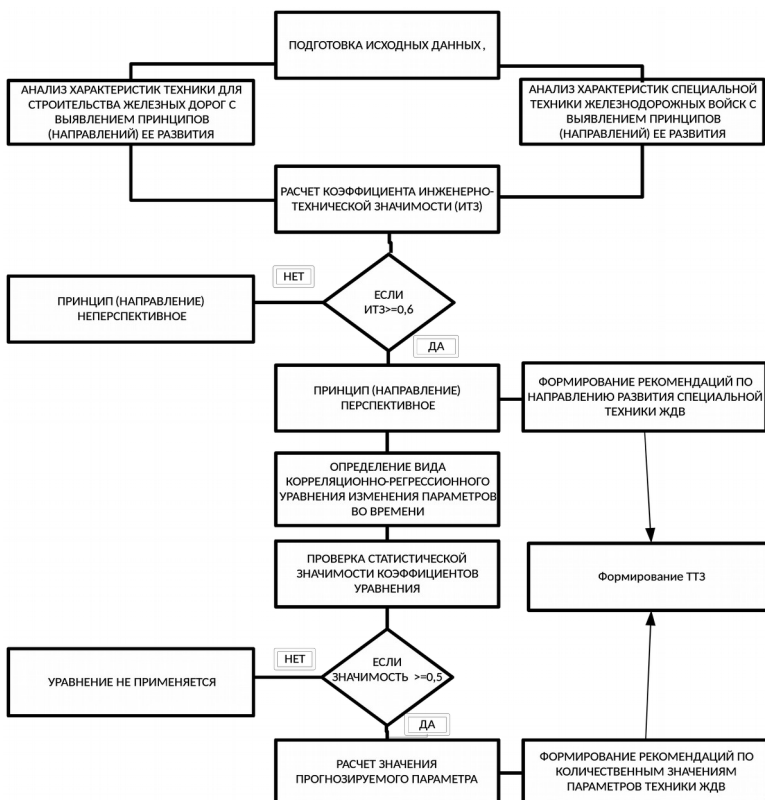


Рисунок 1 – Алгоритм решения задачи научного обоснования путей развития специальной техники ЖДВ и прогнозирования ее показателей

Используя предложенную методику и взяв за основу современные технические показатели не только отечественной техники, но и показатели лучших мировых образцов, возможно, сформулировать техническое задание на создание специальной техники, с показателями, отвечающими требованиям на прогнозируемый период времени.

В качестве критериев целесообразно принять общепризнанные технические требования к технике.

Основными инновационными направлениями в создании новой техники можно отметить:

- внедрение в системы управления машин бортовых компьютеров, позволяющих осуществлять текущую диагностику агрегатов машин, автоматизировать выполнение рабочих процессов, осуществлять контроль за качеством выполняемых работ (видеокамеры, беспроводное дистанционное управление, ГЛОНАС);

- повышение надежности специальной техники за счет использования современных материалов и нано технологий.

создание линейки двигателей внутреннего сгорания двойного назначения (для автомобилей и СИБ).

Использование предложенной методики опирается, прежде всего, на требования к техническим системам, задачи, стоящие перед инженерами, условия на сооружение и восстановление элементов ИССО на железной дороге и не только. В результате проведенных исследований сформированы следующие направления модернизации машин для ИССО.

На наш взгляд, таковыми направлениями являются:

- создании универсальных сборочных стандов и машины для механизации раздельного способа укладки пути с различными видами ВСП, предполагающих сборку звеньев как на железобетонных шпалах, так и деревянных используемых при восстановлении;

- создание малогабаритных балластировочных машин непрерывного действия;

- создание автономных самоходных транспортных средств для транспортирования как элементов ВСП и ИССО так и техники на объекте работ не имеющей комбинированного железнодорожного хода;

- разработать универсальное быстроразъемное соединение элементов металлических конструкции и машин для сооружения ИССО;

- создание шлюзовых и кабельных кранов повышенной грузоподъемности;

- создание агрегата расчистки завалов с повышенными тяговыми усилиями с использованием универсального инвентарного анкерного устройства;

- использование инструмента с приводом от сжатого воздуха и гидропривода,

- автономных малогабаритных дизельных сварочных электроагрегатов, компрессорных, что исключает сложную конструкцию привода от базового шасси повышая мобильность.

– применение вместо съемных кран-укосин гидравлических кранов, выдвигаемых кран-балок и других грузоподъемных средств, более удобных в использовании и не требующих больших затрат времени на приведение их в работоспособное и транспортное состояние.

– разработка и использование средств диагностирования и ремонта с применением соответствующих методик, позволяющих оценивать техническое состояние машин и их составных частей, и произвести ремонт.

Таким образом, можно представить выше изложенный материал в качестве основных требований закладываемых во все технические задания по модернизации существующих и созданию новых образцов специальной техники применяемой для строительства ИССО.

УДК 623.437.4

ОБЗОР АВТОКРАНОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. И. ЗАЙЧЕНКО, А. А. СВЕТОЧНЫЙ

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Среди большой гаммы инженерной техники стреловые самоходные краны на автомобильных и специальных колесных шасси занимают не последнее место по важности и значимости в обеспечении боевой и повседневной деятельности войск. В настоящее время грузоподъемные средства широко используются в Вооруженных Силах Российской Федерации для механизации погрузочно-разгрузочных и монтажных работ при выполнении различных видов задач. В первую очередь используются краны производственно-технического назначения. Однако значительная часть задач, решаемых с использованием кранов, предъявляет к этим средствам дополнительные требования, которые реализуются в кранах военного назначения.

Как правило, стреловые самоходные краны военного назначения создаются путем доработки кранов производственно-технического назначения до требований Министерства обороны Российской Федерации. Основные направления доработки заключаются в следующем:

- установка на механизмы подъема груза и изменения вылета стрелы вторых тормозов, обеспечивающих работу с опасными грузами;
- использование в качестве шасси под монтаж рабочего оборудования колесных шасси, предусмотренных Типажом военной автомобильной техники и средств автотехнического обеспечения для Вооруженных Сил Российской Федерации;

- обеспечение возможности работы без опор;
- возможность работы перед кабиной базового шасси;
- установка светомаскировочного освещения;
- установка переговорного устройства;
- обеспечение возможности опускания груза и стрелы, вращение поворотной части и снятие с выносных опор в аварийных случаях при неработающем двигателе или отказе гидросистемы.

В последние годы в Вооруженные Силы стал поступать ряд кранов военного назначения нового поколения, в конструкцию которых внедрены современные достижения в области краностроения. Среди них краны автомобильные военного назначения КС-3574М2 и КС-3574М3 грузоподъемностью 16 т. Отдельно можно отметить кран производственно-технического назначения КС-6973БМ-У1 грузоподъемностью 50 т, разработанный по требованиям Министерства обороны и обеспечивающий выполнение работ с опасными грузами.

Основные технические характеристики кранов приведены в таблице 1.

Все эти краны разработаны и освоены в серийном производстве ОАО «Автокран», г. Иваново.

Краны автомобильные военного назначения КС-3574М2 и КС-3574М3 имеют одинаковую крановую установку, однако монтируются на разные базовые шасси: КС-3574М2 на КамАЗ-53501, а КС-3574М3 на Урал-4320-1058-31. Это вызвано необходимостью комплектования частей и подразделений тактического и оперативного уровня вооружением и военной техникой на однотипных базовых шасси, что во многом облегчает их техническое обслуживание.

Двухсекционная телескопическая стрела длиной 8,0–14,0 м во втянутом положении обеспечивает крану компактность и маневренность при переездах, а в выдвинутом – обширную зону и большую высоту перемещения груза при работе.

Привод механизмов крана – гидравлический от насоса, приводимого в действие двигателем шасси. Гидропривод обеспечивает легкость и простоту управления краном, плавность работы механизмов, широкий диапазон рабочих скоростей, совмещение крановых операций.

Конструкция крана КС-3574М2 обеспечивает возможность подъема кабины в транспортном положении крана при выходе из строя двигателя базового шасси.

Кран производственно-технического назначения КС-6973БМ-У1 разработан на специальном колесном шасси БАЗ-6909.8.

Рабочее оборудование крана – полноповоротная крановая установка с гидравлическим приводом, жесткой подвеской стрелы и кабиной

крановщика; съемные противовесы массой 1,0 и 6,4 т; гуськи длиной 9 и 15 м.

Таблица 1 – Основные технические характеристики кранов

Модель крана	КК-3574М2	КК-3574М3	КК-6973БМ-У1
Грузоподъемность, т:			
- на выносных опорах при работе с опасными грузами	14	14	50
- на выносных опорах при работе с обычными грузами	16	16	50
- на втянутых опорах	4,2	4,5	
- при передвижении с грузом на крюке	1,4	1,4	
Грузовой момент, тм	48	48	154
Двигатель базового шасси:			
- тип	КамАЗ-740.30-260	ЯМЗ-238М2	ЯМЗ 7511.10
- мощность, кВт (л.с.)	191 (260)	176 (240)	294 (400)
Длина стрелы, м	8,0–14,0	8,0–14,0	10,6–30,0
Максимальная высота подъема крюка, м	14,7	14,5	30,2
Скорость подъема и опускания груза, м/мин	0,2–9,0	0,2–9,0	0,16–3,84
Максимальная скорость передвижения, км/ч	60	60	40
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:			
- длина	10020	10030	13450
- ширина	2520	2500	2750
- высота	3700	3455	3850
Полная масса крана, т	19,37	19,14	44,16
Расчет, чел.	2	2	2

Стрела – телескопическая четырехсекционная. Первая выдвижная секция телескопируется одним гидроцилиндром, а вторая и третья секции выдвигаются синхронно другим гидроцилиндром и канатным полиспастом.

Микропроцессорный ограничитель грузоподъемности с цифровой индикацией информации, устанавливаемый на краны, используемые в вооруженных силах, позволяет следить за степенью загрузки крана, длиной и вылетом стрелы, высотой подъема оголовка стрелы; показывает фактическую величину груза на крюке и максимальную грузоподъемность на данном вылете, а также автоматически по заданным координатам

ограничивает зону действия крана при работе в стесненных условиях или вблизи линии электропередачи.

Установленная в ограничителе телеметрическая память фиксирует рабочие параметры, а также степень нагрузки крана в течение всего срока службы. Для обеспечения выполнения работ с опасными грузами механизмы подъема груза (лебедка), выдвижения стрелы (телескопирование) и изменения вылета (изменение угла наклона стрелы) оборудованы двумя тормозами.



Рисунок 1 – Кран КС-3574М2 на шасси КамАЗ-53501

На кранах предусмотрены два режима освещения – основной и светомаскировочный. В светомаскировочном режиме используется светильник освещения кабины и специальные светильники: освещения крюка и габаритный на стреле. При транспортировании кранов в светомаскировочном режиме, кроме установки насадок на фонари автомобиля, включают габаритные фонари на оголовке стрелы.



Рисунок 2 – Кран КС-3574М3 на шасси Урал-4320-1058-31

Для освещения мест работы в темное время суток на кранах установлено дополнительное освещение – на кранах КС-3574М2 и КС-3574М3 фара на кабине крановщика и фара на стреле, на кране КС-6973БМ-У1 – две фары на кабине крановщика.

Для организации взаимодействия крановщика и стропальщика в состав кранов включены шлемофонное (ларингофонное) оборудование и две радиостанции модели Р-168-01УМ, обеспечивающие устойчивую связь при выполнении работ.



Рисунок 3 – Кран КС-6973БМ-У1 на спецшасси БАЗ-6909.8

Конструкция кранов позволяет переводить краны из рабочего положения в транспортное при выходе из строя двигателя шасси или гидропривода крана. Для снятия кранов КС-3574М2 и КС-3574М3 с выносных опор и выключения блокировки задней подвески шасси при выходе из строя насоса или двигателя шасси при аварийной ситуации используется ручной насос, а в кране КС-6973БМ-У1 – установка аварийного складывания.

Для создания комфортного микроклимата в кабине крановщика на кранах установлена система обогрева кабины, основу которой составляет отопитель, работающий на дизельном топливе.

Краны КС-3574М2 и КС-3574М3 приспособлен к транспортированию железнодорожным транспортом с использованием универсальных многооборотных креплений УМК-2КМ, входящих в состав крана.

Конструкции кранов позволяют подключать к ним войсковые средства дезактивации, дегазации, дезинфекции и прибор ночного видения.

Кабина базовых автомобилей кранов оборудованы креплениями для личного оружия и средств химзащиты.

Следует отметить немаловажную особенность рассматриваемых средств – краны, выпускаемые ОАО «Автокран» для нужд Министерства обороны, как военного назначения, так и производственно-технического, разрабатываются и производятся под постоянным контролем представительства заказчика, что накладывает существенный отпечаток на

качество выпускаемой продукции.

В настоящее время ОАО «Автокран» по заданию Управления начальника инженерных войск ВС РФ разрабатывает кран автомобильный военного назначения грузоподъемностью 25 т на шасси автомобиля КамАЗ-53501. В кране планируется реализовать увеличение грузоподъемности при работе с опасными грузами, применение ограничителя нагрузки нового поколения и внедрение других достижений отечественного краностроения.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН И
МЕХАНИЗМОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, МОНТАЖЕ И
ДЕМОНТАЖЕ
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Д. В. ШАМКИН

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Подъемно-транспортные машины, находящиеся на вооружении подразделений транспортных войск, представляют собой совокупность различных приспособлений, механизмов и машин, предназначенных для разгрузки транспортных средств и перемещений грузов. Применение даже простейших видов подъемно-транспортного оборудования способствует облегчению трудоемких и тяжелых работ по перемещению грузов; повышению производительности и культуры труда; ускорению погрузочно-разгрузочных работ и сокращению длительности простоя транспорта.

Кроме того, подъемно-транспортные машины широко используются в служебной и хозяйственной деятельности, при монтаже и демонтаже агрегатов ремонтируемой техники, погрузке и разгрузке материальных ценностей на складах и базах подразделений транспортных войск.

Парк подъемно-транспортных машин разнообразен:

- домкраты (механические, гидравлические, пневматические – грузоподъемностью 0,5–60 т);
- тали (ручные и с электроприводом – грузоподъемностью 1–18,5 т);
- лебедки (с ручным и электрическим приводами – грузоподъемностью 0,25–5 т);
- погрузчики автомобильные (вилочные, одноковшовые, фронтальные – грузоподъемностью 3–5 т и высотой подъема груза до 6 м, обеспечивающие скорость перемещения груза до 20 км/ч). Погрузчики снабжаются сменным рабочим оборудованием: ковшем, грейдером, клещевым захватом, крановой стрелой;
- краны (на железнодорожном, гусеничном и колесном шасси).

К современной технике для восстановления и строительства различного характера на железнодорожных коммуникациях предъявляются требования мобильности, оснащенности ремонтно-восстановительным оборудованием и инструментами, высокой надежности, а также возможности выполнять различные технологические операции. Анализ парка машин данного назначения

показывает, что существующие восстановительные поезда недостаточно мобильны и имеют ограниченные функциональные возможности.

Создание машин, отвечающих вышеперечисленным требованиям, возможно посредством оснащения пневмоколесных транспортных средств навесным оборудованием комбинированного хода, обеспечивающего передвижение и выполнение рабочих операций как на автомобильных дорогах, так и железнодорожных путях. Одновременно с этим, установка сменного рабочего оборудования позволит использовать пневмоколесную технику для круглогодичного содержания автомобильных дорог, благоустройства территорий, обслуживания искусственных сооружений, выполнения погрузочно-разгрузочных работ и т. д.

В Вооруженных Силах Республики Беларусь при непосредственном участии представителей транспортных войск ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по изготовлению образцов путевых машин и транспортных средств на базе автомобильной и тракторной техники отечественного производства, которые активно применяются для мостовых сооружений.

За последние 10 лет на вооружении транспортных войск появились новые образцы техники отечественного производства, предназначенной для повышения мобильности мостового имущества и механизации путевых работ.

Универсальная путевая машина на шасси трактора «Беларус» (рисунок 1), автомобиль на комбинированном ходу МАЗ-6303КХ с гидравлическим манипулятором (рисунок 2), автокран МАЗ 6303АЗ-347 «МАШЕКА» грузоподъемностью 25 т с комбинированным железнодорожным ходом колеи 1520 мм для подъема и перемещение технологического оборудования как на земле, так и на рельсах железных дорог (рисунок 3). Данные образцы получили высокую оценку отечественных и зарубежных специалистов и позволили повысить мобильность подразделений более чем на 50 % [2].



Рисунок 1 – Универсальная путевая машина
на шасси трактора «Беларус»



Рисунок 2 – Автомобиль на комбинированном ходу МАЗ-6303КХ

Оценивая сегодняшнее состояние дел в области развития и оснащения Вооруженных Сил ВВСТ, можно сделать вывод, что наш собственный оборонный сектор экономики и наш научный потенциал обеспечивают разработку и производство продукции военного назначения, а также модернизацию образцов вооружения и военной техники на уровне мировых образцов по целому ряду направлений.



Рисунок 3 – Автокран с комбинированным железнодорожным ходом
МАЗ 6303АЗ-347 «МАШЕКА»

Своеобразной формой демонстрации новых и модернизированных образцов ВВСТ является их показ и практическое участие в ходе проводимых учений на территории государства. Кроме того, расширяются направления военного сотрудничества между Республикой Беларусь и Российской Федерацией в данном направлении. Свидетельство тому, совместное стратегическое учение Беларуси и России «Запад-2013». Оно впервые прошло одновременно на территории двух стран, где были представлены новейшие образцы техники.

Краны являются наиболее распространенной группой грузоподъемных машин, которые по степени подвижности подразделяются на стационарные, передвижные и самоходные, а по подвеске стрелы на гидравлические и канатно-блочные. Также на сегодняшний день рассматривают внедрение управления кранами с помощью бесконтактного пультового управления на расстоянии, в целях безопасности, и повышение качества выполняемых работ.

Автокраны гидравлические получили широкое распространение в транспортных войсках, так как обладают высокой оперативностью (максимальная транспортная скорость до 100 км/ч), маневренностью и легкостью управления при высоких рабочих показателях (грузоподъемность, высота подъема и т. д.).

Автокраны состоят из сварных металлоконструкций, механических и гидравлических агрегатов, смонтированных на базовом автомобильном

шасси и объединенных в три основные части: неповоротная часть крана; поворотная часть крана; стреловое оборудование.

Привод крановых механизмов – гидравлический от аксиально-поршневых насосов, приводимых во вращение от двигателя базового шасси через коробку отбора мощности и карданную передачу.

Современные автокраны оснащаются разнообразными системами, обеспечивающими безопасность выполняемых работ. Например, микропроцессорные ограничители грузоподъемности выдают информацию на дисплей о длине и вылете стрелы, степени загрузки крана и массе груза, которую можно поднимать при установленном вылете и длине стрелы.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

<i>Д. И. Бочкарёв.</i> Устройство для транспортирования и распределения жидких дорожно-строительных материалов	4
<i>А. А. Поддубный, А. В. Яровая.</i> Деформирование неоднородных панелей при неполном контакте с упругим основанием	7
<i>К. А. Быстров.</i> Перспективные образцы специальной техники и технического имущества железнодорожных войск для восстановления мостов на сети железных дорог. Пути развития	21
<i>С. И. Новиков.</i> Анализ воздействия противника на мостовые сооружения в современных условиях и выбор оптимального способа восстановления ...	33

СЕКЦИЯ I. РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

<i>А. Н. Булавко, А. А. Васильев.</i> О необходимости разработки новых методик оценки физического износа зданий и сооружений	50
<i>А. А. Васильев, Д. Н. Шевченко.</i> Критерии оценки степени карбонизации бетона	55
<i>С. А. Воробьев.</i> Поведение цилиндрической сэндвич-панели при воздействии вибрационной нагрузки с учетом демпфирующих свойств материалов слоев	59
<i>В. А. Гордон, Е. В. Брума.</i> Анализ собственных частот поперечных колебаний балки на упругом основании	65
<i>А. А. Заец.</i> Концепция проектирования конструкций пролетных строений комбинированных систем	73
<i>А. Г. Козел.</i> Изгиб трехслойной упругой круглой пластины на основании с двумя характеристиками	81
<i>Д. В. Леоненко.</i> Деформирование трехслойного стержня гармонической параболической нагрузкой	86
<i>Э. И. Старовойтов, Ф. Б. Нагиев.</i> Деформирование упругопластических трехслойных стержней локальной синусоидальной нагрузкой	91
<i>А. В. Яровая, Ю. В. Захарчук.</i> Уравнения равновесия круглой трехслойной пластины со сжимаемым наполнителем	97
<i>В. Ф. Мейш, Е. Д. Белов.</i> К постановке и решению динамических задач теории оболочек типа эллиптического параболоида	102
<i>Ю. А. Мейш.</i> Об одном варианте динамических уравнений теории трехслойных оболочек вращения на упругом основании	106
<i>А. М. Багно.</i> Распространение волн в системе слой вязкой жидкости – упругий слой с начальными напряжениями	110
<i>Ю. П. Глухов.</i> Моделирование многослойного основания при воздействии подвижной нагрузки	115

<i>В. А. Максимюк, Е. А. Сторожук.</i> Аналитическое и численное решение задач статики для длинных некруговых цилиндрических оболочек	120
---	-----

СЕКЦИЯ II. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

<i>А. А. Аксёничков.</i> Изменение времени, затрачиваемого на обслуживание грузовых поездов, в зависимости от различных факторов.....	125
<i>С. М. Бобрицкий, П. Г. Демидов.</i> Методика поиска рационального маршрута выполнения воинской перевозки в условиях воздействия противника на мостовые сооружения с использованием цифровой карты местности.....	130
<i>С. А. Вуколов, С. Б. Андрушко.</i> Современные подходы к обеспечению живучести мостовых переходов на военно-автомобильных дорогах	135
<i>М. А. Габрუსь.</i> Автоматизированное проектирование свайных фундаментов с использованием многофункциональных программных комплексов	140
<i>Галун Даниель.</i> GSM-R глобальная система мобильной связи для железнодорожного транспорта	144
<i>Р. Ю. Доломанюк.</i> Методика ускоренного расчета объемов разрушения металлических пролетных строений	155
<i>В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, О. В. Осипова, М. А. Хомич.</i> О повышении срока службы мостовых брусьев в Волковысской дистанции пути	158
<i>С. В. Кирик.</i> Повышение эффективности работы контейнерных терминалов....	160
<i>Э. П. Кучинский.</i> Анализ использования средств речного транспорта при организации переправ через водные преграды.....	162
<i>К. В. Махаев.</i> Анализ возможности применения наплавных мостов из имущества НЖМ-56 на территории Республики Беларусь	170
<i>И. М. Нарышкин.</i> Технические решения на преодоление разрушенных участков при подготовке и содержании путей движения	173
<i>С. В. Никитенко.</i> Некоторые способы охранения частей и подразделений транспортных войск	178
<i>И. П. Павлова, Т. В. Каленюк.</i> Применение расширяющихся сульфоферритных и сульфоалюминатных добавок в цементных системах для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций	183
<i>Е. В. Печенев.</i> Построение схемы мостового перехода с помощью программы Solidworks	188
<i>А. Я. Саядян.</i> Геоинформационные системы при техническом прикрытии искусственных сооружений в системе транспортной безопасности	191
<i>А. М. Сергеева, А. А. Бендикова, А. А. Ботвенков, В. А. Сербаев.</i> Анализ затрат при капитальном ремонте моста	194
<i>В. В. Талецкий, П. Ю. Этин.</i> Порядок применения и эксплуатации контрольно-габаритных устройств на Белорусской железной дороге	199

<i>Д. И. Попов, А. Ю. Федоров.</i> Метод снижения демаскирующих признаков опор краткосрочных мостов, при их сооружении в условиях активного воздействия противника с применением обычных боеприпасов	201
<i>В. А. Цхе, С. С. Русяков.</i> Рекомендации по организации автоматизированного планирования технического обеспечения отдельной бригады оперативного назначения внутренних войск во внутреннем вооруженном конфликте.....	206
<i>Д. В. Шувалов.</i> Повышение мобильности военных организаций и предприятий за счёт использования новых погрузо-выгрузочных устройств	210
<i>А. В. Щеглова.</i> Необходимость реконструкции эксплуатируемых мостов и путепроводов как результат физического и морального износа	215
<i>Н. И. Юрасюк.</i> Метод определения потребности в материалах и конструкциях при выполнении ождбр задач в операции ГВ(с).....	218
<i>М. Г. Козлов.</i> Анализ возможных направлений повышения живучести мостовых переходов с учетом воздействия высокоточным оружием.....	221
<i>В. В. Змиевский.</i> Лазерное сканирование.....	228
<i>А. В. Марданов.</i> Анализ развития сваебойного оборудования	230
<i>А. В. Токаревский, С. Ю. Кирдякин.</i> Принципы функционирования железнодорожного транспорта как элемента техносферы.....	234
<i>А. А. Цивилёв.</i> Современные конструкции винтовых свай и конструктивно-технологические решения по их применению в военном мостостроении....	239
СЕКЦИЯ III. СТРОИТЕЛЬСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ.	4
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	
<i>Ю. В. Гончаров.</i> Организационно-правовые отношения, возникающие в процессе перевозки крупногабаритных грузов, при строительстве искусственных сооружений	249
<i>В. И. Гуринович, А. А. Цалко, М. А. Науменко.</i> Экономия электроэнергии при сварочных работах	253
<i>Н. В. Бандюк, А. П. Фещенко.</i> Обследование земляного полотна неразрушающими способами.....	257
<i>Н. В. Бакаева, А. В. Калайдо.</i> Методы и средства обеспечения радиационно-экологической безопасности сооружений	259
<i>М. Н. Долгачева, А. Б. Дробышевская.</i> Применение геосинтетических материалов при строительстве тоннелей	264
<i>М. Н. Долгачева, А. Б. Дробышевская.</i> Дороги из солнечных панелей	267
<i>А. Г. Жуева.</i> Солнечная энергетика как эффективный путь энергосбережения в городском хозяйстве	270
<i>А. Ф. Комок.</i> Процесс инфракрасного ремонта асфальта	274
<i>П. В. Костик, А. Н. Колосков.</i> Перспективы применение геоматериалов в	

строительстве аэродромов и дорог.....	278
<i>А. В. Мацке, А. Н. Колосков.</i> Строительство дорог: мировые новинки и тенденции	280
.....	
<i>Р. И. Могилянец, О. А. Плиговка, К. К. Крамник.</i> К вопросу о природно-климатических воздействиях на искусственные покрытия аэродромов	282
<i>Г. Я. Мусафинова.</i> Модифицированный мелкозернистый бетон для строительства искусственных сооружений	285
.....	
<i>Д. Ю. Мягков, А. Н. Колосков, М. Н. Мануйлов.</i> Источники загрязнения окружающей природной среды аэродромного комплекса	288
.....	
<i>В. В. Петрусевич.</i> Исследование состава и свойств добавки для эксплуатации дорожных покрытий на искусственных сооружениях	291
<i>В. В. Петрусевич, Е. Д. Толкачёв.</i> Роботизированная система 3D-печати мостов...	297
<i>Ю. И. Шандрак.</i> Влияние коэффициента термической однородности ограждающей конструкции на удельный расход энергии на отопление и вентиляцию в зданиях индивидуальной жилой застройки.....	301
.....	
<i>Ю. И. Шандрак, А. А. Васильев.</i> анализ использования проекта технического регламента Республики Беларусь «Энергоэффективность зданий» в части индивидуального жилищного строительства	305
<i>В. Г. Шевчук, В. В. Левтринский, Д. К. Крюкова.</i> Подсистема мониторинга железнодорожного моста как важная составляющая системы спутникового мониторинга инфраструктуры железной дороги	310
.....	
<i>В. О. Харченко.</i> Навесной агрегат на базе трактора «Беларус» для удаления льда и текущего (ямочного) ремонта асфальтобетонных покрытий с применением СВЧ разогрева	316
.....	
<i>А. К. Юшкевич, Д. Ю. Мягков.</i> Совершенствование агротехнических мероприятий на грунтовой взлетно-посадочной полосе аэродрома	318
.....	
<i>Т. В. Яшина.</i> Модификация бетонов для инженерных сооружений	319
<i>А. М. Сергеев.</i> Создание системы приграничных фортификационных сооружений – как основа развития агломераций на территории России до XX века	322
.....	
<i>Т. А. Власюк.</i> Формирование системы «Железнодорожный транспорт – город-спутник» за рубежом в конце XIX – начале XX веков.....	326
СЕКЦИЯ IV. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	
<i>В. С. Могила, О. С. Ананьева, В. Н. Подольская.</i> Выбор рационального места подключения накопителей электрической энергии в системах электроснабжения метрополитена	329
.....	

<i>В. С. Могила, В. А. Загорцев.</i> Влияние рекуперативного торможения на качество напряжения в точках общего присоединения	331
<i>Д. Н. Раков, В. Н. Галушко.</i> Математическое моделирование электромагнитных процессов приводов с асинхронными тяговыми двигателями	333
<i>Т. С. Королёнок, В. И. Гуринович, И. С. Демидович.</i> Взаимное электроснабжение машин с электроприводом при строительстве и восстановлении искусственных сооружений	336
<i>А. В. Денисенко, С. А. Клишин.</i> Плавающие краны, используемые при строительстве искусственных сооружений	340
<i>А. М. Куксо.</i> Анализ поломок коленчатых валов ДВС машин, применяемых при ремонте искусственных сооружений	343
<i>Д. Ю. Макацария, Д. В. Мартинович.</i> Процесс формирования комплектов машин для ремонта участка автомобильной дороги, имеющего искусственные сооружения с асфальтобетонным покрытием ..	345
<i>Е. С. Тимоцук.</i> Основные направления развития машин и оборудования для строительства и восстановления искусственных сооружений на железных дорогах	349
<i>А. И. Зайченко, А. А. Светочный.</i> Обзор автокранов военного назначения Российской Федерации	354
<i>Д. В. Шамкин.</i> Применение грузоподъёмных машин и механизмов при строительстве, монтаже и демонтаже мостовых сооружений	359

Научно-практическое издание

**СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Материалы V Международной научно-практической конференции
Часть I

Издается в авторской редакции

Технический редактор В. Н. Кучерова
Корректор Т. А. Пугач

Подписано в печать 10.08.2016 г. Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 25,81. Уч.-изд. л. 26,29. Тираж 95 экз.
Зак. № . Изд. № 94

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.