

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

Военно-транспортный факультет

СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Материалы
VII Международной научно-практической конференции
Часть I

Под общей редакцией *А. А. Поддубного*

Гомель 2020

УДК 624.19/8
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 – доцент кафедры «Строительные технологии и конструкции» канд. техн. наук, доцент *В. В. Талецкий* (БелГУТ)

Строительство и восстановление искусственных сооружений :
С86 материалы VII 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, 2020. – 170 с.
ISBN 978-985-554-933-9 (ч. 1)

Изложены материалы VII 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 624.19/8
ББК 39.112

ISBN 978-985-554-933-9 (ч. 1)
ISBN 978-985-554-932-2

© Оформление. БелГУТ, 2020

УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!

От имени оргкомитета VII 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. мировой 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 624.21/8:378

РОЛЬ ВОЕННО-ТРАНСПОРТНОГО ФАКУЛЬТЕТА В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. А. ПОДДУБНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Восстановление и техническое прикрытие искусственных сооружений. Важное значение на современном этапе развития и совершенствования транспортных войск Республики Беларусь уделяется своевременному восстановлению прерванного движения на автомобильных и железных дорогах нашей страны от разрушения искусственных сооружений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций и аварий и воздействия эвентуального противника в вооруженном конфликте. Значительный объем в развитии отдельных вопросов восстановления и технического прикрытия, в том числе с конкретной практической реализацией выполнен на военно-транспортном факультете. Отрабатываемые вопросы разделены на отдельные направления: совершенствование системы технического прикрытия транспортных коммуникаций Республики Беларусь (в вопросах заблаговременной подготовки); развитие и совершенствование научно-обоснованных подходов по видам и способам восстановления транспортных коммуникаций на железных и автомобильных дорогах в современных условиях; участие в разработке нормативных документов, учебных изданий, научном сопровождении полученных теоретических и практических результатов и внедрение их в транспортных войсках Республики Беларусь и в учебном процессе осуществляемым на военно-транспортном факультете, при обучении курсантов и студентов по всем военно-специальным, специальным и тактико-специальным дисциплинам.

Совершенствование системы технического прикрытия транспортных коммуникаций Республики Беларусь (в вопросах подготовительных мероприятий).

В данном направлении ежегодно осуществляется активное взаимодействие органов военного управления Департамента транспортного обеспечения Министерства обороны Республики Беларусь, управления Железнодорожных войск Российской Федерации и военно-транспортного факультета в учреждении образования «Белорусский государственный университет транс-

порта» в рамках международного военного сотрудничества. Во взаимодействии, рассматриваются глобальные вопросы развития и совершенствования системы технического прикрытия транспортных коммуникаций Республики Беларусь и Союзного Государства с Российской Федерацией в рамках единой системы региональной группировки войск (сил). Осуществляется совместная разработка проектных соображений (решений) по основным объектам железнодорожной инфраструктуры. В рамках дипломного проектирования на военно-транспортном факультете разрабатываются проекты по согласованной тематике в вопросах анализа прикрываемых железнодорожных и автодорожных объектов, возможностей организационно-штатных структур воинских частей отдельной железнодорожной и дорожной бригад транспортных войск и железнодорожных и автодорожных производственных подразделений Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Все разработанные предложения по материалам дипломных проектов внедряются в указанные выше подразделения, воинские части, соединения и организаций, ведающие вопросами железнодорожного и автомобильного транспорта.

Развитие и совершенствование научно-обоснованного подхода по видам и способам восстановления транспортных коммуникаций на железных и автомобильных дорогах в современных условиях.

Реализация вопросов связанных с данным направлением деятельности представлена целым рядом выполняемых задач. Это участие профессорско-преподавательского состава и офицеров управления факультета в посредническом аппарате и научно-исследовательских группах в ходе проведения воинскими частями, соединениями и управлением Департамента транспортного обеспечения Министерства обороны, в различных тактико-специальных, командно-штабных учениях. По итогам которых проводится обобщение исследуемых вопросов по организации, планированию и практической отработки задач воинских частей и соединений по техническому прикрытию и восстановлению транспортных коммуникаций на железных и автомобильных дорогах в современных условиях воздействия противника. В ходе учений осуществляются апробация и реализация известных и принципиально новых методик разработанных на факультете. Например, «Методика определения требуемых и фактических эксплуатационных показателей военно-автомобильных дорог». В последующем все материалы, апробированные в транспортных войсках, внедряются в учебный процесс. Еще одним абсолютно новым для образовательного процесса на факультете подходом в обучении курсантов (студентов) в 2019 году начато применение макетов созданных с применением инновационных систем и оборудования силами профессорско-преподавательского состава курсантов и студентов на учебных занятиях (рисунок 1).

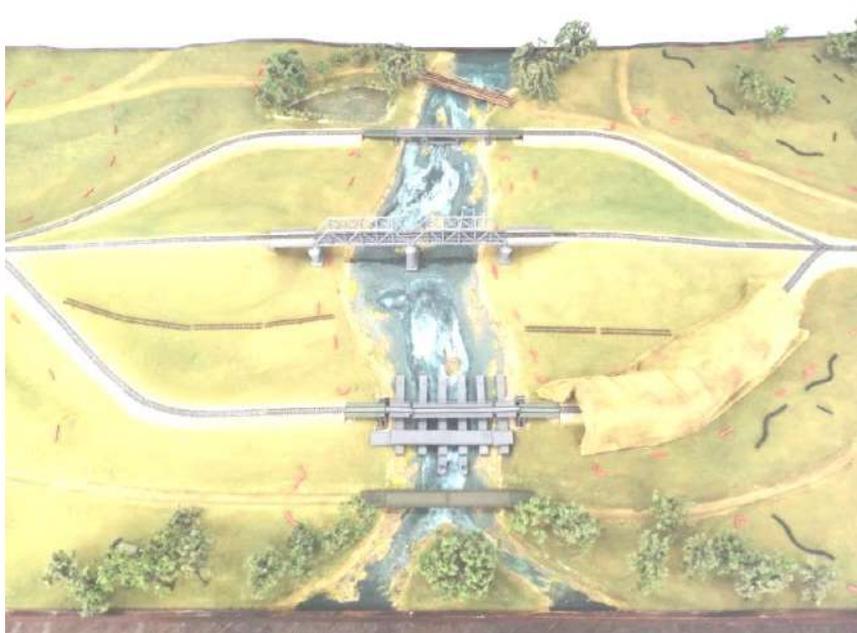


Рисунок 1 – Макет местности с объектом технического прикрытия и способами возведения военных мостов с мероприятиями по повышению живучести

Основное достоинство такого рода макетов в том, что обучающиеся под руководством преподавателя имеют возможность моделировать заданную обстановку и действие подразделений, воинских частей при выполнении задач по предусмотренным видам и способам восстановления транспортных коммуникаций на железных и автомобильных дорогах в различных условиях обстановки. С первых дней использования макета в учебном процессе, активизировалась работа курсантов и студентов по вопросам разработки предложений по повышению живучести мостовых переходов (рисунок 2), защите, охране и обороне объектов на железных и автомобильных дорогах, перевозимых ВВСТ на железнодорожном транспорте (рисунок 3), мест расположения личного состава.

Осуществляется целенаправленная работа по созданию современных автоматизированных компьютерных систем для обучения и решения сложных инженерных задач.

Участие в разработке нормативных документов, учебных изданий, научном сопровождении полученных теоритических и практических результатов и внедрение их в транспортные войска Республики Беларусь и в учебный процесс.



Рисунок 2 – Размещение (нанесение) элементов маскировки мостового перехода, охраны и обороны объекта восстановления и мест размещения личного состава и ВВСТ

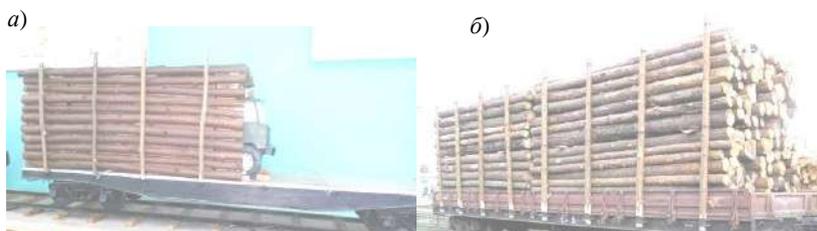


Рисунок 3 – Маскировка ВВСТ на железнодорожной платформе:
а – макет; *б* – фотография реальной железнодорожной платформы с круглым лесом

Ежегодно факультет ведет разработку заказных научно-исследовательских работ, содержание которых составляет основу общих технических требований к образцам ВВСТ и транспортной инфраструктуры по вопросам связанным с техническим прикрытием и восстановлением транспортных коммуникаций. Профессорско-преподавательским составом и руководством факультета за последние несколько лет разработаны три учебных пособия и два учебно-методических пособия по тематике непосредственно связанной с видами и способами восстановления железнодорожных и автодорожных мостов. В со-

держание учебных изданий вошли требования к видам и способам восстановления на основе нормативной базы, материалы обобщенных актуальных источников и в большей мере научные наработки и практический опыт, полученный в ходе последних войн и локальных конфликтах, а также проведенных учений Железнодорожными и транспортными войсками Республики Беларусь.

Кроме того, на факультете постоянно ведется научно-исследовательская деятельность по следующим направлениям военного мостостроения:

- адаптация организационно-штатных структур мостовых подразделений транспортных войск к действиям в современных операциях;
- совершенствование комплекса мероприятий по повышению живучести искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах;
- анализ и научное обоснование новых инвентарных мостов МЛЖ-ВТ и ИМЖ-500 применительно к использованию на территории Республики Беларусь;
- ведение научно-технической деятельности по модернизации инвентарных конструкций мостовых сооружений (РЭМ-500, НЖМ-56);
- ведение научно-технической деятельности по модернизации и совершенствованию дорожно-строительной техники транспортных войск;
- совершенствование технологических процессов по расчистке мостовых переходов от обрушенных конструкций и подъёмке пролетных строений;
- разработка новых конструктивных решений основных конструкций и элементов мостов и их научное обоснование;
- разработка комплексов автоматизированного проектирования временных и краткосрочных мостов и др.

Строительство искусственных сооружений. На сегодня проблема улучшения состояния мостовых сооружений стоит особенно остро. Показателями неудовлетворительного состояния мостовых сооружений являются:

- недостаточный габарит большого количества сооружений (как следствие – низкая пропускная способность);
- недостаточная грузоподъемность мостовых сооружений, что приводит к ограничению по массе обращающихся транспортных средств и нагрузок на их оси;
- наличие в конструкциях дефектов и повреждений, снижающих срок службы сооружения;
- низкий уровень безопасности дорожного движения (в частности, из-за повреждения покрытия мостового полотна и расстройств конструкций ограждений безопасности), прохода пешеходов.

В связи с этим на факультете проводятся научные исследования по темам:

1 «Оценка и прогнозирование долговечности железобетонных конструкций мостовых сооружений».

2 «Применение композиционных материалов при строительстве и восстановлении искусственных сооружений».

3 «Разработка гидрофобного состава для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог».

Активное участие принимают офицеры и курсанты факультета в практических занятиях на объектах УПЗ по строительству автомобильных мостов (рисунок 4).

– на р. Вилия, Гродненская область



– н.п. Рогачев, надвигка пролета из имущества моста БАРМ



– н.п. Лоев. Устройство железобетонной опоры под наблюдательную вышку для выполнения повседневных задач пограничной службы



Рисунок 4 – Практические занятия на объектах УПЗ по строительству автомобильных мостов

В 2019 году на факультете в рамках работы военно-научного общества открылась работа научного кружка «3D-моделирование инженерных систем», на котором ведется разработка 3D-моделей путевых и мостовых элементов, дорожно-строительной техники для использования их в учебном процессе (рисунок 5).

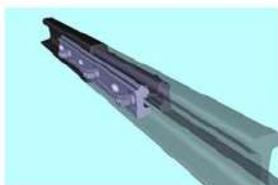


Рисунок 5 – Работа научного кружка «3D-моделирование инженерных систем»

Машины и оборудование при строительстве и восстановлении искусственных сооружений. На факультете, в рамках научной работы Вооруженных Сил Республики Беларусь, выполнены две научно-исследовательские работы по разработке общих технических требований к видам вооружения и военной техники.

1 Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Техника и технические средства служб тыла. Железнодорожная техника и имущество. Общие технические требования», шифр «ДОТ ЖДТ».

2 Система общих технических требований к видам вооружения и военной техники. Техника и технические средства служб тыла. Дорожно-технические средства. Общие технические требования», шифр «ДОТ ДТС».

В рамках поставленных Департаментом транспортного обеспечения Министерства обороны задач, на факультете выполнялись следующие научные исследования.

1 «Модернизация седельно-сцепного устройства скрепера ДЗ-11П».

2 «Расширение производственных возможностей универсальной путевой машины УПМ-1 включением в состав комплекта дополнительного оборудования».

3 «Модернизация рабочего оборудования рыхлителя на базе трактора ДЭТ-250.

4 «Замена шасси экскаватора ЭОВ-4421 на отечественный полноприводной автомобиль».

5 «Разработка проекта организации земляных работ по восстановлению железнодорожного моста».

Результаты всех исследований внедрены в подразделениях транспортных войск и используются в учебном процессе.

Фундаментальные научные исследования. В настоящее время нами разработаны многофункциональные, композиционные, экологически безопасные материалы на основе полиолефинов. Разработанные материалы конкурентоспособны и могут быть использованы как конструкционные, гидроизоляционные и антикоррозийные материалы.

Из разработанного песчанополимерного материала возможно изготовление различного рода элементов, как временных, так и постоянных дорожно-мостовых конструкций, обваловок, сборно-разборных зданий (сооружений), тротуарных дорожек, плит для хранения техники на открытых площадках, лестничных пролётов, стеновых панелей, как замена бетонных плит, используемых в строительстве для укрепления русел, конусов и откосов насыпей малых и средних мостов и водопроводных путепроводов.

Свойства и характеристики изделий зависят от типа конструкции, наличия армирующих элементов, её габаритных размеров, а главное – от соблюдения технологии производства.

Полученный материал не имеет ограничений в обработке, его можно сверлить, пилить, смачивать, склеивать, фрезеровать, красить.

Испытание материала на сжатие проводилось в научно-исследовательской лаборатории «ДИИСМиК» УО «БелГУТ» на гидравлическом испытательном прессе Matest C040N.

Результаты испытания свидетельствуют о возможности применения данного материала в качестве конструкционного. При возникновении максимального усилия материал начинает плавно разрушаться и деформироваться, в то время как бетон резко теряет свои свойства и разрушается.

В октябре 2019 года образцы шестигранных плиток из разработанного материала были уложены на учебно-полевом центре УО «БелГУТ» в качестве дорожных настилов для проезда техники (рисунок 6).



Рисунок 6 – Шестигранные плитки, уложенные на учебно-полевом центре в качестве дорожных настилов для проезда техники

Плитка из разработанного материала не деформируется при проезде загруженного автомобиля общей массой 9,5 т.

При условии изменении температуры за шесть месяцев от +20 до –20 °С материал зарекомендовал себя с положительной стороны, он не деформировался.

Возможно использование изготовленных опытных образцов столбов (рисунок 7) как несущих опор для монтажа систем охранной сигнализации (колючей проволоки или металлической сетки), для монтажа всевозможных ограждений, а также как конструкционные материалы в качестве балок, перекрытий.

Размер элемента составляет 88×88×3000 мм, вес около 25 кг.

Преимущества песчано-полимерных опор и балок:

- не подвержен коррозии;
- легкий монтаж столба и ограждения на нем;
- не требует бетонирования основания;
- морозоустойчив;
- не проводит электричество;
- не требует обслуживания в процессе эксплуатации;

- легко поддается окраске;
- экологически чист, легко поддается вторичной переработке как в опору, так и в другие изделия;
- при монтаже охранных систем с использованием вибрационного кабеля, показывает лучшие результаты чувствительности системы против смонтированной на стальных опорах;
- низкая стоимость.

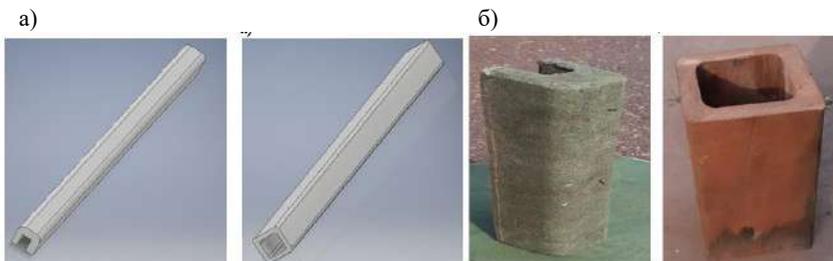


Рисунок 7 – Варианты изготовления опор, балок:
а – проектируемые, *б* – изготовленные

Кроме того, ведется разработка и внедрение:

- математических методов аналитического решения задач статики, динамики и устойчивости одномерно-неоднородных упругих деформируемых элементов конструкций;
- теоретических основ расчета и проектирования конструктивно-нелинейных стержневых и балочных конструкций, изменяющих расчетную схему под нагрузкой;
- методов расчета живучести несущих стержневых конструкций, учитывающих их видоизменение при выключении из работы отдельных элементов, связей, креплений и т.п. и синтезу на их основе адаптационных конструктивных систем, исключающих лавинообразное разрушение;
- постановкой и решением новых задач анализа и прогнозирования напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений, подверженных внезапным воздействиям, повреждениям, изменениям деформативности и прочности материалов, граничных условий, трансформации и обрыву внутренних и внешних связей, трещинообразованию, расслоениям и т. п.

Проводимые исследования очень актуальны. Решение этих научных задач позволит прогнозировать разрушение технических объектов на этапе проектирования и эксплуатации. Принимать правильные, обоснованные расчетами инженерные решения.

РАСЧЕТ УКРУПНЕННЫХ ПЛАНОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО СООРУЖЕНИЮ ВОЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОГРАММЫ

С. М. БОБРИЦКИЙ, К. В. ЕФИМЧИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время применение электронных продуктов для выполнения автоматизированных расчетов сложных и объемных задач носит все больше массовый характер во всех сферах жизнедеятельности. Не исключение и применение автоматизированных систем в военной сфере.

Авторами данной статьи предлагается метод автоматизированного решения актуальной для инженерного аппарата мостовых частей задачи по расчету укрупненных плановых показателей по сооружению военных железнодорожных мостов (далее – расчет) на примере разработанного электронного продукта.

Под понятием военные железнодорожные мосты понимаются мосты, сооружаемые на железных дорогах для обеспечения всех видов воинских перевозок, выполняемых в интересах ведения и всестороннего обеспечения боевых действий [1].

Расчет укрупненных плановых показателей осуществляется в результате статистической обработки большого числа вариантов и способов восстановления мостовых переходов на базе анализа типовых проектов временных и краткосрочных мостов, а также оценки материалов учений и научно-исследовательских работ. В расчете для определения основных параметров – длины и высоты временных и краткосрочных мостов используются характеристики капитальных мостов, а также достоверных данных о производственных возможностях мостовых частей по видам и способам восстановления мостов. По ним рассчитываются основные показатели по строительству временных и низководных мостов на обходах, монтажу эстакады РЭМ-500 и наведению НЖМ-56. На снижение показателей восстановления основное влияние оказывает готовность подразделений и техники к выполнению задач по предназначению, а также сложные условия их воплощения.

На основе требуемой исходной информации, наличия математического аппарата приведенного в [2], выполненной адаптацией его к автоматизированному вычислению разработан алгоритм для создания электронной программы для ЭВМ (рисунок 1).

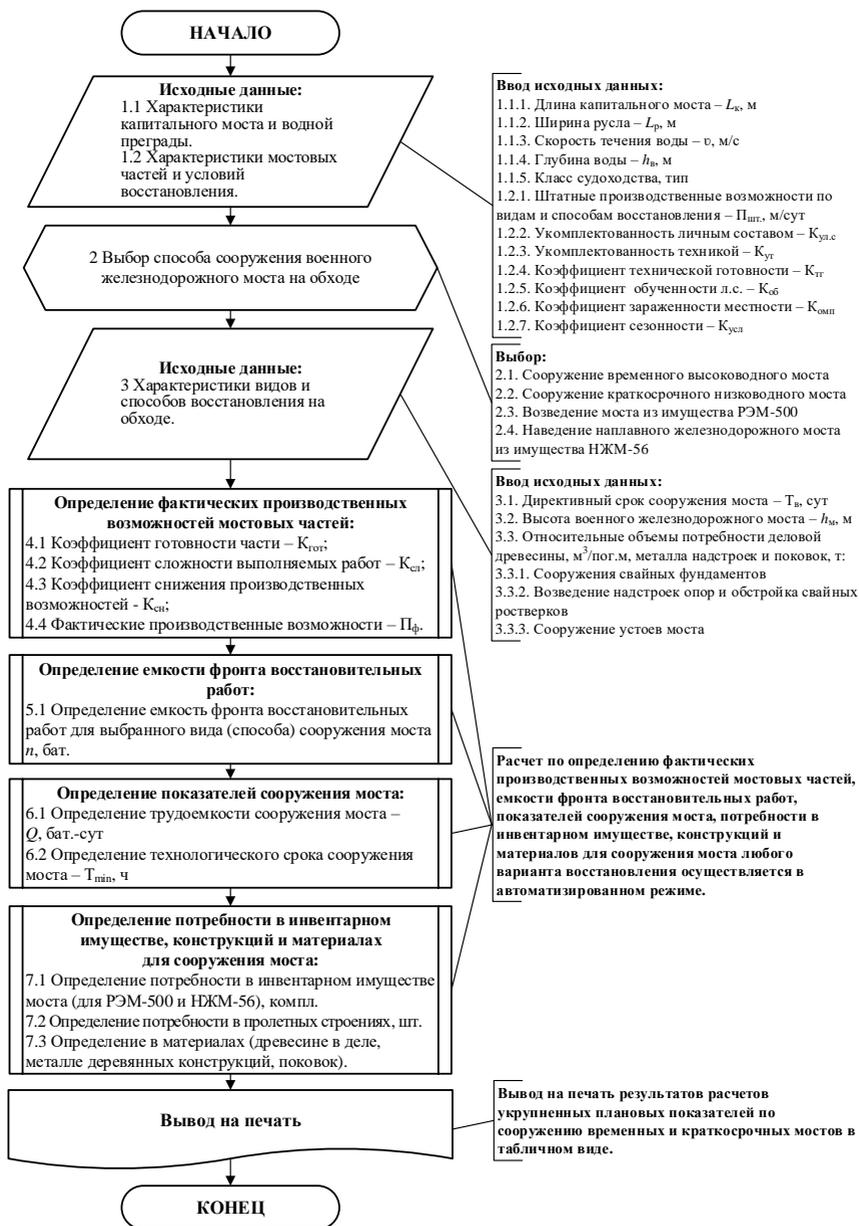


Рисунок 1 – Алгоритм расчета укрупненных плановых показателей по сооружению военных железнодорожных мостов

На основе разработанного алгоритма расчета с применением программного продукта MacromediaFlashPlayer 8 написана электронная программа расчета, окно титульной страницы программы представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Первая страница программы расчета

Для определения основных плановых показателей восстановления необходим минимум информации: о капитальном искусственном сооружении (его длина, высота); о водотоке (ширина русла, глубина и скорость течения воды, грунты дна водотока и пойм); сведения о судоходстве (ледовом режиме реки); о частях и подразделениях, выделенных на восстановление мостов (укомплектованность личным составом и техникой, готовность техники к работе, обученность личного состава, штатные производственные возможности, наличие инвентарного и табельного имущества); о местных условиях (сезон года, зараженность).

Источниками получения информации могут служить топографические карты, аэрофотоснимки, данные технической разведки (в том числе и воздушной), разнообразные описания района ведения восстановительных работ, техническая документация на капитальные мосты.

Собранные исходные данные вводятся в следующее окно программы, представленное на рисунке 3.

ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Характеристика капитального моста и водной преграды через реку

Введите название объекта - река

Длина моста, м

Высота капитального моста, м

Ширина русла реки, м

Скорость течения воды, м/с

Глубина воды, м

Класс судоходства, тип

Введите характеристики мостовых частей и условия восстановления

Укомплектованность л/с

Укомплектованность техникой

Коэффициент технической готовности

Коэффициент обученности

Коэффициент зараженности местности

Коэффициент сезонности

Штатные производственные возможности по сооружению, м/сут

Временного моста на обходе

Низководного краткосрочного моста на обходе

РЭМ-500

НКМ-56

ДАЛЕЕ

Рисунок 3 – Окно ввода исходных данных

Далее необходимо выбрать вид и способ сооружения военного моста (рисунок 4), произвести ввод дополнительных данных касаяемо выбранного варианта: директивный срок восстановления, высоту моста, расход материалов (древесина, металл) на один погонный метр моста, используя при этом их расчетные параметры из типовых проектов по сооружению (наведению) мостов.

СООРУЖЕНИЕ ВРЕМЕННОГО НИЗКОВОДНОГО МОСТА



ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Директивный срок сооружения моста, сут

Высота моста, м

Относительные объемы потребности:

дерево в куб.м/пог.м мостов, т тоннаж, т

Возведение надстрое опор

Железобетон свайных раскосов

Сооружение устоев моста

Сооружение свайных фундаментов

РАСЧЕТ

СООРУЖЕНИЕ КРАТКОСРОЧНОГО НИЗКОВОДНОГО МОСТА



ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Директивный срок сооружения моста, сут

Высота моста, м

Относительные объемы потребности:

дерево в куб.м/пог.м мостов, т тоннаж, т

Возведение надстрое опор и сборные свайные раскосы

Сооружение устоев моста

Сооружение свайных фундаментов

РАСЧЕТ

НАВЕДЕНИЕ НАВЕСНОГО ЖЕЛЕЗОДОРОЖНОГО МОСТА ИЗ ЖЕЛЕЗОСТА НЕМ-56



ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Директивный срок сооружения моста, сут

Высота моста, м

Относительные объемы потребности:

дерево в куб.м/пог.м мостов, т тоннаж, т

Сооружение свайных фундаментов и сборные раскосы (опорный опоры)

Сооружение устоев моста

РАСЧЕТ

ВОЗВЕДЕНИЕ МОСТА ИЗ ЖЕЛЕЗОСТА РЭМ-500



ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Директивный срок сооружения моста, сут

Высота моста, м

Относительные объемы потребности:

дерево в куб.м/пог.м мостов, т тоннаж, т

Сооружение устоев моста

РАСЧЕТ ОБЩИЙ НАЗАД РАСЧЕТ

Рисунок 4 – Окно выбора варианта восстановления и ввода исходных данных для расчета

Далее осуществляется автоматизированный расчет и вывод результатов в следующем окне по рассматриваемому варианту восстановления (рисунок 5).



Рисунок 5 – Окно результатов расчетов по варианту восстановления

Результат расчета представлен следующими плановыми показателями: длина военного моста; коэффициент снижения производственных возможностей; фактические производственные возможности выделенных сил и средств, минимальный технологический срок и трудоемкость восстановления; емкость фронта работ; потребность в инвентарных комплектах (РЭМ-500 и НЖМ-56) материалов и конструкций (пролетных строений, дерево в деле, поковки).

При необходимости просмотра и вывода на печать плановых показателей в табличном виде по одному или всем вариантам, в программе предусмотрено окно с общей таблицей по вариантам восстановления (рисунок 6).

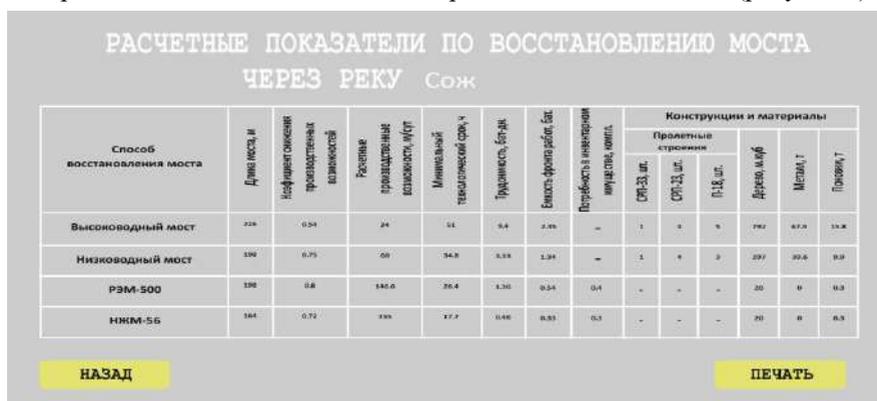


Рисунок 6 – Окно вывода результатов расчетов по вариантам восстановления

Использование итоговой таблицы по вариантам восстановления, позволяет произвести их оценку и сравнение по основным параметрам, тем самым помочь командиру принять правильное и обоснованное решение по восстановлению моста.

Применение данной программы по расчету укрупненных плановых показателей по сооружению военных железнодорожных мостов позволяет в короткие сроки разрабатывать и оценивать рациональные варианты восстановления военных железнодорожных мостов, может эффективно использоваться как в инженерном аппарате органов управления транспортными войсками Республики Беларусь, так и в проектных институтах, занимающихся вопросами разработки и оптимизации проектных сооружений по восстановлению мостов.

Список литературы

1 **Бобрицкий С. М.** Временное восстановление железнодорожных мостов : учеб. пособие / С. М. Бобрицкий, А. А. Поддубный, К. В. Махаев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 218 с.

2 **Григорьев Б. М.** Планирование и организация восстановления искусственных сооружений на железных дорогах : учеб. пособие. Ч. II / Б. М. Григорьев, А. А. Федоров, Ю. А. Найденов. – СПб. : ВАТТ, 1994. – 156 с.

Секция I
ФИЗИКА, МЕХАНИКА И МАТЕМАТИКА
ПРИ РАСЧЁТЕ И КОНСТРУИРОВАНИИ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 539.3

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
КРУГОВЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН
НА ОСНОВАНИИ ПАСТЕРНАКА

А. Г. КОЗЕЛ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Вопросу расчета конструкций на упругом основании посвящено большое количество работ. Для описания свойств деформируемого основания используются разнообразные механико-математические модели, однако до сих пор среди них нет общепризнанной.

В течение долгого времени единственной расчетной моделью была так называемая модель Винклера (Фусса–Винклера–Циммерманна). Ее можно представить в виде набора линейных несвязанных между собой пружин, расположенных под пластиной. Такое основание характеризуется одним коэффициентом постели – жёсткостью пружин. Главное преимущество этой модели – математическая простота. Благодаря этому, она и сейчас популярна и продолжает применяться.

Модель Винклера ещё в 20–30-х годах прошлого века подвергалась острой и резкой критике. Большинство реальных оснований, например, плотные и скальные грунты, имеют распределительную способность, при которой в работу вовлекаются не только непосредственно нагруженные части основания, но и области за пределами приложения нагрузки.

Для преодоления недостатков модели Винклера ряд исследователей независимо друг от друга предлагали двухпараметрические модели упругого основания, учитывая при этом его распределительные свойства, позволяющие описывать не только его сжатие, но и сдвиг. Среди двухпараметрических моделей, модель основания Пастернака является наиболее естественным продолжением модели Винклера для однородных оснований, благодаря этому она получила большее распространение.

Рассмотрим деформирование круговой трехслойной пластины (рисунок 1).

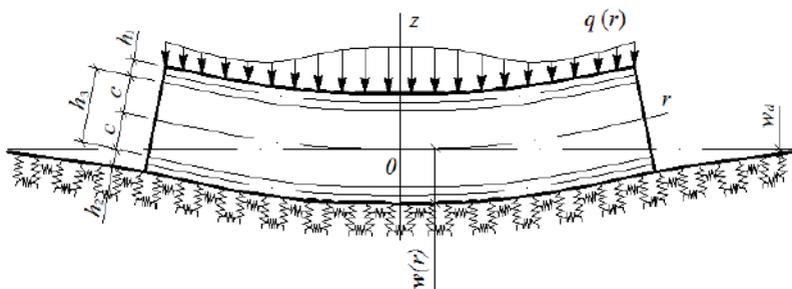


Рисунок 1 – Схема деформирования пластины при свободном опирании контура

Приведена постановка и решение краевой задачи об осесимметричном изгибе физически нелинейной пластины на двухпараметрическом основании Пастернака. Для внешних несущих слоев справедливы гипотезы Кирхгофа, для достаточно толстого, легкого, несжимаемого по толщине заполнителя применяется модель Тимошенко. Цилиндрическая система координат r, φ, z связана со срединной плоскостью заполнителя. За искомые функции приняты: прогиб пластины $w(r)$, относительный сдвиг в заполнителе $\psi(r)$ и радиальное перемещение координатной плоскости $u(r)$. Через h_k обозначена толщина k -го слоя, $h_3 = 2c$, w_d – осадка основания за пределами пластины.

Осесимметричная нагрузка $q(r)$ распределена по верхнему слою пластины, реакция основания согласно модели Пастернака [1]:

$$q_R(r) = -\kappa_0 w + t_f \Delta w, \quad (1)$$

где κ_0, t_f – коэффициенты сжатия и сдвига материала основания, Δ – оператор Лапласа

Деформирование упругой трехслойной пластины описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений равновесия в усилиях, полученных с помощью вариационного принципа Лагранжа [2]. Поэтому её можно применить и здесь как исходную.

Выделяя в обобщенных внутренних усилиях линейные и нелинейные составляющие и подставляя их, выраженными через перемещения, в уравнения равновесия, с учетом (1), получим систему в виде:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w, r) &= p_\omega, \\ L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w, r) &= h_\omega, \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w, r) - \kappa_0 w + t_f \Delta w &= -q + q_\omega, \end{aligned} \quad (2)$$

где a_i – коэффициенты, учитывающие упругие и геометрические параметры слоев; L_2, L_3 – линейные дифференциальные операторы.

Здесь в левой части уравнений собраны линейные составляющие обобщённых внутренних усилий. С индексом ω введены нелинейные добавки, сосредоточенные в правой части.

Система дифференциальных уравнений (2) в силу физических уравнений состояния является нелинейной. Решение поставленной задачи представляет собой сложную задачу. Аналитическое решение в этом случае получить в конечном виде не представляется возможным, поэтому чаще всего решение задачи теории пластичности строится с применением приближенных либо численных методов.

Наиболее эффективным из приближенных методов для решения задач теории малых упругопластических деформаций следует считать метод последовательных приближений А. А. Ильюшина, называемый методом упругих решений. Согласно ему перепишем систему (2) в итерационном виде:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u^{(n)} + a_2 \psi^{(n)} - a_3 w_{,r}^{(n)}) &= p_{\omega}^{(n-1)}, \\ L_2(a_2 u^{(n)} + a_4 \psi^{(n)} - a_5 w_{,r}^{(n)}) &= h_{\omega}^{(n-1)}, \\ L_3(a_3 u^{(n)} + a_5 \psi^{(n)} - a_6 w_{,r}^{(n)}) - \kappa_0 w^{(n)} + t_f \Delta w^{(n)} &= -q + q_{\omega}^{(n-1)}, \end{aligned} \quad (3)$$

где n – номер приближения.

Аналитическое решение системы (3) было получено в [3] в виде:

$$\begin{aligned} u^{(n)} &= b_1 w_{,r}^{(n)} - \frac{1}{a_1 a_4 - a_2^2} \frac{1}{r} \int r \int (a_2 h_{\omega}^{(n-1)} - a_4 p_{\omega}^{(n-1)}) dr dr + C_1^{(n)} r, \\ \psi^{(n)} &= b_2 w_{,r}^{(n)} + \frac{1}{a_1 a_4 - a_2^2} \frac{1}{r} \int r \int (a_1 h_{\omega}^{(n-1)} - a_2 p_{\omega}^{(n-1)}) dr dr + C_3^{(n)} r, \\ w^{(n)} &= C_5^{(n)} J_0(\sqrt{a} \kappa r) + C_7^{(n)} J_0(\sqrt{a} \kappa r) + w_p^{(n)}(r), \end{aligned} \quad (4)$$

где $C_1^{(n)}, C_2^{(n)}, C_3^{(n)}, C_4^{(n)}$ – константы интегрирования на n -м шаге;

$t_{f1} = t_f D$, $\kappa^4 = \kappa_0 D$, $q = q_0 D$, $f_{\omega}^{(n)} = -D q_{\omega}^{(n-1)} + D_1 \frac{1}{r} (r p_{\omega}^{(n-1)})_{,r} + D_2 \frac{1}{r} (r h_{\omega}^{(n-1)})_{,r}$,
 b_1, b_2, D, D_1, D_2 – параметры, выражаемые через коэффициенты a_i , интегралы здесь определённые с переменным верхним пределом от 0 до r .

Численное исследование решения (4) показало, что использование модели основания Пастернака позволяет значительно уточнить оценку расчётного ресурса конструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т19РМ-089).

Список литературы

1 Пастернак, П. Л. Основы нового метода расчёта фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели / П. Л. Пастернак. – М. : Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре. – 1954. – 55 с.

2 **Козел, А. Г.** Деформирование круговой трехслойной пластины, защемленной по контуру, на основании Пастернака / А. Г. Козел // Теоретическая и прикладная механика : междунар. науч.-техн. сб. – Минск : БНТУ, 2018. – № 33. – С. 318–323.

3 **Козел, А. Г.** Деформирование физически нелинейной трехслойной пластины на основании Пастернака / А. Г. Козел // Механика. Исследования и инновации : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2019. – № 12. – С. 105–112.

УДК 539.374

НАГРУЖЕНИЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Д. В. ЛЕОНЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Сэндвич-панели широко используются в строительстве и восстановлении искусственных сооружений. Разработка методов, адекватно описывающих их поведение под нагрузкой, является актуальной задачей современного строительства. Существует довольно много моделей расчета подобных панелей как на статические, так и динамические нагрузки [1], однако недостаточно обширно представлен расчет на температурное воздействие [2].

В статье рассматривается изгиб несимметричной по толщине упругой трехслойной панели при действии комплексного термосилового нагружения.

Поперечное сечение панели состоит из трех слоев. В несущих внешних слоях справедливы гипотезы Кирхгофа. В среднем слое, называемом заполнителем, используется гипотеза типа Тимошенко. Несущие слои служат для восприятия силового нагружения, заполнитель может воспринимать и сопротивляться температурному воздействию.

Со стороны внешних несущих слоев может действовать как силовая нагрузка, так и стационарное температурное поле. Задачу распределения тепла в трехслойном пакете считаем известной [3], изменение упругих характеристик материалов несущих слоев принимаем в соответствии с формулой Белла [4].

Получены дифференциальные уравнения изгиба панели, найдены их решения, а также выполнен численный анализ зависимостей напряженно-деформированного состояния материалов слоев панели от температурного воздействия.

Список литературы

1 **Болотин, В. В.** Механика многослойных конструкций / В. В. Болотин, Ю. Н. Новичков. – М. : Машиностроение, 1980. – 375 с.

2 Старовойтов, Э. И. Трехслойные стержни в терморadiационных полях / Э. И. Старовойтов, М. А. Журавков, Д. В. Леоненко. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 275 с.

3 Старовойтов, Э. И. Вязкоупругопластические слоистые пластины и оболочки / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 344 с.

4 Белл, Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых тел: в 2 ч. / Дж. Ф. Белл. – М. : Наука, 1984. – 1027 с.

УДК 539.3

НЕОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ СО СВОБОДНО ОПЕРТЫМ КОНТУРОМ

А. В. НЕСТЕРОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рассматривается неосесимметричное изотермическое деформирование трехслойной круговой пластины в своей плоскости с шарнирно закрепленным центром и свободно опертым на жесткие опоры контуром, для которой принимаются кинематические гипотезы ломаной линии. Постановка задачи и ее решение проводятся в цилиндрической системе координат r, φ, z , связанной со срединной плоскостью заполнителя, к которой приложена непрерывно распределенная нагрузка, проекции которой на радиальную и тангенциальную оси координат: $p_r(r, \varphi), p_\varphi(r, \varphi)$.

Возникающие перемещения $u_r(r, \varphi), u_\varphi(r, \varphi)$ удовлетворяют системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} L_2(u_r) + \frac{a_3}{a_1 r^2} u_{r, \varphi \varphi} + \frac{a_2 + a_3}{a_1 r} u_{\varphi, \varphi r} - \frac{a_1 + a_3}{a_1 r^2} u_{\varphi, \varphi} &= -\frac{p_r}{a_1}; \\ L_2(u_\varphi) + \frac{a_2 + a_3}{a_3 r} u_{r, r \varphi} + \frac{a_1}{a_3 r^2} u_{\varphi, \varphi \varphi} + \frac{a_1 + a_3}{a_3 r^2} u_{r, \varphi} &= -\frac{p_\varphi}{a_3}, \end{aligned} \quad (1)$$

где L_2 – дифференциальный оператор Бесселя; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, зависящие от температуры и определяемые через геометрические и упругие характеристики материалов слоев; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Для решения системы уравнений (1) искомые перемещения $u_r(r, \varphi), u_\varphi(r, \varphi)$ и нагрузки $p_r(r, \varphi), p_\varphi(r, \varphi)$ раскладываются в тригонометрические ряды Фурье:

$$u_r(r, \varphi) = u_{r0}(r) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[u_m^{(1)}(r) \cos(n\varphi) + u_m^{(2)}(r) \sin(n\varphi) \right],$$

$$\begin{aligned}
u_\varphi(r, \varphi) &= u_{\varphi 0}(r) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[u_{\varphi n}^{(1)}(r) \cos(n\varphi) + u_{\varphi n}^{(2)}(r) \sin(n\varphi) \right], \\
p_r(r, \varphi) &= p_{r0}(r) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[p_m^{(1)}(r) \cos(n\varphi) + p_m^{(2)}(r) \sin(n\varphi) \right], \\
p_\varphi(r, \varphi) &= p_{\varphi 0}(r) + \sum_{n=1}^{\infty} \left[p_{\varphi n}^{(1)}(r) \cos(n\varphi) + p_{\varphi n}^{(2)}(r) \sin(n\varphi) \right], \quad (2)
\end{aligned}$$

где $u_{r0}(r)$, $u_{\varphi 0}(r)$ – перемещения, соответствующие осесимметричному нагружению; $u_m^{(1)}(r)$, $u_m^{(2)}(r)$, $u_{\varphi n}^{(1)}(r)$, $u_{\varphi n}^{(2)}(r)$ – искомые амплитудные функции неосесимметричных составляющих перемещений; $p_{r0}(r)$, $p_{\varphi 0}(r)$ – осесимметричные составляющие нагрузки, $p_m^{(1)}(r)$, $p_m^{(2)}(r)$, $p_{\varphi n}^{(1)}(r)$, $p_{\varphi n}^{(2)}(r)$ – асимметричные составляющие радиальной и тангенциальной внешних нагрузок.

Примем, что на пластину действует косинусоидальная нагрузка с постоянной амплитудой $p_{r1} = \text{const}$:

$$p_r(r, \varphi) = p_{r1} \cos \varphi, \quad p_\varphi = 0. \quad (3)$$

Коэффициенты разложения нагрузки (3) в ряды (2) примут вид

$$p_m^{(1)}(r) = \frac{p_{r1}}{\pi} \int_0^{2\pi} \cos \varphi \cos(n\varphi) d\varphi = \begin{cases} 0, & n \neq 1 \\ p_{r1}, & n = 1 \end{cases},$$

таким образом

$$p_{r1}^{(1)}(r) = p_{r1}, \quad p_m^{(1)}(r) = 0 \quad \text{при } n > 1, \quad p_m^{(2)}(r) = p_{\varphi n}^{(1)}(r) = p_{\varphi n}^{(2)}(r) = 0.$$

После подстановки выражений (2) в систему уравнений (1) и с учетом независимости принятых систем тригонометрических функций для выполнения уравнений при любых значениях аргумента φ суммарные коэффициенты при одинаковых гармониках должны обращаться в ноль. Удовлетворяя этому требованию, получим систему из четырех обыкновенных линейных дифференциальных уравнений для определения искомых амплитудных функций $u_m^{(1)}(r)$, $u_m^{(2)}(r)$, $u_{\varphi 1}^{(1)}(r)$, $u_{\varphi 1}^{(2)}(r)$. Данная система при $n > 1$ будет однородной, с принятыми нулевыми граничными условиями, дающей тривиальные решения. Если $n = 1$, то получаем

$$L_2 \left(u_{r1}^{(1)}(r) \right) - \frac{a_3}{a_1 r^2} u_{r1}^{(1)}(r) + \frac{a_2 + a_3}{a_1 r} u_{\varphi 1, r}^{(2)}(r) - \frac{a_1 + a_3}{a_1 r^2} u_{\varphi 1}^{(2)}(r) = -\frac{1}{a_1} p_{r1},$$

$$L_2 \left(u_{\varphi 1}^{(2)}(r) \right) - \frac{a_1}{a_3 r^2} u_{\varphi 1}^{(2)}(r) - \frac{a_2 + a_3}{a_3 r} u_{r1, r}^{(1)}(r) - \frac{a_1 + a_3}{a_3 r^2} u_{r1}^{(1)}(r) = 0,$$

$$L_2 \left(u_{r_1}^{(2)}(r) \right) - \frac{a_3}{a_1 r^2} u_{r_1}^{(2)}(r) - \frac{a_2 + a_3}{a_1 r} u_{\varphi_1}^{(1)},_r(r) + \frac{a_1 + a_3}{a_1 r^2} u_{\varphi_1}^{(1)}(r) = 0,$$

$$L_2 \left(u_{\varphi_1}^{(1)}(r) \right) - \frac{a_1}{a_3 r^2} u_{\varphi_1}^{(1)}(r) + \frac{a_2 + a_3}{a_3 r} u_{r_1}^{(2)},_r(r) + \frac{a_1 + a_3}{a_3 r^2} u_{r_1}^{(2)}(r) = 0. \quad (4)$$

Третье и четвертое уравнения в (4) образуют однородную систему, которая при нулевых граничных условиях также дает тривиальное решение

$$u_{r_1}^{(2)} \equiv u_{\varphi_1}^{(1)} \equiv 0.$$

Первое и второе уравнения в (4) образуют неоднородную систему, решение которой при нулевых граничных условиях и учете ограниченности перемещений в центре пластины будет

$$u_{r_1}^{(1)} = -C_1 + C_4 \frac{a_1 - 3a_2}{5a_1 + a_2} r^2 -$$

$$- \left[(51a_1^2 + 14a_1a_2 + 11a_2^2) + 4(a_1 - 3a_2)(5a_1 + a_2) \ln r \right] \frac{P_{r_1} r^2}{64a_1(a_1 - a_2)(5a_1 + a_2)},$$

$$u_{\varphi_1}^{(2)} = C_1 + C_4 r^2 + \frac{5a_1 + a_2}{64a_1(a_1 - a_2)} (5 - 4 \ln r) p_{r_1} r^2.$$

Оставшиеся константы интегрирования C_1 и C_4 следуют из граничных условий:

$$u_r = 0 \quad \text{при } r = 0,$$

$$T_{r\varphi} \Big|_{r=r_0} = \frac{a_3}{r} (u_{r,\varphi} + r u_{\varphi,r} - u_{\varphi}) = 0 \quad \text{при } r = r_0.$$

Отсюда получим:

$$C_{11} = 0, \quad C_4 = \frac{1}{16a_1(a_1 - a_2)} \left[-\frac{19a_1^2 + 6a_1a_2 + 3a_2^2}{4(a_1 + a_2)} + (5a_1 + a_2) \ln r_0 \right] p_{r_1}.$$

Окончательный вид перемещений будет

$$u_r = \frac{1}{a_1 + a_2} \left(\left(\frac{2a_1 + a_2}{3a_1} r_0 - \frac{a_1 + a_2}{3a_1} r \right) p_{r_0} + 3 \sum_{k=1}^3 \alpha_0^{(k)} K_k \Delta Th_k \right) r -$$

$$- \frac{1}{32a_1(a_1 - a_2)} \left[\frac{7a_1^2 + a_2^2}{a_1 + a_2} - 2(a_1 - 3a_2) \ln \left(\frac{r_0}{r} \right) \right] p_{r_1} r^2 \cos \varphi,$$

$$u_{\varphi} = \frac{1}{16a_1(a_1 - a_2)} \left[\frac{2(3a_1^2 + 12a_1a_2 + a_2^2)}{a_1 + a_2} + (5a_1 + a_2) \ln \left(\frac{r_0}{r} \right) \right] p_{r_1} r^2 \sin \varphi. \quad (5)$$

Предложенные перемещения (5) позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние круговой трехслойной пластины при неосесимметричных нагрузках, действующих в ее плоскости при свободном контуре.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т19РМ-089).

УДК 624.131

ДИНАМИЧЕСКОЕ ДОГРУЖЕНИЕ БАЛКИ ВСЛЕДСТВИИ ВНЕЗАПНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ

А. А. ПОДДУБНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В. А. ГОРДОН

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

Простейшей и широко применяемой в различных расчетах моделью взаимодействия нагруженной деформируемой системы, опирающейся на упругое основание, является модель Винклера.

Основание Винклера рассматривается как множество независимых пружин, работающих на растяжение-сжатие, закрепленных на абсолютно жестком континууме. Недостаток пружинной (клавишной) модели Винклера состоит в том, что при сопротивлении нагрузкам в некоторой точке основания, в работу не вовлекаются соседние точки (пружины). Такая система справедлива лишь для оснований со слабой распределительной способностью (мягкие, рыхлые грунты и т. д.). Этот недостаток решается с помощью модели Пастернака (двухпараметрическое основание). Второй параметр (κ_2), вводимый дополнительно к параметру Винклера (κ_1), учитывает сдвиговые реакции основания.

На рисунке 1 приведены примеры оснований, которые могут работать как модель Винклера и Пастернака. При этом возможны такие примеры практических задач, когда конструкция может опираться на связные грунты (пример оснований модели Пастернака) и в случае внезапного изменения физико-механических свойств оснований грунта могут стать не связными (пример оснований модели Винклера).

В работе рассматривается задача по построению математической модели динамического процесса, возникающего в несущей статическую нагрузку балке, опирающейся на двухпараметрическое основание Пастернака при вне-

запном образовании дефекта основания, по длине контакта с балкой, заключающегося в утрате свойств основания сдвиговой жесткости, т. е. внезапном обнулении k_2 .

а) Крупнообломочные	б) Глинистые, пылеватые, илы
 <p data-bbox="288 405 396 437">Валунный</p>	 <p data-bbox="687 405 871 437">Супеси, суглинки</p>
 <p data-bbox="194 549 495 580">Галечниковый (щебенистый)</p>	 <p data-bbox="743 564 815 587">Глины</p>
 <p data-bbox="217 740 474 772">Гравийный (дресвяный)</p>	 <p data-bbox="766 724 799 746">Ил</p>
Пески	Торф
 <p data-bbox="217 948 474 995">Гравелистый, крупный, средний, мелкий</p>	

Рисунок 1 – Пример оснований:

а – модели Винклера (несвязные грунты); б – модели Пастернака (связные грунты)

До появления дефекта напряженно-деформированное состояние всей конструкции определялось статическим воздействием. Внезапное образование дефекта приводит к снижению общей жесткости системы «балка-основание» и нарушению статического равновесия. Балка приходит в движение, в ходе которого перераспределяются и растут деформации и напряжения. В связи с возникающими динамическими догрузками возможны нарушения функционирования системы, потеря несущей способности и разрушения. В работе моделируется проявление конструктивной нелинейности системы «балка-основание».

Математическая модель процесса строится путем последовательного решения следующих задач.

1 Определяется статический прогиб и изгибающий момент в балке, опирающейся на упругое основание Пастернака в соответствии с граничными условиями, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой заданной интенсивности. Прогиб используется в дальнейшем как начальное условие динамического процесса (колебаний), возникающего после внезапного образования дефекта основания. Изгибающий момент используется для сравнения статических внутренних усилий в балке с динамическими в ходе колебаний.

2 Определяются частоты и формы собственных изгибных колебаний балки, опирающейся на упругое основание Винклера.

3 Исследуются вынужденные изгибные колебания нагруженной балки на основании Винклера путем разложения нагрузки и статического прогиба, полученного еще на основании Пастернака, по формам собственных колебаний балки на основании Винклера. Таким образом, расчет вынужденных колебаний строится методом модального разложения исходного состояния и нагрузки по модам нового состояния.

Для анализа перемещений и напряжений в балке при взаимодействии ее с упругим основанием во всех задачах используется метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояния произвольных сечений балки.

В процессе работы были написаны математические модели и получены аналитические рекуррентные решения краевых задач, проведен численный параметрический анализ напряженно-деформированного состояния системы «балка-основание» и ее структурная перестройка, заключающаяся во внезапном преобразовании основания Пастернака в основание Винклера (утрате основания свойства сдвиговой жесткости).

Мгновенный переход основания Пастернака в основание Винклера приводит к радикальному преобразованию напряженно-деформированного состояния балки:

- изгибающие моменты во всех сечениях становятся знакопеременными;
- изменяется положение опасного сечения (для всех значений жесткостей опасным становится середина сечения);
- абсолютное значение изгибающих моментов значительно увеличивается, при этом большей жесткости системы «балка-основание» соответствует большее относительное приращение динамического изгибающего момента к статическому значению.

Полученные результаты исследования показывают существенные приращения напряжений и значительные изменения картины напряженно-деформированного состояния, вызванные внезапным изменением структуры и расчетной схемы рассмотренной модели «балка-основание».

Результаты математической-модели состоят в том, что при проектировании, расчете, эксплуатации и анализе аварий следует учитывать возможность

внезапных (невидимых) структурных перестроек в ответственных конструкциях, моделируемых балками, взаимодействующими с упругим основанием, и их негативные последствия. Данная методика актуальна для решения существующих задач строительной механики и будет необходима для расчетов всевозможных модулей при освоении планет.

Список литературы

1 Поддубный, А. А. Методика расчета критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1(38). – С. 49–52.

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРОГИБОВ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В НЕОДНОРОДНОЙ БАЛКЕ, ЧАСТИЧНО ОПЕРТОЙ НА УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЕЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ

А. А. ПОДДУБНЫЙ, А. В. ЯРОВАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Рассматривается трехслойный стержень длиной l и шириной b_0 ступенчато-переменного сечения под действием продольных и поперечных распределенных нагрузок и сосредоточенных сил и моментов (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 стержня и обеспечивает их совместную работу.

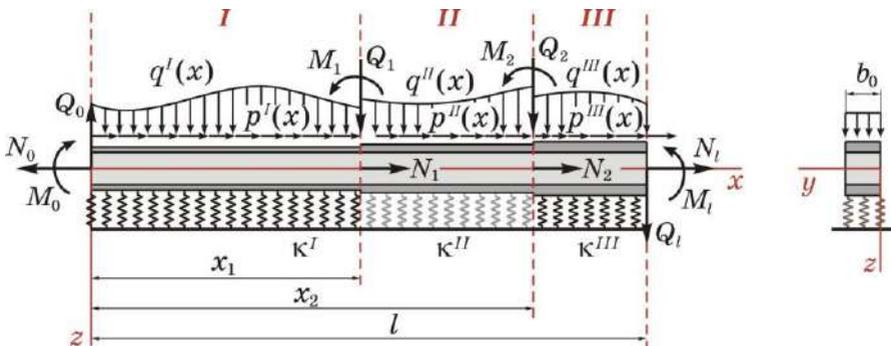


Рисунок 1 – Расчетная схема трехслойного стержня прямоугольного сечения

Система координат x, y, z связана со срединной плоскостью заполнителя. Несущий слой, расположенный со стороны положительного направления оси z , считается первым слоем, следующий несущий слой – вторым, а заполнитель – третьим слоем. Номер слоя обозначен индексом k ($k = 1, 2, 3$). Толщина k -го слоя h_k ; для заполнителя $h_3 = 2c$.

По длине стержня l выделяются три участка I ($0 \leq x \leq x_1$), II ($x_1 \leq x \leq x_2$), III ($x_2 \leq x \leq l$). Внешние распределенные нагрузки на каждом из участков могут иметь различные величины и закон изменения, а могут и отсутствовать. Индекс $n = I, II, III$ указывает, что нагрузки относятся к соответствующему участку: $p^n(x), q^n(x)$ [Па] – продольная и поперечная распределенные нагрузки на n -м участке.

На торцах стержня и в сечениях с координатами $x = x_1, x = x_2$ действуют сосредоточенные силы и моменты $N_0, Q_0, M_0; N_1, Q_1, M_1; N_2, Q_2, M_2; N_l, Q_l, M_l$.

Участки стержня опираются на упругое основание. Через k^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.

В работе [1] данная научная задача была решена, составлен комплекс программ в среде MathCad, с помощью которых получены числовые результаты для нескольких видов трехслойных пакетов при различных распределенных и сосредоточенных нагрузках, жесткости и длине участков опирания на упругое основание и условиях закрепления торцов.

Два участка, пакет «стеклопластик-пенополистирол-теклопластик»

Был рассмотрен трехслойный стержень длиной $l = 2$ м, шириной $b_0 = 0,2$ м с различными условиями закрепления торцов (рисунок 2). Несущие слои с толщинами $h_1 = h_2 = 0,015$ м (если не указано иначе) выполнены из строительного профильного стеклопластика СППС-240 ($E_x = 23000$ МПа; $E_y = 8500$ МПа; $\nu_{xy} = 0,09$; $\nu_{yx} = 0,23$), заполнитель толщиной $h_3 = 2c = 0,1$ м – из экструдированного пенополистирола плотностью 40–45 кг/м³ ($E = 18$ МПа; $\nu = 0,46$).

Стержень, шарнирно закрепленный по двум торцам (рисунок 3).

Был исследован трехслойный стержень длиной $l = 2$ м, шириной $b_0 = 0,2$ м, закрепленный шарнирно по двум торцам, под действием поперечной нагрузки $q = 50$ кПа, равномерно распределенной по всей верхней поверхности. Левая половина стержня опирается на упругое основание с коэффициентом жесткости $k = 5$ МПа/м (если не указано иначе), соответствующим слежавшемуся песку, влажной глине или насыпному граввию. На торцах имеются жесткие диафрагмы. Получены результаты.

На рисунке 3 показано изменение изгибающего момента M (a) и момента сдвига H (b) вдоль оси стержня при жестком и шарнирном закреплении торцов.

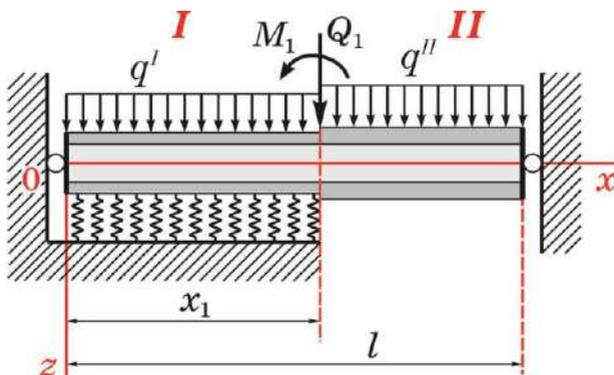
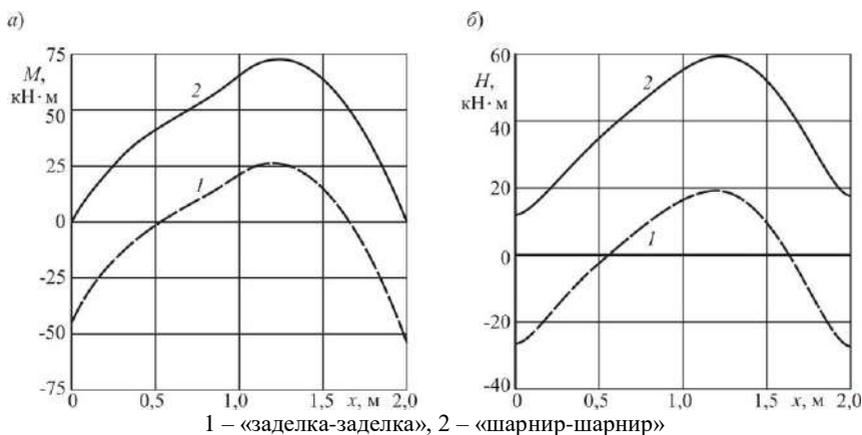


Рисунок 2 – Расчетная схема стержня с шарнирным закреплением торцов и жесткими диафрагмами



1 – «заделка-заделка», 2 – «шарнир-шарнир»
Рисунок 3 – Изменение изгибающего момента (а) и момента сдвига (б) по длине стержня при опирании его левой половины ($x_1 = 0,5 l$)

При шарнирном опирании оба момента значительно больше по величине, чем при жестком закреплении торцов: максимальный положительный момент M больше в 2,6 раза, момент H – в 3 раза. За счет работы жестких диафрагм на торцах и при шарнирном, и при жестком закреплении $H \neq 0$. При жестком закреплении торцов наибольшие положительные и отрицательные моменты отличаются в 2 раза. При этом распределение моментов более рациональное, что приводит к меньшим значениям перемещений и напряжений.

На рисунке 4 показано изменение прогиба, нормальных напряжений на нижней поверхности заполнителя и несущих слоев вдоль оси стержня при опи-

рании его левой половины ($x_1 = 0,5 l$), а также жестком и шарнирном закреплении торцов. При шарнирном опирании максимальный прогиб увеличивается на 15 % по сравнению с максимальным прогибом жестко закрепленного стержня. Графики напряжений для заполнителя и первого несущего слоя смещаются в положительную область, для второго слоя – в отрицательную, максимальные напряжения отличаются незначительно [2].

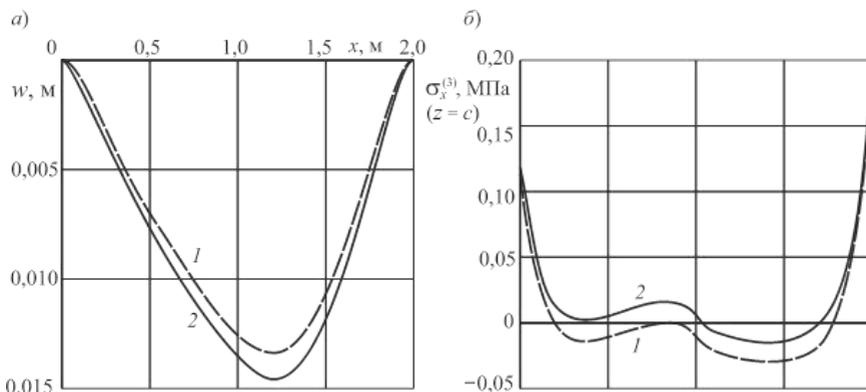


Рисунок 4 – Изменение прогиба (а) и нормальных напряжений на нижней поверхности заполнителя (б) по длине стержня при опирании его левой половины ($x_1 = 0,5 l$)

Вывод. Разработанная математическая модель позволяет при проектировании, расчете, эксплуатации и анализе аварий учесть различные изменения граничных условий закрепления конструкции и обоснованно определять запас прочности.

Список литературы

- 1 Яровая, А. В. Механико-математическая модель деформирования неупругой трехслойной балки, частично опертой на упругой основание / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2015. – № 30. – С. 256–262.
- 2 Яровая, А. В. Деформирование упругой трехслойной балки, частично опертой на упругое основание, под действием равномерно распределенной нагрузки / А. В. Яровая, А. А. Поддубный // Теоретическая и прикладная механика. – 2016. – № 31. – С. 242–246.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ПЕРЕМЕННОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Исследовано циклическое деформирование несимметричных по толщине упругопластических трехслойных пластин с жестким наполнителем в температурном поле. Кинематические допущения основаны на гипотезе «ломаной» нормали. Деформации малые. На внешний слой пластины действует распределенная силовая нагрузка $p(r)$, $q(r)$ и тепловой поток плотностью q_t . Через $w(r)$, $u(r)$ обозначены прогиб и радиальное перемещение срединной плоскости наполнителя, $\psi(r)$ – дополнительный угол поворота нормали в наполнителе. На торце предполагаем наличие жестких диафрагм. В этом случае перемещения в слоях выражаются через три искомые функции $u(r)$, $\psi(r)$ и $w(r)$, компоненты тензора деформаций следуют из соотношений Коши. Температурное поле в стержне считаем известным.

В случае трехслойной упругопластической пластины, используются физические уравнения состояния теории малых упругопластических деформаций Ильюшина:

$$s_{ij}^{r(k)} = 2G_k(T_k) f^{r(k)}(\epsilon_u^{(k)}, T_k) \epsilon_{ij}^{r(k)},$$

$$\sigma^{r(k)} = 3K_k(T_k)(\epsilon^{r(k)} - \alpha_k T_k) \quad (k=1, 2; \quad i, j = x, y, z).$$

Соответствующая система разрешающих дифференциальных уравнений равновесия будет существенно нелинейной. Для ее решения применим приближенный метод упругих решений. Согласно этому методу она будет иметь итерационный вид:

$$L_2(a_1 u^{r(n)} + a_2 \psi^{r(n)} - a_3 w'_{,r}{}^{(n)}) = -p' + p'_{\omega}{}^{r(n-1)},$$

$$L_2(a_2 u^{r(n)} + a_4 \psi^{r(n)} - a_5 w'_{,r}{}^{(n)}) - 2cG_3 \psi^{r(n)} = h'_{\omega}{}^{r(n-1)},$$

$$L_3(a_3 u^{r(n)} + a_5 \psi^{r(n)} - a_6 w'_{,r}{}^{(n)}) = -q' + q'_{\omega}{}^{r(n-1)}.$$

Здесь n – номер приближения; величины $p'_{\omega}{}^{r(n-1)}$, $h'_{\omega}{}^{r(n-1)}$, $q'_{\omega}{}^{r(n-1)}$ – «дополнительные» внешние нагрузки, учитывающие физическую нелинейность материалов слоев, на первом шаге полагаются равными нулю, а в дальнейшем вычисляются по результатам предыдущего приближения. Решение системы будет

$$\psi^{r(n)} = C_2^{(n)} I_1(\beta r) + \psi_r^{r(n)},$$

$$u^{(n)} = \frac{a_3}{a_1 a_6 - a_3^2} \left[L_3^{-1}(q' - q_\omega^{(n-1)}) - \frac{a_6}{a_3} L_2^{-1}(p' - p_\omega^{(n-1)}) + \left(a_5 - \frac{a_2 a_6}{a_3} \right) \psi_r^{(n)} + C_7^{(n)} r \right],$$

$$w^{(n)} = \frac{1}{b_3} \left[b_2 \left(\frac{C_2^{(n)}}{\beta} I_0(\beta r) + \int \psi_r^{(n)} dr \right) - \right.$$

$$\left. - \int \left(\frac{a_3}{a_1} L_2^{-1}(p' - p_\omega^{(n-1)}) - L_3^{-1}(q' - q_\omega^{(n-1)}) \right) dr + \frac{C_5^{(n)} r^2}{4} + C_4^{(n)} \right]. \quad (5)$$

Здесь $\psi_r^{(n)}$ – частное решение.

Пусть, начиная со времени $t = t_1$, воздействие температурного поля прекращается, а внешние силы изменяются так, что во всех точках пластически деформируемых областей тела происходит разгрузка и последующее знакопеременное нагружение силами $p''(r)$, $q''(r)$. Температура пластины $T_1(z)$ остается постоянной и равной ее значению перед разгрузкой. Предел пластичности в точках пластины зависит от координаты z и становится равным $\sigma_y''(T_1(z))$. Обозначим соответствующие напряжения, деформации и перемещения через σ_{ij}'' , ε_{ij}'' , u_i'' . Для них физические уравнения состояния запишем следующим образом

$$s_{ij}'' = 2G \varepsilon_{ij}''. \quad f''(\varepsilon_u'', \varepsilon_1', T_1, a_k''). \quad \sigma'' = 3K \varepsilon''.$$

Здесь $f''(\varepsilon_u'', \varepsilon_1', T_1, a_k'')$ – функция пластичности при повторном знакопеременном нагружении.

Сложность краевой задачи для величин с двумя штрихами заключается в зависимости искомого решения от точки разгрузки (ε_1' , σ_1'). Рассмотрим одну возможность уйти от этих трудностей. Для величин перед началом разгрузки сохраним обозначения σ_{ij}' , ε_{ij}' , u_i' . Следуя Москвитину, введем следующие разности для момента времени $t > t_1$:

$$s_{ij}^* = s_{ij}' - s_{ij}'', \quad \varepsilon_{ij}^* = \varepsilon_{ij}' - \varepsilon_{ij}'.$$

Для величин со звездочками примем уравнения состояния

$$s_{ij}^* = 2G \varepsilon_{ij}^*. \quad f^*(\varepsilon_u^*, \varepsilon_1', I_1, a_k^*). \quad \sigma^* = 3K \varepsilon^*.$$

где $f^*(\varepsilon_u^*, \varepsilon_1', T_1, a_k^*)$ – новая универсальная функция, описывающая нелинейность диаграммы деформирования в осях $\sigma^* \sim \varepsilon^*$.

Уравнения равновесия, граничные условия и соотношения Коши для величин σ^* , ε^* , u^* будут подобны, приведенным при нагружении из естественного состояния. Если теперь предположить, что функцию f^* в любой точке кривой деформирования можно приблизить функцией f' , т. е. описать

таким же аналитическим выражением только с другими параметрами a_k^* , то мы уйдем от зависимости f^* от ε_1' :

$$f^* = f'(\varepsilon_u^*, T_1, a_k^*).$$

Сравнивая соотношения для пластины при нагружении из естественного состояния и соотношения для величин со звездочками отмечаем, что они совпадают с точностью до обозначений. Поэтому, решение краевой задачи для величин со звездочками можно получить из приведенного решения путем некоторых замен. Например, если известно перемещение $u_i' = u_i'(x, \varepsilon_u', \varepsilon_y', T, a_k')$, то соответствующее перемещение будет $u_i^* = u_i'(x, \varepsilon_u^*, \varepsilon_y^*, T_1, a_k^*)$, а искомое перемещение при повторном знакопеременном нагружении определяется из разностного соотношения: $u_i'' = u_i' - u_i^*$. Полученный результат можно распространить на случай любого n -го циклического нагружения (теорема о циклических нагружениях неоднородных упругопластических тел в температурном поле).

Численные результаты получены для трехслойной пластины – фторопласт-4 – Д16Т. В момент разгрузки ($t_1 = 30$ мин) и последующего нагружения знакопеременной нагрузкой ($p = 0$, $q = 20$ МПа) температура во внешнем несущем слое достигала 510 К, во втором – температура оставалась постоянной – 293 К.

Работа выполнена при финансовой поддержке БР ФФИ (проект № T20P-047).

Секция II

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.21.033.6

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТА ПРИ ВРЕМЕННОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКТОВ САРМ

П. А. КАЦУБО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В течение последних лет полимерные материалы нашли применение во всех сферах строительства и стали конкурентоспособными по отношению к таким материалам как бетон, асфальтобетон, металл, дерево и керамика. На сегодня трудно представить развитие современных технологий без использования новых полимерных материалов.

Современное развитие технологий строительного производства совместно с технологиями полимерных композитов, позволяет создавать дорожно-строительные материалы, имеющие более высокие физико-механические свойства, что способствует внедрению альтернативных традиционным технологическим процессам строительства и ремонта асфальтобетонным покрытиям автомобильных дорог [1].

В данном направлении представляют интерес исследования термопласткомпозигов, которые могут использоваться в качестве дорожно-строительных материалов, не содержащих битумное вяжущее, физико-механические и эксплуатационные свойства которых выше традиционных материалов для автомобильных дорог, а также реализовать новые технологические процессы строительства и ремонта.

Однако применение термопласткомпозигов может быть эффективно при устройстве покрытий мостов и путепроводов, где требуется выдерживать значительные нагрузки, а также на других высоконагруженных участках автодорог: полосах разгона и торможения, остановках общественного транспорта и других участках с большими транспортными нагрузками. Учитывая высокую стоимость сооружений и значительные затраты на их

ремонт, а также возможный ущерб от потери несущей способности, расходы на устранение повреждений нагруженных участков дорог, применение термопласткомпозита может дать экономический эффект, заключающийся в снижении затрат на эксплуатацию транспортного объекта вследствие повышенной долговечности материала [2].

При интенсивном движении для предохранения проезжей части от значительного износа, а также для борьбы со скользкостью ортотропной металлической плиты (особенно при выпадении осадков) целесообразно укладывать по верху проезжей части САРМ настил из досок толщиной 20 мм. Как вариант рассматривается укладка слоя износостойкого термопласткомпозита, аналогично укладке литого асфальтобетона.

Термопласткомпозит также может рассматриваться в качестве эксплуатируемого универсального тонкослойного покрытия толщиной 5–20 мм, предназначенного для гидроизоляции и защиты при эксплуатации САРМ. Толщина покрытия определяется интенсивностью нагрузки. Термопласткомпозит может наноситься как на заводе-изготовителе металлоконструкций, так и на стройплощадке. Упруго-эластичные свойства тонкослойного термопласткомпозита препятствуют образованию наледи, тем самым повышая безопасность дорожного движения и удешевляя эксплуатацию покрытия в зимнее время года. Термопласткомпозит обладает стойкостью к деформациям настильного листа ортотропной плиты от действия подвижных динамических и вибрационных нагрузок и в то же время имеет высокие показатели прочности и износостойкости при коэффициенте сцепления с шинами, обеспечивающем безопасное движение автотранспорта по мостовым сооружениям.

Использование предлагаемого варианта технического решения позволит строить временные мосты на автомобильных дорогах общего пользования из комплектов САРМ, с обеспечением установленных грузоподъемности пролетных строений и габарита проезжей части с тротуарами, безопасности проезда транспортных средств и безопасного прохода пешеходов, условий для плавного проезда транспортных средств, защиты опор от проникновения на них атмосферных осадков.

Список литературы

1 Кацубо, П. А. Материалы на основе термопласткомпозитов и их использование в технологических процессах строительства и ремонта автомобильных дорог / П. А. Кацубо // Актуальные вопросы физики и техники [Электронный ресурс] : VIII Республиканская науч. конф. студентов и аспирантов. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019 – С. 29–31.

2 Оценка физико-механических свойств термопласткомпозитов для их применения в технологических процессах строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог / Д. И. Бочкарёв [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. – № 2 (24). – С. 44–48.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОИНСКИХ ПЕРЕВОЗОК

С. В. КИРИК, Д. В. МАЛАШКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В успешном выполнении Вооруженными Силами Республики Беларусь задач по предназначению в мирное и военное время все больше возрастает роль организации и осуществления перевозки войск.

В современных условиях железнодорожный транспорт остается самым мощным видом сухопутного транспорта, используемым для обеспечения воинских перевозок.

Одним из основных требований, предъявляемых к организации воинских перевозок, является их выполнение в установленные сроки и с максимальной скоростью.

Важным этапом, требующим значительных затрат времени при выполнении воинских перевозок, является погрузка вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) на открытый подвижной состав.

В большинстве случаев при погрузке колесной техники применяется второй способ крепления, при погрузке гусеничной техники – третий: деревянными упорными брусками и проволочными (табельными) растяжками.

У этих способов крепления есть ряд недостатков:

1 Проволоку, гвозди, а в некоторых случаях и деревянные бруски, для крепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе можно использовать только один раз.

2 Закрепление проволочными растяжками и деревянными брусками требует определенных навыков у личного состава и значительного запаса времени на их установку.

3 Существует вероятность ослабления проволочных растяжек в пути следования, что приводит к необходимости их периодического подкручивания.

Необходимость подкручивания проволочных растяжек в пути следования увеличивает время стоянки поездов с воинскими эшелонами и транспортом на станциях, что приводит к увеличению сроков доставки воинских эшелонов и транспортов к месту назначения. Кроме того, в пути следования может произойти обрыв проволочных растяжек, что может привести к падению груза или его части с железнодорожного подвижного состава, смещению, развороту и выходу груза за установленный габарит погрузки.

Таким образом, на данный момент актуальной является проблема совершенствования средств крепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе, что повысит безопасность и эффективность воинских перевозок.

Одним из способов решения данной проблемы является использование для закрепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе многооборотных средств крепления, таких как универсальные многооборотные крепления (далее – УМК) для колесной техники и металлические шпоры для крепления гусеничной техники.

В состав современных комплектов УМК входят металлические продольные и поперечные упоры, пружинные мягкие или твердые растяжки. Использование УМК для крепления колесной техники уменьшает время, затрачиваемое на закрепление образца ВВСТ, особенно за счет времени, затрачиваемого на установку растяжек.

Металлические шпоры, используемые для перевозки гусеничной техники в данный момент, имеют ряд недостатков. Например, при закреплении ВВСТ данным способом, шпора препятствует перемещению закрепленной машины только в поперечном направлении. Для предотвращения перемещения гусеничной машины в продольном направлении необходимо, чтобы у перевозимого образца ВВСТ была исправна тормозная система. В состав современных комплектов металлических шпор (например, шпоры Ш-188, используемые для закрепления модернизированных танков Т-72Б3) помимо самих металлических шпор, предназначенных для крепления образца ВВСТ на железнодорожной платформе, входят скобы стопорения гусениц, которые препятствуют перемещению образца ВВСТ в продольном направлении.

Применение многооборотных средств крепления для закрепления ВВСТ на подвижном составе позволит:

1) сократить время на погрузку (выгрузку) и закрепление ВВСТ на железнодорожном подвижном составе, а также уменьшить сроки доставки воинских эшелонов и транспортов к месту назначения;

2) существенно снизить затраты Министерства обороны Республики Беларусь на материалы, применяемые для закрепления ВВСТ при перевозке железнодорожным транспортом;

3) уменьшить себестоимость воинских перевозок;

4) повысить безопасность воинских перевозок.

УДК 656.212.6.073.22.002.5

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МНОГООБОРОТНЫХ КРЕПЛЕНИЙ

А. М. КУКСО, П. Г. ДЕМИДОВ, М. Г. КОЗЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Выполнение воинских железнодорожных перевозок в установленные сроки является одной из важных задач транспортных войск Республики Бе-

ларусь. Перевозки, как правило, выполняются с максимально возможными скоростями. Важными этапами в выполнении воинских железнодорожных перевозок является погрузка и выгрузка.

Со времени распада Советского Союза в Вооруженных Силах Республики Беларусь для крепления вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) на железнодорожном подвижном составе стали применять проволочные растяжки, деревянные упорные и боковые бруски, гвозди и скобы. Эти материалы стали основным видом крепления для ВВСТ. Существовавшие при Советском Союзе универсальные многооборотные крепления (далее – УМК) по многим субъективным и объективным причинам, не будем оговаривать их, перестали использовать при закреплении ВВСТ. Однако от материала, который используется при закреплении ВВСТ, зависят сроки погрузки и выгрузки, следовательно, это влияет на выполнение воинских перевозок в срок.

Анализ перевозок ВВСТ Вооруженных Сил Республики Беларусь в Российскую Федерацию для участия в совместном оперативном учении «Щит союза – 2015» показал, что более 700 единиц техники в 19 воинских эшелонах было закреплено с использованием проволоки, упорных и боковых брусков, гвоздей, скоб, а средняя продолжительность погрузки (выгрузки) составила 10 часов. В то же время воинские части и подразделения Вооруженных сил Российской Федерации при креплении ВВСТ при помощи УМК затрачивали на погрузку (выгрузку) воинских эшелонов около 4 часов, что повысило их мобильность, а также надежность крепления ВВСТ на железнодорожном подвижном составе и тем самым обеспечило безопасность движения поездов при перевозке воинских грузов.

Справочно: Время закрепления ВВСТ на гусеничном ходу обученным экипажем машины при благоприятных условиях погрузки при помощи проволочных растяжек, деревянных упорных брусков и строительных скоб составляет около 2 часов (± 15 минут), а крепление при тех же условиях ВВСТ при помощи УМК (металлических шпор) составляет около 25 минут (± 10 минут).

Исходя из вышеизложенного, для ускорения воинских перевозок, стал вопрос о разработке УМК и принятии их на снабжение Вооруженных Сил Республики Беларусь, что потребовало проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке УМК на базе учреждений и предприятий Республики Беларусь и Российской Федерации.

При определении поставщиков УМК для снабжения Вооруженных Сил Республики Беларусь, учитывая, что предложенные поставщиками образцы УМК имеют принципиально различные конструкции и способы крепления ВВСТ, а также с целью выбора наиболее функциональных моделей УМК, возникла необходимость провести исследовательские испытания (далее – испытания) образцов УМК.

Решение этой проблемы руководством транспортных войск Республики Беларусь было поручено военно-транспортному факультету БелГУТа.

При разработке программы и методик испытаний УМК военно-транспортным факультетом были определены и прописаны:

- методики испытаний;
- условия и порядок проведения испытаний;
- материально-техническое обеспечение испытаний;
- метрологическое обеспечение и т. д.

Решена одна из основных задач для выбора наилучших характеристик свойств УМК при сравнении как в различных, так и в одинаковых условиях эксплуатации УМК, за счет определения оцениваемых показателей и установления расчетных соотношений для сравнения. Так, по одной из методик испытаний УМК, оценке подлежали следующие характеристики УМК:

1 Эргономичность УМК при разгрузке и загрузки из (в) транспортное средство.

2 Возможность закрепления комплектом УМК образца ВВСТ.

3 Среднее время, затраченное личным составом погрузочно-выгрузочной команды, на закрепление и раскрепление при помощи УМК образца ВВСТ.

4 Эргономичность УМК в процессе установки и демонтажа.

Оцениваемые показатели и расчетные соотношения при одинаковых условиях эксплуатации УМК определялись по таблице 1.

Таблица 1 – Оцениваемые показатели и расчетные соотношения при одинаковых условиях эксплуатации УМК

Номер характеристики УМК	Оцениваемый показатель	Шкала оценки	Примечание ¹⁾
1	Эргономичность	От 1 до 2 ²⁾	4
2	Соответствие УМК требованиям руководству по эксплуатации и техническим условиям размещения и крепления	0, 1 (0 – невозможно; 1 – возможно) ³⁾	1
3	Время ⁴⁾	От 1 до 5	2
4	Эргономичность	От 1 до 2 ²⁾	3

¹⁾ Влияние оцениваемого показателя при сравнении двух УМК, испытываемых в одинаковых условиях эксплуатации, для первичного определения целесообразности принятия на вооружение при одинаковых количествах баллов, полученных при испытаниях.

²⁾ При сравнении двух УМК, испытываемых в одинаковых условиях эксплуатации, удобным (оптимальным, рациональным) условиям присваивается 2, в противном случае – 1.

³⁾ Основной оцениваемый показатель (если показатель равен «0») комплект УМК в дальнейших испытаниях не участвует.

⁴⁾ Среднеарифметическое время по трем испытаниям УМК при одинаковых условиях эксплуатации. Время переводится по таблице 2.

Таблица 2 – Перевод диапазона времени в оценку

Диапазон времени, мин	Переводная шкала оценки
До 15	5
От 15 до 17,5	4
« 17,5 « 20	3
« 20 « 25	2
Св. 25	1

В ходе военно-научного сопровождения испытаний данные расчетные соотношения показали возможность непредвзятого и более точного установления наилучших характеристик УМК.

УДК 624.21.004.92

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАСКИРОВКИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ВАД

Н. И. ЮРАСИЮК, А. А. СВЕТОЧНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Как показал опыт Великой Отечественной войны и послевоенных вооруженных конфликтов, противоборствующие стороны придают важное значение нарушению работы транспортных коммуникаций, обеспечивающих выдвигание войск, подвоз материальных средств и эвакуацию. Воздействие противника носит объектный характер, то есть в первую очередь выводятся из строя те объекты, разрушение которых вызывает наиболее длительные перерывы движения и требует больших финансовых, материальных и людских затрат на их восстановление. К таким объектам в первую очередь относятся мостовые переходы. Это подтверждается опытом Сталинградской, Белорусской, Висло-Одерской и ряда других операций Великой Отечественной войны.

Проблема сохранения объектов на автомобильных дорогах еще более обострилась во вьетнамской войне и, особенно, во время событий в Персидском заливе. Около 70 % всех средств поражения армии США и ее союзников было израсходовано на поражение мостов. В военной науке сформировалось твердое убеждение, что без надежной защиты, обороны, охраны и маскировки важнейших транспортных объектов невозможен успех современных операций. Это в полной мере относится и к мостовым переходам, которые в современных операциях являются важнейшими элементами военно-автомобильных дорог.

Учитывая изложенное, в военно-мостовой науке продолжается исследование проблемы обеспечения живучести мостовых переходов на сети ВАД в

полосе оперативного объединения. Благодаря работам профессоров И. А. Золотаря, В. И. Телова, Ю. А. Мальцева и других ученых, были созданы научные основы технического прикрытия ВАД, которые рассматриваются как важнейшее направление обеспечения живучести транспортных объектов и особенно мостов.

В настоящее время в качестве эффективного пути повышения живучести рассматриваются мероприятия боевого обеспечения: защита, охрана, оборона и маскировка. Было доказано, что сокращение времени перерыва движения может быть обеспечено либо мерами быстрого восстановления моста (т. е. за счет мероприятий технического прикрытия), либо за счет противодействия средствам поражения противника (т. е. средствами ПВО, противодействия наземным ДРГ и т. д.). Среди мероприятий боевого обеспечения все более эффективным направлением признается маскировка. Возрастающее значение маскировки связано с появлением современных средств разведки транспортных объектов (включая современные аэрокосмические средства), а также систем ВТО и автоматизированных систем управления этим оружием.

Таким образом, в системе обеспечения живучести мостовых переходов сформировались несколько конкурентоспособных направлений, важнейшими из которых признаются мероприятия технического прикрытия и боевого обеспечения. Если ранее первым отдавалось явное предпочтение, то в последние годы эффективность каждой из этих двух составляющих обосновывается расчетами.

Имеющийся опыт организации маскировки мостов в различных войнах и вооруженных конфликтах, а также анализ возможностей вероятного противника по разведке и поражению объектов целевых ударов на ВАД позволяет сформулировать ряд проблемных вопросов при организации маскировки мостовых переходов.

В полосе действий оперативных объединений может оказаться до 40 мостов, требующих маскировки. Дорожные войска своими силами могут обеспечить скрытие от воздушного противника не более 20–30 % от их общего количества. Отсюда вытекает проблема рационального распределения ограниченных сил и средств в зависимости от важности моста с позиции маскировки в системе транспортных коммуникаций (на сети ВАД). Большее количество сил и средств должно выделяться на наиболее важные мостовые переходы (объекты высших приоритетов).

Таким образом, возникает необходимость оценки приоритетов мостов с позиции их маскировки. Методика решения этой задачи на сегодня существует, но она требует уточнения к особенностям проведения современных операций.

Опыт проведения различных операций показал необходимость четкого разделения мероприятий оперативной и тактической маскировки. Основной

объем мероприятий тактической маскировки объектов на ВАД возлагается на дорожные войска. Мероприятия оперативной маскировки осуществляются объединенными усилиями боевых частей и подразделений, инженерных, химических и других специальных войск. При этом дорожные войска привлекаются к выполнению задач на основных маршрутах и объектах, а действия по имитации возлагаются на боевые и специальные войска.

Можно сформулировать следующую проблему при организации маскировки мостов на ВАД – необходимость четкого разделения сфер ответственности за маскировку мостов на ВАД между командованием объединения и оперативными штабами, органами автомобильно-дорожной службы, штабами соединений и частей дорожных войск.

Эта проблема обуславливает необходимость сочетания планирования и организации маскировки мостов на ВАД с предоставлением самостоятельности выбора вариантов маскировки начальникам ВАД, комендантам переправ с учетом условий работы объектов.

Значимость объектов маскировки в ходе операции будет постоянно изменяться. Следовательно, в решении на организацию маскировки должны учитываться изменения важности объектов по периодам и суткам операции с учетом динамики оперативно-тыловой обстановки, степени воздействия противника, изменения удаления мостовых переходов от противника, наличия сил и средств технического прикрытия и других факторов.

Однако для принятия таких решений штабы должны постоянно прогнозировать обстановку с учетом ближайшей и дальней перспектив. На сегодня аппарат такого прогнозирования для мостовых переходов на ВАД отсутствует.

Как уже было сказано, противник осуществляет распознавание объекта по ряду признаков (визуально, по инфракрасному и ультрафиолетовому излучению). Следовательно, существует проблема комплексности проведения мероприятий маскировки с учетом скрытия на основном мостовом переходе и показа на ложном всего комплекса демаскирующих признаков моста. При этом качество маскировки должно постоянно контролироваться инстанцией, отвечающей за выполнение этих мероприятий, или средствами старшего начальника. Таким образом, возникает необходимость осуществления постоянного контроля за выполнением мероприятий маскировки мостов на ВАД с использованием наземных и воздушных средств контроля.

Для решения указанных задач штабы и другие органы управления, осуществляющие маскировку и контролирующие ее качество, должны располагать методами количественной оценки степени сходства маскируемого и ложного мостов с эталонами этих объектов.

Теоретические основы для разработки таких методов созданы, но они требуют дальнейшего развития и реализации. Это направление исследования является в настоящее время одним из приоритетных.

Анализ показывает, что мероприятия маскировки, особенно оперативной, требуют привлечения значительного количества дорогостоящих средств (это в первую очередь относится к изготовлению макетов, установке аэрозольных завес, строительству ложных мостов и т. д.). Проблема оснащения соединений и частей дорожных войск современными средствами маскировки на сегодня стоит особенно остро. Имеющиеся средства значительно устарели и уровень оснащенности ими не соответствует объемам решаемых задач по маскировке мостов.

Перечень приведенных здесь проблемных вопросов не является исчерпывающим. В каждом конкретном случае при организации маскировки мостовых переходов будут возникать и другие проблемы, которые потребуют от органов управления, командиров соединений и частей инициативы и творчества при их решении.

Секция III
СТРОИТЕЛЬСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ.
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 625.745.2

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ГОФРИРОВАННЫЕ ТРУБЫ –
КАК АЛЬТЕРНАТИВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ

Г. В. АХРАМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Самыми распространенными малыми водопропускными искусственными сооружениями на дорогах являются трубы, в среднем на 1 км их насчитывается 1–1,4 шт. [1]. Объем железобетона и бетона труб составляет 9–11 % от общего расхода материала на искусственные сооружения. Основные преимущества труб заключаются в следующем:

- непрерывность земляного полотна;
- независимость от геометрических элементов дорог (уклона, радиуса кривой в плане и т. д.);
- повышенная комфортабельность проезда;
- низкие стоимость и трудоемкость строительства;
- малые эксплуатационные расходы и др.

Все эти преимущества привели к необходимости проектирования и строительства большого количества труб, замене ими многих малых мостов. Так, на автомобильных дорогах, построенных до 1900 г. на Европейской части СССР, трубы составляли 46,3 % от общего количества труб и малых мостов длиной до 30 м, а на дорогах, построенных в 1930–1980 гг. 88–93 % [2]. С течением времени менялось соотношение между количеством труб из разных материалов: до 1900 г. трубы были, в основном, каменные и чугунные; в 1930 г.: каменные и бетонные – 42,2 %, железобетонные – 39,4 %, металлические – 16,8 %, деревянные – 1,6 % (с 1985 г., в соответствии с нормами [3], запрещено строительство деревянных труб). К 1980 г. доля железобетонных труб составляла 95 %, из других материалов (в том числе металлических) – 5 %.

Наибольшее распространение получили круглые железобетонные трубы диаметром до 1,5 м (78–80 %). В настоящее время на дорогах эксплуатиру-

ются: круглые трубы – 87 %, прямоугольные – 9 %, прочие – 4 %; одноочковые – 82 %, двухочковые – 16 %, трехочковые и более – 2 %. Больше половины всех труб сооружают под насыпями высотой до 3 м, 85 % труб – под насыпями высотой до 6 м.

Однако возведению подземных сооружений на транспортных магистралях из железобетонных компонентов предшествуют этапы погрузки, перевозки и разгрузки многотонных элементов с привлечением специальной техники подъемно-транспортной группы и большегрузных автомобилей. Поэтому желательно, чтобы производство раструбных труб, звеньев различного сечения с установочными платформами, порталных и откосных стенок располагалось максимально близко к сооружаемому объекту. Транспортировка на значительные расстояния железобетонных составляющих сопряжена с большими затратами. Кроме этого, ЖБИ имеют следующие недостатки:

- железобетонные конструкции склонны к разрушению под воздействием линейного расширения, возникающего при замерзании водных потоков;
- установка тяжеловесных элементов выполняется только в открытые котлованы и на тщательно подготовленные основания (подушки);
- в большинстве случаев невозможна замена отдельных компонентов подземного сооружения;
- для повышения долговечности железобетонных изделий необходимо их регулярно обслуживать (оштукатуривать и удалять плесень с поверхности).

Стремительно растущий объем транспорта вынуждает находить более совершенные методы возведения различных мостов, труб и прокладки инженерных систем. Поэтому в последние годы при строительстве водопропускных сооружений, путепроводов, подземных переходов и транспортных тоннелей стали широко применяться металлические гофрированные конструкции (МГК) [4].

Металлические гофрированные трубы появились впервые в семидесятых годах XIX века. Их изготовили на Петербургском металлическом заводе, как альтернативу деревянным трубам. Они успешно использовались вплоть до 1914 г.

В годы первой мировой войны и революции гофрированные трубы перестали производить и применять. Попытка повторно возродить их производство была предпринята незадолго до начала Великой Отечественной войны. Начало массовому применению МГК положило строительство Байкало-Амурской магистрали.

У металлических гофрированных конструкций, в противовес ЖБИ, выделяют целый ряд преимуществ, таких как [5]:

- высокая транспортабельность, включающая возможность доставки контейнерным способом;

- простой монтаж МГК с помощью подогнанных в заводских условиях листов и крепежных элементов;
- допускается монтирование подземного сооружения методом «прокола» под транспортной артерией, что позволяет не останавливать движение на магистрали;
- высокая ремонтпригодность МГК за счет замены отдельных элементов или наложения заплат в ходе сварочных работ;
- использование в качестве альтернативной замены при разрушении бетонных сводов водопропускных труб;
- минимальные эксплуатационные затраты при значительной долговечности металлических конструкций.

Таким образом, железобетонные конструкции постепенно сдают позиции перед гофрированными изделиями из металла. Способствует этому также экологическая составляющая – МГК безопасны для человеческого организма и не причиняют вреда природе.

Помещенная в грунт гофрированная металлоконструкция является единым целым с почвенным слоем. Благодаря этому все сооружение имеет свои эксплуатационные преимущества:

- пролет гофрированной конструкции может иметь значительные размеры – до 25 м;
- при значительно сниженной стоимости конструкции, она отличается высокими эксплуатационными качествами;
- строительство сооружений из гофрированной трубы может быть проведено в сжатые сроки.

В настоящее время практически закончена реконструкция автодороги М6 Минск – Гродно (стоимость реконструкции магистрали около 250 млн дол.) Сквозной проезд был организован в конце 2018 г. Во время реконструкции и модернизации трассы М6 Минск – Гродно (началась в 2016 году) проектом было запланировано замена почти всех железобетонных труб на МГТ, а также строительство двух подземных переходов для крупных копытных. Применение скотопрогонов, биопереходов и экодуков позволяет повысить безопасность на дорогах и снизить количество аварий, а также перегонять стада сельскохозяйственных животных через дороги и сохранять пути миграции диких животных. Стоит отметить и тот факт, что конструкции из металлической гофры не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Для скотопрогона арочного типа была выбрана гофрированная металлическая труба замкнутого сечения. Высота тоннеля 4,5 м, ширина: от 8 до 10 м, длина примерно 40 м. Раньше подземные переходы для животных строили из бетона, примерно таких же размеров по высоте и ширине. Гофрированные – экономичнее – их не нужно ремонтировать, штукатурить. Стоимость одного тоннеля, по данным РУП «Гродноавтодор», 600 тыс. рублей, гарантия 50 лет.

Список литературы

- 1 Водопропускные трубы под насыпями / под ред. О. А. Янковского. – М. : Транспорт, 1982. – 232 с.
- 2 Лисов, В. М. Совершенствование водопропускных труб / В. М. Лисов // Автомобильные дороги. – 1982. – № 7. – С. 9–10.
- 3 Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84 / Госстрой СССР. – Взамен СНиП II-Д.7-62, СН 200-62, СН 365-67. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 200 с.
- 4 Опытное строительство гофрированных водопропускных труб / А. И. Кондратьев [и др.] // Транспортное строительство. – 1978. – № 2. – С. 5–7.
- 5 Методические указания по проектированию и строительству металлических гофрированных труб на автомобильных дорогах / А. Г. Малофеев [и др.]. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2011. – 50 с.

УДК 625.745/2:625.1

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А. С. БРАТИКОВА, Т. А. ДУБРОВСКАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Водопропускные трубы – это искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями дорог небольших постоянных или периодических действующих водотоков. В отдельных случаях трубы используются в качестве путепроводов тоннельного типа, скотопрогонов и т. п.

Главным элементом комплекса по снижению отрицательного воздействия дорожно-мостовых техногенных сооружений на окружающую среду являются водоотводные и очистные сооружения. В качестве наиболее нового инновационного конструктивного решения при проектировании водопропускного сооружения в железнодорожном строительстве можно рассмотреть использование металлических гофрированных труб (МГТ) – кульвертов.

Искусственные водопропускные сооружения рассматриваются в плане его потенциального воздействия на все компоненты охраны окружающей среды:

- охрану водных объектов с учетом их народнохозяйственного значения;
- охрану атмосферного воздуха;
- охрану почв;
- охрану биосферы;
- сохранение ландшафта.

Они являются единым комплексом, учитываемым на стадии строительства и эксплуатации. Многолетний опыт строительства искусственных сооружений показывает, что конструкции металлических гофрированных

труб (МГТ) по сравнению с железобетонными, наряду с другими достоинствами, экологически безопасны, обладают эстетической привлекательностью и вписываются в природный ландшафт.

Использование МГТ вместе с геотекстилем, габионами и георешетками минимизирует факторы негативного воздействия на экосистему в месте строительных работ и дальнейшей эксплуатации и является единственно правильным решением проблемы сохранения экологического баланса в природном мире при пересечении железной дороги с естественным или искусственным водотоком.

Вопрос охраны природы при проектировании водопропускных сооружений из МГТ на железных дорогах необходимо рассматривать с учетом всех природных особенностей района проектирования и оценивать влияние на экологию прилегающей территории. При этом должны учитываться работы, связанные с технической рекультивацией земель придорожной полосы, а также биологическим этапом рекультивации, включающим в себя комплекс агротехнических мероприятий.

При эксплуатации и строительстве водопропускных сооружений на всех стадиях производства необходимо учитывать требования по охране окружающей среды, путем предупреждения и ограничения отрицательного воздействия на окружающую среду до допустимых уровней. Поэтому при проектировании главной задачей является разработка мероприятий, которые снижают отрицательное воздействие железнодорожного транспорта на экосистему.

Виды негативного воздействия на окружающую среду при строительстве труб из МГС:

- эрозия земель за счет концентрации водных потоков искусственными сооружениями, кюветами и канавами;
- изменение условий формирования поверхностного стока;
- нарушение гидрологического режима реки;
- изменение береговой линии, сечения водотока;
- загрязнение атмосферного воздуха железнодорожным транспортом;
- загрязнение грунтов и вод маслами, топливом локомотивов и дорожно-строительных машин.

Проектные решения должны исключать возможность размыва растительного грунта и берегов, изменения уровня грунтовых вод, нарушения условий развития растительного и травяного покрова на пойме в районе сооружения водопропускного сооружения. При строительстве водопропускных труб из МГТ учитывается специфика природоохранной зоны и конкретных нерестовых водотоков. Проектирование, строительство и размещение сооружений производится по согласованию с органами рыбоохраны с предусмотрением в сметной документации мероприятий по сохранению рыбных запасов.

Список литературы

1 СНиП 2.05.03.84. Мосты и трубы. Госстрой СССР. – М. : АПП ЦИТП, 1985. – 200 с.

2 Клейн, Г. К. Расчет труб, уложенных в земле / Г. К. Клейн. – М. : Госстройиздат, 1957.

УДК 691.32 : 620.193/.199

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРОЗНОЙ ДЕСТРУКЦИИ НА КАРБОНИЗАЦИЮ БЕТОНА

С. В. ДАШКЕВИЧ

Дойче Бан Инженеринг & Консалтинг GmbH филиал Вильнюс

А. С. ЧУГУНОВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одним из основных факторов, определяющих техническое состояние железобетонных водопропускных труб является карбонизация бетона, способствующая возникновению и развитию коррозионных процессов в стальной арматуре [1–3]. Однако, в условиях открытой атмосферы, значительное влияние на долговечность труб оказывает морозная деструкция. Ее влияние на карбонизацию оценивают только вероятностно, без исследования по сечению бетона и учета его состава [4, 5].

Исследования проводили на основании оценки распределения по сечению бетона карбонатной составляющей (показателя КС), поскольку именно он характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона и его влияние на изменение показателя рН, являющегося основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты под воздействием внешней среды, и служащего универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

Были заформованы по 6 образцов (две серии № 1 и 2 по три образца) бетона (кубики сечением 100×100×100 мм) класса по прочности на сжатие C¹²/₁₅. Для подбора составов бетона использовался многофакторный метод проф. В. В. Бабицкого. Составы бетона приведены в таблице 1.

Заформованные образцы набирали прочность в камере нормального твердения 28 суток.

Отбор проб и определение карбонатной составляющей выполняли по [1], в соответствии с разработанным экспресс-анализом определения показателя КС. Сверление осуществляли с двух противоположных сторон каждого куба.

Для каждой стороны получили кривые l -КС. На рисунке 1, a представлена усредненная кривая l -КС для трех образцов серии 1.

Таблица 1 – Состав бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}/15$

В/Ц	Осадка конуса, см	Состав смеси, кг/м ³			
		Ц	П	Щ	В
0,866	2	237	832	1072	205

Поскольку абсолютные значения карбонизации бетона зависят от количества использованного цемента, а определенный класс бетона по прочности на сжатие можно получить различными составами (причем, значительным количеством составов), для объективной оценки карбонизации (не зависящей от количества цемента) ее определяли по показателю степени карбонизации (показателю СК, определяющему процент гидроксида кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона), предложенному автором [3].

На рисунке 1, b представлена усредненная кривая l -СК для трех образцов серии 1.

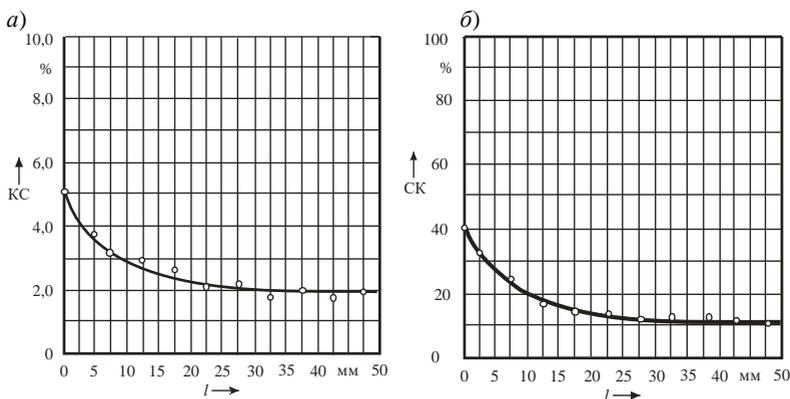


Рисунок 1 – Кривые изменения карбонизации по сечению бетона:
 a – l -КС; b – l -СК

Для оценки влияния морозной деструкции на карбонизацию бетона образцы (кубики) разделили на две группы по три штуки. После чего образцы группы 1 подвергли процессу попеременного замораживания, при температуре -18 °С, и оттаивания, при температуре $+18$ °С.

Время оттаивания в ванне с водой не менее 2,5 часов и замораживания в водонасыщенном состоянии не менее этого же времени, соответственно. Общее количество циклов составило – 75.

В этот же период, образцы серии 2 хранились в условиях лаборатории ($t = 18 \pm 2$ °С; $W = 45 \dots 55$ %). Срок хранения составил 180 суток.

По окончании эксперимента, в образцах серий 1 и 2 были отобраны пробы цементно-песчаной фракции по сечению кубиков (с двух противоположных граней) и определены показатели КС и СК.

Усредненные кривые l -СК для образцов серий 1 и 2 представлены на рисунке 2.

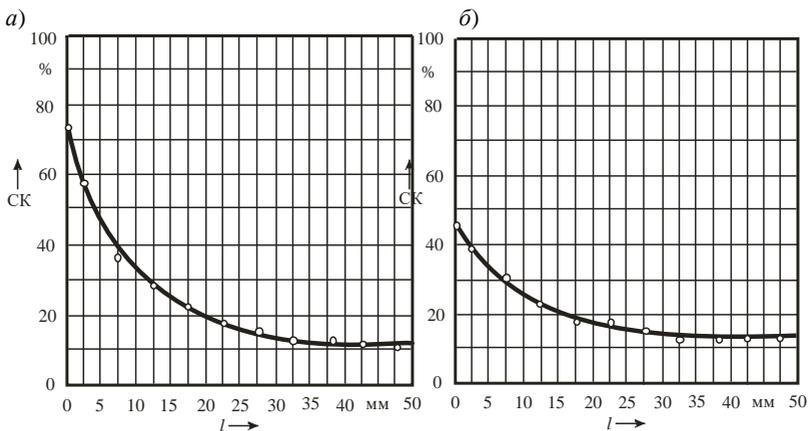


Рисунок 2 – Кривые l -СК изменения степени карбонизации по сечению бетона: а – серия 1; б – серия 2

Полученные зависимости показывают, что уже за 75 циклов морозная деструкция значительно увеличивает показатель степени карбонизации в поверхностных слоях и в поверхностном слое показатель СК после циклов замораживания-размораживания в процентном отношении выше на 47 % (с уменьшением по сечению бетона) по сравнению с бетоном образцов, хранившихся в лабораторных условиях.

Кроме того, полученные зависимости позволяют оценить состояние бетона по предложенным в [3] критериям оценки технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона.

Так, после 75 циклов замораживания-оттаивания в поверхностном слое бетона СК = 73 %, что соответствует IV степени карбонизации бетона (деградации бетона высокой степени интенсивности). При хранении образцов в лабораторных условиях тот же период времени, в поверхностном слое бетона СК = 45 %, что соответствует III степени карбонизации бетона (деградации бетона средней степени интенсивности).

Проведенные исследования показывают, что морозная деструкция оказывает значительное влияние на скорость карбонизации бетона, и как следствие, долговечность железобетонных элементов ИССО.

Список литературы

- 1 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 3 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 4 **Бородай, Д. И.** Прогноз долговечности типовых железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / Д. И. Бородай // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка, 2011. – Вып. 87. – С. 169–176.
- 5 **Васильев, А. А.** К вопросу оценки влияния морозной деструкции на карбонизацию бетона / А. А. Васильев, А. А. Такунов, А. С. Чугунова // «European Scientific Conference» : сб. статей XV Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. – С. 59–62.

УДК 624.21/.8

КЕРЧЕНСКИЙ ТРАНСПОРТНЫЙ ПЕРЕХОД

П. Г. ДЕМИДОВ, А. М. КУКСО, М. Г. КОЗЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Историческая справка. Предложения по строительству моста через Керченский пролив прорабатывались как минимум с начала XX века, а в 1944 году СССР возвел Керченский железнодорожный мост протяженностью 4,5 км. Однако запроектированный как временная конструкция и уязвимый в результате ошибок при проектировании и строительстве, мост был серьезно поврежден в конце февраля 1945 года льдом, нагнанным ветром из Азовского моря.

Предложение по восстановлению временного моста было отвергнуто, остатки мостового перехода разобраны, но в скором времени после разрушения моста, в 1947 году, началась проработка вариантов строительства новой переправы – постоянного мостового сооружения – вместо утраченного временного. Был запроектирован высоководный двухъярусный мост на два железнодорожных пути и две полосы для автотранспорта от Еникале до косы Чушка длиной 6 км и стоимостью сооружения 850 млн рублей по ценам 1945 года. Высота подмостового габарита на судоходном пролете предполагалась 40 м, максимальная глубина погружения свай – 55 м. Схема мо-

ста: 3×55 м + 8×110 м + 8×220 м + 8×110 м + 25×55 м + эстакада. 18 мая 1949 года Совет министров СССР принял постановление о строительстве моста (подготовительные строительные работы велись еще с 1947 года), но в 1950 году строительство моста было прекращено, и началось сооружение паромной переправы.

В 1970-х годах вопрос о сухопутной связи через пролив был поставлен вновь, но из-за нехватки средств проект реализован не был. В начале 1990-х годов был объявлен конкурс на участие в реализации проекта транспортно-го перехода через Керченский пролив; в это время существовало 4 проекта перехода (два мостовых и два тоннельных). Крымские власти полагали, что реализация этого проекта будет способствовать контактам с Россией и закреплению «промежуточного» (а не сугубо украинского) положения Крыма между соседними государствами. Кроме того, долгое время (вплоть до присоединения Крыма к РФ) мост выдвигался в качестве одного из элементов кольцевой автодороги вдоль черноморского побережья, проект которой обсуждался в рамках ОЧЭС, или же как часть «возрожденного Великого шелкового пути».

Вопрос строительства моста обсуждался в правительстве Украины в 2006 году. По словам министра транспорта и связи Украины Николая Рудковского, такое строительство было бы «плюсом для Крыма» и дало бы «возможность каждому туристу, приезжающему на русский Кавказ, обязательно приехать в Крым». Возможность постройки моста обсуждалась также в 2008 году на уровне премьер-министров, и в том же году проектирование и строительство моста были включены в «Транспортную стратегию Российской Федерации до 2030 года», которая предусматривала в качестве одного из основных направлений развития транспортной инфраструктуры в Южном федеральном округе проектирование моста через Керченский пролив и реконструкцию автодорожных подходов и подъездов к морскому порту Кавказ (до 2015 года), а на период с 2016 по 2030 годы – строительство моста. В апреле 2010 года на встрече в Харькове о строительстве моста в Керченском проливе договорились и подписали соответствующее соглашение президент Украины Виктор Янукович и президент России Дмитрий Медведев.

17 декабря 2013 года было подписано соглашение между правительством Российской Федерации и кабинетом министров Украины о совместных действиях по организации строительства транспортного перехода через Керченский пролив. Кабинет министров Украины утвердил соглашение в январе 2014 года. В связи с крымскими событиями переговоры о строительстве моста прекратились. 18 марта 2014 года был объявлен конкурс на инженерные изыскания по строительству моста, однако его формальные условия, ссылающиеся на российско-украинское соглашение по мосту, уже не

соответствовали фактическим реалиям – в этот день Россия официально включила Крым в состав своей территории.

Выбор маршрута. Маршрут моста выбирался из четырёх вариантов, при этом учитывались протяженность перехода, наличие железнодорожных и автодорожных подъездов к нему с обеих сторон, перспектива удорожания строительства в связи с необходимостью создания дополнительных транспортных сооружений на подходных участках, а также перспективы развития порта «Кавказ», железной дороги, угол пересечения с ходом морских судов, возможность направления транспортного потока в обход Керчи, экологическая ситуация, ледовая обстановка в зоне прохождения маршрута, а также наличие на территории Таманского полуострова и косы Чушка грязевых вулканов. Три варианта предполагали строительство перехода в Крым от косы Чушка, тогда как четвёртый предполагал маршрут от Таманского полуострова через Тузлинскую косу и остров Тузла. Последний вариант и был признан оптимальным: утверждалось, что преимуществом этого варианта является наличие площадей для размещения обслуживающих сооружений, отсутствие необходимости строительства сооружений «в зоне тектонического разлома» и меньшая стоимость эксплуатации транспортного перехода, в том числе меньшее энергопотребление, а также возможность обойти объекты историко-культурного наследия и зоны активных грязевых вулканов. Кроме того, строительство моста от косы Чушка потребовало бы прекращения работы существующей переправы, что осложнило бы связь Крыма с российскими регионами на период строительства.

Помимо строительства моста, рассматривался и вариант создания тоннеля, в пользу которого одно время активно высказывались крымские власти. В итоге, однако, был выбран мостовой вариант.

Наконец, изменялся и вариант моста: если в рассматриваемом к концу 2014 года проекте предполагалось построить два мостовых перехода (параллельные железнодорожный и автодорожный мосты между Таманским полуостровом и Тузлинской косой и совмещенный мост между островом Тузла и Керчью), а часть транспортного перехода провести прямо по Тузлинской косе, то утвержденный проект предусматривал два параллельных моста, а их опоры стали строить и на суше: от варианта прохождения транспортного перехода по насыпи отказались ввиду того, что коса находится в постоянном движении; отказ же от двухъярусного моста в пользу параллельных самостоятельных мостов (хотя и входящих в единый транспортный переход) представители компании-проектировщика мотивировали возможностью сократить стоимость строительства и массу пролетов, а также возможностью параллельного (одновременного) создания автодорожного и железнодорожного мостов, что позволяло «вписаться» в директивные сроки строительства Крымского моста.

Строительные работы. Строительство моста началось в феврале 2016 года. В начале года начались работы по погружению свай в основание опор, а в апреле была сооружена первая опора. В июне началась установка первых пролетных строений. 16 августа 2017 года завершилась установка свай автодорожного моста, 29 августа закончилась операция по транспортировке и установке железнодорожной арки в центральный судоходный пролёт над Керчь-Еникальским каналом. 12 октября 2017 года закончилась операция по транспортировке и установке автодорожной арки. 4 декабря 2017 года было завершено возведение всех опор автодорожного моста и половины опор железнодорожного моста, 20 декабря – пролетных сооружений автодорожного моста. 26 апреля 2018 года была завершена укладка асфальта на автодорожном мосту и мост прошел приемочные обследования, что стало основанием для последующего введения его в эксплуатацию.

Кроме того, летом 2019 года для строительства временного моста через Северский Донец в городе Каменск-Шахтинский (Ростовская область) были использованы металлоконструкции временного (технологического) моста через Керченский пролив (после окончания работ над автодорожным мостом временный мост был разобран). Металлоконструкции понадобились для срочного создания временного моста в связи с закрытием одного из мостов Каменского мостового перехода на автомобильной трассе М4.

15 мая 2018 года состоялась церемония запуска («официального открытия») автодорожного моста через Керченский пролив, а 16 мая, в 5:30 по московскому времени, мост открыли для транспорта с максимальной разрешённой массой менее 3,5 т; по официальным сообщениям, к вечеру этого дня суммарно в обе стороны по мосту проехали почти 14 тысяч транспортных средств, и тем самым был побит абсолютный рекорд Керченской паромной переправы. К 16 июля по мосту проехало более миллиона автомобилей. В полночь 1 октября мост был открыт и для автомобилей с максимальной разрешённой массой свыше 3,5 т.

Строительство железнодорожного моста. Строительство железнодорожного моста продолжилось и после окончания строительства автодорожного моста; к 4 июня 2018 года было завершено создание его свайных фундаментов, 25 июля началась укладка рельсовых путей, к первой половине ноября 2018 года было завершено формирование опор.

К 24 марта 2019 года была завершена сборка железнодорожных пролетов моста, к 18 июля – укладка рельсов двухпутной неэлектрифицированной железной дороги, продолжался монтаж средств сигнализации, централизации и блокировки. 11 сентября сообщалось о начале установки системы автоматического контроля и управления движением поездов. 28 ноября началась настройка железнодорожной автоматики моста.

18 декабря 2019 года строительство железнодорожного Крымского моста было официально завершено – был подписан акт приемки, разрешающий ввод железнодорожного моста в эксплуатацию.

Общие характеристики. Транспортный переход состоит из двух параллельных мостов – автодорожного и железнодорожного. Они начинаются на Таманском полуострове, проходят по Тузлинской косе и острову Тузла, пересекают фарватер, огибая мыс Ак-Бурун, и завершаются в Керчи. Длина транспортного перехода в границах проектирования – 19 км, железнодорожного моста – 18,1 км, автодорожного – почти 17 км (без насыпей на керченском берегу).

Мосты проходят длинными эстакадами, пролеты которых, общей массой в 260 тыс. т, стоят на 595 опорах. Длина пролетов в основном от 55 до 63 м, судоводные пролёты над Керчь-Еникальским каналом проходят по аркам автодорожного и железнодорожного мостов длиной 227 м и высотой 45 м с подмостовым судоводным габаритом высотой 35 м и шириной 185 м, являющимися крупнейшими элементами транспортного перехода.

Автодорожный мост представляет собой четырехполосную скоростную дорогу. Расчетная скорость движения по мосту составляет 120 км/ч, фактическая максимальная разрешенная скорость движения – 90 км/ч. Пропускная способность моста – 40 тыс. автомобилей в сутки; действующий рекорд суточного трафика составляет 35 989 автомобилей и был установлен 12 августа 2019 года.

Железнодорожный мост является бесстыковой двухпутной железной дорогой II категории. Он рассчитан на движение поездов массой до 7,1 тыс. т со скоростью до 120 (для пассажирских поездов) или 80 (для грузовых) км/ч. Ожидаемая пропускная способность в первый год эксплуатации – 47 пар поездов в сутки. Проектом Крымского моста была предусмотрена возможность создания воздушной контактной сети для электрификации железной дороги (переменный ток, ~25 кВ, 50 Гц), «в случае принятия такого решения», для чего не придется изменять конструкцию дороги – потребуется только поставить опоры (для которых уже предусмотрены места размещения) и протянуть контактную сеть. До электрификации по мосту будут ходить дизельные тепловозы.

УДК 621.311:625

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М. Н. ДОЛГАЧЕВА, Т. В. ЯШИНА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы стали особенно актуальны вопросы энергоресурсосбережения для Республики Беларусь, т. к. по-прежнему еще высоки удельные

показатели энергопотребления на транспорте, в промышленности, строительстве; более трети всех энергоресурсов расходуется на отопление и горячее водоснабжение жилищного фонда; импортируется около 80 % энергоносителей.

Всё большую популярность во всем мире завоевывает экологически чистый способ приготовления горячей воды и поддержки отопления – солнечные коллекторы. Особенно активно системы горячего водоснабжения и отопления с использованием солнечных коллекторов развиваются в странах Евросоюза, экономика которых (как и наша) испытывает существенную зависимость от импортируемого топлива, в связи с чем, использование любых возобновляемых источников энергии всячески стимулируется правительствами.

По суммарному приходу солнечной радиации Беларусь превосходит северную часть Германии, Швецию, Данию и Великобританию, которые считаются лидирующими в Европе по производству и применению гелиоэнергетического оборудования (что установлено учеными с помощью спутниковых десятилетних исследований). Распределение плотности солнечного потока показывает, что, начиная с границы, расположенной на 100 км западнее Минска и дальше, на восток вплоть до России, белорусские территории получают больше солнечной энергии, чем западноевропейские площади, расположенные на этой же широте. Это связано с влиянием Атлантики и Балтики, и, поскольку Беларусь от них дальше, соответственно облачности и туманов у нас меньше. При этом Западная Европа активнее использует солнечную энергию, хотя мы находимся в более выгодном положении.

В Беларуси разработана Целевая программа по использованию местных видов топлива и альтернативных источников энергии, в соответствии с которой в качестве возобновляемых и нетрадиционных источников энергии (с учетом природных, географических и метеорологических условий РБ), рассматриваются малые ГЭС, ветроэнергетические и биоэнергетические установки (установки по производству газа), гелиоводонагреватели (солнечные коллекторы), фотоэлектрические батареи и др.

Успешный опыт эффективной эксплуатации солнечных коллекторов с 2007 г. показал перспективность этого направления (несмотря на бытующее мнение скептиков, что «солнечных дней в Беларуси мало»). Анализ карт инсоляции Беларуси и европейской территории показал, что по количеству солнечной энергии в одинаковом положении находятся Минск, Варшава, Берлин, Лондон, а Гомельская область – в наилучшем положении. При этом использование солнечного тепла для удовлетворения общей потребности в энергии существенно отличается (80 % годовой потребности солнце покрывает в Копенгагене, 50 % – в Мюнхене, а в Минске – около 1 %). Поэтому, обеспечение зданий различного назначения горячей водой и теплом посредством установки гелиосистем (солнечных коллекторов) и тепловых насосов

является одной из перспективных сфер применения альтернативных источников в нашей стране.

Мониторинг гелиосистем (солнечных коллекторов), эксплуатирующихся в РБ, позволил обобщить имеющийся опыт их эксплуатации. Значительное энергосбережение, надежность, быструю окупаемость (от 2 до 7 лет), большую эффективность в течение 6–8 месяцев (с марта по октябрь) показала эксплуатация первых в г. Гомеле современных солнечных коллекторов.

Учитывая постоянный рост стоимости энергоносителей, сроки окупаемости гелиоустановок могут снизиться до 3–4 лет.

Одними из первых гелиоустановки стали с успехом эксплуатироваться на железнодорожном транспорте – на Гомельской дистанции гражданских сооружений и Гомельской дистанции пути, где горячая вода используется для производственных и бытовых нужд – механической мастерской, буфета, душевой. Гелиоустановки нагревают воду для эксплуатационных служб на железнодорожном транспорте, например, в вагонном депо удовлетворяется ежедневная потребность в подогреве эмульсии для мойки колёсных пар подвижного состава (15,0 м² солнечных коллекторов практически с марта по октябрь поддерживают пятидесятиградусную температуру 1000 л эмульсии).

В Гомельской области такие установки с успехом эксплуатируются сегодня уже более чем на 30 объектах (административные здания: Гомельжелдортранса, КБ ПО «Гомсельмаш», Светлогорскрайгаза, Аварийно-спасательной части МЧС (г. Воложин), Брестского отделения железной дороги, Автобусного парка (г. Витебск), ПМС БелЖД (г. Жлобин) и т. д.).

Гомельскими специалистами только за 2010–2012 гг. произведено и сдано в эксплуатацию более 350 м² солнечных коллекторов в комплекте с гелиоводонагревательным оборудованием.

Одно из совместных предприятий в г. Гомеле наладило собственное белорусское производство вакуумных солнечных коллекторов, которые по энергоэффективности не уступают мировым аналогам.

Область применения гелиоколлекторов достаточно широка – это системы горячего водоснабжения производственного, коммунального, бытового, и сельскохозяйственного назначения: транспортные объекты, расположенные вдали от инженерных коммуникаций, придорожные гостиничные комплексы, кафе, объекты общественного питания; прачечные, обслуживающие подвижной состав, вагоноремонтные депо, административные здания, пансионаты, учебные заведения, общежития и т. п.

В зданиях, расположенных вдали от инженерных коммуникаций, солнечное тепло может быть эффективным источником тепла и энергии. Современные солнечные установки могут с успехом применяться при строительстве и модернизации агрогородков и обеспечить нужды сельского хозяйства в теплой воде на 90 % в летний период.

Намного дешевле и эффективнее при новом строительстве запроектировать и смонтировать гелиосистему. Солнечные коллекторы могут устанавливаться на горизонтальной крыше или площадке возле дома, на наклонной крыше или стене, выходящей на юг, а также могут монтироваться непосредственно в крышу или в стену здания, выполняя функции пассивного утеплителя наружной его части. На малоэтажных зданиях с пологой кровлей могут с успехом применяться «солнечные» крыши. Солнечным панелям еще на стадии разработки проекта здания должна быть отведена дополнительная роль элементов перекрытия и оформления фасада (как это сделано во многих европейских странах).

Энергетическая зависимость нашего государства от энергоносителей других стран вынуждает все чаще обращаться к созданию энергоэффективных зданий, к возобновляемым источникам энергии, самым эффективным из которых на сегодня является солнце. Около пяти миллиардов лет, по расчетам ученых, Солнце ещё будет существовать, излучая такое количество энергии за тридцать минут, которого хватит человечеству на целый год.

Положительный опыт работы гелиоустановок в РБ: бесплатность солнечной энергии (за энергию солнца не нужно платить), простоту конструкции и монтажа гелиоустановки, ее экологическую безопасность и надежность, позволяет заключить, что использование в Беларуси альтернативных возобновляемых источников энергии с целью экологически чистого, эффективного ресурсосбережения не только возможно, перспективно, но и совершенно необходимо.

УДК 624.21/.8.001.2:620.169.1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ И ПУТЕПРОВОДОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ТЕЧЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ВРЕМЕНИ

Р. Ю. ДОЛОМАНЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Для Республики Беларусь, входящей в единую транспортную систему Европы и имеющей на своей территории более 6 тыс. мостов, обеспечение их бесперебойной работы является важнейшей государственной задачей.

Основную долю конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные конструкции (ЖБК) различных типов. Мостовые сооружения, являясь первоочередными элементами на сети дорог Беларуси, в процессе эксплуатации должны эффективно и

качественно удовлетворять условиям бесперебойного и безопасного движения транспортных средств с расчетными скоростями и нагрузками в течение заданного срока эксплуатации.

Международный опыт развития дорожно-транспортной инфраструктуры показывает, что даже в самых развитых странах происходит недофинансирование дорожной отрасли, то есть уровень запросов пользователей всегда выше возможного уровня финансирования. В такой ситуации достигнуть максимальной стабильности дорожной сети можно лишь за счет внедрения и реализации оптимизированного программно-целевого подхода, а именно обоснованного и своевременного вложения имеющихся средств. Этой цели служат расчетно-аналитические модули:

- определение необходимых средств на содержание сооружений;
- определение необходимых средств на все виды ремонта;
- определение необходимых средств с учетом прогнозной долговечности сооружений.

На сегодня в мировой инженерной практике наряду с конструктивным проектированием строительных ЖБК используется термин «проектирование долговечности или срок службы».

Данный подход направлен на определение времени наступления предельного состояния железобетонных конструкций при помощи специальных алгоритмов, позволяющие прогнозировать процесс деградации конструкции с определенной степенью точности и при необходимости корректировать проектные решения для достижения требуемого срока службы [1].

К наиболее опасным процессам, влияющим на долговечность железобетонных мостовых сооружений, относят карбонизацию защитного слоя бетона и проникновение хлоридов (рисунок 1) [2].

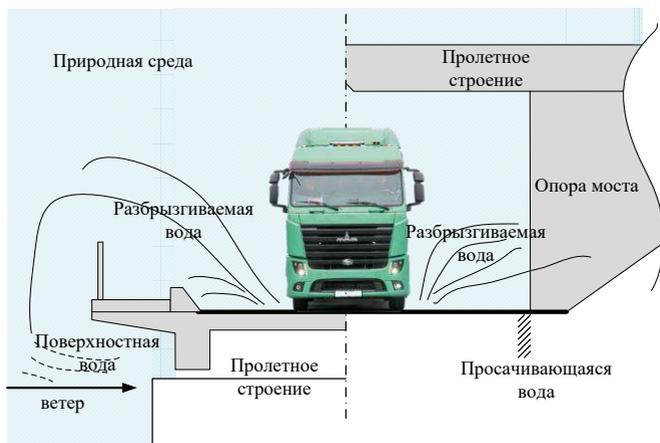


Рисунок 1 – Зоны моста с разным воздействием хлоридов

Поскольку большинство ЖБК эксплуатируются в различных атмосферных условиях, одной из основных причин появления и развития их коррозионных повреждений является карбонизация. Развитие коррозионных процессов в арматуре обусловлено в первую очередь пористой структурой бетона и, как следствие, его проницаемостью (рисунок 2) [3].

В мировой практике строительства искусственных сооружений выделяют два основных подхода к прогнозированию долговечности мостов. Первый основывается на введении функций деградации конструкций мостов. Второй подход базируется на прогнозировании изменения состояния арматуры в бетоне. Большинство моделей базируется на модели коррозии стальной арматуры, предложенной К. Туutti. Процесс диффузии углекислого газа и хлоридов в бетоне математически описываются классическими уравнениями аналитической теории диффузии (уравнения первого и второго законов Фика).



Рисунок 2 – Изменение щелочности бетона при воздействии агрессивной газовой среды

Данный алгоритм направлен на определение времени наступления предельного состояния ЖБК, позволяющий прогнозировать процесс деградации конструкции с определенной степенью точности и при необходимости корректировать проектные решения для достижения требуемого срока службы.

Основная часть. Целью работы является исследование выбранной модели прогноза долговечности железобетонных пролетных строений и путепроводов на стадии проектирования, позволяющая прогнозировать их срок службы в виде функции времени в зависимости от физико-механических свойств бетона и стальной арматуры, условий эксплуатации [1].

Модель рассматривает два периода граничных состояний:

1 Период иницирования коррозии стальной арматуры

Решая эти уравнения при определенных начальных условиях, получены выражения для определения времени иницирования стальной арматуры в результате карбонизации защитного слоя бетона t_{carb} и накопления критической концентрации хлоридов у поверхности стальной арматуры t_{CL} .

$$t_p = \frac{x_c^2}{2k_w^2 k_f^2 D_{CO_2} a^{-1} \cdot (c_1 - c_2)}, \quad (1)$$

где t_p – срок службы, лет; x_c – глубина карбонизации за время службы конструкции, м; k_w – коэффициент, учитывающий влияние погодных условий; k_f – коэффициент влияния морозной деструкции; D_{CO_2} – коэффициент диффузии CO_2 в бетоне, m^2/c ; C_1 , C_2 – соответственно содержание диоксида углерода на внешней поверхности бетона и на границе карбонизации (бесконечно малая величина), $кг/м^3$; a – реакционная емкость бетона (количество CO_2 , необходимое для превращения всех способных карбонизироваться продуктов гидратации цемента), $кг/м^3$.

$$t_{CL} = \frac{x_c^2}{4D_{CL} \cdot \left(erf^{-1} \cdot \left(\frac{C_s - C_{crit}}{C_s} \right) \right)^2}, \quad (2)$$

D_{CL} – коэффициент диффузии хлоридов в бетоне, m^2/c ; $erf()$ – функция ошибок Гаусса; C_s и C_{crit} – соответственно концентрация хлоридов на поверхности бетона защитного слоя и критическая концентрация хлоридов на поверхности арматуры, % по массе цемента [2].

2 Период активной коррозии стальной арматуры

Выход из строя железобетонных элементов (ЖБЭ) и ЖБК пролетных строений возможен при различных граничных состояниях стальной арматуры. Таким образом, задавшись величиной критического уменьшения площади поперечного сечения стальной арматуры, используя формулу

$$x_{corr} = v_{corr} a_{pit} t, \quad (3)$$

где v_{corr} – скорость коррозии стальной арматуры, $мм/год$; a_{pit} – питтинговый фактор, учитывающий характер коррозии; t – время, лет, можно определить время наступления критического повреждения коррозией стальной арматуры.

Рассмотрим толщину защитного слоя бетона в период иницирования коррозии стальной арматуры, исходя из выражения (1), с учетом следующих заданных начальных условий.

1 Коэффициент влияния влажности за период наблюдений 1981–2010 гг. в течение времени от 0,4 до 0,08 (рисунок 3, таблица 1), а остальные параметры условно примем равные единице [3, 4].

Анализируя параметры критических значений коэффициента влияния влажности, получим следующие предельные значения глубины карбонизации (рисунок 4, таблица 2).

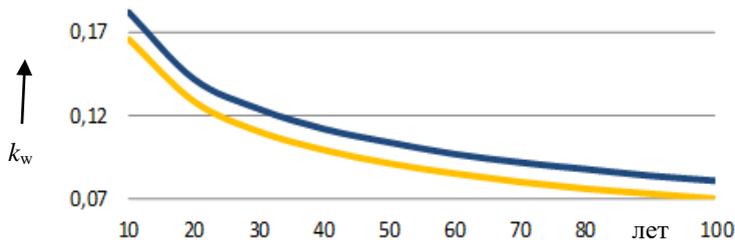


Рисунок 3 – Коэффициент влияния влажности на глубину карбонизации в течение времени

Таблица 1 – Коэффициент влияния влажности

Период, лет	Период увлажнения		Период, лет	Период увлажнения	
	min	max		min	max
10	0,182	0,165	60	0,097	0,085
20	0,142	0,128	70	0,092	0,080
30	0,124	0,110	80	0,088	0,076
40	0,112	0,099	90	0,084	0,073
50	0,104	0,091	100	0,081	0,070

$$x_c = k_w \sqrt{t_p \cdot 2}. \quad (4)$$

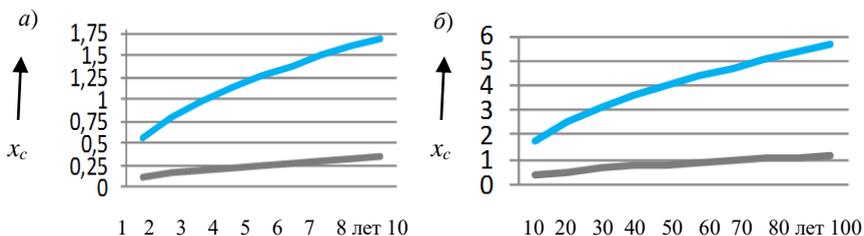


Рисунок 4 – В зависимости от коэффициента влияния влажности глубина карбонизации во времени: а – от 1 года до 10 лет; б – от 10 до 100 лет

Таблица 2 – Глубина карбонизации во времени от 1 года до 100 лет в зависимости от коэффициента влияния влажности

x_c	Период, лет									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
min	1,788	2,529	3,09	3,577	4	4,381	4,732	5,059	5,366	5,656
max	0,357	0,506	0,619	0,715	0,8	0,876	0,946	1,012	1,073	1,131

2 В обычном строительстве популярен материал с морозостойкостью от F150 до F200. Бетон с повышенными показателями применяется при возведении строений на влагонасыщенном грунте или гидротехнических сооружений. Согласно [5] вероятность повреждения бетона в цикле «замораживание – оттаивание» представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Вероятность повреждения бетона в цикле «замораживание – оттаивание»

F	$\Delta P=0,05$	$\Delta P=0,1$	$\Delta P=0,15$	$\Delta P=0,2$	$\Delta P=0,25$
150	0,000333333	0,000666667	0,001	0,001333333	0,001666667
200	0,00025	0,0005	0,00075	0,001	0,00125
250	0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,001
300	0,000166667	0,000333333	0,0005	0,000666667	0,000833333
350	0,000142857	0,000285714	0,000428571	0,000571429	0,000714286
400	0,000125	0,00025	0,000375	0,0005	0,000625
450	0,000111111	0,000222222	0,000333333	0,000444444	0,000555556
500	0,0001	0,0002	0,0003	0,0004	0,0005
550	0,0000909091	0,000181818	0,000272727	0,000363636	0,000454545
600	0,0000833333	0,000166667	0,00025	0,000333333	0,000416667
650	0,0000769231	0,000153846	0,000230769	0,000307692	0,000384615
700	0,0000714286	0,000142857	0,000214286	0,000285714	0,000357143
750	0,0000666667	0,000133333	0,0002	0,000266667	0,000333333
800	0,0000625	0,000125	0,0001875	0,00025	0,0003125
850	0,0000588235	0,000117647	0,000176471	0,000235294	0,000294118
900	0,0000555556	0,000111111	0,000166667	0,000222222	0,000277778

Исходя из выражения (1) и условий, что остальные параметры примем равными единице, выражение будет следующим:

$$x_c = k_f \sqrt{t_p} \cdot 2. \quad (5)$$

Используя критические значения коэффициента влияния морозного разрушения, получаем предельные значения глубины карбонизации (таблица 4).

Таблица 4 – Глубина карбонизации во времени от 1 года до 100 лет в зависимости от коэффициента влияния морозного разрушения

F	$\Delta P=0,05$		$\Delta P=0,1$		$\Delta P=0,15$		$\Delta P=0,2$		$\Delta P=0,25$	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
150	1,0239	10,666	1,0485	113,8534	1,0736	1216,28	1,0993	13003,62	1,1257	139135,75
200	1,0179	5,9015	1,0361	34,8442	1,0547	205,8191	1,0736	1216,28	1,0928	7190,7553
250	1,0143	4,1377	1,0288	17,1254	1,0435	70,9005	1,0584	293,6161	1,0736	1216,2801
300	1,0119	3,2655	1,0239	10,666	1,0361	34,8442	1,0484	113,8534	1,0609	372,0891
350	1,0102	2,7575	1,0204	7,6054	1,0309	20,9787	1,0414	57,8759	1,052	159,691
400	1,0089	2,4291	1,0179	5,9015	1,0269	14,3392	1,0361	34,8442	1,0453	84,6806
450	1,0079	2,201	1,0159	4,845	1,0239	10,666	1,032	23,4825	1,0402	51,7042
500	1,0071	2,034	1,0143	4,1377	1,0215	8,4175	1,0288	17,1254	1,0361	34,8442

Окончание таблицы 4

F	$\Delta P=0,05$		$\Delta P=0,1$		$\Delta P=0,15$		$\Delta P=0,2$		$\Delta P=0,25$	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
550	1,0064	1,9069	1,0129	3,6365	1,0195	6,9353	1,0261	13,2273	1,0328	25,2293
600	1,0059	1,807	1,0119	3,2655	1,0179	5,9015	1,0239	10,666	1,03	19,2777
650	1,0054	1,7266	1,0109	2,9813	1,0165	5,1482	1,0221	8,8902	1,0276	15,3527
700	1,0051	1,6605	1,0101	2,7575	1,0153	4,5795	1,0204	7,6054	1,0256	12,6311

Данные таблицы 4 приведённые к среднему значению, будут имеет следующий вид (рисунок 5).

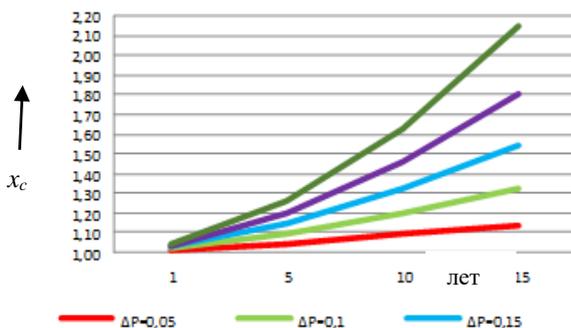


Рисунок 5 – Глубина карбонизации во времени от 1 года до 15 лет в зависимости от коэффициента влияния морозного разрушения

3 Рассчитанные по существующим методикам значения коэффициента диффузии по сечению реально эксплуатируемых конструкций являются переменной величиной для конструкций из бетона одного состава и эксплуатируемых в одинаковых условиях. Среднее значение коэффициента диффузии углекислого газа в железобетоне мостовых элементов варьируется в пределах от $2,5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ см²/с [6, 7].

Преобразовав формулу (1), получим

$$x_c = \sqrt{t_p \cdot 2D_{CO_2}} \quad (6)$$

Подставляя критичные значения коэффициента диффузии CO₂ в бетоне формулу (6), получаем следующие зависимости (таблица 5, рисунок 6).

Таблица 5 – Глубина карбонизации во времени от 1 года до 100 лет в зависимости от коэффициента диффузии

x_c	Период, лет												
	1	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
min	0,007	0,015	0,022	0,027386	0,031	0,038	0,044	0,05	0,054	0,059	0,063	0,067	0,07
max	0,01	0,022	0,031	0,038	0,044	0,054	0,063	0,07	0,077	0,083	0,089	0,094	0,1

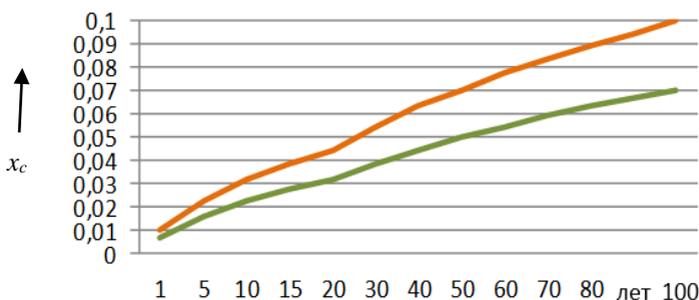


Рисунок 6 – Глубина карбонизации во времени от 1 года до 100 лет в зависимости от коэффициента влияния влажности

Заключение. Не соответствующий современному уровню развития строительной науки и возрастающим транспортным нагрузкам законодательная и нормативная базы. Это иногда порождает необоснованные решения в области капремонта, реконструкции, повышения надежности и долговечности сооружений, что приводит к экономическим потерям и затратам, нанося материальный и социальный ущерб обществу.

Большинство моделей прогнозирования сроков депассивации защитного слоя, основанных на решении дифференциальных уравнений первого и второго законов А. Фика, носят общий поверхностный характер не учитывающий такие коэффициенты, как влияние температуры и влажности, а также времени эксплуатации, напряженного состояния, связывающие способности бетона на скорость прохождения фронта депассивации.

В статье проведены расчеты по выбранной модели прогноза времени деградации защитного слоя до наступления процесса коррозии арматуры с учетом влияния температуры, влажности, времени эксплуатации.

По результатам исследований и расчетов по выбранной модели изменения показателей глубины карбонизации во времени нуждаются в последующем математическом анализе вероятностного подхода к прогнозированию долговечности железобетонных элементов, который позволит более полно изучить физико-химические процессы в железобетонных конструкциях мостов и их влияние на физико-механические характеристики бетона и его защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

Список литературы

1 Васильев, А. А. Модель прогнозирования долговечности железобетонных пролетных строений мостов / А. А. Васильев, Р. Ю. Доломанюк, С. В. Дашкевич // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1(36). – С. 121–123.

2 **Доломанюк, Р. Ю.** Воздействие хлоридов на железобетонные конструкции мостов с учетом особенностей бетона защитного слоя / Р. Ю. Доломанюк // Actualscientificresearch 2019. IV Междунар. науч.-практ. конференция. – М. : Олимп, 2019. – 168 с.

3 **Доломанюк, Р. Ю.** Функция изменения физико-механических свойств бетона во времени в зависимости от периодов увлажнения на территории Республики Беларусь / Р. Ю. Доломанюк // Современные научные исследования и разработки : электронное науч.-практ. периодич. издание. – М., 2019. – № 1 (30). – С. 359–364.

4 **Доломанюк, Р. Ю.** Влияние коэффициента влажности на глубину карбонизации железобетонных элементов мостовых сооружений / Р. Ю. Доломанюк // Современные проблемы науки и образования: вопросы теории и практики : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. НИЦ ПНК от 30 апреля 2019 г. / [редкол.: Р. Р. Галлямов и др.]. – Самара : ООО НИЦ «Поволжская научная корпорация», 2019. – 232 с.

5 **Доломанюк, Р. Ю.** Функция влияния морозного разрушения на карбонизацию / Р. Ю. Доломанюк // World Science: problems and innovations : сб. ст. XXVIII Междунар. науч.-практич. конф.. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. – С 46–49.

6 **Доломанюк, Р. Ю.** Оценка расчета коэффициента диффузии углекислого газа в железобетонных элементах мостовых конструкций / Р. Ю. Доломанюк // Интеграция наук. – М. – 2018. – № 7 (22).: Сайт: <http://in-sc.ru/arkhiv>. – С. 146–150

7 **Доломанюк, Р. Ю.** Оценка параметров коэффициента диффузии углекислого газа в железобетонных элементах моста в зависимости от среды эксплуатации / Р. Ю. Доломанюк // Актуальные вопросы физики и техники : материалы VIII Республ. науч. конф. студентов и аспирантов : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019.

УДК 624.01/.04:620.193

ЗАВИСИМОСТИ КРИТИЧЕСКИХ КОРРОЗИЙНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ОТ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА, КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

Р. Ю. ДОЛОМАНИЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железобетон во всем мире признан одним из самых экономичных, экологически чистых, надежных и долговечных строительных материалов. В данное время объем производства бетона и железобетона в мировом строительстве по разным источникам до трех миллиардов кубических в год. Поэтому основную долю строительных мостовых конструкций, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы. Повреждение железобетонных конструкций изучались и изучаются многими ав-

торами. Исследования показывают, что треть повреждений железобетонных конструкций зависит от коррозии бетона и стальной арматуры.

Критическое повреждение железобетонных конструкций, согласно [1] принимаем 25 % потери площади поперечного сечения арматуры, получаем критическую глубину коррозии для различных диаметров стальной арматуры (таблица 1).

Таблица 1 – Критическая глубина коррозии для различных диаметров

В миллиметрах

Диаметр стержня	Критическая глубина коррозии	Диаметр стержня	Критическая глубина коррозии
6	0,40	20	1,34
8	0,54	22	1,47
10	0,67	25	1,67
12	0,80	28	1,88
14	0,94	32	2,14
16	1,07	36	2,41
18	1,21	40	2,68

Оценка срока службы изгибаемых железобетонных элементов выполняется по второй группе предельных состояний. Для случая образования трещин шириной раскрытия от 0,5 до 1 мм [2, 3].

$$a_{cr} = 0,05 + 0,0125 \cdot (x_{corr} - x_{cor,o}); \quad (1)$$

$$x_{corr} = v_{cor} \cdot a_{pit} \cdot t_{cor}, \quad (2)$$

где a_{cr} – ширина раскрытия трещин, мм; x_{cor} – глубина коррозионного повреждения арматуры, мм; v_{cor} – скорость коррозии стальной арматуры, мм/год; a_{pit} – питтинговый фактор, учитывающий фактор коррозии, $a_{pit} = 1$; t_{cor} – время, лет.

Приняв граничные значения ширины раскрытия трещин $a_{cr} = 1,0$ мм и критическую глубину коррозии арматуры в железобетонных элементах (таблица 2), определим возраст элементов, при котором образуется данная трещина для железобетонных конструкций и приводит их к неудовлетворительному техническому состоянию. При этом железобетонные элементы выполнены из бетонов классов $C^{25}/30$, $C^{25}/35$, $C^{30}/37$, что применяют в пролетных строениях, с толщиной защитного слоя 3–5 см.

$$x_{cor,o} = 83 + 7,4 \cdot \frac{d_{cover}}{d} - 22,6R_{b,sh}, \quad (3)$$

где $x_{cor,o}$ – глубина коррозионного повреждения арматуры, соответствующая началу образования трещин, мм; d_{cover} – толщина защитного слоя бетона, мм;

$R_{b,sh}$ – прочность бетона на скалывание при изгибе, МПа; d – диаметр арматуры.

Результаты расчета показывают, что глубина коррозии при начале образования трещин будет соответствовать в среднем 0,1 мм для любых диаметров арматуры.

Таблица 2 – Глубина коррозионного повреждения арматуры, соответствующая началу образования трещин

В миллиметрах

Диаметр арматуры	Защитный слой бетона								
	30 мм			40 мм			50 мм		
	$C^{25}/_{30}$	$C^{28}/_{35}$	$C^{30}/_{37}$	$C^{25}/_{30}$	$C^{28}/_{35}$	$C^{30}/_{37}$	$C^{25}/_{30}$	$C^{28}/_{35}$	$C^{30}/_{37}$
Начало образования трещин									
6	0,073	0,064	0,051	0,090	0,081	0,068	0,107	0,098	0,085
8	0,060	0,051	0,038	0,073	0,064	0,051	0,085	0,076	0,063
16	0,041	0,032	0,019	0,047	0,038	0,025	0,054	0,045	0,032
18	0,039	0,030	0,017	0,045	0,036	0,023	0,050	0,041	0,028
20	0,037	0,028	0,015	0,042	0,033	0,020	0,047	0,038	0,025
36	0,031	0,022	0,009	0,033	0,024	0,011	0,036	0,027	0,014
40	0,030	0,021	0,008	0,032	0,023	0,010	0,035	0,026	0,013
Ширина раскрытия от 0,5 до 1 мм									
8	0,1041	0,10418	0,10416	0,1042	0,1042	0,1041	0,1042	0,1041	0,1042
20	0,1041	0,10415	0,10413	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041
36	0,1041	0,10414	0,10412	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041
40	0,1041	0,10414	0,10412	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041	0,1041

Определение времени развития деградационных процессов в бетоне до критической глубины коррозионного повреждения арматуры будет зависеть от скорости коррозии арматуры для фиксированной толщины защитного слоя бетона пролетных строений, выражается следующей зависимостью [4].

$$x_{corr} = \frac{a_{cr} - 0,05 + 0,0125x_{corr,o}}{0,0125}. \quad (4)$$

По результатам построены зависимости критических коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона, класса по прочности на сжатие (рисунок 1).

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

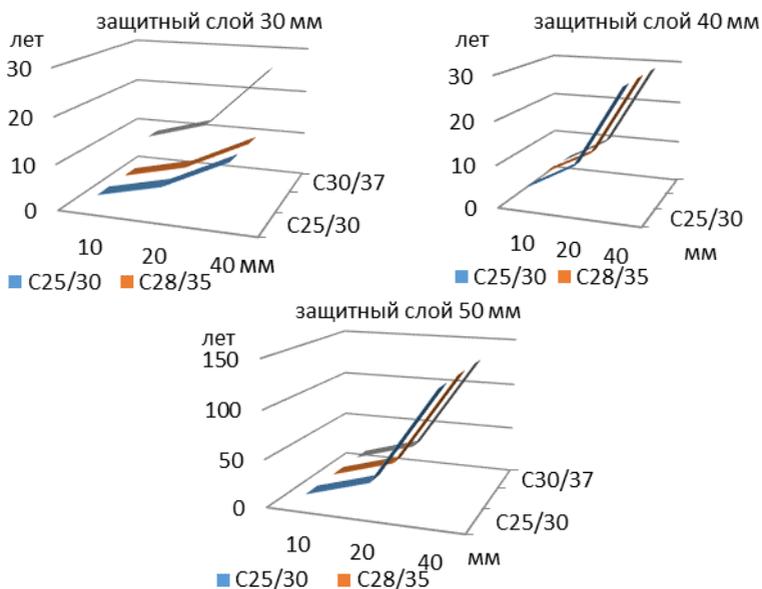


Рисунок 1 – Зависимости критических коррозионных повреждений стальной арматуры в течение времени от защитного слоя и класса бетона

Список литература

1 Железобетон в XXI веке. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 648 с.

2 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

3 **Васильев, А. А.** Модель прогнозирования долговечности железобетонных пролетных строений мостов / А. А. Васильев, Р. Ю. Доломанюк, С. В. Дашкевич // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2018. – № 1(36). – С. 121–123.

4 **Долломанюк, Р. Ю.** Выбор методики оценки состояния железобетонных пролетных строений для регрессивной зависимости коррозионных повреждений стальной арматуры / Р. Ю. Долломанюк // Наука, образование, теория, практика: новые подходы и актуальные исследования : сб. статей междунар. науч.-практ. конф. НИЦ ПНК от 30.11.2019 г. / [Ред. кол.: Р. Р. Галлямов, А. А. Бельцер, Ю. А. Кузнецова, О. А. Подкопаев]. Самара : ООО НИЦ «Поволжская научная корпорация», 2019. – 112 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

К. В. ЕФИМЧИК, А. В. МАРДАНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время в УО «Белорусский государственный университет транспорта» разработаны многофункциональные композиционные экологически безопасные материалы на основе полиолефинов.

Разработанные материалы конкурентоспособны и могут быть использованы как конструкционные, гидроизоляционные и антикоррозийные материалы.

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о возможности изготовления как конструкционных (строительных) материалов, так и ингибированных композиционных материалов.

С помощью метода горячего прессования возможно формование изделий различных конфигураций, обладающих различной массой, заданными свойствами, цветом и толщиной стенок, изготовление как единичных изделий, так и крупных партий.

Свойства и характеристики изделий зависят от типа конструкции, наличия армирующих элементов, ее габаритных размеров, а главное – от соблюдения технологии производства.

Полученный материал не имеет ограничений в обработке, его можно сверлить, пилить, смачивать, склеивать, фрезеровать, красить (рисунок 1).

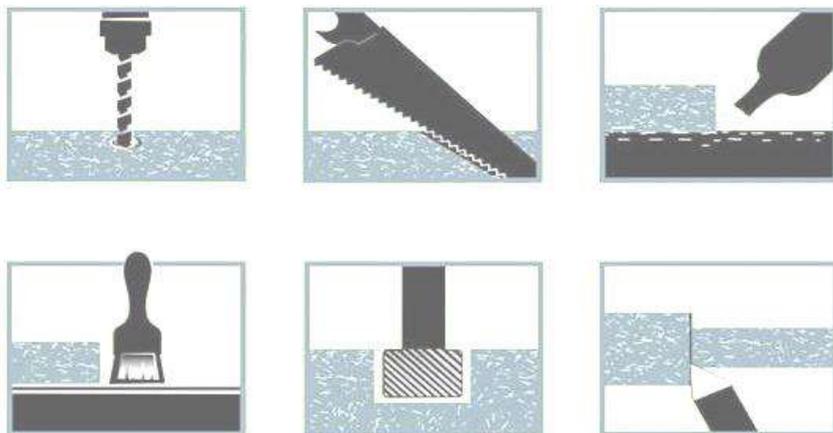


Рисунок 1 – Обработка материала

Одно из главных преимуществ разработанного материала – неподверженность коррозии, и отсутствие необходимости в армировании. Армирование необходимо только при изготовлении технологических замков или зацепов. Сталь является материалом, который подвержен разрушению под воздействием влаги. Однако в сочетании эти два элемента еще больше повышают прочность материала, и защищают сталь от образования ржавчины и коррозии.

Из разработанного материала возможно изготовление различного рода элементов, как временных, так и постоянных дорожно-мостовых конструкций (для укрепления русел, конусов и откосов насыпей у малых и средних мостов и водопропускных труб), сборно-разборных зданий (сооружений), тротуарных дорожек, плит для хранения техники на открытых площадках, обваловок, железнодорожных переездов (рисунок 2).

Разработанные материалы будут незаменимы при выполнении мероприятий технического прикрытия железнодорожных мостов, станций и перегонов, а также восстановлении объектов при устранении последствий чрезвычайных ситуаций.



Рисунок 2 – Варианты укладки дорожного настила

Список литературы

1 Функциональные композиционные материалы на основе полиолефинов и жидких отходов нефти / А. А. Поддубный [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2 (39). – С. 33–36.

2 Разработка композиционных материалов на основе смесей полиолефинов и отходов нефтепереработки / Ж. Н. Громыко [и др.] // Поликомтриб : тезисы докладов Междунар. науч.-техн. конф. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2019. – С. 101.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

П. В. КОВТУН, А. С. БРАТИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Основным назначением балластного слоя является восприятие давления от шпал и равномерное распределение его на основную площадку земляного полотна, обеспечение устойчивости шпал под воздействием вертикальных и горизонтальных сил, обеспечение упругости подрельсового основания и возможности выправки рельсошпальной решетки в плане и профиле, отвод от нее поверхностных вод.

Балластный слой не должен задерживать на своей поверхности воду, предохранять основную площадку от переувлажнения. Материал для балласта применяется прочный, упругий, устойчивый под нагрузкой и атмосферными воздействиями, относительно дешевый. Кроме того, он не должен дробиться при уплотнении, пылить при проходе поездов, раздуваться ветром, размываться дождями, прорастать травой. В качестве балласта используют сыпучие, хорошо дренирующие упругие материалы: щебень, гравий, песок, отходы асбеста, ракушечник. Лучшим материалом для балласта является щебень из естественного камня, валунов и гальки.

Асбестовый балласт представляет собой отходы асбестового производства в виде раздробленных горных пород с присутствием мелких свободных волокон асбеста. При достаточно высокой несущей способности, малой засоряемости, больших удобствах выправки пути асбестовый балласт имеет и недостатки – пылит при высоких скоростях движения и недостаточно устойчив против размыва ливневыми дождями.

Асбестовый балласт нельзя считать перспективным материалом для балластирования главных путей по причинам большого количества пылеватых частиц (менее 0,16 мм более 10 %), а также неудовлетворительной работе под шпалами.

Щебеночный балласт получают, как правило, из таких твердых горных пород как гранит, диорит, сиенит и др. Он обладает такими характеристиками как долговечность и прочность, имеет высокую сопротивляемость осадкам. Особое строение частиц данной разновидности щебня обуславливает его высокие дренажные свойства.

К важному преимуществу балластного щебня следует отнести и его высокую морозостойкость. Прочность качественного щебня для балластного слоя железнодорожного пути не изменяется со временем. Балластный щебень обладает такими характеристиками как долговечность, прочность. Он

имеет высокие показатели сопротивляемости осадкам. Также щебень обладает дренирующими, упругими свойствами. Его особенностью является то, что он не проводит электричество. Способность поглощать и удерживать воду – это основное требование для балластного щебня. Водопоглощение – свойство, которое может быть как желательным, так и нежелательным в зависимости от цели использования материала.

Щебеночный балласт, приготовленный из прочных магматических пород (граниты, габбро, диориты, сиениты (глубинные породы), диабазы, базальты (излившиеся породы)), является лучшим из современных балластных материалов благодаря долговечности, высокой сопротивляемости осадкам шпал и их смещениям в горизонтальной плоскости, хорошим дренирующим, упругим и электроизоляционным свойствам щебеночной призмы. В то же время применение на ряде участков эксплуатируемых линий щебня низкого качества из слабых осадочных пород (известняки, доломиты, песчаники), особенно при железобетонных шпалах, неэффективно из-за быстрого износа и измельчения такого щебня, потери им дренирующих свойств, образования выплесков. По этой причине укладка в балластную призму на путях 1–3-го классов смешанного щебня различных пород и прочности не допускается.

УДК 624.21: 004

«УМНЫЙ» МОСТ – ИННОВАЦИИ В МОСТОСТРОЕНИИ

В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, В. Г. ШЕВЧУК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

125 лет назад – 25 апреля (7 мая по новому стилю) 1895 г. преподаватель Морской инженерной школы в Кронштадте Александр Степанович Попов



Рисунок 1 – Радиоприемник
А. С. Попова

на заседании Русского физико-химического общества выступил с докладом и демонстрацией созданного им первого в мире радиоприемника (рисунок 1). Свое сообщение Попов закончил следующими словами: «В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающих достаточной энергией» [1].

Дальнейшее развитие радио привело к практической реализации многих систем: цифровых радиоканалов обмена данными, радиодоступа абонентов, сотовой связи стандарта 5G и др., без которых не были бы созданы и транспортные интеллектуальные системы (ИТС).

ИТС включают в себя ряд подсистем: интеллектуальное транспортное средство (Smart Car), «умное» шоссе (Smart Highway), составной частью которой является подсистема «умный» мост (Smart Bridge) и др.

Если ряд подсистем можно реализовать посредством проводной связи, то, например, подсистему Smart Car можно реализовать только с применением радиотехнологий. Сравнение протоколов радиодоступа абонентов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение протоколов радиодоступа абонентов

Параметры	Z-Wave	Wi-Fi	ZigBee	Thread	LoRa WAN
Радиосвязь	+	+	+	+	+
Низкое энергопотребление	+	–	+	+	+
Рабочая частота	869 МГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	433,868 МГц
Скорость передачи данных	100 кбит/с	300 кбит/с	250 кбит/с	250 кбит/с	0,3-11 кбит/с
Совместимость устройств	+	+	–	+/-	+
Доступность устройств	+	+	+	–	+
Безопасность	S2, AES	RC4, AES	AES	DTLS	AES
Простота реализации	+	+	+	–	+/-

Недостатком приведенных технологий является относительно небольшое расстояние, на котором они устойчиво работают. Поэтому для обеспечения функционирования ИТС стали применять возможности сотовой связи стандарта 5G.

Понятие «умный» мост (Smart Bridge) разными специалистами и в разных странах трактуется по-разному.

Так, например, в городе Атырау (до 1991 г. – город Гурьев, Казахстан) реализован первый smart-проект – модернизация освещения городского Центрального моста (рисунок 2, а): полностью заменили лампы освещения на мостовом сооружении, вместо действующих установили новые – энергосберегающие, которые потребляют гораздо меньше энергии, что экономит до 71 % затрачиваемых энергоресурсов. Светят LED-фонари значительно ярче обычных ламп. Кроме того, «умное» освещение имеет возможность регулировать уровень освещенности на мосту от 10 до 100 % [2].

В Sanwan Wetland Park (Ханчжоу, Китай) была автоматизирована система освещения моста Silhouette Bridge [3], что позволило сделать мост местной достопримечательностью с интересной подсветкой (рисунок 2, б). На мосту были установлены сложные системы освещения, но сейчас не нужен постоянный контроль над этим освещением со стороны специалистов, т. к. все источники света на мосту интегрированы в АСУЗ HDL Buspro.

а)



б)



в)



Рисунок 2 – «Умные» мосты с регулировкой освещения и подсветки

Световое шоу запланировано заранее и включается по расписанию – с 17:50 до 20:30 ч. по пятницам, субботам и воскресеньям без какого-либо вмешательства человека-оператора. Кроме того, для контроля за освещением моста установлена DLP-панель. Сотрудники парка могут в любое время начать шоу, остановить шоу, приостановить шоу или контролировать источники света различных световых областей моста так, как потребуют складывающиеся обстоятельства.

В 2018 г. в Нью-Йорке (США) был открыт «умный» мост Tappan Zee (рисунок 2, в). Отличительной особенностью моста длиной около 5 км является покрытие его по всей длине светодиодными элементами [4]. С помощью уникального предложения по размещению светодиодных элементов на мосту от компании Philips, мост превратился в настоящее украшение города. На мосту установлены около 3 тыс. светодиодов, типа hue-лампы, которые могут изменять цвет при помощи дистанционного управления. Для управления системой освещения применяют Android и iOS, появилась возможность создавать различные красочные картины. Когда интенсивность движения транспорта через мост небольшая, система освещения автоматически переходит в энергосберегающий режим.

Но более эффективными и перспективными являются решения для «умных» мостов, при которых созданная интеллектуальная система позволяет получать информацию о состоянии мостовых конструкций.

В Нюрнберге (Бавария, ФРГ) построен мост длиной 156 м, который является составной частью Digital Autobahn Test Field – правительственного проекта «умного автобана», разработанного специалистами компании Siemens. Мост уникален использованными при строительстве технологиями и своими свойствами. В частности, сам мост отправляет инженерам информацию, доступ к которой специалисты раньше не имели. Это стало возможным благодаря датчикам, вмонтированным в конструкцию моста, которые измеряют колебания, наклон, деформацию структуры, температуру, влажность и давление от автомобилей. Это позволяет экспертам дистанционно оценивать техническое состояние конструкции и обнаруживать повреждения раньше, чем это могли бы сделать инженеры во время плановой проверки [5].

Инженеры из Университета Нью-Гемпшира (США) спроектировали уникальную лабораторию на автомобильном мосту. Мост (рисунок 3), который соединяет американские города Портсмут и Киттери, оснастили датчиками, которые превратили инфраструктурный объект в самодиагностирующийся «умный» мост, который собирает различную информацию – от состояния самой структуры мостового сооружения до данных об окружающей среде вокруг него.

Исследователи установили на мосту 40 самодиагностируемых датчиков различных типов. Это и датчики для измерения линейного расширения конструкции, и датчики для измерения вибрации, и датчики вращения и т. п. [6].

Установленные сенсоры ежедневно предоставляют ученым и инженерам информацию о характеристиках структуры, такую как актуальный вес на мосту, поведение башен во время подъема центральной секции, степень деформации структуры, а также данные о схемах движения транспорта, о погодных условиях и уровне воды.



Рисунок 3 – «Умный» мост в Нью-Гемпшире

На сегодня самым «умным» мостом в России является открытый для движения Крымский мост (рисунок 4).



Рисунок 4 – «Умный» Крымский мост

Его интеллектуальная система из 10 автоматических комплексов на 19 км трассы оперативно реагирует на фактические метеоусловия и «сообщает» водителям порядок действий, предупреждает об интенсивности и интервале движения, состоянии дорожного полотна, его температуре. Мост и подъезды к нему оснащены десятками камер. Они заранее отслеживают подозрительные авто. Сооружение надежно охраняется и с моря, и с суши. Мост спроектирован под 9-балльное землетрясение, он защищен от воздействия ледоходов и штормов, ветровой нагрузки. У моста уникальная система фильтрации от возможного попадания в море капель бензина и моторного масла от автомобилей.

Вся информация с установленных на мосту датчиков сводится в Центральный диспетчерский пункт (рисунок 5) [7] и анализируется специальной компьютерной программой, чтобы предсказать возникновение возможных проблем и предложить варианты их решения.

Проведенные исследования показали, что «умные» мосты (Smart Bridge) не только обеспечивают энергоэффективность систем их освещения, комфортные условия передвижения через них автомобилей, но и, благодаря собранным данным, инженеры-проектировщики мостов также получают уникальную информацию, которая поможет в будущем создавать мосты с максимальной безопасностью, надежностью и эффективностью.



Рисунок 5 – Центральный диспетчерский пункт автоматизированной системы управления дорожным движением Крымского моста

Список литературы

- 1 Александр Степанович Попов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nashural.ru/culture/ural-characters/aleksandr-stepanovich-popov>. – Дата доступа : 20.05.2020.
- 2 «Умный» мост в Атырау экономит более 70 процентов энергоресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mgorod.kz/nitem/umnyj-most-v-atyrau-ekonomit-bolee-70-energoresursov>. – Дата доступа : 15.05.2020.
- 3 Умный мост в Sanwan Wetland Park, Ханчжоу, Китай [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://hdlrus.ru/resheniya-po-avtomatizatsii-zdaniy-i-sooruzheniy/avtomatizatsiya-sveta/407-umnyj-most-v-sanwan-wetland-park-khanchzhou-kitaj.html>. – Дата доступа : 15.05.2020.
- 4 «Умный» мост Тарпан Зее в Нью-Йорке [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kerch-most.ru/umnyj-most-tappan-zee-v-nyu-jorke.html> – Дата доступа : 15.05.2020.

5 Германия. Первый «умный» мост [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://berlin24.ru/ru/news/novosti - germanii -segodnja-v-novostjah/5711 germa-nia-pervyj-umnyj-most.html>. – Дата доступа : 18.05.2020.

6 Датчики превратили мост в лабораторию [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://enki.ua/datchiki-prevratili-avtomobilnyu-most-v-umnuyu-laboratoriyu> – Дата доступа : 15.05.2020.

7 «Умный» Крымский мост [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.kp.by/daily/26829/3869703/> – Дата доступа : 18.05.2020.

УДК 624+625

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

С. В. МАКСИМЕНКО, А. С. ШИПИЛЁВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Вероятный характер воздействия противника на объекты транспортных коммуникаций (далее – объекты ТК) страны в основном определяется его взглядами на ведение стратегических (оперативно-стратегических) операций.

Таким образом, на первоначальных этапах операций противник будет разрушать транспортную сеть страны с целью изоляции района боевых действий, воспрепятствования выдвижения наших оперативных и стратегических резервов из глубины страны в район боевых действий, ограничения свободы их маневра.

Данное утверждение нашло отражение и в руководящих документах, где отмечается: «Наиболее вероятным способом развязывания войны против вероятного противника останется внезапное нанесение массированных ударов авиацией, крылатыми ракетами в обычном снаряжении морского, воздушного и наземного базирования на глубину их досягаемости по важным государственным, военным объектам и войскам с последующим переходом сухопутных группировок в наступление».

Логика (последовательность) прогнозирования вероятного характера воздействия противника на объекты ТК страны в основном будет определяться целью решения задачи. В мирное время такой прогноз необходим для оценки расчетных объемов работ при техническом прикрытии объектов ТК, потребности сил и средств. Эти основные показатели должны быть положены в основу совершенствования существующей системы технического прикрытия объектов ТК, разработки мероприятий по заблаговременной подготовке прикрываемых объектов (участков, направлений), сил и средств, а также предложений по созданию мобилизационных запасов материальных средств для восстановления сети железных и автомобильных дорог и их эшелонированию. В военное время (угрожаемый период), для объектов ТК в границах образованных оперативно-стратегических объединений, такой

прогноз должен уточняться (корректироваться) с учетом возможности противостоящего противника по воздействию на объекты ТК на каждом операционном направлении. При этом цель прогноза заключается в получении более достоверных данных по вероятному характеру разрушения объектов ТК для выработки решения и планирования транспортного обеспечения проводимых операций.

Таким образом, способность противоборствующих сторон в современных войнах постоянно и многократно разрушать объекты ТК обуславливает необходимость проведения комплекса мероприятий по повышению их живучести.

Живучесть – свойство войск (сил), оружия, военной техники, объектов тыла, систем управления сохранять или быстро восстанавливать боеспособность в условиях воздействия противника.

Живучесть объектов транспортных коммуникаций – свойство сохранять или быстро восстанавливать свою способность к выполнению заданных перевозок в условиях воздействия противника.

К мероприятиям по обеспечению живучести объектов транспортных коммуникаций относятся:

- активная противовоздушная (противоракетная) оборона объектов ТК;
- охрана и оборона объектов и участков транспортных коммуникаций;
- маскировка объектов и перевозок транспортных коммуникаций;
- рассредоточение сил, средств, железнодорожных и автомобильных сооружений и перевозок;
- повышение прочности объектов ТК и непосредственная защита людей и оборудования;
- пожарная профилактика и охрана объектов ТК;
- санитарно-эпидемические мероприятия.

Активная противовоздушная и противоракетная оборона (далее – ПВО и ПРО) объектов ТК организуется командованием в общей системе ПВО, ПРО территории страны и оперативно-стратегических и оперативных объединений. Для важнейших объектов ТК организуется их непосредственная зональная (объектовая) противовоздушная оборона.

Активная ПВО и ПРО объектов технического прикрытия является наиболее эффективным мероприятием по повышению их живучести, значительно снижающим вероятность их поражения противником. Однако, возможности командования по выполнению этого мероприятия, как правило, бывают ограниченными.

Охрана и оборона объектов ТК и участков в военное время осуществляются в общей системе территориальной обороны, организуемой Генеральным штабом Вооруженных Сил во взаимодействии с органами КГБ и МВД РБ. Наиболее важные объекты технического прикрытия охраняются органами и силами КГБ, соединениями и войсками МВД, воинскими частями и

подразделениями территориальной обороны, а также собственными силами и средствами. Как правило, охрана и оборона объектов осуществляется путем организации всех видов охранения (патрулирования, комендантской службы, прикрытия объекта инженерными заграждениями) в сочетании с режимными, инженерно-техническими и другими мероприятиями по локальной защите объектов от внезапного нападения противника. Обнаруженные разведывательные группы противника немедленно блокируются и ликвидируются силами территориальной обороны, внутренних войск МВД, находящихся в районах действий этих групп. Части транспортных войск, отвечающие за техническое прикрытие порученных им объектов (участков), обязаны обеспечить необходимое усиление их охраны от диверсий противника.

Маскировка объектов ТК – большой, сложный и достаточно эффективный комплекс мероприятий, обеспечивающий снижение вероятности их поражения противником. Она включает маскировку важных объектов от наблюдения и разведки с воздуха и из космоса, а также засекречивание документов и переговоров, отражающих состояние объектов и ход переговоров.

Для сложных маскировочных работ, связанных с применением аэрозолей (дымов), рассеивающих и поглощающих покрытий для снижения оптической, тепловой, акустической и радиолокационной заметности объектов привлекаются специальные подразделения войск РХБЗ.

Маскировка восстанавливаемых объектов является задачей и строительно-восстановительных организаций и воинских частей прикрывающих эти объекты.

При современных средствах и возможностях вероятного противника по разведке транспортных объектов, снижение вероятности их обнаружения может быть обеспечено только при комплексном использовании различных средств и способов маскировки. Например, для маскировки моста на большой площади вокруг него могут устанавливаться маски-помехи из радиолокационных, тепловых отражателей, могут быть имитированы один или несколько ложных мостов. При возникновении непосредственной угрозы удара противника вся эта площадь задымляется или закрывается аэрозольным облаком. Естественно, проведение столь сложного комплекса мероприятий требует привлечения войск РХБЗ.

Рассредоточение сил, средств, транспортных сооружений и перевозок обеспечивают уменьшение потерь и разрушений за счет снижения концентрации ресурсов в вероятных районах поражения.

В мирное время рассредоточение достигается строительством дополнительных железнодорожных линий вместо интенсификации работы существующих, распределением сортировочной работы по ряду станций, подготовкой загородных пунктов управлений железных и автомобильных дорог, строительством глубоких обходов вероятных объектов ударов противника, рассредоточением пунктов дислокации восстановительных организаций, локомотивных депо, баз мобилизационных резервов железнодорожного и

дорожного имущества вне пределов категорированных объектов и городов, отнесенных к группам по гражданской обороне (далее – ГО).

С введением на транспортных коммуникациях «особого периода» осуществляется вывод восстановительных организаций в загородную зону, вывоз с угрожаемых объектов запасов восстановительных материалов и конструкций и другого ценного железнодорожного и дорожного имущества, рассредоточение подвижного состава по малым станциям.

Повышение прочности объектов ТК и непосредственная защита людей и оборудования обеспечивают уменьшение радиусов зон поражения, а, следовательно, снижение вероятности разрушений сооружений и потерь личного состава.

Непосредственная защита достигается строительством загубленных сооружений, а также убежищ и укрытий для личного состава. Последнее является одним из важнейших инженерно-технических мероприятий по гражданской обороне и защиты войск.

Пожарная профилактика и охрана объектов ТК в военное время возлагается на систему ГО железных и автомобильных дорог и прилегающих районов. Пожарная охрана строительно-восстановительных формирований осуществляется под руководством их начальников силами нештатных команд. Вместе с тем, необходимо организовывать подготовку всего личного состава каждого формирования к локализации и тушению пожаров.

Санитарно-эпидемические мероприятия, предотвращающие возникновение и распространение заболеваний, проводятся врачебно-санитарными службами железных и автомобильных дорог и прилегающих районов, а также медицинскими службами воинских частей.

Таким образом, в результате правильного прогнозирования вероятного характера воздействия противника на объекты ТК страны позволит организовать выполнение в полном объеме комплекса мероприятий по повышению живучести их, тем самым они обеспечат в особый период способность к выполнению заданных перевозок.

УДК 625.745.2:504

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ СТРУКТУР

В. В. МАРИНИЧ, А. В. ТОКАРЕВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Интенсивное строительство водопропускных транспортных сооружений из гофрированного металла приводит к необходимости уделять внимание

вопросам охраны окружающей среды на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации таких сооружений. Это обусловлено тем, что искусственные водопропускные сооружения из сборных металлических гофрированных структур (далее – СМГС) влияют на водные объекты, почву, биосферу, сохранение ландшафта [1].

При проектировании водопропускных сооружений из СМГС на автомобильных дорогах необходимо учитывать работы по строительству водопропускных труб, технической рекультивации земель придорожной полосы, а также работы биологического этапа рекультивации.

Основными негативными последствиями воздействия на окружающую среду вследствие строительства водопропускных труб из СМГС являются:

- эрозия земель за счет концентрации водных потоков искусственными сооружениями, кюветами и канавами;
- изменение условий формирования поверхностного стока;
- нарушение гидрологического режима реки, изменение береговой линии и сечения водотока, активизация русловых процессов при строительстве сооружения;
- загрязнение атмосферного воздуха автомобильным транспортом;
- загрязнение грунтов и вод маслами, топливом автомобилей и дорожно-строительных машин на строительных площадках;
- загрязнение территории вблизи временных баз строительным мусором и бытовыми отходами.

Водопропускные сооружения из СМГС проектируют на работу в благоприятном безнапорном режиме, поэтому предусматриваемое проектом укрепление входного и выходного лотков металлических гофрированных труб габионными конструкциями или камнем позволяет исключить образование размывов. Обычно при производстве работ естественные уклоны местности и рельеф не нарушают и сброс поверхностного стока в пониженные места не вызывает их заболачивания.

Конструкции из СМГС обладают определенной эстетической привлекательностью и довольно органично вписываются в природный ландшафт. При эксплуатации они совместимы с геотекстилем, габионами и георешетками [2]. Это позволяет минимизировать негативное воздействие на экосистему в месте проведения работ и при последующей эксплуатации сооружения, что во многих случаях является единственным решением проблемы сохранения экологического баланса в природе.

Вопросы охраны окружающей среды имеют свою специфику в период подготовки к строительству водопропускных переходов из СМГС, при сооружении объекта и при его эксплуатации.

Выполнение работ по подготовке территории к строительству искусственного сооружения необходимо сопровождать следующими природоохранными мероприятиями:

- все временные здания и сооружения размещают на специальной строительной площадке за пределами водоохранной зоны;
- вводится запрет на заглубленные в грунт фундаменты, нарушающие существующий растительный слой грунта;
- все стационарные строительные механизмы, работа которых обеспечивается двигателями внутреннего сгорания, устанавливают на металлические поддоны для сбора масла, конденсата и дизельного топлива;
- периодически очищают поддоны в специальные емкости, а их содержимое в установленном порядке отправляют на утилизацию;
- производят срезку и складирование растительного слоя грунта, попадающего в зону работ, для его дальнейшего использования при рекультивации;
- места складирования горюче-смазочных материалов покрывают железобетонными плитами, исключаяющими их попадание в почву при заправке строительной техники.

В период реконструкции моста необходимо исключить загрязнение водотока, для чего следует предусмотреть очистку русла от случайно попавших материалов и конструкций старого моста при его разборке.

В основной период строительства осуществляются следующие мероприятия по охране окружающей среды:

- сбор отработанных горюче-смазочных материалов в специальные закрытые емкости, исключаяющие их попадание в грунт;
- уборка строительного мусора и вывоз его по мере накопления в специально отведенные отвалы;
- применение на всех видах работ технически исправных машин и механизмов;
- передвижение машин и механизмов только по временным проездам с покрытием из железобетонных плит, исключаяющих повреждение растительного слоя грунта;
- полив в сухое время года отсыпаемой насыпи для уменьшения пылеобразования.

После окончания строительства искусственного сооружения все временные здания и постройки должны быть демонтированы и убраны, а временно занимаемые ими площади приведены в первоначальное состояние. Для этого проводятся их рекультивация и благоустройство.

Чтобы избежать загрязнения грунтов и вод маслами, топливом автомобилей и дорожно-строительных машин, машины и оборудование должны находиться на объекте только в период выполнения строительных работ. Их параметры в части отработанных газов, шума, вибрации должны соответствовать установленным стандартам и техническим условиям предприятия-изготовителя.

В проектной документации должны быть предусмотрены ликвидационные работы после завершения строительства водопропускных сооружений из СМГС, а именно:

– удаление из русла рек островков, отсыпанных во время сооружения фундамента;

– очистка русла водотока от загромождающих его предметов, извлечение и вывозка свай, подмостей и временных опор;

– разборка и вывоз временных сооружений со строительной площадки, планировка и рекультивация земель, занятых под строительную технику, монтажные площадки, карьеры и временную подъездную дорогу, для дальнейшего их использования по назначению.

Водопропускные сооружения обеспечивают не только пропуск воды и переносимого водой материала, но и круглогодичную миграцию рыб на любой стадии их развития вверх и вниз по течению.

В условиях усиливающегося экологического воздействия транспортных сооружений на окружающую природную и социальную среду на всех этапах жизненного цикла водопропускных переходов из металлических гофрированных структур первостепенное значение приобретает современный системно-целевой подход при формализации видов воздействия СМГС. Экологически ориентированное проектирование, строительство и эксплуатация позволяют разработать новые подходы к решению этих проблем, установить объем, сроки и средства инженерной защиты окружающей среды при одновременном решении проблем безопасности таких сооружений.

Список литературы

1 Алтунин, В. И. Водопропускные трубы в транспортном строительстве. Гидравлическая работа труб из металлических гофрированных структур / В. И. Алтунин, О. Н. Черных, М. В. Федотов. – М. : МАДИ, 2012.

2 Черных, О. Н. Обобщение опыта строительства дорожных гофротруб из металла / О. Н. Черных, В. И. Алтунин, М. В. Федотов // Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства. Ч. II. – М. : МГУП, 2010.

УДК 625.8:624.21/8

УСТРОЙСТВО ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, П. А. КАЦУБО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На покрытиях мостов в большинстве случаев используются технологии, применяемые для устройства шероховатых поверхностных слоев автомобильных дорог. Однако в последнее время этому вопросу стало уделяться большее внимание.

Например, создание эффективных противоскользящих покрытий для разводных пролетов мостов представляет собой серьезную техническую проблему, специфическую не только для г. Санкт-Петербурга с его большим количеством мостов и особыми климатическими условиями. В качестве исходных компонентов для создания износостойких противоскользящих покрытий выбирают эпоксидные смолы, битумы, а также модифицированное сланцевое масло. Разработаны аминные отверждающие компоненты, обеспечивающие необходимые эксплуатационные свойства покрытий. Исследовано влияние гибкоцепных олигомерных фрагментов молекул эпоксидных смол на релаксационные характеристики синтезируемого покрытия [1].

Исследования литого асфальтобетона, как объекта новой конструктивно-технологической природы, проходят уже на протяжении последних сорока лет. В настоящее время наиболее известны разработки Ю. Э. Васильева (МАДИ-ГТУ), касающиеся технологии приготовления литой асфальтобетонной смеси с применением серы (капитальный ремонт автодорожного моста в Крылатском в г. Москве), М. С. Мелика-Багдасарова – для литых виброуплотняемых асфальтобетонных смесей, применяемых при ямочном ремонте в г. Москве, использования литых асфальтобетонных смесей на мостах в г. Санкт-Петербурге и при проведении ремонтных работ на автомобильных дорогах в ФУАД «Большая Волга», а также методические рекомендации И. Д. Сахаровой (Союздорнии), «Рекомендации по применению литого асфальтобетона на мостовом переходе через р. Волгу в Саратовской области» (И. Г. Овчинников, В. Н. Макаров, О. Н. Распоров).

Интересен опыт капитального ремонта автодорожного моста в Крылатском в г. Москве, который был произведен в декабре 2002 г. при температуре от -20° до -26°C . Литая серная асфальтобетонная смесь была уложена в два слоя. В настоящее время можно отметить хорошую приживаемость материала к металлическому пролетному строению, устойчивость литого асфальтобетона к трещино- и колееобразованию в условиях повышенной интенсивности движения транспортных средств и особенностей облегченной конструкции пролетного строения.

Фактически литой асфальтобетон является строительным материалом нового поколения, физико-механические характеристики которого не соответствуют государственным стандартам на традиционный асфальтобетон и должны иметь собственные нормативы как на особый дорожно-строительный материал – асфальтобетон с обеспеченными литыми свойствами.

Следует отметить, что стоимость литых асфальтобетонных смесей, применяемых в ФУАД «Большая Волга», и литых серных асфальтобетонных смесей наиболее низкая. Стоимость литых асфальтобетонных смесей с применением полимерно-битумных вяжущих на 15–50 % дороже стоимости традиционных асфальтобетонных смесей. Типовым приемом существенного

удешевления стоимости дорожной одежды служит использование в качестве нижнего слоя покрытия традиционного асфальтобетона с устройством верхнего слоя покрытия из литой асфальтобетонной смеси.

Интересен опыт применения литой асфальтобетонной смеси на основе полимерно-битумного вяжущего для устройства конструкции дорожной одежды первой очереди мостового перехода через р. Волгу у с. Пристанного в Саратовской области [2].

Длина наибольшего мостового сооружения составила около 2 км с температурными деформациями пролетного строения до 1 м. Необходимо было учесть обычное для Саратовской области количество переходов через температурный «ноль» – около 60 (до 100), а также диапазон температуры окружающего воздуха для последнего десятилетия от -40° до $+40^{\circ}$ C и выше. Расчетная интенсивность движения составила 14 тыс. авт./сут.

За основу было взято техническое решение фирмы Lemminkainen (Финляндия) – состав литой асфальтобетонной смеси и конструкция дорожной одежды мостового полотна. Проведенное технико-экономическое обоснование с учетом проектной интенсивности движения показало положительный результат расчета инвестиций проекта именно для этого решения.

При приготовлении литой асфальтобетонной смеси использовались местный песок, карельский габбро-диабаз и битум Саратовского НПЗ.

Технологические работы выполнялись специалистами финской фирмы Lemminkainen с российскими дублерами, которые в дальнейшем работы по укладке литой асфальтобетонной смеси осуществляли самостоятельно. При работе использовались длиннобазовые регулируемые распределители щебня и литой асфальтобетонной смеси фирмы Linnboff (ФРГ).

Особенностями литого асфальтобетона на основе полимерно-битумных вяжущих являются отсутствие необходимости в уплотнении (плотность равна 1), высокая сопротивляемость трещино- и колееобразованию, высокоциклическим нагрузкам, сдвиго- и морозоустойчивость, прекрасная совместимость с температурными деформациями мостовых металлических пролетов. Литой асфальтобетон органичен в работе с другими видами конструктивных элементов дорожной одежды мостового полотна: обычным асфальтобетоном, гидроизоляцией, деформационными швами, из него наилучшим образом устраиваются направляющие водосточных элементов. Свойства материала и технологии обеспечивают условия удаления воды с поверхности, а также требуемое сцепление колес транспортных средств с дорожным покрытием.

Полимерно-битумное вяжущее на основе СБС-полимера (кратон) обладает устойчивой высокомолекулярной структурой, великолепно связывает битум даже не самого высокого качества и исключает его вытапливание и избыточное образование на поверхности дорожного полотна, имеет хорошие адгезионные свойства по отношению к выбранному путем эксперимен-

тальных исследований каменному материалу – карельскому щебню из габбро-диабазы.

Применение литого асфальтобетона на основе полимерно-битумных вяжущих на мостовых сооружениях регламентировано рекомендациями по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью [2].

Устройства дополнительного слоя шероховатой поверхностной обработки не предполагается. Для обеспечения требуемой шероховатости покрытия рекомендуются распределение на поверхностном слое щебня размером зерен 15–20 мм и его последующая прикатка.

По результатам шестилетней эксплуатации конструкции дорожной одежды мостового перехода через р. Волгу у с. Пристанного в Саратовской области получены следующие результаты.

1 Сохранение требуемых значений коэффициента сцепления.

2 Отсутствие трещин, выкрашиваний, вспучиваний поверхности покрытия.

3 Хорошие условия стока воды, структура материала препятствуют возникновению гололеда за счет упругости материала и механического разрушения пленки гололеда при движении транспортных средств.

4 Минимальные затраты эксплуатационных служб на содержание.

5 Подтверждена высокая водонепроницаемость материала и конструкции.

6 Отсутствие трещин в стыках сопряжений с другими конструктивными элементами.

7 Уменьшение шумообразования.

8 Хорошая адгезия покрытия с материалами дорожной разметки.

9 Отсутствие каких-либо проявлений возможного пережога битума при указанных температурах приготовления смеси.

10 Высокая личная оценка участников дорожного движения при движении по мостовому переходу.

Данный результат получен при условии обеспечения высокой температуры приготовления литой асфальтобетонной смеси (более 200 °С) в течение 4 ч без применения минерального масла.

Список литературы

1 **Матвеев, Г. В.** Износостойкие противоскользкие покрытия для разводных пролетов мостов / Г. В. Матвеев, П. Ю. Нестерюк, Г. И. Николаев // Защитные композиционные материалы и технологии третьего тысячелетия : тез. докл. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : ПГУПС, 2001.

2 Устройство конструкций дорожной одежды мостового полотна с использованием литого асфальтобетона на основе полимерно-битумных вяжущих / В. Н. Макаров [и др.] // Дороги России XXI века. – 2004. – № 4.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ
В РАМКАХ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЪЕЗДНОГО ПУТИ
«ПЕТРИКОВСКИЙ ГОК»**

*В. В. РОМАНЕНКО, М. А. ПОСУДНЕВСКИЙ, В. Ф. КАЧАН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Для разработки Петриковского месторождения калийных солей производится возведение подъездного пути «Петриковский горно-обогатительный комплекс» (ГОК), с реконструкцией станции Муляровка.

Проектирование земляного полотна по подъездному пути обусловлено трассой прохождения подъездного железнодорожного пути, рельефом местности, отметкой головки рельса в точке примыкания, отметкой проезжей части автомобильной дороги в месте пересечения ее железнодорожным подъездным путем, отметками головки рельса на проектируемых искусственных сооружениях и т. п.

При организации водоотвода от земляного полотна проектируемого железнодорожного пути и автодороги в пониженные места, с выпуском воды на рельеф местности, а также в местах пересечения проектируемого пути с существующими канавами и ложбинами, проектом строительства предусматривается строительство новых искусственных сооружений.

Для пропуска воды через железнодорожную насыпь при пересечении русла р. Бобрик возводится металлический железобетонный мост, а также предусмотрена укладка водопропускных железобетонных труб: по ст. Муляровка отверстием 1,5 м, по подъездному пути отверстием 1,0 м, по внутриплощадочным путям комплекса отверстием 1,50 м.

Требования экологической безопасности при строительстве и охране окружающей среды включают комплекс мероприятий по предотвращению негативного влияния проектируемых объектов железнодорожного транспорта на экосистему, снижения нагрузки до уровня, регламентируемого нормативными документами по охране окружающей среды, создания благоприятных условий для работы и жизни людей и рационального использования природных ресурсов.

Выполняемые работы по объекту «Петриковский горно-обогатительный комплекс» требуют установления на этапе производства работ жесткого регламента строительства, учитывающего следующие основные положения:

1 Растительный грунт у основания насыпей (выемок), в местах его залегания, срезается с перемещением во временные отвалы для хранения с последующим использованием для рекультивации земель.

2 Строительные, технологические площадки и рабочие проезды выкладываются железобетонными плитами.

3 Обеспечение требований положений о водоохраных зонах водных объектов и их прибрежных полосах, в частности запрещения складирования строительного мусора в пределах границ водоохраных зон, а также запрещение в их пределах заправки топливом, мойки и ремонта автомобилей.

4 Машины и механизмы, работающие на двигателях внутреннего сгорания, устанавливаются на металлические поддоны для сбора масла, конденсата и дизтоплива.

5 Поддоны периодически очищаются в специальные емкости с последующим вывозом на свалку для захоронения.

6 Заправка машин и механизмов производится вне пределов строительных площадок.

7 Для уменьшения выбросов и шума при производстве работ максимально снижается доля машин и механизмов с двигателями внутреннего сгорания за счёт более широкого использования электрооборудования. Применение только технически исправной техники с отрегулированной топливной аппаратурой, обеспечивающей минимальное количество возможных выброс углеводородных соединений, а также применение новой техники, более совершенной в экологическом отношении.

8 Перемещение или временное хранение пылящих инертных строительных материалов осуществляется с обязательным покрытием их брезентом или поливом водой, а при небольших объёмах – в упаковке, ящиках или контейнерах.

9 Наличие металлических контейнеров, устанавливаемых на территории строительных площадок, для сбора бытовых отходов, мусор из которых вывозится централизованно на полигон ТБО.

Все работы повышенной опасности и работы во вредных условиях должны выполняться в соответствии со специальными инструкциями, разрабатываемыми на стадии составления проектов производства работ.

Станция Муляровка Белорусской железной дороги расположена на участке Калинковичи – Лунинец, а также сам участок Калинковичи – Лунинец – не электрифицированы. Поэтому основным источником загрязнения воздушного бассейна является работающий двигатель локомотива, осуществляющего доставку порожних вагонов на Петриковский горно-обогатительный комплекс и вывоз груженых вагонов на ст. Муляровка.

К мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу относятся:

– контроль работы двигателя маневрового локомотива, выполняющего маневровые операции на промышленной станции, в период вынужденного простоя или технического перерыва в работе. Стоянка локомотива в эти периоды разрешается только при неработающем двигателе;

- обеспечение профилактического ремонта двигателя локомотива, прохождение планового ТО в месте его постоянной дислокации;
- регулярное проведение работ по контролю токсичности отработанных газов локомотива;
- применение закрытой транспортировки грузов, связанных с загрязнением атмосферы;
- контроль технической исправности подвижного состава;
- применение на территории горно-обогатительного комплекса маневровых лебедок с электродвигателем для протаскивания вагонов на погрузочных фронтах;
- увязка графика движения поездов общей сети УП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги» с целью исключения перепробега локомотивов.

УДК 625.17+624.19/.8:625.1

РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В. В. РОМАНЕНКО, В. Ф. КАЧАН, Д. В. ТУРЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Безопасность движения поездов на Белорусской железной дороге является ключевым параметром оценки работы железнодорожного транспорта в целом, а, следовательно, предполагает регламентированный контроль за состоянием объектов инфраструктуры, а в первую очередь – железнодорожного пути и искусственных сооружений.

Все объекты железнодорожной инфраструктуры при осуществлении своей деятельности неизбежно подвергаются различным рискам, которые оцениваются как сочетание вероятности возникновения различных неисправностей, в том числе и в путевом хозяйстве, что в свою очередь приведет к нежелательным последствиям, связанным со снижением энергосберегающих показателей.

Контроль за состоянием объектов инфраструктуры – это непрерывный процесс, при реализации которого определяется актуальное состояние элементов железнодорожной инфраструктуры, а также изменение этого состояния во времени. В созданный в 2017 году Центр диагностики объектов инфраструктуры государственного объединения «Белорусская железная дорога», являющийся его обособленным структурным подразделением (филиалом), входят следующие структурные подразделения, не выделенные на отдель-

ный баланс: отдел путевых измерений, дорожная лаборатория дефектоскопии, дорожная мостоиспытательная станция, дорожная габаритообследовательская станция, группа по обследованию и диагностике земляного полотна, вагоны-путеизмерители, вагоны-дефектоскопы.

Основным фактором, позволяющим принимать правильные решения по содержанию и ремонту хозяйств инфраструктуры, исходя из фактического состояния, является интегрированная система диагностики технического состояния железнодорожной инфраструктуры в целом.

Для прогнозирования изменения состояния пути во времени необходимо внедрение экспертных информационных систем, которые должны представлять комплексную картину состояния отдельных подсистем и целого комплекса инфраструктуры дороги. Переход на преимущественное использование современных мобильных средств диагностики и контроля, а также снижение периодичности контроля, наряду с применением комплексной оценки состояния пути и внедрением автоматизированных средств съема и обработки данных (например, АСКДИ «Эксперт»), позволяет повысить производительность процесса диагностики, достоверность конечных результатов в принятии правильных управленческих решений, которые позволяют применять ресурсосберегающие и энергосберегающие технологии.

Одним из новейших средств, внедренных на Белорусской железной дороге с марта 2020 года, является диагностический комплекс инфраструктуры (ДКИ) разработки АО НПЦ ИНФОТРАНС, который позволяет контролировать более 100 параметров следующими системами:

- непрерывного бесконтактного измерения геометрических параметров рельсовой колеи;

- обзорного видеонаблюдения за состоянием объектов инфраструктуры;
- пространственного сканирования;
- скоростного видеоконтроля верхнего строения пути;
- георадиолокационного зондирования земляного полотна;
- координатной привязки и синхронизации диагностических систем и т. д.

На Белорусской железной дороге в постоянной эксплуатации находятся 44 больших и 343 средних мостов. Текущее наблюдение за состоянием искусственных сооружений осуществляется всеми дистанциями пути. Периодические и внеплановые обследования проводит Дорожная мостоиспытательная станция Центра диагностики инфраструктуры.

Ввиду постоянной динамической нагрузки от подвижного состава на путь и искусственные сооружения в этих объектах постоянно возникают расстройства. На скоростных направлениях, особенно рассчитанных на низкие классы нагрузок, требуется разрабатывать и внедрять систему постоянного наблюдения (мониторинга) для оценки безопасности движения поездов. Необходим комплексный подход, обеспечивающий возможность своевременно и достаточно точно контролировать, определять состояние техни-

ческих объектов в любой момент времени, а в случае необходимости назначать и заблаговременно планировать требуемые ремонты. Таким образом, обеспечивается возможность перехода к адресному планированию и проведению ремонтных работ различного уровня на основе фактического состояния инфраструктуры и прогноза его изменений с высокой степенью достоверности.

Для обеспечения комплексного выполнения всех работ, связанных с определением технического состояния искусственных сооружений в условиях повышения поездной нагрузки и скоростей движения ЦДИ, приобретена система сбора данных SomatXR, применяемая для определения действительной работы элементов мостов под испытательной нагрузкой, установления фактической грузоподъемности моста и условий обращения по нему различных нагрузок в комплекте.

В настоящее время дорожной габаритобследовательской станцией все измерения габаритов и обработка данных выполняются вручную. При выполнении измерений габаритов приближения строения и междупутных расстояний специалистами применяются обычные измерительные инструменты и приспособления (рулетки, мерные рейки, отвесы, шесты), а также специальные инструменты (лазерные рулетки-дальномеры).

При помощи системы скоростного трехмерного сканирования, которой оборудован ДКИ, появилась возможность производить измерения габаритов приближения строений и междупутий с высокой точностью. Это позволит обеспечить регулярную скоростную диагностику габаритного состояния объектов инфраструктуры. В основе системы лежит лазерный сканер, работающий по принципу измерения фазового сдвига.

Скоростная система сканирования сможет круглогодично производить измерения объектов инфраструктуры на скоростях до 140 км/ч с шагом между измерениями не более 0,2 м.

Применение современных диагностических средств, оснащенных новейшим оборудованием и специализированным программным обеспечением позволит осуществлять качественные регулярные проверки габарита, которые со временем эффективно смогут заменить ручные измерения параметров, повышая тем самым безопасность эксплуатации участка и снижая издержки на диагностику, что относится к основным задачам, которые могут обеспечить в ближайшей перспективе снижение эксплуатационных затрат при сохранении существующего уровня безопасности.

МАСКИРОВКА ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ 4-ОСНЫХ ПЛАТФОРМАХ

*А. А. РУДЧЕНКО, Е. В. ВИНИЧЕНКО, М. С. ШИЛКИН,
Д. С. РУЛЕВ, М. А. ЗЕЗЮЛИН*

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При современных средствах и возможностях вероятного противника по разведке, снижение вероятности обнаружения вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ), может быть обеспечено только при комплексном использовании различных средств и способов маскировки.

Маскировка – комплекс мероприятий, направленных на скрытие от противника войск и объектов и на введение его в заблуждение относительно наличия, расположения, состава, состояния, действий и намерений войск.

Маскировка достигается:

- 1) сохранением сведений, составляющих государственную тайну;
- 2) скрытым размещением и перемещением войск и объектов с использованием маскирующих свойств местности и условий ограниченной видимости;
- 3) применением табельных средств маскировки, местных материалов, дымов и аэрозолей;
- 4) маскировочным окрашиванием вооружения, техники, объектов;
- 5) демонстративными действиями;
- 6) созданием ложных районов расположения войск, позиций и объектов;
- 7) применением других приемов и средств маскировки от всех видов разведки противника;
- 8) строжайшим выполнением требований маскировочной дисциплины.

Маскировка проводится подразделениями, частями и соединениями в ходе подготовки и ведения боевых действий, при выполнении специальных заданий командования, при подготовке и проведении учений с войсками, а также при несении боевого дежурства частями и соединениями постоянной боевой готовности.

Объектами маскировки являются:

- 1) личный состав, техника и вооружение подразделений;
- 2) используемые войсками и создаваемые вновь фортификационные сооружения, позиции, пункты управления, заграждения, переправы, аэродромы, трубопроводы, запасы материальных средств и другие объекты, а также особо важные ориентиры в районе маскируемых объектов.

Основными демаскирующими признаками ВВСТ являются:

- 1) характерная форма, размеры, тени;
- 2) отражение радиоволн, тепловое излучение;
- 3) следы движения и деятельности, пыль, выхлопные газы;
- 4) шум работающих двигателей, звук при стрельбе;
- 5) свет фар, сигнальных огней, вспышки при выстрелах;
- 6) блики стекол, округлых и гладких металлических поверхностей;
- 7) определенное взаимное расположение на марше, в районах сосредоточения, на позициях и в боевых порядках.

Маскировка военной техники и вооружения достигается:

- 1) использованием при передвижениях и расположении скрывающих и видовых свойств местности;
- 2) использованием условий ограниченной видимости;
- 3) применением местных маскировочных материалов, табельных средств скрывать и имитации;
- 4) маскировочным окрашиванием.

Маскировка перевозок военной техники и вооружения по железным дорогам достигается погрузкой и выгрузкой их в тёмное время суток или в других условиях ограниченной видимости, скрыванием техники в районах сосредоточения и погрузки, а также на железнодорожных платформах.

Техника и вооружение, сосредоточенные в районах погрузки, располагаются в естественных масках. Погрузка ночью производится с соблюдением требований маскировки.

Установленная на железнодорожных платформах техника маскируется брезентами или табельными маскировочными комплектами, закрепленными на каркасах, искажающих размеры и внешний вид техники. В пути организуется постоянное наблюдение за состоянием маскировочных конструкций и своевременное устранение обнаруженных недостатков.

Опыт маскировки ВВСТ под лесовозы для автомобильного транспорта был реализован на совместном учении тыла Вооруженных Сил Республики Беларусь с подразделениями тыла Российской Федерации (рисунок 1).



Рисунок 1 – Маскировка автоцистерны под лесовозы

Рассмотренный в докладе вариант маскировки ВВСТ на железнодорожных платформах – маскировка под перевозимую деловую древесину представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Железнодорожная платформа, загруженная деловой древесиной

Для этих целей был изготовлен макет «Маскировка железнодорожной платформы под деловую древесину». Исходя из опыта при изготовлении макета можно спрогнозировать габаритные размеры внутренней части для скрытного перемещения ВВСТ (рисунок 3).



Рисунок 3 – Габаритные размеры внутренней части для скрытного перемещения ВВСТ

В заключение стоит отметить, что «маскирующий колпак» под вид деловой древесины может изготавливаться из различных материалов (древесина, полимерные материалы), при помощи грузоподъемного крана быстро устанавливается на железнодорожные платформы с закрепленными на них ВВСТ. Данный вид маскировки на 99 % маскирует ВВСТ на железнодорожных платформах.

Безусловно, маскировка является очень важным мероприятием не только в условиях современного боя, успех в котором зависит от того, кто первым обнаружит противника и его ВВСТ, но и при подготовке и проведении военных операций, а также в повседневной деятельности Вооруженных Сил.

Список литературы

1 Боевой устав Сухопутных войск. Ч. II. Батальон, рота. – Бобруйск : МО РБ, 2010. – 431 с.

2 О некоторых мерах по совершенствованию транспортного обеспечения Вооружённых Сил, других войск и воинских формирований Республики Беларусь : указ Президента Республики Беларусь № 312 от 11.05.2006.

3 **Королёв, А. Ю.** Маскировка вооружения, техники и объектов / А. Ю. Королёв, А. А. Королёва, А. Д. Яковлев. – СПб. : ИТМО, 2015. – 155 с.

УДК 625.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

В. В. ТОМАШОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Развитие информационных и коммуникационных технологий открыло новые возможности для решения сложных транспортных проблем, с которыми сталкивается современный мир. Решение было найдено в создании уже не систем управления транспортом, а транспортных систем, в которых средства связи, управления и контроля изначально встроены в транспортные средства и объекты инфраструктуры, а возможности управления (принятия решений) на основе получаемой в реальном времени информации, в таких системах доступны не только транспортным операторам, но и всем пользователям транспорта. Задача решается путем построения интегрированной системы: люди – транспортная инфраструктура – транспортные средства, с максимальным использованием новейших информационно-управляющих технологий.

Наблюдается активный процесс формирования и развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в транспортном секторе экономики,

который уже привел к очевидному улучшению работы всех видов транспорта во всех странах, где этому уделялось должное внимание.

В странах – участниках Европейского соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов предусмотрено обязательное проведение мониторинга перевозок опасных грузов. Мониторинг осуществляется с помощью комплексной информационно-аналитической системы контроля транспортных средств (КИАСК-ТС), реализованной на основе спутниковых навигационных технологий ГЛОНАСС/GPS.

Функциональная архитектура сервиса предусматривает контроль перевозок опасных грузов, в том числе их отслеживание и классификацию, уведомление об аварии с опасными грузами, передачу информации об авариях и нарушениях порядка перевозки опасных грузов всем заинтересованным организациям, отслеживание местоположения транспортного средства, перевозящего опасный груз, обнаружение его отклонения от запланированного маршрута, идентификацию входа ТС в чувствительные географические области (например зоны, в которых перевозка опасных грузов запрещена), аутентификация водителя с деактивацией транспортного средства при попытке управления ТС неправомочным водителем.

Система мониторинга включает:

- бортовые устройства, обеспечивающие навигацию ТС с помощью ГНСС, связь с автоматизированными центрами контроля и надзора по каналам сотовой и, возможно, спутниковой связи (с низкоорбитальными спутниками) и передачу в АЦКН информации о местоположении и состоянии ТС, вводимой водителем и формируемой автоматически;

- автоматизированные центры контроля и надзора, осуществляющие мониторинг перевозок опасных грузов.

Включение в состав бортового устройства, средство спутниковой связи необходимо для обеспечения мониторинга в зонах, где отсутствует сотовая связь. Сообщение с бортового устройства о перевозке опасного груза должно включать следующий набор мониторинговой информации:

- идентификационный номер бортового устройства;
- географическую широту местоположения транспортного средства;
- географическую долготу местоположения транспортного средства;
- скорость движения транспортного средства;
- путевой угол транспортного средства;
- время и дату фиксации местоположения транспортного средства;
- признак нажатия тревожной кнопки.

Кроме того, необходимо обеспечить возможность передачи следующих данных о перевозке опасных грузов:

- состояние ТС («Перевозка опасного груза», «Разгрузка», «Нет опасного груза»);
- номер специального разрешения, в соответствии с которым осуществляется перевозка;
- номер (номера) ООН перевозимого (перевозимых) грузов;

– данные о количестве груза на борту ТС.

Получив указанную информацию, контролирующие органы имеют возможность определить государственный регистрационный номер, модель, марку и принадлежность ТС, вид перевозимого груза (грузов), разрешённый маршрут движения. При этом возможен контроль наличия специального разрешения для данного ТС, вида груза и маршрута. В ходе перевозки они получают мониторинговую информацию, которая может использоваться для автоматического контроля соблюдения разрешённого маршрута перевозки, а при отклонении от него на величину, большую заданной, – для выдачи тревожного сообщения оператору и на линейные посты транспортного надзора.

Для опасных грузов в упаковках целесообразно предусмотреть нанесение на каждую упаковку RFID-меток, содержащих признак опасного груза и его номер ООН. Для сбора информации с RFID-меток ТС должно быть оснащено считывателями, зоны действия которых полностью перекрывают внутренний объём кузова ТС. Если конструкция кузова предусматривает возможность его закрытия и запираения, на запорное устройство целесообразно поместить «электронную пломбу» – приспособление, выдающее сигнал при попытке его несанкционированного вскрытия.

При перевозке опасных грузов навалом/насыпью представляется целесообразным использовать датчики нагрузки на оси. Существуют разновидности датчиков для автомобилей с рессорной подвеской и с пневмоподвеской. Аналогичные датчики нагрузок могут устанавливаться и на тележки железнодорожного подвижного состава.

Проведенный анализ существующих интеллектуальных транспортных систем, применяемых во время перевозки опасных грузов, дает возможность сделать однозначный вывод, что усовершенствование ИТС еще впереди. Главным направлением усовершенствования будет разработка стандартов на телематические системы, что позволит использовать оборудование разных поставщиков в едином информационном пространстве.

УДК 625.42:625.14

КОНСТРУКЦИЯ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

С. С. ЧУДНОВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На линиях метрополитенов для укладки верхнего строения пути, как правило, применяют бетонное основание и только на некоторых участках – балластное. Достоинством пути на бетонном основании является возможность содержать весь тоннель в чистоте. Недостатком такого пути является

его жесткость, ухудшающая условия работы подвижного состава. Установка пути на бетонном основании, по стоимости устройства, обходится дороже, чем на балластном.

Путь на балластном основании быстро загрязняется смазочным маслом и металлической пылью от истирания рельсов, колесных бандажей и тормозных колодок. Очистка же балластного основания затруднительна. Поэтому такой путь применяют только на участках линий метрополитенов, проходящих по поверхности, а также в местах расположения перекрестных съездов и стрелочных переводов, т. е. там, где удобно проводить ремонтные работы.

Рельсы укладывают обычно на сосновые, железобетонные и на некоторых экспериментальных участках используют шпалы из термопласткомпозитного материала. Шпалы для перегонных тоннелей метрополитенов имеют обычную длину 2700 мм, на станциях применяют шпалы-коротыши длиной 900 мм, укладываемые отдельно под каждый рельс.

Рельсы прикрепляют к шпалам следующими типами отдельных креплений:

– в пути на бетоне – «Метро» (рисунок 1);

– в пути на щебне с железобетонными шпалами – КБ с жесткой клеммой (рисунок 2).

Подкладки «Метро» с высокой и лапчатой ребордами крепятся к деревянной шпале четырьмя шурупами. Под подкладку укладывают нащпальную прокладку из древесной фанеры или полимера, а под подошву рельса укладывают двухзубую прокладку.

Подкладки типа «Метро» разрешается укладывать со смещением относительно продольной оси шпалы к одной из ее боковых поверхностей.

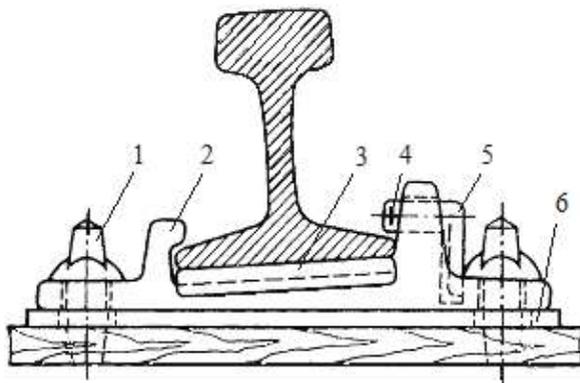


Рисунок 1 – Раздельное промежуточное крепление типа «Метро»:

- 1 – путевой шуруп; 2 – подкладка; 3 – прокладка под рельс; 4 – шплинт;
5 – маятниковый штырь; 6 – прокладка под подкладку

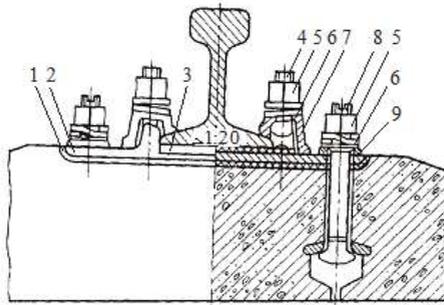


Рисунок 2 – Раздельное промежуточное крепление типа КБ:

- 1 – резиновая прокладка под подкладкой; 2 – подкладка; 3 – прокладка под рельс;
 4 – клеммный болт; 5 – гайка; 6 – двухвитковая шайба; 7 – клемма;
 8 – закладной болт; 9 – изолирующая втулка

Подкладка КБ 50 или КБ 65 клеммно-болтового крепления КБ крепится к железобетонной шпале двумя закладными болтами, вставленными с поворотом на 90° в металлические удерживающие шайбы. Маркирующая канавка (шлиц), сделанная в торце стержня закладного болта, располагается вдоль оси пути. Под подкладку на шпалу укладывают электроизолирующую прокладку. На закладные болты надевают изолирующие втулки, скобы для изолирующих втулок, двухвитковые шайбы и гайки, которые наворачивают до тех пор, пока верхняя ветвь клеммы не придет в соприкосновение с подошвой рельса.

В подкладках раздельного типа рельсы прикрепляются на каждом конце шпалы двумя жесткими или пружинными клеммами и клеммными болтами. Между подошвой рельса и подкладкой укладывают амортизирующую прокладку. Прокладки позволяют регулировать положение рельса по уровню. Суммарная толщина прокладок под подошвой рельса не должна превышать 14 мм, по количеству их должно быть не более двух.

Для предотвращения ослабления затяжки клеммных болтов жесткие клеммы должны быть, как правило, прижаты к внутренним поверхностям реборд подкладок.

Подкладки крепления КБ должны располагаться на шпалах так, чтобы реборды с буртиком (базовая реборда) находились снаружи колеи. Гайки клеммных болтов затягивают усилием, соответствующим крутящему моменту $150 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($15 \text{ кгс}\cdot\text{м}$), закладных болтов – $120 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($12 \text{ кгс}\cdot\text{м}$), шурупы – не менее $250 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ($25 \text{ кгс}\cdot\text{м}$).

В кривых радиусом 400 м и менее в пути на бетоне по наружной нити главных путей через шпалу при необходимости укладываются удлиненные шести- или восьмидырные подкладки, кроме шпал, на которых устанавли-

вают кронштейны. На стыковых и предстыковых шпалах также укладывают удлиненные подкладки.

В кривых радиусом 300 м и менее в пути на щебне по наружной нити главных путей через шпалу должны укладываться удлиненные шести- или восьмидырные подкладки, кроме шпал, на которых устанавливаются кронштейны. На стыковых и предстыковых шпалах также укладывают удлиненные подкладки. В кривых радиусом 300 м и менее в пути на щебне вместо удлиненных подкладок временно допускается устанавливать рельсовые упорки.

Для усиления пути в кривых радиусом более 400 м, в зависимости от условий эксплуатации, разрешается устанавливать 6- или 8-дырные подкладки не реже чем через две шпалы по наружной нити кривой.

Для изготовления усиленной подкладки допускается приварка стальных пластин усиления с заранее просверленными отверстиями для путевых шурупов к существующим типовым четырехдырным подкладкам типа «Метро» с наружной стороны для получения 6-дырной подкладки или с наружной и внутренней для получения 8-дырной подкладки.

Подошва рельса должна плотно прилегать к подкладкам или подрельсовым прокладкам по всей площади соприкосновения подошвы рельса с опорой.

Каждая подкладка на главных путях должна крепиться четырьмя шурупами. На парковых путях на прямых участках разрешается прикреплять подкладки к шпале двумя шурупами.

Маятниковые штыри при раздельном скреплении «Метро» должны быть зашплинтованы разводными шплинтами диаметром от 3,0 до 3,5 мм. Хвост штыря должен входить в специальный паз подкладки.

Для борьбы с шумом от движения поездов (особенно на станциях и вблизи зданий) предполагается укладывать под шпалами прокладки из полихлорвинилового пластиката $\delta = 5 \dots 7$ мм, а боковые грани шпал покрывать слоем полиэтилена $\delta = 2 \dots 3$ мм, наносимого механическим способом в горячем состоянии.

УДК 656.11: 004.031.43

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ АВТОСТРАД: ОТ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ И УКАЗАТЕЛЕЙ ДО СИСТЕМ «УМНОЕ ШОССЕ»

В. Г. ШЕВЧУК, В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Человечество еще в древние времена, реализуя свое стремление к передвижению, стало создавать дороги. И, практически с момента создания до-

рог, начался процесс информирования их пользователей. Так в Древней Греции вдоль дорог ставили специальные четырехгранные столбы – гермы, свое название они получили по имени бога Гермеса, который считался покровителем путешественников. Их устанавливали через определенное расстояние. На них размещали различные изображения политических деятелей, философов, а затем и разные информационные надписи.

В Древнем Риме, при правлении императора Августа, появились дорожные знаки, которые либо требовали – «Уступи дорогу», либо предупреждали – «Это опасное место». Кроме того, римляне начали ставить вдоль самых важных дорог каменные столбы. На них высекали расстояние от данного столба до главной площади в Риме – Римского Форума.

Римская система обозначения расстояний позже распространилась и в других странах. В России в XVI в., при царе Федоре Иоанновиче, на дороге, которая вела из Москвы в царское имение Коломенское, установили верстовые столбы высотой в 4 м. При Петре I система верстовых столбов появилась на всех дорогах Российской империи, а, следовательно, и на территории нашей страны. Столбы раскрашивали в черные и белые полосы, чтобы их было лучше видно в любое время суток. На них указывали расстояние от одного населенного пункта до другого и название местности.

Участники конгресса Международного туристского союза в 1900 г. договорились о том, что на всех устанавливаемых дорожных знаках должны быть не просто надписи, а символы – понятные и иностранным туристам, и неграмотным людям.

С появлением автомобилей возросла скорость передвижения по дорогам и появилась проблема предупреждения дорожно-транспортных происшествий. Поэтому в 1909 г. на Международной конференции в Париже было принято решение устанавливать дорожные знаки с правой стороны, по ходу движения за 250 м до начала опасного участка дороги. Тогда же были утверждены и первые четыре дорожных знака: «Неровная дорога», «Опасный поворот», «Пересечение равнозначных дорог» и «Железнодорожный переезд со шлагбаумом» [1].

В 1909 г. эти международные дорожные знаки (рисунок 1) официально появились и в Российской империи.



Рисунок 1 – Первые международные дорожные знаки в России

8 ноября 1968 г. была принята международная Венская конвенция, согласно которой выделяли 8 групп дорожных знаков: «Предупреждающие знаки», «Знаки преимущественного права проезда», «Запрещающие и ограничивающие знаки», «Предписывающие знаки», «Знаки особых предписаний», «Информационные знаки, знаки обозначающие объекты, знаки сервиса», «Указатели направлений, информационно-указательные знаки», дополнительные таблички [2].

Параллельно с этим для информирования пользователей автодорог создавались и печатались карты и атласы автомобильных дорог, и буклеты придорожного сервиса.

Появление скоростных шоссе показало, что существовавшая в то время система информирования пользователей дорог имела существенные недостатки. Нередко установленные дорожные знаки или отпечатанные атласы дорог несли устаревшую информацию, не отражали объективную оперативную информацию на дорогах, что зачастую приводило к созданию «пробок», попаданию не туда, куда нужно, потерям времени, и вызывало, в лучшем случае, недовольство водителей.

Следующим этапом интеллектуализации автодорог можно считать создание систем их освещения в ночное и темное время суток. Это позволило предотвратить возможные дорожно-транспортные происшествия и сделать езду по дорогам для водителей более комфортной. Дальнейшим развитием этих систем стало решение задач энергосбережения: вместо энергозатратного постоянного включения системы освещения – регулирование необходимого уровня освещенности на дорогах.

Так голландские инженеры создали, по их мнению, самую инновационную автодорогу в мире. Светящееся в темноте «умное» шоссе, которое делает вождение более безопасным, появилось в голландском городе Осс. «Умная» трасса разработана голландской компанией Heijmans в сотрудничестве с дизайнерским ателье Studio Roosegaarde. Фирмы поставили цель создать самую безопасную дорогу с помощью новейших технологий в области электроэнергии и света. Видимость улучшена благодаря линиям разметки, которые светятся в ночи и заряжаются от солнечного света в течение дня. Разметка сделана с применением фотолюминесцентной краски, и ее нанесение является лишь первым этапом воплощения концепции «умная» дорога [3].

Следующими этапами станут интерактивное освещение дороги (рисунок 2), динамическая разметка, выделение полос цветами в зависимости от приоритета движения, адаптивные дорожные знаки и многое другое.

В будущем трассу дополнят специальной подсветкой для гололеда.

Появление современных цифровых радиосистем и других технологий произвели настоящую революцию в интеллектуализации автодорог для обеспечения безопасности движения автотранспорта.



Рисунок 2 – Интерактивное освещение дороги

Так компания Volvo разрабатывает концепцию «connected car», в которой все автомобили подключены по беспроводной сети к облачным серверам [4]. В момент, когда один из подключенных автомобилей попадает на опасный участок дороги, автомобиль при помощи встроенного бортового компьютера анализирует поверхность трассы и отправляет информацию о местоположении автомобиля на сервер. Эта информация автоматически загружается всем другим автомобилям, подключенным к данной сети. Компьютер проанализирует полученные данные и сможет сообщить водителю, где может быть гололед и какие меры ему необходимо предпринять для обеспечения более безопасного движения.

Кроме того, информация о дорожном покрытии будет направляться в дорожную службу. Это поможет им более эффективно бороться с обледенением дорожного полотна в зимний период.

Специалисты аналитической компании Juniper Research полагают, что к 2023 г. более 62 млн транспортных средств (ТС) смогут поддерживать связь Vehicle-to-Vehicle (V2V или TC-TC) (рисунок 3) [5].

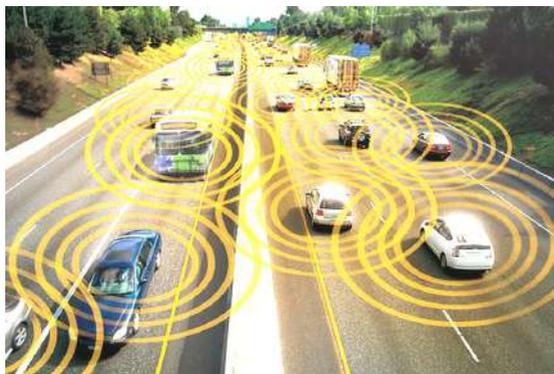


Рисунок 3 – Иллюстрация к технологии V2V или TC-TC

Ожидается, что связь между транспортными средствами с малой задержкой существенно повысит безопасность дорожного движения.

Ключевую роль во внедрении V2V сыграет технология 5G, поскольку только она из существующих технологий радиосвязи может обеспечить необходимые условия во всей дорожной сети.

Следует отметить, что китайский оператор мобильной связи «Чайна Телеком» и операторы автомобильных магистралей договорились о запуске первого в КНР проекта по строительству «умной» скоростной автодороги на базе технологии 5G [5]. Это позволит собирать информацию о транспортных потоках в режиме реального времени и делать более точные прогнозы на основе большого массива данных.

Интеллектуальные дорожно-транспортные решения на базе цифровых радиотехнологий активно внедряют в США, Великобритании, Германии, Японии, Российской Федерации и других развитых странах.

По данным J'son & Partners Consulting, общее количество объектов, входящих в инфраструктуру «умных» дорог в Российской Федерации, в 2015 г. насчитывало около 30 тыс., большая часть которых приходилась на транспортные детекторы. При этом прогнозировалось, что к 2020 г. общее количество объектов увеличится до 43 тыс., и на первое место выйдут комплексы фото- и видео-фиксации [6].

Общее количество подключенных устройств в Российской Федерации в сегменте интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в 2010–2020 гг. приведено гистограммой на рисунке 4.

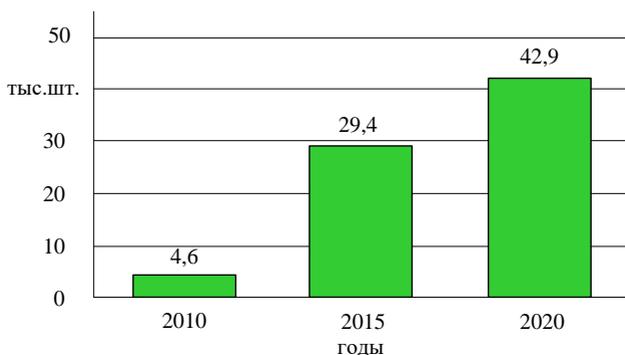


Рисунок 4 – Общее количество подключенных устройств в Российской Федерации в сегменте ИТС в 2010–2020 гг.

Поскольку в ближайшем будущем большое количество автомобилей будет работать от электричества, а недостатком электромобилей при движении на большие расстояния является необходимость в частой подзарядке аккумуляторов, в Тель-Авиве решили построить дорогу, которая будет способна заряжать подобные автомобили прямо по ходу движения (рисунок 5).

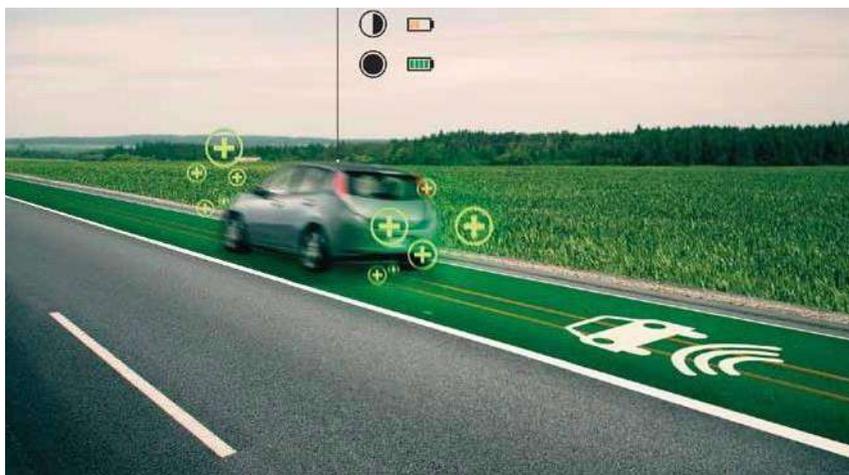


Рисунок 5 – Энергетическая полоса на «умном» шоссе

А в Швеции в 2018 г. открыли тестовый участок длиной в 2 км между Стокгольмом и аэропортом Стокгольм–Арланда, для зарядки аккумуляторов движущихся электромобилей посредством контактного рельса.

Решения для «умных» шоссе (Smart Highway) позволяют не только повысить уровень безопасности на дорогах. Они дают возможность интеллектуально управлять транспортными потоками, улучшить качество обслуживания водителей и собирать необходимые данные для дальнейшего развития дорожно-транспортной инфраструктуры.

К концепции «умных» шоссе можно отнести следующие компоненты:

- датчики движения транспортных средств и пешеходов;
- датчики, контролируемые интенсивность дорожного движения и скорость автомобилей;
- фото и видеокамеры фиксации нарушений ПДД;
- электронные дорожные знаки и информационное табло;
- модули управления светофорами;
- системы автоматизированного управления освещением дорог;
- электронные средства безостановочной оплаты проезда;
- энергетические дорожные полосы;
- паркоматы;
- базовые станции сотовой связи;
- навигационное оборудование GPS/ГЛОНАСС и др.

В идеале все компоненты «умного» шоссе следует объединять на базе единой платформы. По данным Research and Markets [5], рынок решений для построения систем «умное» шоссе составит к 2022 г. 2,6 млрд у. е. с показателем CAGR около 24 %.

Список литературы

- 1 История дорожных знаков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://autohis.ru/istoriya-dorozhnogo-znaka.php>. – Дата доступа : 23.04.2020.
- 2 Как появились дорожные знаки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zen.yandex.ru/media/id/5aca25884bf161ef0d73f65a/kak-poiavilis-dorojnye-znaki-5ad0e82179885e97f6eebb21>. – Дата доступа : 23.04.2020.
- 3 Умный автобан [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kp.ua/life/476749-v-nyderlandakh-zarabotal-umnyi-avtoban>. – Дата доступа : 23.04.2020.
- 4 Новая система от Volvo предупредит о скользком участке дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.gogetnews.info/news/techno/51835novaya-sistema-ot-volvo-predupredit-o-skolzkom-uchastke-dorogi.html> – Дата доступа : 23.04.2020.
- 5 К 2023 году более 60 % новых автомобилей, продаваемых в США, смогут общаться между собой [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.ixbt.com/news/2018/12/11/k-2023-godu-bolee-60-novyh-avtomobilej-prodavaemyh-v-ssha-smogut-obshatsja-mezhdu-soboj.html>. – Дата доступа : 23.04.2020.
- 6 Китай построит первый в стране «умный» скоростной автобан [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.trud.ru/article/13-02-2019/1372382_kitaj_post-roit-pervyj-v-strane-umnyj-skorostnoj-avtoban.html. – Дата доступа : 23.04.2020.
- 7 Интеллектуальная транспортная инфраструктура (ИТС) России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/index.php>. – Дата доступа : 23.04.2020.

УДК 624.194

ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДВОДНЫХ ПЛАВУЧИХ ТУННЕЛЕЙ

А. С. ШИПИЛЁВ, С. В. МАКСИМЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Подводный плавучий туннель (ППТ), также известный как подводный плавучий трубчатый мост, подвесной туннель или мост Архимеда, представляет собой предлагаемую конструкцию для туннеля, который погружен в воду, поддерживаемый своей плавучестью (в частности, с использованием гидростатической тяги или закона Архимеда).

Секция туннеля будет помещена на глубину порядка 20–50 м, где нет проблем с высоким давлением. Этого достаточно для того, чтобы любой большой корабль прошел над ним без каких-либо препятствий. Канаты, закрепленные к балласту или к понтонам, не позволяют ему всплыть на поверхность или погрузиться на дно.

Конструкция. Концепция подводных плавучих туннелей основана на хорошо известной технологии, применяемой к плавучим мостам и морским сооружениям, но конструкция в основном аналогична конструкции погружных туннелей: один из способов состоит в том, чтобы построить трубу секциями в сухом доке; затем сплавить их на строительную площадку и погру-

зить на место, пока они запечатаны; и когда секции закреплены друг на друге, уплотнения нарушаются. Другая возможность состоит в том, чтобы построить секции туннеля в незагерметизированном виде и после сварки их вместе откачать воду.

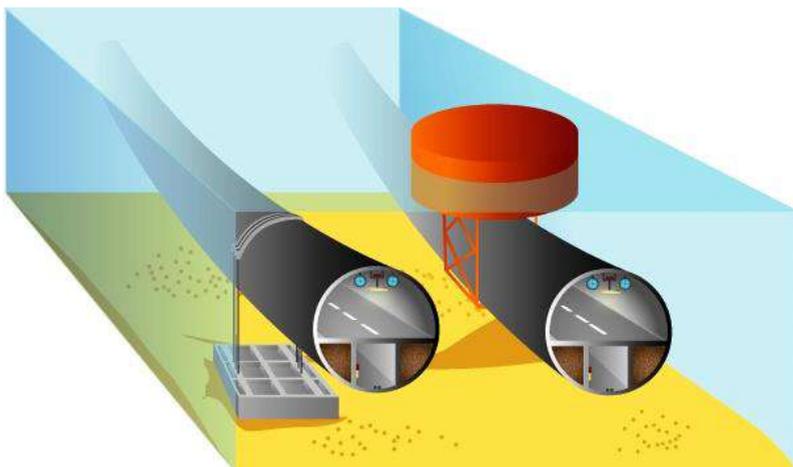


Рисунок 1 – Способы крепления секций плавучего туннеля

Используемый балласт рассчитывается таким образом, чтобы структура имела приблизительное гидростатическое равновесие (то есть туннель имеет примерно такую же общую плотность, как и вода), в то время как погруженные трубчатые туннели балластируются больше, чтобы утяжелить их до морского дна. Это означает, что погруженный плавучий туннель должен быть закреплен на земле или на поверхности воды, чтобы удерживать его на месте (что из этого зависит от того, с какой стороны от точки равновесия находится туннель).

Применение. Погруженные в воду плавучие трубы позволяют строить туннели в чрезвычайно глубоких водах, где обычные мосты или туннели технически сложны или непомерно дороги. Они могли бы легко справляться с сейсмическими воздействиями и погодными явлениями (поскольку они обладают некоторой степенью свободы в отношении движения), а их структурные характеристики не зависят от длины (то есть они могут быть очень длинными без ущерба для своей устойчивости).

С другой стороны, они могут быть уязвимы в отношении якорей или движения подводных лодок, что, следовательно, должно приниматься во внимание при их строительстве.

Вероятные области применения ППТ включают фьорды, глубокие, узкие морские каналы и глубокие озера.

Предложения.

Европа

В Норвегии первый патент на эту конструкцию был представлен в 1923 году Трюгве Ольсеном («погруженный понтонный мост»), а новый запрос был сделан в 1947 году инженером Эриком Эдегордом. Этот интерес возродился в течение последних столетий благодаря нескольким исследованиям в Норвегии, но только благодаря исследованиям, проведенным норвежской государственной дорожной администрацией, была доказана целесообразность этой структуры с учетом последних разработок морских структур. Норвежское Управление автомобильных дорог общего пользования изучает технико-экономический потенциал ликвидации всех паромов на переправах через фьорды вдоль западного коридора (Европейский маршрут E39) между Кристиансандом и Тронхеймом. Если этот проект будет продолжен, то, по оценкам, он обойдется в 25 млрд дол. и будет завершен к 2050 году.

Китай

SIJLAB (китайско-итальянская совместная лаборатория моста Архимеда) приступила к строительству 100-метрового демонстрационного тоннеля на озере Цяньдао в китайской восточной провинции Чжэцзян. Внутри него посередине будут проходить два слоя односторонних автомагистралей с двумя железнодорожными путями. Прототип озера Цяньдао поможет спланировать проект подводного плавучего туннеля длиной 3300 метров в проливе Цзинтан на архипелаге Чжоушань, также расположенном в провинции Чжэцзян.

По словам Элио Матасены, президента компании Ponte di Archimede International, единственная трудность строительства таких туннелей в более глубоких водах – это цена сооружения. А именно, канаты, которые стоят очень дорого, будут очень длинными. Он также отмечает, что туннель способен выдержать больший вес, чем традиционный мост, который имеет очень строгие ограничения по весу, будучи при этом в два раза дешевле. Матасена отмечает, что экологические исследования показывают, что туннель будет иметь очень низкое воздействие на водную жизнь.

Индонезия

Индонезия также проявила интерес к этой технологии. Для инфраструктуры, которая соединит Суматру с островом Ява, были изучены два варианта: обычный мост или подводный туннель.

В 2004 году этот вариант туннеля стал более широко обсуждаться, особенно когда Квик Киан Ги, бывший министр национального развития, объявил, что европейский консорциум заинтересован в инвестировании в подводный туннель между Явой и Суматрой. Предполагалось, что бюджет проекта подводного туннеля в Зондском проливе составит около 15 млрд дол. США; в долгосрочной перспективе он свяжет Яву и Суматру в непрерывную цепь. Как архипелажная страна, состоящая из более 13 тысяч островов, Индоне-

зия могла бы извлечь выгоду из таких туннелей. Обычные перевозки между островами осуществляются в основном на пароме. Однако позднее предпочтение было отдано варианту моста.

Таким образом, подводные плавучие туннели могут быть альтернативным средством соединения соседних островов в дополнение к обычным мостам.

УДК 623.746.4-519:624.19/8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Я. В. ШУТОВ, С. Ю. КИРДЯКИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Беспилотные летательные аппараты все больше набирают популярность. Изначально «беспилотники» или, как раньше принято было называть, дроны, широко использовались для решения военных задач (проведения разведки) и службами метеопрогноза. Мониторинг ледовой обстановки, экологический мониторинг, геофизическая и другие виды разведки, картографирование, поддержка поисково-спасательных операций, охрана границ – эти задачи могут решаться беспилотными аппаратами круглосуточно практически в любых погодных условиях и без риска для жизни человека.

Бурное развитие в ведущих странах мира информационных технологий неизбежно привело к переосмыслению концепций применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), путей дальнейшего их развития, совершенствованию полезной нагрузки и приданию им многоцелевого характера.

В последнее время беспилотные летательные аппараты получили большое распространение и популярность.

Современные технологии использования беспилотных летательных аппаратов применительно и к выполнению задач по строительству, и восстановлению транспортных коммуникаций и искусственных сооружений.

Перед выдвиганием в район строительства для защиты личного состава от нападения диверсионных групп противника целесообразно использование БПЛА, отличающихся возможностью несения не только средств наблюдения, но и ударного вооружения.

Можно выделить следующие преимущества БПЛА:

– осуществляют полеты при различных погодных условиях, сложных помехах (порыв ветра, восходящий или нисходящий воздушный поток, по-

падание БПЛА в воздушную яму, при среднем и сильном тумане, сильном ливне);

- проводят воздушный мониторинг в труднодоступных и удаленных районах;

- являются безопасным источником достоверной информации, надежное обследование объекта или подозреваемой территории, с которой исходит угроза;

- позволяют предотвращать ЧС при регулярном наблюдении;

- обнаруживают ЧС (лесные пожары, горение торфяников) на ранних стадиях;

- исключают риск для жизни и здоровья военнослужащих.

Беспилотный летательный аппарат предназначен для решения следующих задач:

- беспилотный дистанционный мониторинг по выявлению ДРГ и НВФ противника;

- мониторинг и передача данных по радиоактивному и химическому заражению местности и воздушного пространства в заданном районе;

- инженерная разведка районов строительства и восстановления транспортных коммуникаций и искусственных сооружений;

- обнаружение и мониторинг ледовых заторов и разлива рек;

- мониторинг состояния военно-автомобильных дорог и подъездов к ним;

- определение точных координат районов строительства и восстановления.

Важнейшими параметрами любого летательного аппарата, в том числе и беспилотного, являются его, лётные качества. На второе место следует поместить устойчивость к атмосферным воздействиям – не только к влажности, дождю и обледенению, но и к ветру. БПЛА могут принести пользу при восстановлении и строительстве транспортных коммуникаций и искусственных сооружений, для получения оперативных и аналитических данных о состоянии военно-автомобильных дорог и искусственных сооружений.

Используя БПЛА, можно осуществлять мониторинг обстановки на транспортных коммуникациях в режиме реального времени в автоматическом режиме, совершать оперативную разведку с места аварии или катастрофы на дорожных объектах, позволяя тем самым операторам и руководителям принимать решения в кратчайшие сроки.

Проводимый беспилотными аппаратами мониторинг транспортных коммуникаций способен дать возможность специалистам создавать цифровую картографическую модель транспортной структуры, разрабатывать фотопланы при проектировании и строительстве искусственных сооружений и военно-автомобильных дорог, обнаруживать дефекты дорожного покрытия и т. д.

В отношении восстановления и строительства транспортных коммуникаций и искусственных сооружений целесообразно использование БПЛА для наблюдения за объектами строительства в любое время суток с получением и передачей высококачественных данных, позволяющих оценивать общее состояние объектов строительства и восстановления.

Выбор БПЛА обусловлен с учетом следующих достоинств:

- отсутствие потерь летного состава;
- отсутствие необходимости выделения сил и средств на поиск и спасение;
- невысокая стоимость БПЛА;
- малые затраты на обслуживание БПЛА и подготовку расчета;
- возможность выполнения маневров с высокими перегрузками;
- малые размеры и эффективная отражающая поверхность;
- способность применять вооружение с малых расстояний;
- возможность дистанционного пилотирования посменно несколькими операторами.

Для чего же могут понадобиться беспилотные летательные аппараты БПЛА транспортным войскам.

В первую очередь, это мониторинг с высоты объектов строительства, что может дать представление о целостности транспортных коммуникаций и искусственных сооружений, о их состоянии.

Второй задачей может стать мониторинг происшествий чрезвычайного характера, когда БПЛА в составе ремонтной группы прибывает на место происшествия. Видео и фото в этом случае в режиме реального времени передается всем заинтересованным лицам.

Третьим пунктом использования БПЛА в интересах транспортных войск мог бы стать мониторинг движения автомобильных колонн в режиме реального времени.

Использование БПЛА при выполнении задач транспортных войск Республики Беларусь может стать одним из важных направлений их развития и позволит автоматизировать управление войсками, сократить потерю личного состава в бою за счет оперативной разведывательной информации о текущей обстановке.

Секция IV

МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 625.08.004.67:621.763

КОМПОЗИТЫ – МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕМОНТА УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ

В. И. ГУРИНОВИЧ, Т. С. КОРОЛЁНОК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Роль машины довольно велика в народном хозяйстве и в Вооруженных Силах. Автомобиль служит для быстрого перемещения грузов и пассажиров по различным типам дорог и местности. Без специальной машины невозможно представить работу ни одного промышленного предприятия, государственного учреждения, строительной организации, коммерческой фирмы, предприятия сельского хозяйства, воинской части, а легковой автомобиль широко вошел в быт населения, стал средством передвижения, отдыха, туризма и работы.

В условиях новых экономических отношений, как на предприятиях народного хозяйства, так и в Вооруженных Силах возникли определенные трудности с приобретением новой техники и поэтому срок нахождения в эксплуатации, межремонтный пробег продлевается. В результате аварийных утечек ежегодно теряются сотни тонн топливосмазочных материалов. Потери рабочих жидкостей из-за износа или несовершенства уплотнений в узлах и агрегатах машин достигают 30 %. Одним из путей снижения этих потерь является повышение герметичности сопряжений и качества ремонта.

Износостойкость неподвижных соединений в значительной степени определяет ресурс таких деталей, как корпуса трансмиссий, шестерен, подшипников, валов, осей.

Известно, что до 78 % от общей нормативной трудоемкости на все операции разборки, которые составляют около 6 % от общего объема ремонтно-восстановительных работ, составляет разборка резьбовых соединений. Схватывание происходит практически в большинстве резьбовых соединений, которые длительно эксплуатируются в различных дорожных условиях, при перепадах температуры, воздействия влаги и других внешних факторов.

Восстановление металлических деталей корпусов, связанное с искажением их геометрических размеров, повреждением в элементах несущих каркасов кузовов и заменой разрушенных частей, осуществляется с помощью правок механическим воздействием, с применением нагрева, припоев и сварки. При сварке тонколистовой стали возникают трудности – сталь легко прожигается и коробится. Кроме этого, данные способы восстановления энерго- и трудоемки, требуют наличия специального оборудования и определенной квалификации персонала.

Использование для ремонта машин композитных материалов является одним из наиболее перспективных, простых и дешевых методов ремонта, так как он не требует высокой квалификации ремонтников и использования специального оборудования, может применяться в различных условиях: на учениях, совершении марша, в отрыве от пункта постоянной дислокации.

Анаэробные материалы первоначально использовались в машиностроении только для стопорения и фиксации резьбовых соединений, затем были разработаны высокопрочные анаэробные клеи, которые стали применяться в качестве конструкционных материалов при сборке силовых агрегатов.

При ремонте автомобильной и специальной техники анаэробные клеи нашли следующее применение:

- стопорение и контровка резьбовых соединений, которые в конструкциях машин составляют в среднем от 15 до 25 % от общего числа соединений;

- сборка цилиндрических соединений типа «вал-втулка» вместо запрессовки (из общего числа соединений в агрегатах машины от 10 до 19 % приходится на соединения с натягом, из которых от 80 до 95 % соединяются по цилиндрическим поверхностям и от 5 до 20 % по коническим);

- заделка микротрещин в сварных швах и деталях, изготовленных путем литья из цветных сплавов.

Наибольшее применение анаэробные составы нашли при стопорении резьбовых соединений (основным недостатком резьбовых соединений является нестабильность величины предварительной затяжки, которая самопроизвольно изменяется в процессе эксплуатации машины).

Анаэробный полимерный материал в резьбовом соединении выполняет важные функции:

- устраняет сложное напряженное состояние в крепежных деталях и создает условия, при которых они работают только на растяжение под действием предварительной затяжки;

- стабилизирует силу затяжки. Резьбовое соединение в процессе эксплуатации машины подвергается переменным нагрузкам и вибрации, эффект стопорения, вызванный трением, понижается, что дает гайке возможность свободно скользить по резьбе, ослабляя силу сцепления;

- предотвращает «сваривание» элементов резьбового соединения. Заедание, т. е. сложность отвинчивания гайки, происходит в результате переноса

частиц одного металла на другой, контактирующих поверхностей.

Следующей (после резьб) крупной областью использования анаэробных материалов является их применение при сборке цилиндрических соединений взамен запрессовки.

Соединение цилиндрических деталей с натягом представляет собой сопряжение, в котором передача нагрузки от одной детали к другой осуществляется за счет силы трения, создаваемой давлением на сопрягаемых поверхностях. При таком способе одну деталь (например, вал) с помощью пресса устанавливают в другую (например, подшипник). Этот способ является сравнительно простым и экономичным, но требует использования специального оборудования и применяется при сравнительно небольших натягах. При использовании запрессовки есть ограничения на применяемые материалы и конструкции. Для некоторых деталей, например, тонкостенных венцов, использование запрессовки затруднено, а в ряде случаев и невозможно, так как из-за их больших упругих деформаций не удастся обеспечить требуемый натяг. Самый эффективный выход в данной ситуации – применение анаэробного материала, который в цилиндрическом соединении выполнит следующие важнейшие функции:

- увеличит в 3–4 раза долговечность работы соединения;
- практически полностью исключит коррозию, в том числе и контактную.

Кремнийорганические (силиконовые) полимерные материалы больше известны под названием «жидкие прокладки». В отличие от формованных прокладочных материалов (резины, картона, паронита и пр.), которые деформируются при затяжке болтов, «жидкая прокладка» после закрытия стыка не деформируется и полностью заполняет зазоры.

После отверждения «жидкие прокладки» образуют жесткий стык, который не деформируется во время эксплуатации и не требует дополнительной затяжки.

Прокладки изготавливают из очень большой номенклатуры материалов: резиновые, полимерные, неметаллические однородные (кожа, пробка), композиционные, металлические, комбинированные (из разных материалов). Герметики не могут быть использованы для замены металлических прокладок, но во всех других случаях такая замена допустима. Герметик целесообразнее применять в основном вместе со штатной прокладкой (поврежденной). «Жидкие прокладки» на основе силоксановых и фторсилоксановых каучуков обладают очень близкими между собой деформационно-прочностными характеристиками (являются водостойкими, эластичными, прочными), практически одинаково высокой теплостойкостью и больше различаются по технологическим свойствам, в частности, по вязкости. Это позволяет в одном случае (для вязкого герметика) получать прокладку большой высоты (более 10 мм), а в другом случае (для низковязкого герме-

тика) использовать его как заливочный компаунд, чтобы обеспечить изоляцию разъемов или загерметизировать элементы оптики автомобиля [1].

Существует обилие эпоксидных полимерных материалов (кроме клеев есть еще компаунды, шпатлевки и мастики). Это многообразие оправданно, поскольку именно эти материалы обладают целым комплексом уникальных свойств, которые и делают их во многом универсальными, поскольку позволяют склеивать, шпаклевать и герметизировать практически любые материалы, за исключением резин, тканей и бумаги.

Область применения эпоксидных клеев широка, они используются:

- в качестве антикоррозионных покрытий для металлических резервуаров, трубопроводов и оборудования, контактирующего с агрессивными средами, в том числе с концентрированными растворами кислот и щелочей;

- для устранения трещин и пробоин (в том числе и аварийных повреждений), ликвидации протечек в корпусных деталях, заделки кавитационных, коррозионных и эрозионных раковин и свищей;

- для крепления втулок, шпилек, заклепок, концентрических соединений и валов, а также каркасных (рамных) конструкций, при создании соединений типа «вал-ротор» (детали электродвигателей, коробок, подшипники);

- для восстановления геометрической формы (восстановление посадочных мест на валах, шпоночных пазов, участков резьбы и др.) [2].

Благодаря сложному химическому составу эпоксидные клеи в отвержденном состоянии обладают повышенной стойкостью к механическому, коррозионному, эрозионному и кавитационному износу при длительном воздействии агрессивных сред, к которым относятся различные виды топлива, масла, вода и ее пары.

Композитные материалы с каждым днем прогрессируют все больше и больше, показывая свое превосходство и технологичную незаменимость. В высокоразвитых промышленных странах мира, все современные технические решения в машиностроении связаны с использованием полимерных материалов, применение и развитие которых дает ощутимую экономическую выгоду и конструктивное преимущество.

Изменяя составы, пропорции – мы изменим характеристики композитов, тем самым, открывая перед собой новые перспективные пути и направления. В результате такого сочетания мы сможем изменять свойства композитов под свои конкретные требования, задавая необходимые значения прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами. Именно такие материалы нужны для решения проблем ремонтного производства и повышения эксплуатационных свойств автомобильной и специальной техники.

Список литературы

- 1 **Зорин, В. А.** Основы работоспособности технических систем : учеб. для вузов / В. А. Зорин. – М. : ООО «Магистр-Пресс», 2005. – 536 с.
- 2 **Башкирцев, В. И.** Ремонт автомобилей полимерными материалами / В. И. Башкирцев. – М. : За рулем, – 1999. – 32 с.

УДК 621.311.61:69

ПРИМЕНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И. С. ДЕМИДОВИЧ, Ю. А. КОНОВАЛОВ, В. А. САВИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Любые строительные работы неразрывно связаны с работой электрооборудования – освещение, электроинструмент, электроника и т. д. В транспортном строительстве, когда объекты часто расположены за пределами населенных пунктов, возникает потребность в автономных источниках электроснабжения ввиду отсутствия электросети. Как правило, в качестве таких источников применяют дизельные либо бензиновые генераторные установки. Однако генераторы имеют ряд особенностей и недостатков: шумность, достаточно высокая стоимость получаемой электроэнергии, необходимость технического обслуживания двигателя, потребление топлива при работе без нагрузки.

Большую часть времени генератор питает нагрузку значительно меньше своей номинальной мощности (иногда работает и вовсе без нагрузки), а значит, работает с невысоким КПД. Связано это с циклической работой большинства оборудования – сварочных аппаратов, электроинструмента, бетоносмесителей и т. п. и неудобством постоянной остановки и запуска двигателя генератора.

Часть потребителей электроэнергии, особенно маломощных, целесообразно запитывать от аккумуляторных батарей. К таким потребителям можно отнести освещение, маломощный инструмент, электронное оборудование.

Питание от аккумуляторов имеет ряд преимуществ перед генератором:

- меньшая стоимость кВт·ч электроэнергии;
- бесшумность работы;
- отсутствие выхлопа токсичных газов;
- быстрое и простое включение и выключение аккумуляторного источника питания;
- более высокая надежность;

Уже сейчас в строительстве применяются автономные прожекторы для освещения, аккумуляторный электроинструмент. Однако область применения аккумуляторов постоянно расширяется. Связано это, в том числе, и с появлением новых прогрессивных типов аккумуляторных батарей, которые по своим характеристикам значительно превосходят наиболее распространенный тип – свинцово-кислотные АКБ.

Литий-ионный аккумулятор (Li-ion) – тип электрического аккумулятора, который широко распространен в современной бытовой электронной технике и находит свое применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Это самый популярный тип аккумуляторов в таких устройствах как сотовые телефоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты, видеокамеры и электромобили, аккумуляторный электроинструмент. Характеристики литий-ионных аккумуляторов представлены в таблице 1.

Литий-железо-фосфатный аккумулятор (LiFePO₄, LFP) – тип электрического аккумулятора, являющийся видом литий-ионного аккумулятора, в котором используется LiFePO₄ в качестве катода. Характеристики литий-железо-фосфатных аккумуляторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики литий-ионных и литий-железо-фосфатных аккумуляторов

Характеристика	Тип аккумулятора	
	Li-ion	LiFePO ₄
Напряжение, В: полного заряда номинальное полного разряда	4,2	3,65
	3,7	3,2
	2,5	2,0
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	110..270	190..250
Число циклов заряд-разряд до потери 20 % емкости	600	2000..7000
Диапазон рабочих температур	От –20 до +60 °С (оптимальная +23 °С)	От –30 до +55 °С

LiFePO₄ аккумуляторы происходят от литий-ионных, однако имеют ряд существенных отличий.

LiFePO₄ обеспечивает более длительный срок службы, чем другие литий-ионные технологии.

В отличие от других литий-ионных, LiFePO₄ аккумуляторы, как и никелевые, имеют очень стабильное напряжение разряда. Напряжение на выходе остается близко к 3,2 В во время разряда, пока заряд аккумулятора не будет исчерпан полностью. И это может значительно упростить или даже устранить необходимость регулирования напряжения в цепях.

В связи с постоянным напряжением 3,2 В на выходе, четыре аккумулятора могут быть соединены последовательно для получения номинального напряжения на выходе в 12,8 В, что приближается к номинальному напряжению свинцово-кислотных аккумуляторов с шестью ячейками. Это, наряду с хорошими характеристиками безопасности LFP-аккумуляторов, делает их хорошей потенциальной заменой для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. LiFePO_4 имеет более высокий пиковый ток (а, учитывая стабильность напряжения – пиковую мощность), чем у LiCoO_2 .

Удельная плотность энергии (энергия / объём) нового аккумулятора LFP примерно на 14 % ниже, чем у новых литий-ионных аккумуляторов.

Из-за более медленного снижения плотности энергии, спустя некоторое время эксплуатации, LiFePO_4 элементы уже имеют большую плотность энергии, чем LiCoO_2 и литий-ионные.

LiFePO_4 элементы медленнее теряют емкость, чем литий-ионные (LiCoO_2 [литий-кобальт оксидные], LiMn_2O_4 [литий-марганцевая шпинель]).

Одним из важных преимуществ по сравнению с другими видами литий-ионных аккумуляторов, является термическая и химическая стабильность, что существенно повышает безопасность батарей.

Подвержены эффекту Пойкерта, как и другие химические источники тока. Однако, влияние эффекта Пойкерта на LiFePO_4 аккумуляторы является минимальным, за счет чего, емкость при разряде в определенный промежуток времени (при маркировке обозначаемая: C1, C5, C10, C20 и т. д.) меняется незначительно.

Особенностью сборки аккумуляторных батарей из литий-ионных или литий-железо-фосфатных элементов является необходимость использования устройств контроля и защиты (BMS – battery monitoring system). Они представляют собой схему, смонтированную на печатной плате, которая защищает аккумулятор от токов короткого замыкания, перезаряда и перезаряда путем контроля напряжения как всей АКБ, так и отдельных ее элементов.

Так же для надежной работы батареи используются балансирующие устройства, которые выравнивают напряжение всех элементов, как правило, при заряде. Это осуществляется за счет включения шунтирующего резистора на элемент при достижении на нем напряжения полного заряда раньше, чем на других элементах АКБ. Некоторые платы BMS имеют в своем составе балансиры.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОГО ПРИВОДА В ТАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ ТРАНСПОРТНЫХ ВОЙСК

Т. С. КОРОЛЁНОК, М. Т. КОРОЛЁНОК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При организации работ по строительству или восстановлению искусственных сооружений применяется большое количество различных образцов техники, оснащенной двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Самым эффективным на сегодня и ближайшую перспективу решением по экономии топлива и снижению уровня выброса вредных веществ является применение на технике комбинированной энергетической системы – гибридного привода (ГП). Под гибридной силовой установкой (ГСУ) принято понимать наличие на транспортном средстве двух источников энергии – двигателя внутреннего сгорания и накопителя энергии. Общей мировой тенденцией в развитии гибридного привода является массовое внедрение техники с комбинированной энергетической установкой на основе ДВС, с перспективой перехода на новые виды первичных источников энергии (газотурбинных установок, топливных элементов и др.), которые обеспечивают большую экономичность, экологическую чистоту, применение альтернативных видов топлива.

Анализ истории развития техники показывает, что первая ГСУ была предложена Фердинандом Порше еще в 1898 г. На протяжении последних ста лет образцы техники с ГП производились и использовались с переменным успехом. В настоящее время наблюдается непрерывно возрастающий интерес к ГСУ. Наиболее интенсивно идет развитие электрических ГСУ. Наиболее экономически и технически целесообразными являются дизель-электрические энергоустановки.

Большое количество компаний в Европе, Азии и Америке проводят исследования и ведут разработки и подготовку производства электрических машин, силовой и управляющей электроники, испытательных стендов для прямо-сдаточных и квалификационных испытаний как составных частей, так и всего комплекта электрической трансмиссии для различных транспортных средств: большегрузных самосвалов, многосцепных автопоездов, многоосных колесных тягачей сельскохозяйственных и промышленных колесных и гусеничных тракторов. К этому перечню добавилось еще одно направление – гибридный электропривод.

Применение ГСУ позволяет: снизить в 10 раз уровни выбросов вредных веществ (СО, СО₂, NO_x, HC и др.); обеспечить экономию топлива от 25 до 50 %; обеспечить запуск ДВС, генерацию и рекуперацию электроэнергии с

накоплением и последующим использованием ее; использовать ДВС меньшей мощности (до 30 % снижение мощности по сравнению с традиционной схемой) при сохранении момента на колесах или ведущих звездочках; организовать работу ДВС в оптимальном по топливной эффективности и выбросам режиме; осуществить автономный ход на электротяге, используя только энергию накопителя; повысить комфортность для оператора (снизить шум, вибрацию, улучшить управляемость и т. д.); повысить надежность и ресурс механической системы торможения в целом.

В ходе создания современных комплектов тягового электрооборудования для транспорта с комбинированными энергоустановкам, разработчиками используется несколько типовых подходов. Соответственно, системы тягового привода для гибридных транспортных средств по своей конструкции делят на последовательные, параллельные, последовательно-параллельные (комбинированные).

Последовательная кинематическая схема (рисунок 1) ДВС работает только на генератор, при этом выбирается режим минимального расхода топлива. Энергия, вырабатываемая генератором, подается либо на тяговый электродвигатель, либо в накопитель энергии и на тяговый электродвигатель, либо только в накопитель энергии. Тяговый электродвигатель обеспечивает весь необходимый силовой и скоростной диапазоны транспортного средства и при его замедлении работает в режиме генератора, обеспечивая рекуперацию энергии торможения. Достоинствами последовательной схемы являются: возможность работы ДВС в постоянном режиме минимального расхода топлива, простота управления силовой установкой, отсутствие специальных узлов трансмиссии. К недостаткам следует отнести слишком малый КПД системы превращения энергии от двигателя внутреннего сгорания до приводных колес.

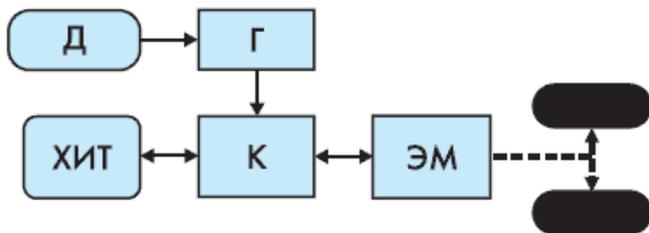


Рисунок 1 – Последовательный гибридный привод

Параллельная схема (рисунок 2) обеспечивает передачу энергии на колеса как от источника механической энергии (ДВС), так и – параллельно – от электродвигателя. При этом, накопитель энергии работает так же, как в последовательной схеме. Электродвигатель компенсирует неравномерности работы ДВС и недостатки момента, обеспечивая плавность хода и экономию топлива за счет энергии накопителя, полученную при рекуперативном

торможении. Параллельная схема, очевидно, применима только к двигателям с вращающимся валом (ДВС) и не подходит для альтернативных источников энергии. Преимуществом параллельной схемы является более высокий КПД передачи энергии от первичного двигателя к ведущим колесам, в сравнении с последовательной схемой, и возможность применения одной электромашины вместо двух. Недостаток – обязательное усложнение трансмиссии для обеспечения отбора (подвода) мощности электрической машины, отход первичного двигателя от режима минимального расхода топлива при регулировании скорости движения транспортной машины и определенное усложнение системы управления трансмиссией.

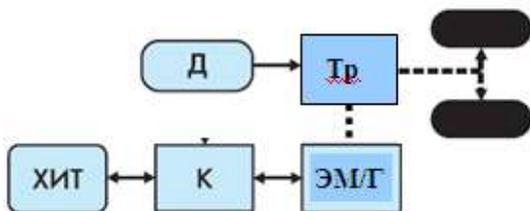


Рисунок 2 – Параллельный гибридный привод

Последовательно-параллельная схема (рисунок 3) сочетает в себе преимущества последовательной и параллельной схем за счет специального устройства согласования работы ДВС и электродвигателя (например, несимметричный планетарный дифференциал). Такая схема обеспечивает высокую экономичность работы, максимальную гибкость в режимах работы системы тягового привода, но является довольно сложной в разработке и реализации, требует создания сложных и дорогих механических элементов.

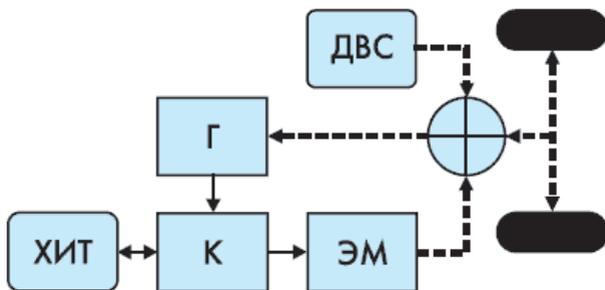


Рисунок 3 – Комбинированный гибридный привод

Уже в настоящее время разработаны и существуют серийные образцы транспортных средств с ГСУ, построенными по каждой из рассмотренных схем. Имеются легковые и грузовые автомобили, автобусы, тракторы и специальная техника на их базе.

Трудности, сдерживающие процесс развития ГСУ и ГП, вызваны следующими причинами:

- отсутствие комплектующих с необходимыми характеристиками;
- имеющиеся образцы электромоторов, накопителей энергии и элементов систем управления не удовлетворяют по критерию «цена – качество».

Приоритетное направление внедрения новых образцов техники на вооружение войск – спроектировать, испытывать и запустить в серийное производство комплект гибридного электропривода для строительного-дорожного машин и другой специальной техники. Российский концерн «РУСЭЛПРОМ» несколько лет занимается решением задач в области создания комплектов тягового электрооборудования электрических трансмиссий. Одним из успешных проектов является разработка комплекта оборудования для энергонасыщенных сельскохозяйственных пропашных тракторов и гусеничных машин (рисунок 4).

БЕЛАРУС 3022ДВ



Рисунок 4 – Трактор БЕЛАРУС 3022ДВ

Тяговое электрооборудование, установленное на тракторе, включает: асинхронный мотор – генератор; тяговый асинхронный двигатель центрального привода с силовым преобразователем; блок питания и коммутации; преобразователь постоянного напряжения в постоянное (DC/DC) для собственных нужд и питания насосов системы охлаждения; контроллер верхнего уровня с органами управления и отображения информации в кабине водителя для управления потоками мощности и тягой.

Список литературы

1 **Скворцов, В. А.** Тенденции в развитии транспортных средств с использованием электропривода / В. А. Скворцов, А. А. Берестов // Силовая электроника. – 2004. – № 1. С. 85–87.

АНАЛИЗ СИНХРОННЫХ БИТУМОЩЕБНЕРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ФИРМЫ SECMAIR ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ РЕМОНТЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Фирма *SECMAIR* (Франция) специализируется на разработке и производстве оборудования для содержания дорог [1].

Линейка выпускаемой техники данной компанией представлена следующими направлениями: автогудронаторы, распределители щебня, синхронные битумощебнераспределители, битумощебнераспределители с функцией ямочного ремонта, машины для битумных материалов холодного налива, машины для смесей.

Из представленной выше линейки машин особый интерес представляют инновационное направление в технике – синхронные битумощебнераспределители, которые позволяют совместить работу автогудронатора и щебнераспределителя в одной машине, реализовав синхронное распределение вяжущего и щебня.

Основные технические характеристики синхронных битумощебнераспределителей фирмы *SECMAIR* (Франция) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики синхронных битумощебнераспределителей фирмы SECMAIR (Франция)

Параметр	Группы машин синхронного распределения материалов фирмы <i>SECMAIR</i>			
	<i>CHIPSEALER A-R</i>	<i>CHIPSEALER T</i>	<i>CHIPSEALER CT</i>	<i>CHIPSEALER 41</i>
Максимальная ширина распределения материала, м	3,2	4,4	4,4	3,8
Вместимость цистерны, м ³	3,5-9	3,5-9	3,5-9	6
Вместимость емкости для щебня, м ³	4,5-9	4,5-9	4,5-9	12
Подача щебня	Опрокидывающийся кузов	Полуопрокидывающийся кузов	Ленточный кузов	Ленточный кузов

Одной из моделей битумощебнераспределителей фирмы *SECMAIR* (Франция) является *CHIPSEALER A-R* (рисунок 1).

а)



б)



Рисунок 1 – Битумощебнераспределитель *CHIPSEALER A-R*:

а – общий вид, б – производство работ по синхронному распределению вяжущего и щебня

Рабочее оборудование данных машин монтируется на шасси грузового автомобиля и состоит из теплоизолированного бака для вяжущего, оснащенной системой подогрева, кузова для щебня, системы распределения материалов, площадки оператора с пультом управления рабочими органами машины и технологическим процессом. Кузов для щебня разделен поперечными перегородками, позволяющими расходовать щебень частями. Система распределения вяжущего состоит из плоскоструйных форсунок, расположенных на одной поперечной балке (рампе) на расстоянии 100 мм друг от друга с возможностью автономного включения и выключения, обеспечивая максимальную ширину распределения материала. Система распределения щебня позволяет распределять фракции от 2 до 20 мм на максимальную ширину распределения с шагом изменения ширины 0,25 м, достигаемой путем закрытия заслонок. Таким образом, имеется возможность гибко регулировать ширину распределения вяжущего и щебня в процессе работы машины.

Сменная производительность битумощебнераспределителей фирмы *SECMAIR*, указанных в таблице 1, составляет от 7000 до 15000 м² в зависимости от организации работ и, в первую очередь, от обеспечения машины вяжущим и щебнем [2].

Подводя итог необходимо отметить, что основными преимуществами синхронных битумощебнераспределителей фирмы *SECMAIR* (Франция) является:

- высокое качество выполняемых работ;
- одновременное распределение, которое обеспечивает отличное сцепление вяжущего и щебня;
- временной интервал между распределением и вяжущим и щебнем постоянный;

– машины, позволяющие экономить на уменьшении количества техники за счет совмещения работы автогудронатора и щебнераспределителя в одной машине;

– уменьшение количества техники на строительной площадке позволяющее снизить энергопотребление и выбросы парниковых газов.

Список литературы

1 SECMAIR [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://secmair.fayat.com>. – Дата доступа : 16.04.2020.

2 Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов : учеб. пособие / А. В. Вавилов [и др.] ; под ред. А. В. Вавилова. – Минск : БНТУ, 2003. – 408 с.

Секция V
ОХРАНА И ОБОРОНА
ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ
И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 623.438

**РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ
К БРОНИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ МАШИНЕ**

В. Е. ЛАЗАРЕНКО, В. И. КОЗЛОВ
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Охрана и оборона искусственных сооружений и транспортных коммуникаций сопряжены с высоким риском для персонала и неминуемыми людскими потерями.

Важнейшее условие сохранения жизни и здоровья раненых – это проведение своевременных санитарно-эвакуационных мероприятий. Вопрос оказания им первой помощи на месте получения ранения (травмы) и оперативной доставки пострадавших в медицинское учреждение имеет первостепенное значение [1].

Розыск раненых на поле боя, оказание им первой помощи, сбор и эвакуация в тыл на медицинские пункты зачастую проводится в сложной обстановке и сопровождается большой опасностью для жизни. Огневое воздействие противника и сильно пересеченная местность не позволяют широко использовать для эвакуации раненых обычные средства. В связи с этим во многих странах разработаны специальные медицинские бронированные средства – бронированные медицинские машины (далее – БММ).

Бронированные медицинские машины, как правило, создаются на базе боевых бронированных машин и военных многоцелевых автомобилей высокой проходимости.

На основании анализа известных БММ можно сделать следующие выводы:

1 Основными характеристиками БММ являются эвакуовместимость (количество транспортируемых раненых), уровень бронезащиты, компоновка машины, геометрические размеры пассажирского или грузового отсеков.

2 Современные БММ базируются на шасси линейных боевых бронированных машин (БМП, БТР) с соответствующим уровнем бронезащиты.

3 В подавляющем большинстве БММ компоновка передне- или среднемоторная, что дает дополнительную бронезащиту экипажа и раненых во фронтальной проекции машины.

4 Погрузка раненых осуществляется с кормы БММ через люки, двери и аппарели.

5 Эвакуместимость БММ в зависимости от назначения и состава оборудования составляет: 2–6 раненых на носилках и 3–8 раненых сидя.

6 Типовой состав экипажа БММ 3 человека: водитель (механик-водитель), врач, санитар. В отдельных БММ в состав экипажа могут входить бригады врачей до 5 человек.

7 Типовым решением в устройстве грузового (медицинского) отсека БММ является увеличение его объема путем внесения изменений в конструкцию бронекорпуса (увеличения высоты) при сохранении его общей защищенности.

8 БММ для розыска и эвакуации раненых с поля боя зачастую имеют минимальный набор медицинского и санитарного оборудования, а также трансформируемый грузовой (пассажирский) отсек для быстрого изменения варианта перевозки раненых (сидя/лежа).

С целью создания БММ в Республике Беларусь учреждением образования «Военная академия Республики Беларусь» совместно с 288 базой резерва автомобилей проведены научно-исследовательская (далее – НИР) и опытно-конструкторская работы. В рамках НИР на основе анализа мировых тенденций развития БММ, оценки основных показателей эффективности бронемашин, природных условий Республики Беларусь и опыта разработки медицинского модуля на базе гусеничного транспортера МТ-ЛБ «Спасатель», были сформулированы основные тактико-технических требования к БММ для эвакуации раненых с поля боя, а также разработан проект рабочей конструкторской документации на модификацию медицинского модуля для нового базового шасси.

Для выбора базового шасси БММ были оценены такие показатели эффективности, как подвижность и защищенность.

Защищенность БММ оценивалась на основе анализа косвенной и прямой защиты средств подвижности, а также их массо-габаритных характеристик.

Подвижность БММ определялась в основном выбором типа двигателя для базового шасси в зависимости от характеристик проходимости, а также от дорожно-грунтовых условий Республики Беларусь [2].

Исходя из предполагаемой массы БММ и заданной опорно-сцепной проходимости предъявленным требованиям наиболее полно отвечали средства подвижности с гусеничным двигателем.

Из всех бронированных машин, стоящих на вооружении в Вооруженных Силах Республики Беларусь, наиболее полно соответствует требованиям по подвижности, защищенности и функциональности (компоновка машины,

геометрические размеры грузового отсека и удобство доступа в него) многоцелевой транспортер легкий бронированный универсальный (МТ-ЛБу), что определило его выбор в качестве базового шасси для БММ.

Результаты проделанной работы позволили в кратчайшие сроки разработать конструкторскую и эксплуатационную документацию, изготовить опытный образец и провести испытания медицинской машины на базе гусеничного транспортера МТ-ЛБу «Спасатель-2». Машина принята на вооружение, производится на 288 базе резерва автомобилей и поставляется в войска.

Список литературы

1 Технические средства медицинской службы Вооруженных сил СССР. Справочник. – М. : Военное издательство, 1986.

2 Тарасик, В. И. Теория движения автомобиля : учеб. для вузов / В. И. Тарасик. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.

УДК 355.58:624

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

В. В. ЦЫБУЛЬКО, Р. С. ОНИЩУК

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Рассматривая ПВО транспортных коммуникаций и искусственных сооружений, как важных объектов инфраструктуры государства, имеет смысл опереться на опыт прошедших войн и опыт отдельных государств в ее организации.

Следует остановиться на опыте, который был получен в организации ПВО транспортных коммуникаций в годы Великой Отечественной войны. Великая Отечественная война внесла много нового в разработку вопросов организации и ведения боевых действий воинских частей войск ПВО страны при обороне железнодорожных коммуникаций. Несмотря на внезапность нападения Германии на СССР, войска ПВО сумели выдержать мощный удар вражеских ВВС и обеспечили сохранность многих железнодорожных объектов, в том числе и мостов через Днепр, Днестр, имевших важное значение. В течение первых месяцев войны фашисты не смогли разрушить ни одного крупного железнодорожного моста [1, с. 187]. Останавливаясь на опыте организации ПВО в годы Великой Отечественной войны, следует обозначить наиболее значимые способы применения подразделений ПВО, которые актуальны и в настоящее время при построении ПВО транспортных коммуникаций и искусственных сооружений и используются в различных государствах.

Во-первых, это применение подразделений огневых средств ПВО. Для борьбы с одиночными самолетами противника, действовавшими по железнодорожным перегонам и участкам шоссежных дорог, в соединениях ПВО создавались кочующие группы разнотипных зенитных средств, которые действовали методом засад на выявленных маршрутах полетов авиации противника. В состав этих групп обычно включались батарея зенитной артиллерии малого калибра, взвод пулеметов и взвод зенитных прожекторов. Зенитные подразделения занимали огневые позиции в ночное время, а днем внезапным огнем уничтожали авиацию противника. Такой способ применения зенитных средств заставлял противника тратить время на дополнительную разведку расположения сил ПВО и нередко отказываться от маловысотных полетов, что снижало прицельность бомбометания. Успешные действия зенитных подразделений из засад при защите железнодорожных коммуникаций явились новой формой боевого применения зенитной артиллерии. Опыт ПВО объектов железной дороги показал, что батареи среднего калибра зенитной артиллерии необходимо располагать вокруг них на удалении от 1 до 2 км, с расстоянием между ними 2–3 км. Малокалиберную зенитную артиллерию и зенитные пулеметы следует, как правило, размещать повзводно, непосредственно поблизости от наиболее важных сооружений: депо, складов с интервалами от одного до полутора километров. Вблизи входных и выходных стрелок узла (станции) обязательно оборудовались позиции взводов малокалиберной зенитной артиллерии или зенитных пулеметов, так как пикирующие бомбардировщики пытались их уничтожить или вывести из строя в первую очередь.

Во-вторых, это применение активных огневых средств ПВО, размещаемых на поездах и платформах. Особая роль в организации прикрытия важных железнодорожных объектов принадлежала зенитным бронепоездам. Мобильные, обладавшие высокой маневренностью и имевшие разнообразное зенитное артиллерийское вооружение, эти поезда быстро могли прибыть к объекту, который по условиям обстановки требовалось срочно усилить зенитной артиллерией. Как правило, они имели на вооружении три орудия калибра 76,2 мм, пару 37-мм автоматических пушек и три-четыре крупнокалиберных зенитных пулемета. Их внезапное появление на том или ином участке, как правило, давало хорошие результаты. Однако надо было учитывать и такую особенность: чем дольше оставались бронепоезда на одном и том же месте, тем менее результативными становились их действия, а сами они начинали нести всё большие потери.

В-третьих, это применение истребительной авиации ПВО. С началом войны для прикрытия железнодорожных магистралей стали применять и истребительную авиацию ПВО. ПВО железнодорожной станции осуществлялась совместно подразделениями истребительной авиации и зенитными подразделениями. Взаимодействие организовывалось по принципу разделе-

ния зон действий. При этом истребительная авиация действовала на дальних подступах к прикрываемому объекту.

В-четвертых, это применение подразделений радиолокационной разведки. Характерной особенностью организации ПВО железнодорожных коммуникаций было создание единой системы радиолокационного обеспечения боевых действий истребительной авиации и сил и средств ПВО. Зоны видимости этих станций взаимно перекрывались, чем и было обеспечено создание сплошного радиолокационного поля обнаружения и наведения в обширном районе.

В-пятых, это применение подразделений химической защиты. Большую роль в защите прикрываемых мостов от ударов авиации противника через реки сыграли воинские части химической защиты. На назначенной площади военнослужащие устанавливали дымовые точки. Благодаря маскировке мостов противнику приходилось вести бомбардирование по значительной площади, в результате чего лишь незначительное количество сброшенных фугасных авиабомб воздействовало по объекту, не причинив ему никакого ущерба.

Таким образом, за время войны войска ПВО обогатились разнообразным боевым опытом, способами боевого применения и тактикой действий в организации ПВО транспортных коммуникаций и искусственных сооружений. Богатый боевой опыт войск ПВО, накопленный в ходе Великой Отечественной войны, не потерял своей актуальности и в настоящее время, несмотря на то, что появление разнообразных более совершенных средств воздушно-космического нападения вызвало глубокие изменения в вооружении войск ПВО и способах их боевого применения.

Ярким примером использования данного опыта является организация ПВО Крымского моста в Российской Федерации. ПВО моста как важнейшего элемента транспортной инфраструктуры основана на использовании всех элементов системы ПВО: стационарные РЛС «Подсолнух» и «Воронеж», обеспечивающие ведение радиолокационной разведки и применение как зенитных подразделений, так и авиации ПВО; огневая составляющая, включающая мобильные, маневренные ЗРК «Тор» и «Панцирь-С1», переносные ЗРК «Игла» и «Верба», способные поражать несколько десятков воздушных целей одновременно; средства РЭБ, которые при необходимости, обеспечат постановку помех в контуры управления или наведения как ЗУР, так и авиации. Кроме того, в районе моста размещено подразделение ЗРС С-400, которое наращивает возможности ПВО по прикрытию данного объекта. И возможности по ПВО данного объекта инфраструктуры усиливаются за счет истребителей и штурмовиков ВКС России, находящихся в воздухе в зоне дежурства, а также на ближайших аэродромах, подлетное время от которых составляет до 15 минут [2].

Рассмотренный опыт ПВО транспортных коммуникаций на примере Великой отечественной войны, который актуален и сейчас, опыт Российской Федерации в организации ПВО, одного из важнейших элементов транспортной инфраструктуры применим и к организации ПВО объектов нашего государства и может быть при необходимости успешно использован.

Список литературы

1 Светлишин, Н. А. Войска ПВО страны в Отечественной войне / Н. А. Светлишин. – М. : Наука, 1979. – 296 с.

2 Как Россия защитит Крымский мост. Информационное агентство News-front [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://news-front.info/2018/05/21/kak-rossiya-zashhitit-krumskij-most>. Дата доступа : 16.04.2020.

УДК 357.3

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЕНИЯ ЧАСТЕЙ И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ВОЙСК

С. В. НИКИТЕНКО, В. Н. ВОРЕПО

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 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 внезапно 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 дает команду, которая идет тем же путем.

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 невиден, зато ему видно всё. 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 аппаратов (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

Выполнение полета БЛА	– в автоматическом режиме
Радиус действия БЛА	– до 15 км
Способ взлета БЛА	– «с руки»
Способ посадки БЛА	– с использованием парашюта
Статический потолок полета БЛА	
с полезной нагрузкой	– до 1000 м
Крейсерская скорость полета БЛА, км/ч	– в пределах 50–80
Время полета БЛА	– до 60 мин
Вес БЛА	– до 3,5 кг
Вариант исполнения	– носимый
Боевой расчет	– не менее 2 человек

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.

Особенности и преимущества комплекса.

1 Запуск летательного аппарата осуществляется с руки. Для запуска не требуется подготовленная взлетно-посадочная полоса, что позволяет использование БЛА в любом труднодоступном районе.

2 Возможен запуск летательного аппарата в черте городской застройки. Для безаварийной посадки БЛА с использованием парашюта достаточно ограниченной открытой площадки.

3 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.

4 Конструкция БЛА обеспечивает его высокие летные характеристики. БЛА выполнен по схеме «моноплана с толкающим винтом».

5 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.

УДК 623.764:624

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЖИВУЧЕСТИ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВНИКОМ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ

*О. В. ВОРОНИН, И. Г. ИВАШКО, А. В. МАЗГО
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск*

Опыт высокотехнологических войн и вооруженных конфликтов последних десятилетий свидетельствует, что в настоящее время особое значение приобретет борьба за господство в воздушно-космическом и информационном пространстве. Войска стремятся уничтожить основные военные и государственные пункты управления объектов военно-промышленного комплекса, нарушить систему управления страной и ее вооруженными силами и, как следствие, неуправляемость государственной системой, деморализация населения страны, подвергшейся нападению, разрушение и вывод из строя основных ее объектов военно-промышленного комплекса и транс-

портных коммуникаций не предоставит возможности провести мероприятия по коренной перестройке экономики на обеспечение нужд войны. Все эти факторы способствуют достижению нападавшей стороне военно-политических целей войны в кратчайшие сроки [1].

Противник для достижения своих целей в большинстве случаев применяет высокоточные средства поражения. Наряду с традиционным оружием (крылатые ракеты и управляемые авиационные бомбы) отмечено и достаточно массовое применение оперативно-тактических и тактических баллистических ракет (ОТ и ТБР), обладающих высокой точностью наведения в точку прицеливания. Существенными преимуществами баллистических ракет (БР), в сравнении с другими средствами воздушного нападения (СВН), являются возможности по преодолению оборонительных систем противника, затрудняющие процессы обнаружения и уничтожения БР в полете. Этому способствуют баллистические траектории и высокие скорости полета, малые эффективные отражающие поверхности ракет и др.

Современные баллистические ракеты стали эффективным средством поражения, принадлежащим к классу высокоточного оружия и обеспечивающим поражение избирательных точечных объектов на большей части территории Республики Беларусь, что предопределяет необходимость организации защиты транспортных коммуникаций государства от ударов противника ОТ и ТБР.

Актуальным вопросом живучести транспортных коммуникаций в случае применения ОТ и ТБР является организация защиты от этого типа СВН. Существующая система противовоздушной обороны построена преимущественно для борьбы с аэродинамическими воздушными целями. Особенности борьбы с баллистическими целями требуют кардинального пересмотра взглядов на организацию ПВО в современных условиях [2, 3]:

1) в организации разведки БЦ. Важность этого проблемного вопроса обусловлена возможным пропуском баллистической цели (БЦ), а следовательно, поражения объекта прицеливания баллистической ракетой по причине ее несвоевременного обнаружения, а сложность получения ответа – наличием достаточно большого количества разноплановых требований, предъявляемых к позиции, влияния различных факторов и условий обстановки на возможности радиолокационной станции (РЛС) по обнаружению БЦ;

2) в выборе средств поражения БЦ. Малая эффективная отражающая поверхность, высокая скорость и широкий диапазон возможных углов падения делают данные ракеты специфической и сложной воздушной целью для поражения большинством средств поражения, что требует применения специализированных зенитных ракетных комплексов, способных эффективно поражать ОТ и ТБР в полете;

3) в построении боевого порядка выделенных сил и средств. Если на выбор вариантов ракетного удара противника командир существенного влия-

ния оказать не может, параметры объекта обороны являются постоянными, количество тактико-огневых подразделений, для организации защиты объекта может быть назначено вышестоящим командованием и ограничено штатной структурой, то возможностью осуществления эффективной защиты транспортной коммуникации является и обоснованное размещение назначенных сил и средств.

Все указанные обстоятельства предопределяют актуальную необходимость совершенствования подходов к организации защиты транспортных коммуникаций, в случае развязывания противником вооруженной агрессии. Необходимо отметить на относительно короткое время развертывания пусковых установок баллистических ракет и подготовки их к пуску, полета ракеты по сравнению с потребным временем на перемещение, занятие позиционного района, развертывание и непосредственную подготовку сил и средств отражения ракетного удара. Данное обстоятельство обуславливает преимущественно заблаговременную организацию защиты коммуникаций.

Список литературы

1 **Воронин, О. В.** О возможных ударах баллистическими ракетами по крупным объектам / О. В. Воронин, И. Г. Денисенко // Наука и военная безопасность. – 2014. – № 2. – С. 57–60.

2 **Воронин, О. В.** Методика выбора позиции средств разведки формирования тактической противоракетной обороны / О. В. Воронин, С. В. Потетенко, С. В. Кругликов // Радиотехника : информационно-измерительные и управляющие системы, 2014. – № 7. – С. 3–10.

3 **Воронин, О. В.** Выбор рационального варианта построения боевого порядка формирования тактической противоракетной обороны методом итераций / О. В. Воронин // сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – № 32. – С. 30–38.

УДК 629.7.083

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ И РЕМОНТА

Р. В. КАЛЯКИН, А. А. САНЬКО

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Объектом исследования является система технического обслуживания (ТО), предметом исследования – алгоритмы оптимизации систем ТО воздушных судов (ВС) с целью повысить их эффективность в рыночных условиях эксплуатации.

Актуальность и сложность решения задач анализа и синтеза систем ТО ВС в целях повышения их эффективности приводит к тому, что исследования в этой области достаточно востребованы [1]. Вопросы оптимизации

систем ТО с различных позиций, занимались ряд ученых. Так, Н. Н. Смирнов, Н. И. Владимиров, Ж. С. Черненко [2] предложили решение оптимальной периодичности и длительности ТО производить путем определения перечня работ по ТО комплектующих изделий, группировки работ по ТО ВС в определенные формы регламента и оценки экономического последствия отказа, который может быть предотвращен более частым проведением обслуживания. Недостатком данного решения является то, что обычно целевую функцию оптимизации в явном виде не удастся выразить вследствие ее многомерности, поэтому задача решается графически. Н. Н. Смирнов и А. А. Ицкович [3] предложили использовать критерии оптимальности процесса ТО на основе полученных доходов от использования ВС в исправном состоянии, но без учета в системе скрытых отказов и неисправностей. Н. М. Емелин [4] предложил использовать критерии оптимальности процесса ТО на основе полученных доходов от использования ВС в исправном состоянии, но уже с учетом наличия в системе скрытых отказов и неисправностей. Задача была решена на основе многошаговости марковского процесса, при таком подходе размерность задачи снижается до размерности решения на каждом шаге [5], что существенно упрощает математические вычисления.

Задача данного исследования состоит в том, чтобы разработать такой алгоритм оптимизации элементарной системы ТО на основе методики, предложенной в работе [4] (далее – классический алгоритм), который учитывал бы не только потери при нахождении ВС в неисправном состоянии, но и затраты на проведение регламентных работ (РР) и ремонта непрерывно контролируемых агрегатов.

Граф переходов агрегата ВС с элементарной системой ТО, представлен на рисунке 1. Физический смысл состояний графа переходов системы ТО: 1 – готовность агрегата к применению; 2 – на агрегате проводятся РР; 3 – неработоспособное состояние из-за отказов или неисправностей непрерывно контролируемых элементов; 4 – система находится в скрытом отказе, который определяется при выполнении РР.

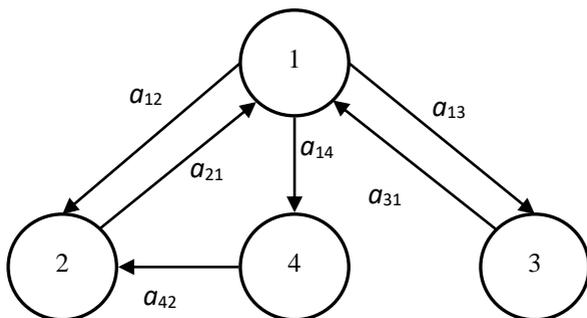


Рисунок 1 – Граф переходов агрегата ВС с элементарной системой Т

Допущение:

- 1) считается, что контроль технического состояния агрегата – достоверен;
- 2) в системе могут быть скрытые отказы и неисправности, определяемые при выполнении РР;
- 3) закон распределения потока отказов контролируемых агрегатов экспоненциальный с постоянной величиной плотности потока отказов.

Исходя из приведенного графа интенсивности a_{12} и a_{42} зависят от одного и того же параметра – периодичности проведения РР, то закрепление оптимизируемого параметра – периодичности проведения РР в качестве собственной переменной только за счет одной из интенсивностей a_{12} или a_{42} приведет к получению решения, отличному от оптимального [4]. Таким образом, для устранения этого недостатка проведем преобразование графа рассматриваемой системы по методике, предложенной в [5]. Исключим одно из состояний, описывающихся зависимыми интенсивностями: 1-2 или 4-2. Исключим состояние 4, тогда преобразованный граф состояний имеет вид (рисунок 2).

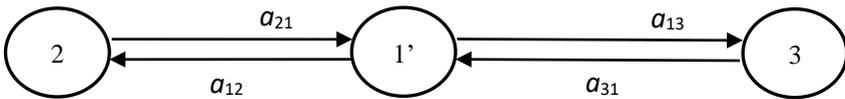


Рисунок 2 – Преобразованный граф состояний

Составляем систему дифференциальных уравнений, описывающую преобразованный граф состояний:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_1(t)}{\partial t} = -P_1(t)(a_{12} + a_{13}) + P_2(t)a_{21} + P_3(t)a_{31}; \\ \frac{\partial P_2(t)}{\partial t} = P_1(t)a_{12} - P_2(t)a_{21}; \\ \frac{\partial P_3(t)}{\partial t} = P_1(t)a_{13} - P_3(t)a_{31}. \end{cases} \quad (1)$$

Используя (1) и исходные данные, такие как k – число вариантов параметров системы ТО (пусть для 1-го состояния $k = 3$; для 2-го и 1-го состояния $k = 2$), составляем матрицы интенсивности переходов, характеризующие интенсивности перехода из i -го состояния в j -е при выборе k -го варианта:

$$\|a_1^k\| = \begin{vmatrix} a_{11}^{k=1} & a_{12}^{k=1} & a_{13}^{k=1} \\ a_{11}^{k=2} & a_{12}^{k=2} & a_{13}^{k=2} \\ a_{11}^{k=3} & a_{12}^{k=3} & a_{13}^{k=3} \end{vmatrix}, \|a_2^k\| = \begin{vmatrix} a_{21}^{k=1} & a_{22}^{k=1} \\ a_{21}^{k=2} & a_{22}^{k=2} \end{vmatrix}, \|a_3^k\| = \begin{vmatrix} a_{31}^{k=1} & a_{32}^{k=1} & a_{33}^{k=1} \\ a_{31}^{k=2} & a_{32}^{k=2} & a_{33}^{k=2} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Аналогично составляем матрицу доходов – d_i^k , в которой диагональными элементами d_{ii}^k являются доходы системы в состоянии $i = 1 \dots N$, а остальными – $d_{ij} (i \neq j)$ доходы, получаемые при переходах. Доходы рассматриваются как амортизация вложенных в них средств при разработке и производстве [1]. Если в каком-нибудь состоянии или на каком-нибудь переходе имеют место затраты, то соответствующий элемент $d_{ij} < 0$:

$$\|d_1^k\| = \begin{vmatrix} d_{11}^{k=1} & d_{12}^{k=1} & d_{13}^{k=1} \\ d_{11}^{k=2} & d_{12}^{k=2} & d_{13}^{k=2} \\ d_{11}^{k=3} & d_{12}^{k=3} & d_{13}^{k=3} \end{vmatrix}, \|d_2^k\| = \begin{vmatrix} d_{21}^{k=1} & d_{22}^{k=1} \\ d_{21}^{k=2} & d_{22}^{k=2} \end{vmatrix}, \|d_3^k\| = \begin{vmatrix} d_{31}^{k=1} & d_{32}^{k=1} & d_{33}^{k=1} \\ d_{31}^{k=2} & d_{32}^{k=2} & d_{33}^{k=2} \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Проведенные исследования показали, что значения $d_{ij}^k (i \neq j)$ можно приравнять к нулю из-за своей малой величины относительно величин d_{ii}^k [4].

Для сохранения физического смысла модели (см. рисунок 2) необходимо, чтобы доходы, приносимые при совершении исключенных переходов и нахождении в исключенных состояниях, были учтены в других переходах или состояниях модели. Так как переходы 1-4 и 4-2 никаких доходов не приносят, то в состоянии 4 имеются потери от неработоспособности агрегата из-за нахождения системы в состоянии скрытого отказа. Эти потери необходимо учесть в состоянии 1' как

$$d_{11}^{k'} = C_0 P_1 / T_r - C_0 P_4 / T_r,$$

где d_{11} – доход, приносимый системой в состоянии 1'; C_0 – затраты на разработку и производство; T_r – гарантийный срок эксплуатации; $P_1 = 1$ – вероятность нахождения системы в первом состоянии; P_4 – вероятность нахождения системы в четвертом состоянии:

$$P_4 = \frac{\mu_4}{\tau_{\text{мрг}}} = \frac{1}{1 - e^{-\tau_{\text{мрг}} \omega_{\text{пр}}}} - \frac{1}{\tau_{\text{мрг}} \omega_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

μ_4 – математическое ожидание времени пребывания в состоянии – 4; $\omega_{\text{мрг}}$ – параметр потока отказов контролируемых агрегатов при выполнении РР; $\tau_{\text{мрг}}$ – периодичность проведения РР.

Значения вектора доходов системы в состоянии 2 и 3, вычисляем по эмпирической формуле

$$d_{22}^k = -\frac{C_0 P_2}{T_r} - C_{\text{пр}}; \quad d_{33}^k = -\frac{C_0 P_3}{T_r} - C_{\text{п}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{пр}}$ – затраты на проведения регламентных работ (PP), $C_{\text{р}}$ – затраты на ремонт непрерывно контролируемых агрегатов [1]:

$$C_{\text{пр}} = \left((k_{\text{зип}} + k_{\text{пр}})C_3 + (k_{\text{эз}} + k_{\text{гсм}} + k_{\text{лс}}) \frac{C_3}{T_{\text{г}}} \right) \frac{\tau_{\text{пр}}}{T_{\text{г}}}; \quad (6)$$

$$C_{\text{р}} = \left((k_{\text{эз}} + k_{\text{пр}} + k_{\text{зип}}) \frac{C_3}{T_{\text{г}}} \right) \frac{\tau_{\text{устр}}}{\tau_{\text{устр}}^{\text{н}}}, \quad (7)$$

$k_{\text{зип}}$, $k_{\text{пр}}$, $k_{\text{эз}}$, $k_{\text{гсм}}$, $k_{\text{лс}}$ – коэффициенты, учитывающие соответствующую долю затрат от C_3 (затраты на ЗИП и расходные материалы, прочие расходы, затраты на электроэнергию, ГСМ и личный состав); $C_3 = (0,3...0,4)$; C_0 – эксплуатационные расходы [4, 7]; $\tau_{\text{пр}}^{\text{н}}$, $\tau_{\text{устр}}^{\text{н}}$ – минимально допустимая длительность PP и продолжительность устранения отказов и неисправностей непрерывно контролируемых агрегатов; $\tau_{\text{пр}}$, $\tau_{\text{устр}}$ – текущая длительность PP и продолжительность устранения отказов и неисправностей непрерывно контролируемых агрегатов.

Воспользовавшись методом динамического программирования [5], по подготовленным исходным данным определяем непосредственно ожидаемые доходы в каждом состоянии i и для каждого варианта k :

$$q_{ii}^k = d_{ii}^k + \sum_{i \neq j} a_{ij}^k d_{ij}^k \text{ при } d_{ij}^k \approx 0, \text{ то } q_{ii}^k \approx d_{ii}^k, \quad (8)$$

которые представляются в виде вектор-столбца:

$$\|q_{ii=1}^k\| = \begin{Bmatrix} q_{11}^{k=1} \\ q_{11}^{k=2} \\ q_{11}^{k=3} \end{Bmatrix}; \quad \|q_{ii=2}^k\| = \begin{Bmatrix} q_{12}^{k=1} \\ q_{12}^{k=2} \end{Bmatrix}; \quad \|d_{ii=3}^k\| = \begin{Bmatrix} d_{13}^{k=1} \\ d_{13}^{k=2} \end{Bmatrix}. \quad (9)$$

Затем выбираем в каждом векторе (9) вариант k_{mi} , которому соответствует максимально ожидаемый доход. Результат выбора записывается в виде вектор-решения:

$$f_0 = \left\| k_{m1}^0 \ k_{m2}^0 \ k_{m3}^0 \right\|. \quad (10)$$

Исходя из вектор-решения (11), составляется новая матрица интенсивностей переходов $a^{k_{mi}}$, в которой ее строки равны строкам матрицы интенсивностей переходов, соответствующим вариантам с максимальными доходами в каждом состоянии:

$$\|a_1^{k_{mi}}\| = \begin{vmatrix} a_{11}^{k_{m1}} & a_{12}^{k_{m1}} & a_{13}^{k_{m1}} \\ a_{21}^{k_{m2}} & a_{22}^{k_{m2}} & a_{23}^{k_{m2}} \\ a_{31}^{k_{m3}} & a_{32}^{k_{m3}} & a_{33}^{k_{m3}} \end{vmatrix}. \quad (11)$$

Для определения относительных весов в систему уравнений (8) необходимо подставить значения интенсивностей переходов (11) и вектор столбца (9) соответственно для каждого из состояний. В результате получим систему $N = 3$ линейных уравнений с $(N+1)$ неизвестными:

$$g = q_{i=1}^k + \sum_{j=1}^3 a_{1j}^{k_{m1}} V_j; \quad g = q_{i=2}^k + \sum_{j=1}^3 a_{2j}^{k_{m2}} V_j; \quad g = q_{i=3}^k + \sum_{j=1}^3 a_{3j}^{k_{m3}} V_j, \quad (12)$$

где g – непосредственные доходы в каждом состоянии, усредненные по всем состояниям и отнесенные к единице времени; V_j – полный ожидаемый доход, который принесет система за время t , если в начальный момент она находилась в состоянии j .

Приняв $V_3 = 0$, находим значения других неизвестных V_1, V_2 и g .

Для улучшения решения в каждом состоянии и для каждого варианта вычисляется следующий критерий:

$$q_{2i}^k = q_{i}^k + \sum_{j=1}^3 a_{ij}^k V_j. \quad (13)$$

Величины V_j берутся равными значениями, полученными из решения системы уравнений (14). Результаты вычислений записываются в виде

$$\|q_{2i=1}^k\| = \begin{vmatrix} q_{21}^{k=1} \\ q_{21}^{k=2} \\ q_{21}^{k=3} \end{vmatrix}; \quad \|q_{2i=2}^k\| = \begin{vmatrix} q_{22}^{k=1} \\ q_{22}^{k=2} \end{vmatrix}; \quad \|q_{2i=3}^k\| = \begin{vmatrix} q_{23}^{k=1} \\ q_{23}^{k=2} \end{vmatrix}. \quad (14)$$

Затем выбираем в результате (16) вариант k_{mi} , которому соответствует максимально ожидаемый доход. Результат выбора записывается в виде вектор-решения:

$$f_1 = \|k_{m1}^1 \ k_{m2}^1 \ k_{m3}^1\|. \quad (15)$$

Пусть элементы вектор-решения $f_0 = f_1$. Таким образом, решение найдено, т. е. итерационная процедура улучшения решения привела к выбору оптимального варианта системы ТО. В противном случае необходимо продолжать процедуру улучшения.

Функциональная схема разработанного алгоритма оптимизации представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Функциональная схема разработанного алгоритма оптимизации системы ТО

Использование разработанного алгоритма позволит найти оптимальные параметры системы ТО агрегата ВС с учетом наличия скрытых отказов и неисправностей, а также с учетом затрат на проведение регламентных работ и ремонта, что повысит их эффективность эксплуатации в рыночных условиях. Результаты решения модельной задачи подтверждают работоспособность представленного алгоритма. Сравнительная оценка разработанного алгоритма с классическим показала, что его целесообразно использовать при значении эксплуатационных расходов $C_3 \geq 0,3C_0$.

Список литературы

- 1 Писаренко, В. Н. Модели надежности и определение приемлемой периодичности технической эксплуатации стареющего парка воздушных судов / В. Н. Писаренко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2014. – № 3. – С. 7–14.
- 2 Техническая эксплуатация летательных аппаратов / Н. Н. Смирнов [и др.]. – М. : Транспорт, 1990. – 423 с.
- 3 Смирнов, Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.
- 4 Емелин, Н. М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов / Н. М. Емелин. – Машиностроение, 1995. – 128 с.
- 5 Ховард, Р. А. Динамическое программирование и марковские процессы / Р. А. Ховард. – М. : Сов. Радио, 1964. – 192 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ОТМЕТОК И ТРАЕКТОРИЙ ЦЕЛЕЙ

В. В. КОРОЛИК, М. Г. КОНИН

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Существует несколько подходов к построению алгоритмов траекторной обработки [1]. Во многом эти подходы определяются тем, траектории каких целей (одиночных или групповых) необходимо сопровождать. Поэтому целесообразно рассматривать алгоритмы с учетом одноцелевого подхода (отдельная обработка каждой траектории цели) и с учетом многоцелевого подхода (совместная обработка всех траекторий целей).

Проводилось моделирование этапа отождествления траекторий и отметок при различных подходах к построению алгоритмов траекторной обработки. При этом изменялось расстояние между сопровождаемыми целями с учетом точности измерения координат получаемых отметок.

Моделирование проводилось для случая отождествления трех сопровождаемых траекторий целей с тремя полученными от этих целей отметками. Точность определения координат отметок по плоскостным координатам характеризуется среднеквадратическими отклонениями (СКО) ошибок. Цели расположены на одной прямой линии. В процессе моделирования изменялись расстояния между соседними целями от 0,25 до 6 СКО ошибок измерения координат отметок и рассчитывалась вероятность неправильного отождествления траекторий и отметок. На рисунке 1 представлена зависимость вероятности неправильного отождествления от расстояния между соседними целями.

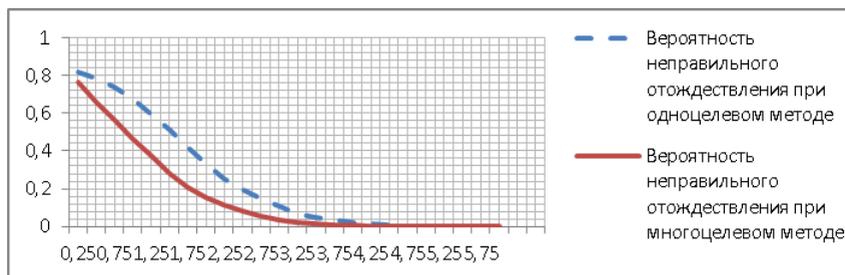


Рисунок 1 – Зависимость вероятностей неправильного отождествления траекторий и отметок от расстояния между соседними целями (расположены на одной прямой линии)

Как видно из графика, вероятность неправильного отождествления при расстоянии между соседними целями более 4 СКО ошибок измерения координат отметок имеет небольшую величину как при одноцелевом, так и при многоцелевом подходах. Однако, необходимо учесть, что неправильное отождествление отметок и траекторий целей при больших расстояниях между соседними целями приведет к существенным ошибкам при фильтрации координат целей.

При уменьшении расстояния между соседними целями от 4 до 0,5 СКО ошибок измерения координат отметок вероятность неправильного отождествления выше у алгоритма одноцелевого отождествления. При расстоянии между соседними целями менее 0,5 СКО ошибок измерения координат отметок вероятность неправильного отождествления при одноцелевом подходе как и многоцелевом стремится к величине 0,833. Эта величина соответствует сумме вероятностей всех гипотез неправильного отождествления отметок и траекторий целей (т. к. верным вариантом отождествления трех траекторий и трех отметок будет только один из шести возможных вариантов, остальные варианты отождествления будем считать неправильными).

На рисунке 1 представлена зависимость вероятности неправильного отождествления от расстояния между соседними целями для случая, когда они расположены на одной прямой. Также было проведено моделирование для случая, когда цели расположены друг относительно друга в вершинах равностороннего треугольника. В процессе моделирования изменялось расстояние между целями от 0,25 до 7 СКО ошибок измерения координат. График зависимостей вероятностей неправильного отождествления от расстояния между целями представлен на рисунке 2.

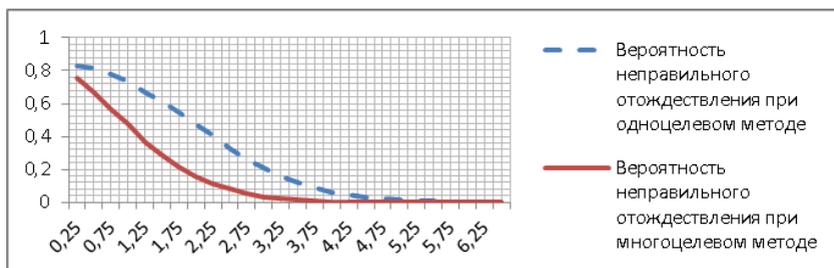


Рисунок 2 – Зависимость вероятностей неправильного отождествления траекторий и отметок от расстояния между соседними целями (расположены в вершинах равностороннего треугольника)

Как видно из графика, вероятность неправильного отождествления при одноцелевом методе имеет приемлемую величину при расстоянии более 5 СКО ошибок измерения координат. При расстоянии между целями менее

0,75 СКО ошибок измерения координат, вероятности неправильного отождествления многоцелевым и одноцелевым способами стремится к неприемлемым для вторичной обработки информации величинам.

По результатам моделирования можно сделать вывод о целесообразности использования многоцелевого подхода в том случае, когда расстояние между целями составляет приблизительно от 0,5 до 3 значений СКО ошибок измерения координат. Если расстояние между целями больше 3 значений СКО ошибок измерения координат, то повышение эффективности за счет многоцелевого подхода незначительно, а сложность и вычислительные затраты большие. При расстоянии между целями меньше значения 0,5 СКО ошибок измерения координат повышение эффективности за счет многоцелевого подхода также незначительно, причем в этом случае оба подхода показывают низкую эффективность, поэтому целесообразно переходить от сопровождения одиночных целей к группированию и групповому сопровождению целей. Также вероятности неправильного отождествления траекторий и отметок при одноцелевом и многоцелевом подходах зависят от пространственного расположения траекторий целей.

Список литературы

1 **Коновалов, А. А.** Основы тракторной обработки радиолокационной информации / А. А. Коновалов. – СПб. : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 129 с.

УДК 355.58:624

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВИЗУАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. Н. ЛЫСЫЙ, Д. М. СЕРГЕЙЧИК, В. Т. ОСИПОВ
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

В современных локальных конфликтах система противовоздушной обороны (ПВО), по сути, определяет состоятельность государства, а порой, и само существование государства на карте мира. Опыт прошлых и настоящих вооруженных конфликтов показывает, что действия западных коалиций в основном направлены на то, чтобы взломать несовершенную ПВО и потом беспрепятственно реализовывать свои цели и задачи. Все военное экспертное сообщество едино во мнении, что наличие или отсутствие эффективной системы ПВО в большинстве случаев определяет исход международных конфликтов.

Несмотря на постоянное развитие и совершенствование средств ПВО, одной из основных и, пожалуй, наиболее сложных задач является обнаружение низколетящих воздушных целей. Причем, эта проблема на данный момент является актуальной для ПВО большинства стран мира. Практически все современные летательные аппараты могут совершать полеты на малых и предельно малых высотах (от 10–20 до 150 м). При этом многие типы самолетов оснащены аппаратурой, позволяющей совершать полеты с огибанием рельефа местности как в ручном, так и в автоматическом режимах. Очевидно, что обнаружение таких летательных аппаратов (как правило, вертолетов и легкомоторных самолетов), осуществляющих полет на малых и предельно малых высотах, является важной задачей как мирного, так и военного времени.

В этой связи следует отметить, что рост актуальности обеспечения противовоздушной обороны транспортных коммуникаций и искусственных сооружений обусловлен возросшими объемами производства малоразмерных и сравнительно дешевых летательных аппаратов индивидуального пользования. Об этом свидетельствуют масштабы воздушных нарушений – ежедневно в мире совершаются десятки тысяч несанкционированных полетов на легкомоторных самолетах и вертолетах.

Говоря о контроле воздушного пространства, в первую очередь подразумевается радиолокационный контроль, который на настоящее время наиболее распространен, что обусловлено большими размерами зон обзора пространства при сравнительно малом количестве наземных радиолокационных станций (РЛС). Вместе с тем радиолокационное обнаружение летательных аппаратов на малых и предельно малых высотах является сложной задачей, которая не является новой – она существовала всегда. Сложность обусловлена четырьмя основными группами факторов, влияние которых усиливается при специальном планировании операций нарушителями границы [1]:

- первая группа связана с влиянием земной (водной) поверхности на распространение радиоволн;
- вторая группа связана с шарообразной формой Земли и рельефом местности, определяющим зоны прямой видимости и «радиотени»;
- третья группа связана с радиотехнической разведкой, проводимой нарушителями границы и обеспечивающей обнаружение и определение местоположения активных радиолокационных средств контроля воздушного пространства;
- четвертая группа связана с малой эффективной отражающей поверхностью малоразмерных аппаратов, выполненных в основном из композиционных слабоотражающих материалов.

Кроме того, сигналы, отраженные от малоскоростных легкомоторных летательных аппаратов, компенсируются вместе с мешающими отражения-

ми от подстилающей поверхности в устройствах селекции движущихся целей РЛС.

С учетом отмеченных факторов можно констатировать, что при использовании, для обеспечения противовоздушной обороны транспортных коммуникаций и искусственных сооружений только радиолокационного контроля, нарушители, применяющие легкомоторные летательные аппараты, в ряде случаев смогут достаточно эффективно осуществлять разведку и поражение транспортных коммуникаций и искусственных сооружений на малых и предельно малых высотах. В целях недопущения подобных фактов должен быть реализован комплекс мер как технического (модернизация существующих и разработка принципиально новых РЛС, применение систем акустико-сейсмических датчиков и т. п.), так и организационного характера. Одной из составляющих этого комплекса является визуальная разведка, силами и средствами которой располагают не только ВВС и войска ПВО, но и другие силовые структуры, в компетенцию которых входят вопросы обеспечения противовоздушной обороны транспортных коммуникаций и искусственных сооружений.

Для решения задач визуальной разведки воздушного пространства необходимо оборудование постов визуального наблюдения (ПВН). Эти посты должны быть оснащены оптическими и оптико-электронными приборами (включая приборы ночного видения), средствами связи и передачи информации, которые производятся в Беларуси. С целью увеличения дальности действия эти приборы целесообразно поднимать на высоту 10–15 м с помощью специальных вышек. Очевидно, что выполнять задачи на этих постах должны подготовленные специалисты (наблюдатели). При этом следует иметь в виду, что визуальная разведка требует постоянной тренировки наблюдателей. Опыт показывает, что после овладения рациональными приемами наблюдения, регулярных тренировок в течение месяца дальность визуального обнаружения целей увеличится почти вдвое и может составлять: невооруженным глазом 6–8 км, с помощью бинокля – 12 км. Главными факторами, влияющими на визуальное обнаружение самолета наблюдателем, являются острота зрения, размеры сектора наблюдения, характеристики цели и условия видимости.

В настоящее время подготовка наблюдателей ПВН в подразделениях и воинских частях осуществляется самостоятельно, по собственным планам и программам, в связи с этим нет единых подходов к обучению.

В то же время так исторически сложилось, что радиотехнические войска (РТВ) были созданы из подразделений службы воздушного наблюдения оповещения и связи. В РТВ накоплен большой боевой опыт применения ПВН и подготовки специалистов в этой области, разработаны и используются уникальные планы и программы подготовки.

Для такой небольшой страны, как Беларусь, целесообразно осуществлять подготовку специалистов визуального наблюдения централизованно, в учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь» на базе кафедр тактики и вооружения РТВ факультета ПВО.

УДК 358.4

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХРАНЫ И ОБОРОНЫ АВИАЦИОННОЙ ВОИНСКОЙ ЧАСТИ, РАССРЕДОТОЧЕННОЙ НА ДВУХ АЭРОДРОМНЫХ УЧАСТКАХ ДОРОГ

П. С. СКРИПКО

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Охрана и оборона являются важнейшими мероприятиями по поддержанию живучести аэродромных участков дорог (АУД) и организуются в целях исключения воздействия воздушного и наземного противника, обеспечения сохранности вооружения, техники и запасов материальных средств.

При ведении боевых действий с использованием АУД, одна авиационная воинская часть (АВЧ) базируется по подразделениям минимум на двух АУД. Таким образом, возможности по охране и обороне АУД значительно уменьшаются. В этих условиях основное внимание должно быть сосредоточено на занятых авиационными подразделениями зонах рассредоточения и взлетно-посадочных полос. Личный состав, выделенный для наземной обороны АУД, целесообразно использовать централизованно в качестве подвижного резерва. Такие ограниченные силы наземной обороны АУД могут отражать небольшие по численности силы противника. При наступлении больших сил главная задача наземной обороны будет сводиться к задержке продвижения противника в целях обеспечения вывода сил и средств АВЧ. Вывод АВЧ может осуществляться в зависимости от условий и боевой обстановки по следующим вариантам:

- на другой АУД, где находятся силы и средства подразделений своей части (наиболее благоприятный вариант);
- на АУД, где находятся силы и средства подразделений другой АВЧ;
- на запасный АУД, где ЛА будут встречаться своими силами (наименее благоприятный вариант).

Охрана и наземная оборона АУД осуществляется силами и средствами территориальных войск, всех подразделений, расположенных на АУД, а также специально выделенными подразделениями сухопутных войск (рисунок 1).



Рисунок 1 – Охрана и оборона АУД, их силы и средства

Личным составом АВЧ защита, охрана и оборона (как одна из задач технического обеспечения) выполняется силами и средствами инженерно-авиационной службы (ИАС).

На эффективность выполнения мероприятий охраны и обороны влияют объективные и субъективные факторы. К объективным факторам относятся: оперативно-тактическая обстановка в районах АУД, последствия воздействия противника, погодные-климатические условия, время года и суток, повлиять на которые силами ИАС при осуществлении охраны и обороны возможности нет, и их необходимо учитывать как исходные данные. Субъективные факторы – укомплектованность средствами охраны и обороны и уровень подготовки личного состава, обеспеченность материальными средствами (на двух АУД одной АВЧ могут быть различными, в зависимости от направления главного удара противника), организация охраны и обороны.

ИАС предназначена для выполнения мероприятий инженерно-авиационного обеспечения (ИАО) как основного вида технического обеспечения боевых действий, который оценивается показателем качества (эффективности) ИАО, характеризующим степень достижения потребного результата ИАО боевых действий – подготовленного количества ВС к установленному сроку [1]:

$$K_{\text{ИАО}} = \frac{N_{\phi}}{N_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где N_{ϕ} – фактическое количество обеспеченных вылетов (учитывает все факторы, влияющие на результат ИАО), $N_{\text{тр}}$ – потребное количество вылетов (директивное, определенное из условий, что исключено влияние внутренних факторов, не должно быть больше реальных возможностей ИАС по обеспечению максимального количества самолета-вылетов).

В качестве обобщенного показателя качества охраны и обороны возможно использовать коэффициент качества охраны и обороны, который может быть представлен, подобно предыдущему показателю как отношение фактического и требуемого (директивного) результата работы по охране и обороне:

$$K_{\text{ОО}}^{\text{ИАО}} = \frac{P_{\phi \text{ oo}}}{P_{\text{тр oo}}}, P_{\phi \text{ oo}} = \frac{N_{\phi}}{T_{\phi \text{ oo}}}, P_{\text{тр oo}} = \frac{N_{\text{тр}}}{T_{\text{тр oo}}}, \quad (2)$$

где $P_{\phi \text{ oo}}$, $P_{\text{тр oo}}$ – фактические и требуемые результаты по охране и обороне относительно затраченных ресурсов, сил и средств, $T_{\phi \text{ oo}}$, $T_{\text{тр oo}}$ – фактические и требуемые (выделенные) ресурсы, силы и средства.

Тогда обобщенный показатель качества ИАО, учитывающий качество выполнения мероприятий ИАО и качество охраны и обороны АУД силами и средствами ИАС, возможно представить в виде:

$$K_{\text{ОБ}}^{\text{ИАО}} = K_{\text{ОО}}^{\text{ИАО}} K^{\text{ИАО}} = \frac{T_{\text{тр oo}}}{T_{\phi \text{ oo}}} \left(\frac{N_{\phi}}{N_{\text{тр}}} \right). \quad (3)$$

Так как при директивных условиях выполнения мероприятий ИАО исключается влияние внутренних факторов на достижение результата работы, то директивная оценка количества обеспеченных полетов будет не менее их фактического количества: $N_{\text{тр}} \geq N_{\phi}$. По той же причине, директивные ресурсы, силы и средства будут не более фактических $T_{\text{тр oo}} \leq T_{\phi \text{ oo}}$. Тогда всегда: $K^{\text{ИАО}} \leq 1$, $K_{\text{ОО}}^{\text{ИАО}} \leq 1$, что позволяет использовать их как оценку качества ИАО и качества охраны и обороны ИАО, а обобщенный показатель качества ИАО $K_{\text{ОБ}}^{\text{ИАО}}$ для оценки влияния качества ИАО, с учетом качества охраны и обороны двух АУД силами и средствами ИАС, на боевые возможности авиационной части.

Повышение обобщенного коэффициента качества ИАО возможно за счет повышения качества ИАО, качества охраны и обороны двух АУД силами и средствами ИАС ИАО (обоснованного распределения сил и средств для охраны и обороны между АУД).

Список литературы

1 **Решетников, П. Б.** Боевая готовность и техническое состояние авиационной техники: учебное пособие / П. Б. Решетников, В. В. Балаев, Р. М. Сафин ; под ред. П. Б. Решетникова. – Монино : ВУНЦ ВВС, 2010. – 280 с.

УДК 621.396.96

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АНТЕННОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПРИЕМА СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

А. Л. ТРОФИМЕНКОВ, Д. М. МИЦКЕВИЧ
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Современная тенденция развития вооружения диктует необходимость постоянного совершенствования системы навигации. Основным требованием для навигационной системы является высокая точность определения координат объекта. Использование навигационных сигналов с открытыми кодами не позволяет с требуемой точностью определять местоположение объекта. Ошибка определения координат может достигать более 50 м [1, 3].

Одним из путей совершенствования рассматривается возможность применения многобазовой системы приема спутниковых навигационных сигналов. Такая система включает в себя антенную структуру (АС), состоящую из нескольких приемных антенн, расположенных специальным образом с учетом размеров фазометрических баз и их положения. При этом, данная АС не только принимает навигационное сообщение, но и позволяет учитывать разность фаз навигационных сигналов на входах приемников. Для определения АС применяется численный метод оптимизации антенных систем, основанный на полном переборе всех возможных положений антенных элементов при заданном их количестве и габаритном размере. Метод основан на использовании для устранения неоднозначности измерений принципа максимального правдоподобия [2].

Точность определения направления на источник сигнала зависит от размеров наибольшей базы, однако увеличение антенной базы приводит к появлению неоднозначности фазовых измерений. Выбор структуры антенной системы зависит от границ зоны обзора ν . Граница зоны обзора определяет максимальное по абсолютной величине значение направляющего косинуса.

Интервал однозначного измерения направляющего косинуса определяется по формуле

$$\Delta v_{\text{одн}} = \frac{\lambda}{l}, \quad (1)$$

где λ – длина волны источника излучения сигнала, l – база антенной структуры.

Задание границ зоны обзора позволяет вычислить минимальную базу, при которой число полных периодов разности фаз $k = 0$ определяется по формуле

$$l_{\text{min}} = \frac{\lambda}{\Delta v_{\text{одн}}}, \quad (2)$$

где значение $\Delta v_{\text{одн}}$ используется в радианах.

Соответственно, при заданном угловом секторе $\pm 60^\circ$ и длине волны источника сигнала $\lambda = 19,03$ см интервал однозначного измерения направляющего косинуса $\Delta v_{\text{одн}} = 1,732$ относительно нормали к антенной структуре, а $l_{\text{min}} = 0,11$ м. Схема размещения антенн зависит от выбранного вектора взаимно простых чисел \vec{e}_x , который определяет оптимальное расположение элементов антенной системы.

$$e_x = \Delta v_{\text{одн}} \vec{n}_x, \quad (3)$$

где вектор фазометрических баз $\vec{n}_x = \frac{l}{\lambda}$,

Например, выбранный оптимальный вектор $\vec{e}_x = (4, 6, 9)$ для 3-базовой антенной структуры позволяет рассчитать длину каждой отдельной базы по формуле

$$l_x = l_{\text{min}} \vec{e}_x, \quad (4)$$

где l_{min} – минимальная база, определяющая сектор однозначного измерения направляющего косинуса.

Размеры баз антенной структуры l_1, l_2, l_3 равны 0,4395; 0,6592; 0,9888 соответственно.

АС представляет собой линейную решетку, которая позволяет определить угловое положение источника излучения сигнала (рисунок 1).

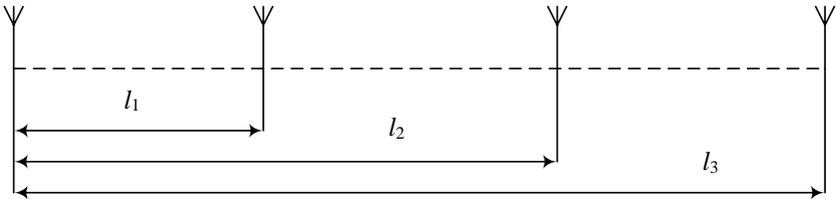


Рисунок 1 – Антенная структура системы приема СНС

Связь между фазами обусловлена только за счет общего антенного элемента, так что коэффициент корреляции между ошибками измерений фаз равен 0,5. Фазовые погрешности за счет внутренних шумов приемных устройств, независимых от канала к каналу, учитываются в корреляционной матрице B_φ :

$$B_\varphi = \sigma_\varphi^2 R_\varphi, \quad (5)$$

где σ_φ^2 – дисперсия разности фаз, R_φ – нормированная корреляционная матрица, зависящая только от схемы подключения фазометров к выходам приемных устройств и имеет следующий вид [4]:

$$R_\varphi = \begin{Bmatrix} a & b & b \\ b & a & b \\ b & b & a \end{Bmatrix}, \quad (6)$$

где $a = 1$, $b = 0,5$.

Получение статической оценки направления на источник излучения основывается на применении метода максимального правдоподобия. По формуле (7) рассчитывается вектор весов, который зависит от структуры антенной системы и корреляционной матрицы ошибок измерений.

$$\vec{q}_v = \frac{B_\varphi^{-1} \vec{n}_x}{\vec{n}_x^T B_\varphi^{(-1)} \vec{n}_x}, \quad (7)$$

где B_φ^{-1} – матрица, обратная корреляционной матрице фазовых ошибок.

Вектор весов позволяет получить оценку направляющих косинусов v^* :

$$v^* = \vec{\Phi}^T \vec{q}_v, \quad (8)$$

где $\vec{\Phi}^T = \vec{\varphi} + \vec{k}$ – полная разность фаз.

Вектор измеренных фаз $\vec{\varphi}$ состоит из совокупности измеренных разностей фаз на каждой базе, где значения должны быть в пределах $[-0,5; 0,5]$. Полные циклы фаз, утраченных при измерениях, составляют вектор \vec{k} .

Совокупность векторов \vec{k}_i , \vec{e}_x позволяет образовать матрицу перехода к новому базису в пространстве измерений. Матрица C используется в квази-оптимальном алгоритме устранения неоднозначности. Ее детерминант по модулю должен быть равен единице, иначе опорная совокупность векторов определена неверно

$$C = (\vec{k}_1, \vec{k}_2, \vec{e}_x), \quad (9)$$

Искомая матрица C имеет вид:

$$C = \begin{Bmatrix} 2 & 1 & 4 \\ 3 & 4 & 6 \\ 4 & 3 & 9 \end{Bmatrix}. \quad (10)$$

Детерминант данной матрицы равен единице, что указывает на правильность выбора опорной совокупности векторов неоднозначности.

Таким образом, при построении многобазовой системы приема спутниковых навигационных сигналов, выбор оптимальной антенной структуры позволит учитывать разность фаз сигнала на входах навигационных приемников и тем самым увеличит точность определения местоположения объекта.

УДК 355.58:355.691.21

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ ВОИНСКИХ ЭШЕЛОНОВ

А. И. ФЁДОРОВ, Д. Н. ОШМЯНА

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Воинские перевозки грузов и личного состава железнодорожным транспортом является важной государственной задачей и осуществляются воинскими эшелонами. Они направлены на своевременное обеспечение войск техникой, горюче-смазочными материалами, продовольствием, медикаментами, боеприпасами, пополнение личным составом частей и подразделений Вооруженных сил государства.

Своего наивысшего развития воинские перевозки достигли в период Великой отечественной войны. В первые месяцы войны воинские эшелоны несли значительные потери от действия немецкой авиации, как на станциях погрузки-выгрузки, так и в пути следования. Так, налет немецкой авиации в июле 1941 года на станцию Вязьма на московском направлении парализовал ее работу практически на две недели [1, с. 187]. Стоявшие там воинские эшелоны долгое время не могли отправиться на запад. Выделяемых сил и средств как для охраны железнодорожных коммуникаций, так и для сопровождения воинских эшелонов на начальном этапе войны было недостаточно, считалось, что воинские эшелоны прикрываются в общей системе ПВО.

В последствии в состав воинского эшелона включалась одна или несколько платформ, оснащенных средствами ПВО (зенитной артиллерией в сочетании с зенитными пулеметами). Кроме того, воинские эшелоны начали сопровождать бронепоезда, усиленные средствами ПВО, и это дало свои результаты. Частенко, встретив мощный отпор, авиация Люфтваффе возвращалась ни с чем.

В настоящее время для сопровождения воинских эшелонов целесообразно выделять до четырех зенитных установок ЗУ-23-2 и до двух отделений стрелков-зенитчиков, вооруженных ПЗРК «Игла».

Зенитные установки ЗУ-23-2 позволяют вести огонь по воздушным целям на дальности до 2500 м. Кроме того, их можно использовать для уни-

чтожения диверсионных групп или других незаконных формирований, замеченных на пути следования воинского эшелона.

ПЗРК «Игла» способны уничтожать воздушные цели на дальностях до 5000 м и по высоте до 3500 м.

Для прикрытия войск и грузов в пути следования зенитные отделения ЗУ-23-2 и ПЗРК «Игла» размещаются обычно в голове, середине или хвосте воинского эшелона. Наиболее предпочтительным является вариант их размещения в начале и в конце эшелона (рисунок 1). Это позволяет расширить сектор стрельбы ЗУ-23-2 и пуска ракет ПЗРК.



Рисунок 1 – Вариант распределения сил и средств ПВО при сопровождении воинского эшелона

Пуски ракет ПЗРК в пути следования на электрифицированных железных дорогах нельзя производить с кузовов автомобилей, так как удаление стрелков-зенитчиков от контактного провода при этом будет меньше допустимого.

Стрелков-зенитчиков в данном случае целесообразно располагать непосредственно на платформах, где для них оборудуются укрытия из мешков с песком или землей.

Для уменьшения углов закрытия железнодорожные платформы с зенитными отделениями отделяются от локомотива, крытых вагонов, платформ с высоким грузом не менее чем одной платформой с грузом небольшой высоты.

Для обеспечения безопасности пуска ракет определяются запретные секторы стрельбы в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Запретный сектор пуска ракет по углу места зависит от места расположения платформы стрелка-зенитчика в эшелоне и высоты перемещаемых грузов. Запретный сектор пуска ракет в горизонтальной плоскости составляет не менее $\pm 20^\circ$ в направлении продольной оси поезда вперед и назад.

На длительных стоянках зенитные отделения могут занимать стартовые позиции вблизи поезда (на насыпях, возвышенностях), а при длительных остановках может выдвигаться на вероятные направления налетов воздушного противника на удаление до 300 м от воинского эшелона.

После выгрузки зенитные отделения занимают стартовую позицию и прикрывают войска при разгрузке и выходе в назначенный район.

Разведка воздушного противника при прикрытии воинского эшелона ведется визуальным наблюдением постами воздушного наблюдения, а также дежурными стрелками-зенитчиками.

Посты воздушного наблюдения обычно выставляются в голове и хвосте поезда в местах, обеспечивающих наилучший обзор воздушного пространства (заданного сектора).

Секторы наблюдения постам назначаются с таким расчетом, чтобы обеспечивалось их взаимное перекрытие в пределах 20–30°. Смену наблюдателей в воинском эшелоне производят на остановках поезда.

Таким образом, защита воинских эшелонов от ударов воздушного противника остается актуальной. В современных условиях их противовоздушную оборону целесообразно организовывать зенитными отделениями, вооруженными ЗУ-23-2 и ПЗРК «Игла».

Список литературы

1 Швабедиссер, В. Сталинские соколы: Анализ действий советской авиации 1941–1945 гг. / В. Швабедиссер ; пер. с англ. – Минск : Харвест, 2004

УДК 621.396.96

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ ДВУМЯ РЛС

С. А. ЮРАС, Я. И. НЕВЕРОВИЧ

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

В АСУ войск ПВО подсистема радиолокационного обеспечения имеет иерархическую структуру, в которой обработка радиолокационной информации (РЛИ) от первичных источников осуществляется последовательно от объектов нижестоящего уровня к вышестоящему [1]. В комплексах средств автоматизации (КСА) различного уровня производятся этапы первичной, вторичной и третичной обработки РЛИ, а также осуществляется обмен РЛИ между КСА. При этом случайные ошибки измерения координат целей радиолокационной станцией (РЛС), в достаточной степени устраняются алгоритмами вторичной и третичной обработки информации. Однако наличие систематических ошибок в измерении координат может привести к значительному снижению качества РЛИ.

Пусть имеются две РЛС, подключенных к КСА, где осуществляется третичная обработка РЛИ. В большинстве случаев информация от радиолокационных станций начинает поступать одновременно. К моменту поступления информации от второй РЛС по информации первой РЛС решаются боевые задачи средствами ПВО и есть возможность считать первую РЛС как источник, не имеющий систематических ошибок измерения координат целей. При подключении к КСА второй РЛС возникает проблема возможности наличия систематических ошибок в измерении координат целей, что приведет к ошибкам оценки координат и количества целей по результатам третичной обработки.

В литературе [1, 2] имеется достаточное количество исследований по обнаружению и оценке значений систематических ошибок РЛС. Однако в одних из них процесс обнаружения факта наличия систематических ошибок

требует большого количества данных, что приводит к недопустимо большому времени определения этого факта, в других факт наличия систематических ошибок считается определенным и проводятся исследования по оценке такого рода ошибок РЛС. Также не рассматривается вопрос возможного эпизодического наблюдения целей отдельными РЛС и наличия ложных отметок.

При объединении информации от двух РЛС на уровне траекторий или на уровне траекторий от первой РЛС и координат полученных отметок от второй РЛС из-за наличия случайных (а возможно и систематических) ошибок всегда будут расхождения в значениях координатных параметров. Принимая это расхождение некоторой случайной величиной, предлагается с помощью теории математической статистики рассмотреть возможность обнаружения факта наличия систематической ошибки, в том числе при малой выборке этой случайной величины.

Считается, что случайные ошибки измерения параметров траекторий (и координат отметок второй РЛС) подчиняются нормальному закону с известной дисперсией и ненулевым математическим ожиданием (при наличии систематической ошибки). Определенной проблемой является тот факт, что третичная обработка в КСА проводится, как правило, в прямоугольной системе координат, а систематические ошибки чаще всего возникают в сферических координатах. Поэтому выборки случайных величин расхождения координат целей, объединенных от двух РЛС, необходимо получить в сферических координатах.

Таким образом, можно рассматривать процесс обнаружения систематической ошибки как проверку гипотезы о равенстве определенному ненулевому числу математического ожидания нормального распределения случайной величины с известной дисперсией [3].

В среде MathCad разработана программа, которая включает в себя моделирование процесса измерения координат целей двумя РЛС со случайными ошибками, распределенными по нормальному закону, и вводом систематической ошибки по азимуту по второй РЛС, а также моделирование процесса принятия решения о наличии систематической ошибки на основе расчётов стандартизированного выборочного среднего и сравнения его значения с соответствующим численным интервалом.

В процессе экспериментов изменялось количество целей, обнаруженных двумя РЛС, и значения систематических ошибок второй РЛС. Значение среднеквадратических отклонений случайных ошибок измерения азимута для обеих станций принято одной условной единицей. Количество целей изменялось от 2 до 10, а значения систематических ошибок от 0 до 4 с шагом 0,2. Проводились серии по $R = 10000$ экспериментов с каждым значением количества целей и систематических ошибок.

По результатам экспериментов определялось количество принятых решений о наличии систематических ошибок и на этой основе рассчитывались вероятности принятия решений о наличии систематической ошибки для разного количества целей (VER2, ..., VER10). На рисунке 1 представлен график зависимости этих величин от значения систематической ошибки CO.

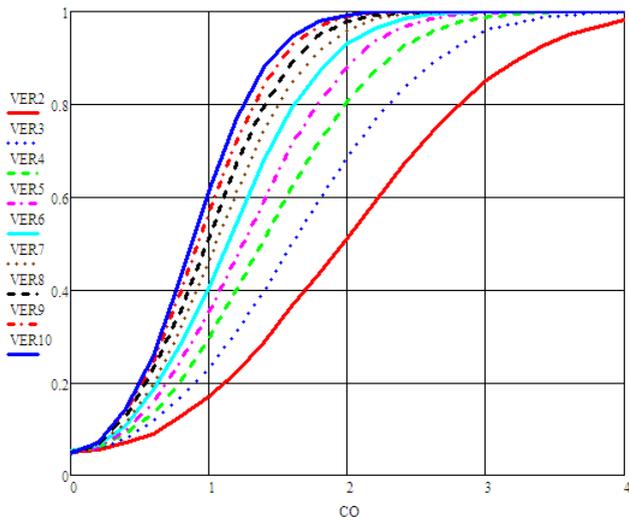


Рисунок 1 – Зависимость вероятности принятия решения о наличии систематической ошибки от значения систематической ошибки для разного количества целей

Для любого числа целей при отсутствии систематической ошибки ($CO = 0$) вероятность принятия решения о наличии систематической ошибки составляет 0,05. С увеличением количества целей и значения систематической ошибки происходит увеличение вероятности принятия решения о наличии систематической ошибки. При значении систематической ошибки более 1,5 и количестве целей более 5 имеется возможность утверждать о приемлемой вероятности обнаружения систематической ошибки.

Список литературы

- 1 Коновалов, А. А. Основы тракторной обработки радиолокационной информации / А. А. Коновалов. – СПб. : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 129 с.
- 2 Жданюк, Б. Ф. Основы статистической обработки тракторных измерений / Б. Ф. Жданюк. – М. : Сов. радио, 1978. – 384 с.
- 3 Мятлев, В. Д. Основы математической статистики / В. Д. Мятлев, Л. А. Панченко, А. Т. Терехин. – М. : МАКС Пресс, 2002. – 38 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ю. А. ЯВОРОВИЧ, И. А. ОСАДЧИЙ

Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

Современные системы обработки информации представляют собой комплекс автоматизированных устройств, которые по своим возможностям позволяют управлять эксплуатацией и ремонтом вооружения военной и специальной техники для организации их эффективного использования потребителями и техническими службами.

Характерными особенностями для современных технических служб является наличие в их деятельности штабных функций, которые сводятся к сбору информации, необходимой для подготовки решений, внимание к проблемам, которые могут возникнуть в процессе выполнения намеченного плана, контроль за выполнением этого плана.

Высокая эффективность технического обеспечения достигается:

- правильным определением потребностей для организации обеспечения;
- четким планированием, целесообразной организацией применения сил и средств технического обеспечения;
- своевременным накоплением, эшелонированием и гибким маневром силами и средствами технического обеспечения;
- максимальным использованием местных ресурсов;
- высокой специальной и технической подготовкой личного состава, их умением производить техническое обслуживание и ремонт ВВСТ;
- способностью быстро восстанавливать силами подразделений технического обеспечения поврежденное вооружение и военную технику;
- непрерывным, гибким и твердым управлением;
- применением системы поддержки принятия решения.

В рамках организации системы поддержки принятия решения необходимо выполнить ряд поступательных задач:

- 1) постановка задачи;
- 2) уточнение исходных данных;
- 3) автоматизированный сбор информации о текущей обстановке;
- 4) анализ внутренних условий, влияющих на решение поставленных задач.

Для решения задачи поиска оптимального пути решения поступающих запросов, система оценивает логистические издержки, учитывает временные затраты, оперирует базами данных, формирует запросы для уточнения данных.

Возможность быстрого восстановления вышедших из строя ВВСТ повышает эффективность их применения. Для оптимизации временных затрат система просчитывает все возможные варианты исхода событий, где учитываются выполняемые операции, временные затраты:

$$t_{\text{ЕДО}} = \sum_{i=1}^N \tau_i, \quad (1)$$

где $t_{\text{ЕДО}}$ – время единичной операции; τ_i – продолжительность i -й операции; N – число операций, последовательно выполняемых для проведения восстановительных или ремонтных работ.

Применительно к поиску решения задачи $t_{\text{ЕДО}}$ – это время восстановления единичного объекта, а τ_i – его составляющие: время поиска неисправности, время ремонта (замены), время регулировки после ремонта и т. п.

Для оценки качества работы узла цепи восстановления ВВСТ может быть использован статистический метод – метод контрольного параметра.

Для этого применим методику расчета точек пересечения пределов.

Каждое событие будет характеризоваться весовым параметром ω_i в зависимости от положения на координатной шкале

$$\omega_i = 0,5e^{-x}, \quad (2)$$

где x – значение интервала, к примеру $0,75$ – это середина между показателями границ $0,5$ и 1 .

Далее, для примера, система поддержки принятия решения производит расчет количественной оценки для показателя «Доставка ЗИП». В данном случае важны запасы ЗИП и время доставки. На начальном этапе за эталонное значение принимаем $A_{ij} = 1$ (количество ЗИП/время доставки). Соответственно оценки «Доставка ЗИП» из других мест будут

$$A_{in} = \frac{A_{ij}}{N_{\text{зип}} / t_{\text{досл}}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{зип}}$ – количество имеющегося ЗИП; $t_{\text{досл}}$ – время доставки; n – порядковый номер поставщика.

Расчет рейтинговых оценок производится с учетом веса ω_i :

– для поставки из пункта А: $a_{11} = \omega A_{11}$;

– для поставки из пункта Б: $a_{12} = \omega A_{12}$;

– для поставки из пункта В: $a_{13} = \omega A_{13}$.

По данному методу могут оцениваться любые параметры.

Для системы определяются граничные показатели, по отношению к которым предлагаются варианты принятия решения.

Верхняя x_v и нижняя x_n границы интервала, в который попадают значения одной совокупности, определяются по формуле:

$$\begin{cases} x_v = \bar{x} + \sqrt{\frac{n-1}{n}}\sigma z; \\ x_n = \bar{x} - \sqrt{\frac{n-1}{n}}\sigma z, \end{cases} \quad (4)$$

где \bar{x} – среднее значение выборки данных; n – выборка данных; σ – среднее квадратическое отклонение; z – коэффициент Арлея, зависящий от объема выборки и уровня значимости.

На рисунке 1 видно, что параметр выходит за границу, снизилась надежность системы, при этом параметр характеризовался не только временем, но и количеством ЗИП.

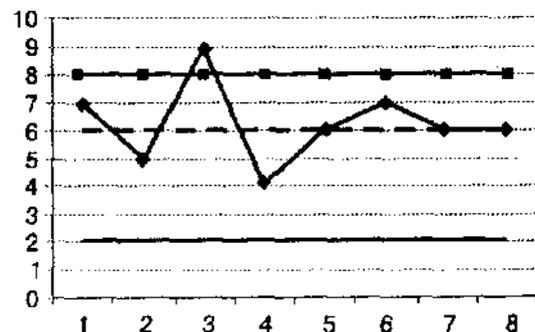


Рисунок 1 – График оценок исследуемого параметра

Приведенные расчеты сложны и затратны по времени при условии, если это делает человек, в случае с ПЭВМ расчет происходит мгновенно. Человек видит результат расчета в виде графика и без потери времени принимает решение. Преимущество системы поддержки принятия решения очевидно.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

- А. А. Поддубный.* Роль военно-транспортного факультета в области строительства и восстановления искусственных сооружений 4
- С. М. Бобрицкий, К. В. Ефимчик.* Расчет укрупненных плановых показателей по сооружению военных железнодорожных мостов с использованием электронной программы 13

СЕКЦИЯ I. ФИЗИКА, МЕХАНИКА И МАТЕМАТИКА ПРИ РАСЧЁТЕ И КОНСТРУИРОВАНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

- А. Г. Козел.* Особенности деформирования круговых трехслойных пластин на основании Пастернака 19
- Д. В. Леоненко.* Нагружение сэндвич-панелей при температурном воздействии..... 22
- А. В. Нестерович.* Неосесимметричное деформирование трехслойной пластины со свободно опертым контуром..... 23
- А. А. Поддубный, В. А. Гордон.* Динамическое догружение балки вследствие внезапного изменения структуры упругого основания..... 26
- А. А. Поддубный, А. А. Яровая.* Определение статических прогибов и изгибающих моментов в неоднородной балке, частично опертой на упругое основание, при изменении граничных условий ее закрепления 29
- Э. И. Старовойтов.* Влияние температурного поля на переменное деформирование трехслойных пластин..... 33

СЕКЦИЯ II. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИКРЫТИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

- П. А. Кацубо.* Применение термопласткомпозиата при временном восстановлении мостовых переходов, с использованием комплектов САРМ..... 36
- С. В. Кирик, Д. В. Малашиков.* Повышение эффективности воинских перевозок..... 38
- А. М. Куксо, П. Г. Демидов, М. Г. Козлов.* Программа и методики испытаний универсальных многооборотных креплений..... 39
- Н. И. Юрасюк, А. А. Светочный.* Некоторые проблемные вопросы организации маскировки мостовых переходов на ВАД..... 42

СЕКЦИЯ III. СТРОИТЕЛЬСТВО ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Г. В. Ахраменко.* Металлические гофрированные трубы – как альтернатива железобетонным..... 46
- А. С. Братикова, Т. А. Дубровская.* Применение металлических гофрированных труб в железнодорожном строительстве..... 49
- С. В. Дашкевич, А. С. Чугунова, А. А. Васильев.* Исследование влияния морозной деструкции на карбонизацию бетона 51
- П. Г. Демидов, А. М. Куксо, М. Г. Козлов.* Керченский транспортный переход..... 54
- М. Н. Долгачева, Т. В. Яшина.* Применение экологического энергоресурсосбережения в транспортном строительстве..... 58
- Р. Ю. Доломанюк.* Исследование коэффициентов модели прогноза долговечности железобетонных пролетных строений и путепроводов на стадии проектирования в течение прогнозируемого эксплуатируемого времени..... 61

<i>Р. Ю. Доломанюк.</i> Зависимости критических коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона, класса по прочности на сжатие.....	69
<i>К. В. Ефимчик, А. В. Марданов.</i> Применение композиционных материалов для строительства искусственных сооружений.....	73
<i>П. В. Ковтун, А. С. Братикова</i> Материалы для сооружения балластного слоя железнодорожного пути.....	75
<i>В. В. Левтринский, В. Г. Шевчук.</i> «Умный» мост – инновации в мостостроении.....	76
<i>С. В. Максименко, А. С. Шитилёв.</i> Обеспечение живучести объектов транспортных коммуникаций.....	82
<i>В. В. Маринич, А. В. Токаревский.</i> Обеспечение экологической безопасности при строительстве водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур	85
<i>В. В. Петрусевич, П. А. Кацубо.</i> Устройство шероховатых поверхностных слоев на мостовых сооружениях.....	88
<i>В. В. Романенко, М. А. Посудневский, В. Ф. Качан.</i> Обеспечение экологической безопасности при возведении искусственных сооружений в рамках строительства подъездного пути «Петриковский ГОК».....	92
<i>В. В. Романенко, В. Ф. Качан, Д. В. Турченко.</i> Регламентированный контроль за состоянием железнодорожного пути и искусственных сооружений.....	94
<i>А. А. Рудченко, Е. В. Виниченко, М. С. Шилкин, Д. С. Рулев, М. А. Зезюлин.</i> Маскировка вооружения, военной и специальной техники на железнодорожных 4-осных платформах.....	97
<i>В. В. Томашов.</i> Использование интеллектуальных транспортных систем при перевозке опасных грузов.....	100
<i>С. С. Чудновский.</i> Конструкция верхнего строения пути метрополитена.....	102
<i>В. Г. Шевчук, В. В. Левтринский.</i> Интеллектуализация автострад: от дорожных знаков и указателей до систем «умное шоссе».....	105
<i>А. С. Шитилёв, С. В. Максименко.</i> Перспективы строительства подводных плавающих туннелей.....	111
<i>Я. В. Шутков, С. Ю. Кирдякин.</i> Использование беспилотных летательных аппаратов при выполнении задач по строительству и восстановлению транспортных коммуникаций и искусственных сооружений.....	114

СЕКЦИЯ IV. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

<i>В. И. Гуринович, Т. С. Короленок.</i> Композиты – материал для ремонта узлов и агрегатов.....	117
<i>И. С. Демидович, Ю. А. Коновалов, В. А. Савин.</i> Применение аккумуляторных источников питания при строительстве.....	121
<i>Т. С. Королёнок, М. Т. Королёнок.</i> возможность применения гибридного привода в табельной технике транспортных войск.....	124
<i>В. В. Петрусевич.</i> Анализ синхронных битумощебнераспределителей фирмы SECMAIR используемых при ремонте поверхностных слоев на искусственных сооружениях.....	128

СЕКЦИЯ V. ОХРАНА И ОБОРОНА ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

<i>В. Е. Лазаренко, В. И. Козлов.</i> Разработка основных тактико-технических требований к бронированной медицинской машине	131
<i>В. В. Цыбулько, Р. С. Онищук.</i> Опыт организации противовоздушной обороны транспортных коммуникаций.....	133
<i>С. В. Никитенко, В. Н. Ворепю.</i> Некоторые аспекты охранения частей и подразделений транспортных войск	136
<i>О. В. Воронин, И. Г. Ивашко, А. В. Мазго.</i> Актуальные вопросы живучести транспортных коммуникаций в условиях применения противником баллистических ракет.....	140
<i>Р. В. Калякин, А. А. Санько.</i> Алгоритм оптимизации системы технического обслуживания с учетом затрат на проведение регламентных работ и ремонта...	142
<i>В. В. Королик, М. Г. Конин.</i> Сравнительный анализ подходов для отождествления отметок и траекторий целей.....	149
<i>А. Н. Лысый, Д. М. Сергейчик, В. Т. Осипов.</i> Проблемные вопросы подготовки специалистов визуального наблюдения в сфере обеспечения противовоздушной обороны транспортных коммуникаций и искусственных сооружений.....	151
<i>П. С. Скрипко.</i> Особенности организации и оценка эффективности охраны и обороны авиационной воинской части, рассредоточенной на двух аэродромных участках дорог.....	154
<i>А. Л. Трофименков, Д. М. Мицкевич.</i> Особенности построения антенной структуры для приема спутниковых навигационных сигналов.....	157
<i>А. И. Фёдоров, Д. Н. Ошмяна.</i> Опыт организации противовоздушной обороны воинских эшелонов.....	160
<i>С. А. Юрас, Я. И. Неверович.</i> Анализ возможности обнаружения систематической ошибки в зависимости от количества наблюдений двумя РЛС.....	162
<i>Ю. А. Яворович, И. А. Осадчий.</i> Перспективы развития технического обеспечения....	165

Научно-практическое издание

**СТРОИТЕЛЬСТВО И ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Материалы VII Международной научно-практической конференции

Часть I

Издается в авторской редакции

Технический редактор В. Н. Кучерова
Корректор Н. В. Кулеш

Подписано в печать 28.09.2020 г. Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 10,00. Уч.-изд. л. 10,81. Тираж 40 экз.
Зак. № 2854. Изд. № 55

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта,
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель.

