

1812 г.



Материалы международной
научно-практической конференции



МОДЕРНИЗАЦИЯ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

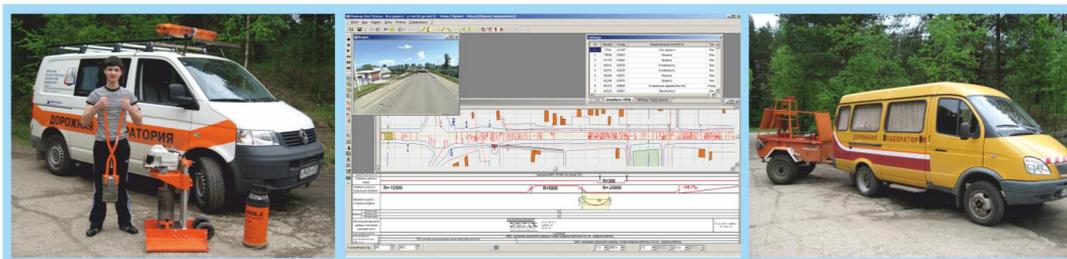
Том 3

Пермь 2012

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «ДОРОЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ» (НПИЛ «ДОРИСС»)

Кафедра «Автомобильные дороги и мосты»
Автодорожного факультета ПНИПУ

Контакты: г. Пермь, ул. Королева, 19 а, АДФ ПНИПУ, кафедра «АДМ».
Начальник лаборатории - доцент Кузнецов Вадим Юрьевич.
Тел./факс 8 (342) 239-13-71; 239-14-10; e-mail: adfsad@pstu.ru.



Основными направлениями деятельности НПИЛ «Дорисс» являются:

- испытания дорожно-строительных материалов в рамках сертификации продукции и инспекционного контроля сертифицированной продукции;
- операционный контроль качества устройства земляного полотна и слоев дорожной одежды;
- контроль качества готовых объектов (предприемочный);
- осуществление технического надзора при строительстве объектов.

Дорожная лаборатория выполняет следующие виды работ:

- паспортизация и технический учет городских и внегородских автодорог;
- разработка проектов организации дорожного движения;
- диагностика гарантийных участков автодорог;
- диагностика и оценка технического состояния автодорог.

НПИЛ «Дорисс» прошла переаттестацию в системе добровольной сертификации в сфере дорожного хозяйства и транспорта «Росдорстройсертификация» и имеет аттестат аккредитации № РОСДОП RU. 0003 ИЛ 00023 (действителен до 12 октября 2015 года).



Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»
Автодорожный факультет

МОДЕРНИЗАЦИЯ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

Материалы
международной научно-практической конференции,
посвященной 200-й годовщине победы России
в Отечественной войне 1812 г.

г. Пермь, 26–28 апреля 2012 г.

Том 3 МОДЕРНИЗАЦИЯ В СФЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ, СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Под редакцией профессора Б.С. Юшкова

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2012

Представлены труды научных работников, выступления которых проходили в рамках международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе», состоявшейся 26–28 апреля 2012 года в Пермском национальном исследовательском политехническом университете. Конференция была посвящена 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 года.

Изложены результаты теоретических и практических исследований по актуальным вопросам – проектирования, эксплуатации, сервиса транспортно-технологических машин и комплексов; организации транспортных систем; технологии транспортных процессов и безопасности движения; городского строительства и защите окружающей среды.

Конференция проводилась в рамках четвертого направления развития ПНИПУ – «Урбанистика».

Предназначено для инженерно-технических и научных работников проектных, дорожно-строительных организаций и вузов, а также для студентов и аспирантов, обучающихся по направлениям «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Технология транспортных процессов», «Строительство» и «Техносферная безопасность».

Редакционная коллегия: канд. техн. наук, проф. *Б.С. Юшков* (отв. редактор); канд. техн. наук, доц. *Л.В. Янковский* (зам. отв. редактора); д-р техн. наук, проф. *А.В. Кочетков*; проректор, д-р техн. наук, проф. *В.Н. Коротаев*; проректор, д-р техн. наук, проф. *Н.В. Лобов*; д-р мед. наук, проф. *Я.И. Вайсман*; канд. техн. наук, проф. *Л.Б. Белоногов*; канд. техн. наук, доц. *Л.С. Щенетева*; канд. техн. наук, доц. *М.Ю. Петухов*; отв. секретарь *Т.И. Мальцева*.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

В.Ю. Петров, действ. чл. РАТ, президент ПНИПУ, д-р техн. наук, проф. – председатель конференции, г. Пермь; *Б.С. Юшков*, действ. чл. РАТ, декан АДФ ПНИПУ, канд. техн. наук, проф. – ученый секретарь конференции, г. Пермь; *А.Г. Галкин*, председатель УрО РАТ, ректор УрГУПС, д-р техн. наук, проф., г. Екатеринбург; *А.В. Кочетков*, председатель Поволжского отделения РАТ, д-р техн. наук, проф. ПНИПУ и СГТУ, начальник отдела РосдорНИИ, г. Москва; *Иссам Элиас Харик*, Ph.D, проф. Университета штата Кентукки, г. Лексингтон (США); *Джо Крабтри*, директор Кентуккского транспортного центра Университета штата Кентукки, г. Лексингтон (США); *Леннард Эльфгрен*, Ph.D, проф. каф. железнодорожных мостов Технического университета, г. Лулео (Швеция); *Туомо Аакала*, руководитель проекта по литому асфальту АО «Лемминкяйнен» (Финляндия); *Г.П. Пастушков*, д-р техн. наук, проф. и ученый секретарь БНТУ, действ. чл. БГА и БАА, г. Минск (Беларусь); *Ж.Н. Кадыров*, д-р техн. наук, проф. КАДИ и КУПС, г. Алматы (Казахстан); *Е.Б. Угненко*, д-р техн. наук, проф. ХНАДУ, г. Харьков (Украина); *Р.Б. Гарибов*, д-р техн. наук, действ. чл. РАТ, советник РААСН, действ. чл. Академии века им. Г.А. Алиева, ген. директор ЗАО НТЦ «Волгапромстройбезопасность» (Азербайджан); *А.Л. Кудрявцев*, зам. председателя Правительства Пермского края; *М.Р. Биматов*, президент Пермской торгово-промышленной палаты; *А.Н. Богомолов*, проректор по научной работе, д-р техн. наук, проф. ВолгГАСУ, чл. РОММГиФ, ISSMFE, IGS, советник РААСН, акад. РАЕ, г. Волгоград; *И.Г. Овчинников*, действ. чл. РАТ, МАН ВШ, ЖКАРФ, АПКРФ, ASCE, IABSE, RILEM, д-р техн. наук, проф. СГТУ, г. Саратов; *Н.М. Филькин*, действ. чл. РАТ, д-р техн. наук, проф. ИГТУ, г. Ижевск; *А.В. Смирнов*, действ. чл. РАТ, д-р техн. наук, проф. ОГТУ, г. Омск; *Я.И. Вайсман*, действ. чл. РЭА, д-р мед. наук, проф. ПНИПУ, г. Пермь; *Л.М. Тимофеева*, действ. чл. РАТ, д-р техн. наук, проф. ПНИПУ, г. Пермь; *Р.Е. Гейзен*, действ. чл. РАТ, д-р техн. наук, проф. ПНИПУ, г. Пермь; *Н.А. Богоявленский*, ст. преподаватель каф. АДМ ПНИПУ – ответственный за оформление документов, приём, размещение и сопровождение иностранных участников, г. Пермь; *Л.В. Янковский*, зам. декана по науке АДФ ПНИПУ, канд. техн. наук, доц., г. Пермь – координатор конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 3.1. ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Ю.А. Ачимов, Г. Эстерле

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО БИТУМА
В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ11

И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников

НЕОБХОДИМОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ
В ОТРАСЛИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА18

Г.Г. Болдырев

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ
ДЕФОРМАЦИИ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.
СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА22

Ю.Э. Васильев, В.В. Талалай, С.М. Евтеева

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ
МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ ОЦЕНОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ.....32

Е.В. Вейков, М.Г. Салихов

ОБОСНОВАНИЕ НОРМЫ РАСХОДА ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК
В АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ И ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЕ СМЕСИ.....37

С.О. Казарян, Ю.Г. Борисенко

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ44

С.И. Романов, С.В. Мельников, А.И. Лескин

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА
НА ОСНОВЕ АКТИВАЦИИ БИТУМА
ПО СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНОМУ МЕХАНИЗМУ49

Л.И. Малянова, М.Г. Салихов

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ
И ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ
АГРЕССИВНЫХ СРЕД56

В.Ю. Илванов, М.Г. Салихов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ61

С.В. Дудынов, Д.Ю. Александров, В.В. Егоров,

Е.А. Журавлёва, А.А. Кострюкова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗВРЕДНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ68

<i>М.Н. Богданов, А.М. Иншаков</i>	
МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА «РОДМЕШ» ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА	74
<i>К.Г. Пугин, Г.Н. Волков, А.В. Мальцев</i>	
ТРОТУАРНАЯ ПЛИТКА С ШЛАКОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ	82
<i>С.В. Игонин, С.С. Асламова</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ВОДООТВОДОВ	87
<i>О.С. Середина</i>	
ДЕФЕКТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ.....	90
<i>В.С. Корзанов, Ю.А. Кетов</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПЕНОСТЕКЛЯННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ.....	94
<i>Н.И. Зверева, А.А. Кетов</i>	
КОНСТРУКЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕНОСТЕКЛЯННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ	99
<i>Ю.Э. Васильев, И.Б. Челпанов, А.М. Руст, В.Ю. Гладков, В.Ю. Казарян</i>	
СЕРТИФИКАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ	104

РАЗДЕЛ 3.2. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И АЭРОДРОМЫ

<i>П.Б. Рапопорт, Н.В. Рапопорт, А.В. Кочетков, С.А. Шиндина</i>	
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	115
<i>А.Г. Гилева</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЕТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПЕРМСКОГО КРАЯ.....	126
<i>О.В. Ковалева, А.Б. Стефанов, Н.А. Пушкина</i>	
ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	134
<i>О.А. Бендер</i>	
ОЦЕНКА РИСКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	141
<i>А.А. Давыдов, А.А. Макенов</i>	
ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ НА ПРОЕКТЫ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	147

<i>И.М. Сербен</i>	ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОДОРОГИ	153
<i>А.В. Кочетков, Л.В. Янковский, Н.В. Кокодеева, Н.В. Рапопорт</i>	О МЕТОДЕ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	160
<i>Н.И. Горшков, М.А. Краснов</i>	ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОБРАТНЫХ ТРЕЩИН В МАТЕРИАЛАХ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПОСЛЕ ЕЕ РЕКОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТОВ МКЭ	173
<i>Ю.Э. Васильев, И.Ю. Сарычев, Н.В. Мотин, Т. Аакала</i>	ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТЫХ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	180
<i>А.Л. Ланис, С.А. Овчинников</i>	ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГ	189
<i>К.В. Семашкин, В.Н. Шестаков, В.И. Сологаев</i>	ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ ПОДТОПЛЕННОЙ НАСЫПИ НА 39-М КИЛОМЕТРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ОМСК – КОРМИЛОВКА	196
<i>А.В. Лизунов</i>	СООРУЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ	205
<i>Л.М. Тимофеева, М.Р. Тимофеев</i>	О ПРОБЛЕМАХ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	210
<i>В.В. Бубновский, Ю.А. Аливер</i>	СОВРЕМЕННЫЕ СЕЛЬСКИЕ ДОРОГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОЯЧЕЕК «ПРУДОН-494»	215
<i>Д.А. Разуваев, А.Л. Ланис</i>	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ГРУНТОВ ПРИ РАСШИРЕНИИ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ.....	223
<i>В.И. Чернякевич</i>	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ	229
<i>И.Н. Кручинин, В.А. Рацектаев</i>	ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОСНОВАНИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НЕЖЕСТКОГО ТИПА ИЗ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ	237

<i>И.В. Мусиенко, А.И. Горбатий</i>	
ВЫСОТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАССЫ ПО СУММАРНЫМ ЗАТРАТАМ ТОПЛИВА НА БАЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР АД CREDO	241
<i>С.А. Черников, М.Г. Горячев</i>	
ПРОДЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОНОЛИТНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДОРОГ И АЭРОДРОМОВ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ГЕРМЕТИЗАЦИИ.....	244
<i>А.В. Веселов, И.С. Трубкин</i>	
АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ТРАДИЦИОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ	250
<i>А.В. Веселов, И.С. Трубкин</i>	
СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ ЭСТАКАДНОГО ТИПА КАК ВОЗМОЖНОСТЬ РЕШЕНИЯ ДОРОЖНОЙ ПРОБЛЕМЫ РОССИИ	256
<i>А.В. Веселов</i>	
ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЭСТАКАДНОГО ТИПА ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	265
<i>В.Н. Иванов, Л.С. Трофимова</i>	
ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕРОЯТНОСТИ СПРОСА ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДОРОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ.....	271

РАЗДЕЛ 3.3. МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ

<i>В.Г. Пастушков</i>	
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПО НОВЫМ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	279
<i>А.Г. Кислов, С.А. Бугаевский, С.Н. Краснов</i>	
АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕМПЕРАТУРНО-НЕРАЗРЕЗНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ	288
<i>И.И. Овчинников, С.В. Козлачков</i>	
АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВ.....	297
<i>В.В. Мозговой, А.Н. Онищенко, А.С. Ризниченко</i>	
МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СДВИГУОУСТОЙЧИВОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА МОСТАХ	305

<i>С.В. Козлачков</i>	АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВ	311
<i>К.А. Дараган, К.В. Коновалов</i>	МОСТЫ. ЦЕНА ОШИБОК	318
<i>Р.Е. Гейзен</i>	ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ ДОРОГАХ	326
<i>А.Н. Яшинов, П.Ю. Кузьменков</i>	МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ В ПРОЦЕССЕ СООРУЖЕНИЯ	330
<i>В.Г. Голенковская, Н.А. Богоявленский</i>	КОММУНАЛЬНЫЙ КАМСКИЙ МОСТ – СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ	336
<i>А.Н. Яшинов, А.Н. Иванов, А.П. Суляев, А.В. Диль</i>	ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОСТОСТРОЕНИИ.....	339
<i>В.С. Зиновьев</i>	ПРИМЕНЕНИЕ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ МОСТОСТРОЕНИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРОВ.....	346
<i>А.В. Бильченко, В.А. Голеско, А.С. Холодцова</i>	ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ОДНОСВОДЧАТОЙ СТАНЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ МЕТОДОМ СКВОЗНОЙ ПРОХОДКИ	355
<i>А.Б. Кондратов</i>	ФЕНОМЕН ОТКРЫТЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ТРЕЩИН В СОЛЯНОМ МАССИВЕ КАЛИЙНОГО РУДНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ЛИКВИДАЦИИ	365
<i>И.В. Глушков</i>	РАСЧЕТ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАРУШЕНИЙ.....	370
<i>И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, В.Н. Кононович</i>	ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ: ДОВЕРЯТЬ ИЛИ НЕ ДОВЕРЯТЬ КОМПЬЮТЕРАМ?	377

Уважаемые участники международной конференции!



«Урбанистика» – одно из приоритетных направлений развития нашего университета. В настоящее время перед страной стоит задача модернизации экономики. В связи с этим решение транспортной проблемы является особенно актуальным. Необходимо так развивать транспортный комплекс, чтобы при этом не ухудшалось качество жизни населения. Нужны новые нестандартные решения в организации транспортных потоков урбанизированных территорий и центров.

В последние годы университетом приобретено уникальное научное оборудование и прикладное программное обеспечение, расширен доступ к информационным ресурсам, отработаны современные технологии управления масштабными проектами и программами. В Пермском крае эффективно работают крупные промышленные предприятия транспортного и дорожно-строительного профиля, академические и отраслевые научные институты, проектные организации и конструкторские бюро, с которыми у ПНИПУ налажены тесные научно-образовательные и производственные связи.

Приглашаю вас присоединиться к этому научно-техническому сотрудничеству и внести свой вклад в решение общей задачи модернизации транспортного комплекса.

В эпоху модернизации и инноваций университет осуществляет подготовку нового поколения специалистов, формирует прогрессивное мировоззрение, общечеловеческие и профессиональные ценности, позволяющие выпускникам интегрироваться в экономическую жизнь России и мирового сообщества.

Желаю вам плодотворной и интересной работы на благо развития международного научно-технического сотрудничества!

**Василий Юрьевич Петров,
президент ПНИПУ, профессор, д-р техн. наук,**

Раздел 3.1

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО БИТУМА В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ

Ю.А. Ачимов

ООО «Дорожный центр "Инженер"», г. Новосибирск, Россия

Г. Эстерле

Import/Export Oesterle, г. Дрезден, Германия

Представлены некоторые результаты лабораторных испытаний и практических исследований, экспертных заключений по наиболее важной проблеме дорожной отрасли – качество битума. Рассмотрены основные эксплуатационные свойства, по мнению авторов, определяющие качество битумов. Представлено описание лабораторных и практических испытаний асфальтобетонных смесей на основе природного битума Trinidad.

Ключевые слова: *качество битума, природный битум Trinidad, основные эксплуатационные свойства битума.*

Автомобильная дорога – объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств, включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы) и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью: защитные дорожные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог [1].

Основные требования нормативно-технических документов предъявляются к дорожному покрытию автомобильной дороги как к одному из ответственных элементов дорожной одежды. Покрытие автомобильной дороги должно отвечать всем транспортно-эксплуатационным показателям на протяжении всего нормативного срока службы и гарантировать совместно с нижележащими конструктивными слоями дорожной одежды безопасное и с расчетными скоростями движение транспортных средств.

В реальных условиях эксплуатации покрытие автомобильной дороги подвергается многократному воздействию внешних факторов на фоне внутренних процессов, протекающих в конструктивных слоях. Внешнее воздействие, согласно [10], «это эксплуатационная среда, действие которой, наряду с

силовым воздействием, может сопровождаться изменением гидрогеологических условий, температурно-влажностного режима и солнечной радиации среды». Внутренние процессы, протекающие в конструктивных слоях, являются результатом изменения структуры и свойств материалов.

Наиболее распространенным видом покрытия автомобильных дорог общего пользования (федеральных и региональных) является асфальтобетонное. Важнейшее составляющее асфальтобетонной смеси – вяжущее (битум), в настоящее время, как правило, модифицированное различными добавками.

Качество битума определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 22245–90 и является важнейшим показателем, обеспечивающим в конечном итоге срок службы асфальтобетонного покрытия.

Низкое качество дорожных битумов по ГОСТ 22245–90 давно стало темой обсуждений. Неудовлетворительная, недостаточная для условий России трещиностойкость, эластичность, адгезия является одной из главных причин преждевременного разрушения дорожных асфальтобетонных покрытий. Это приводит к неоправданно высоким затратам на ремонты, а следовательно, сдерживает развитие сети автомобильных дорог с твердым покрытием в России.

По данным Н.В. Горельшева, основные показатели физико-механических свойств асфальтобетона и дорожных битумов остаются практически неизменными с 1932 года по настоящее время, при этом средний срок службы асфальтобетонных покрытий снизился с 16–18 лет в 1950-х, до 12–14 лет в 1980-х, 8–10 в 1990-х и не более 5–6 лет в 2000–2005 гг., что совпадает с нашими данными.

Огромное количество работ (в том числе [11], [8], [7], [3], наши исследования), связанных с анализом проблем обеспечения качества дорожного битума, с сравнением качественных характеристик, предъявляемых к дорожному битуму за рубежом, указывают на наличие существенных различий. Различные подходы в производстве и приготовлении битума, оценке показателей и свойств битума, методов и способов испытаний, приводящие в конечном итоге к получению наиболее достоверных сведений о материале, учету влияния внешней среды и возможному прогнозированию долговечности покрытия автомобильных дорог.

Значит, показатели физико-механических свойств битумов и асфальтобетона, принимаемые в РФ за основные, недостаточно полно характеризуют его и не определяют его потребительские свойства. В связи с этим возникла необходимость более детально исследовать изменения, происходящие с дорожными битумами за последнее время.

Битумы (от лат. bitumen – горная смола) – твердые или смолоподобные продукты, представляющие собой смесь углеводов и их азотистых, кислородных, сернистых и металлсодержащих производных. Битумы нерастворимы в воде, полностью или частично растворимы в бензоле, CHCl_3 , CS_2 и других органических растворителях.

Природные битумы – составная часть горючих ископаемых. К ним относят естественные производные нефти, образующиеся при нарушении консервации ее залежей в результате химического и биохимического окисления – вязкие жидкости или твердообразные вещества, состоящие из смеси углеводов и их неметаллических производных, которые образовались в результате естественной окислительной полимеризации нефти.

Природные битумы в чистом виде встречаются редко, чаще они пронизывают осадочные горные породы (асфальтовые породы), из которых извлекают битум или их размалывают и применяют в виде асфальтового порошка. Мировые запасы природных битумов (без бывшего СССР) составляют около 580 млрд т, добыча – около 115 млн т.

В дорожном строительстве широко применяют нефтяные (искусственные) битумы, получаемые переработкой нефтяного сырья. Искусственные (технические) битумы – остаточные продукты переработки нефти, каменного угля и сланцев. По составу сходны с природными битумами. В зависимости от технологии производства битумы могут быть: остаточные, получаемые из гудрона путем дальнейшего глубокого отбора из него масел; окисленные, получаемые окислением гудрона в специальных аппаратах (продувка воздухом); крекинговые, получаемые переработкой остатков, образующихся при крекинге нефти.

На наш взгляд, основными эксплуатационными свойствами, определяющими качество битумов, являются:

1. Технические свойства – проникаемость стандартной иглы (пенетрация), температура размягчения, индекс пенетрации, растяжимость (дуктильность), температура хрупкости. Это основные показатели качества битумов. Глубина проникания иглы (пенетрация) и температура размягчения характеризуют твердость битума, растяжимость – его эластичность.

2. Физико-химические свойства – стабильность, плотность, поверхностное натяжение.

3. Реологические свойства – дисперсность, вязкость, модуль упругости, модуль деформации. Реологические свойства битума не должны значительно изменяться при его разогреве в котлах, приготовлении и укладке смеси и в течение длительного срока службы в асфальтобетонных и других покрытиях.

4. Тепловые свойства – удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент объемного расширения, температура вспышки. По температуре вспышки можно судить о наличии низкокипящих фракций в сырье и в готовом битуме, а также об их взрыво- и пожароопасности в процессе производства и применения битумов.

5. Диэлектрические свойства – пробивное напряжение, удельная электропроводность, тангенс угла диэлектрических потерь. По изменению этих показателей можно контролировать адгезионные свойства битумов. С повышением диэлектрической проницаемости они, как правило, улучшаются.

6. Оптические свойства – коэффициент рефракции, светопоглощение растворов битума. Эти свойства позволяют глубже изучить групповой состав битума.

7. Отношение к растворителям и воде. По растворимости в органических растворителях судят о чистоте битума. Чем больше битум содержит продуктов, растворимых в хлороформе, бензоле, тем меньше в нем примесей, ухудшающих его свойства. Водорастворимость характеризует гидрофобные свойства вяжущего и его стабильность.

8. Потеря массы битума при нагревании, изменение пенетрации и температуры размягчения битума после нагревания. Эти свойства имеют большое значение для битумов, предназначенных для длительной службы в различных сооружениях и особенно в дорожных покрытиях. Они характеризуют стабильность свойств во времени.

9. Адгезия и когезия. Это важнейшие показатели качества битумов как вяжущих материалов.

В дорожных покрытиях битум выполняет роль как вяжущего, так и гидроизолирующего материала. Он должен связывать и удерживать частицы минерального наполнителя, а также не терять свои свойства в процессе эксплуатации (например, под действием атмосферной влаги, осадков, колебаний температуры), обеспечивать сопротивление покрытия воздействию многократно повторяющихся нагрузок в широком интервале температур (от -25 до $+60$ °С), распределять напряжения в покрытии таким образом, чтобы имели место только упругие деформации. Работоспособность битумного вяжущего в составе асфальтобетона при периодическом воздействии напряжений сдвига, сжатия и перепада температуры во многом зависит от пластичности и растяжимости дорожного битума.

Очевидным является следующее. Для удовлетворительной эксплуатации дорожного полотна необходимо его изготавливать с использованием битума, имеющего как можно более широкий интервал пластичности, т.е. повышенную температуру размягчения и пониженную температуру хрупкости. Причем желательной для битумов является не только более низкая температура хрупкости, но и более низкая температура стеклования.

Природные битумы представляют собой полезные ископаемые органического происхождения с первичной углеводородной основой, залегающие в недрах в твердом, вязком и вязко-пластичном состояниях. С генетической точки зрения к ним относят нефть, газы природные горючие, конденсат газовый, а также естественные производные нефти (мальты, асфальты, асфальтиты, кериты, гумино-кериты, озокериты, антраксолиты и др.) и их аналоги (нафтоиды) [4].

Природные битумы применялись на Ближнем Востоке в 3-м тыс. до н. э. в качестве связующего строительного материала и для бальзамирования (Др. Египет). В дальнейшем природные битумы эпизодически использовались во

многих странах для строительства, в медицине, военном деле, в качестве лаков и др. В XV в. в Перу инками строились дороги с покрытием из природного битума. В конце XVIII в. была предпринята попытка коммерческого разработки природного битума Атабаски (Канада). В середине XIX в. построены первые асфальтовые тротуары в Париже и Лондоне из природного битума месторождения в Сеселе (Франция), в 1870–1880 гг. – в ряде городов США из асфальтов Тринидадского и Бермудского месторождений. В начале XX в. месторождения природного битума интенсивно разрабатывают в США, Италии, Тринидаде, Германии, Франции, Венесуэле. В СССР асфальтовые битумы добывались в 30–50-х гг. в Поволжье (Первомайское, Шугуровское, Садкинское и другие месторождения), Западном Казахстане (Мунайлы-Мола, Ак-Чий и др.), Грузии (Натанебское), Коми АССР (Ижемское) и других районах [4].

Широко известным источником природного асфальта является озеро Пич-Лейк (озера Ла-Бреа, Асфальтовое) на юго-западе острова Тринидад (Республика Тринидад и Тобаго). Как и на востоке соседней Венесуэлы, местные индейцы пользовались этим асфальтом для пропитки своих каноэ. Свидетельства о давнем использовании асфальта («пич» на языке индейцев кумана) сохранились в легендах. Первые попытки промышленного использования асфальтов Пич-Лейка предприняли испанцы в конце XVIII в., однако только в 1850 г. начинается масштабное освоение богатств Асфальтового озера [6].

В 1888 г. была основана The Trinidad Lake Asphalt Company, которая занимается добычей, переработкой и импортом продуктов природного битума (Trinidad Epure). Продукция компании распространяется по всему миру. В настоящее время основными продуктами, полученными от переработки природного битума, являются Trinidad Epure, Trinidad Epure Z (TE Z 0/8), Trinidad NAF 501, Trinidad TLC 50/50 (TLC 50/50), Trinidad Pulver 50/50 (TP 50/50), Trinidad Epure Niedrigviskos (TE NV) [13].

По данным [12], природные битумы острова Тринидад имеют уравновешенное содержание битума, с высокими адгезионными способностями и наличием мелких минеральных веществ с особенной клеточной структурой.

В настоящее время накоплен огромный мировой опыт использования вяжущего, улучшенного природным битумом Тринидад, используемого в различных областях промышленности как устройство покрытий аэродромов, автомобильных дорог, гоночных трасс, мостов и др.

Покрытия автомобильных дорог в РФ, построенных с применением в качестве битумного вяжущего на основе природных битумов с целлюлозными волокнами (Trinidad NAF 501: в составе 83,3 % Trinidad Epure и 16,7 % целлюлозных волокон [13]) (г. Санкт-Петербург, Свердловская набережная, 12 сентября 2007 г. – ввод; Свердловская обл.) показали, по данным экспертов, наибольшую сопротивляемость образованию колеи, трещин и других видов дефектов, что позволяет сделать вывод о дальнейшем использовании успешного опыта в других районах страны.

В ходе независимых исследований образцов из асфальтобетонных покрытий с различным улучшенным вяжущим, выполненных в ноябре 2010 г. в лаборатории калужского ФГУ «УПРДОР Москва – Бобруйск», выяснилось, что образцы с вяжущим, улучшенным природным битумом Trinidad (TE), показали повышенную сопротивляемость к колееобразованию [5].

По данным исследований и практического опыта, одним из путей повышения стойкости к колееобразованию является повышение качества дорожного битума. На основе проведенного исследования [14], в ходе которого были приготовлены многочисленные образцы битумного вяжущего с различными добавками, в том числе с природным битумом Trinidad, выявлено повышение устойчивости к износу и колееобразованию верхнего слоя покрытия. Применение щебеночно-мастичного асфальта с добавкой природного битума Trinidad (БДУ 70/100 с Trinidad Epure Z 0/8) и целлюлозного волокна (БДУ 70/100 с Trinidad NAF 501), по данным исследования, показало наименьший износ и позволило практически доказать повышение срока службы покрытия автомобильной дороги.

Применение природного битума Trinidad (по скромным на сегодняшний день исследованиям) для повышения качественных характеристик битумного вяжущего, в частности, позволило увеличить интервал пластичности. Интервал пластичности характеризует область температур, в которой желательна эксплуатация дорожного покрытия; интервал между температурами размягчения ($T_{разм}$) и хрупкости ($T_{хр}$).

Во всем мире проводятся интенсивные работы по синтезу, подбору новых вяжущих материалов и повышению различных их свойств, способных противостоять возросшим нагрузкам, увеличить период эксплуатации дорожных покрытий и сократить расход средств и материалов на проведение ремонтных работ. Новые улучшенные битумные вяжущие должны иметь более высокие эксплуатационные характеристики, чем существующие.

Для повышения сроков службы покрытия автомобильных дорог, выполненного из асфальтобетона, необходимо на данном этапе в первую очередь повысить качество битумного вяжущего как основного компонента, обеспечивающего пластичность и сдвигоустойчивость асфальтобетона в различных условиях эксплуатации. Именно битумное вяжущее позволяет обеспечивать каркас из минеральных материалов в асфальтобетонной смеси путем обволакивания и создания пленки, защищающей от внешнего воздействия. Возможной добавкой, с учетом имеющегося опыта применения, к битуму, на наш взгляд, является природный битум Trinidad. Согласно [9], «природные тугоплавкие битумы являются перспективным материалом для дорожного строительства, что определяется возможностью получения на их основе высококачественных дорожных вяжущих и значительными их запасами на территории нашей страны. Высокие физико-механические и адгезионные свойства органических дорожных вяжущих на основе природных битумов придают асфальтобетонам повышенную тепло- и водостойкость, а также улучшают их де-

формационные характеристики, такие, как модуль упругости, пластичность, вязкость, обеспечивающие высокие показатели сдвиго- и трещиностойкости дорожных покрытий».

По данным наших исследований [11], [8], [7], необходимо пересмотреть нормативные требования к битуму, условия и способы получения битума, свойства битума, качественные характеристики битума и др. В долгосрочной перспективе модификацией битумного вяжущего различными добавками невозможно выполнить задачи, описанные подпрограммой «Дорожное хозяйство» в ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)» [2].

Список литературы

1. Федеральный закон № 257–ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010–2015 годы)».
3. Доклад руководителя Росавтодора А.М. Чабунина на научно-практической конференции по вопросу «Обеспечение качества строительства, ремонта и содержания дорог в соответствии с действующим законодательством и международными нормами» [Электронный ресурс]. – URL: http://rosavtodor.ru/shownews/Osnovnye_dokumenty/vyistupleniya_dokladyi/14533.html.
4. Геологическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/508/Битумы.
5. Испытание колеей [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nk-group.ru/pечатnyeizdaniya/doroznayaderjava/361-ispytanie-koleey.html>.
6. Москвин А.Г. Месторождения природного асфальта как резерв мировой энергетики. Минеральные ресурсы России. – 2006. – № 1.
7. Модификация битума // Дорожная держава. – 2010. – № 25.
8. На повестке дня – битум [Электронный ресурс] // Дорожная держава. – 2011. – № 32. – URL: <http://www.dorvest.ru/dd/about.html>.
9. Поздняева Л.В., Руденский А.В. Природные тугоплавкие битумы в дорожном строительстве // Автомобильные дороги. – 2008. – № 3. – С. 88–91.
10. Рапопорт Н.В., Рапопорт П.Б., Таскаев О.Г., Ачимов Ю.А. Долговечность автомобильных дорог // Дороги России XXI века. – 2007. – № 2. – С. 24–28.
11. Рынок нефтяных битумов: состояние и тенденции [Электронный ресурс] // Дорожная держава. – 2011. – № 35. – URL: <http://www.dorvest.ru/dd/about.html>.
12. Унгевицтер К. Руководство для лабораторных исследований природного асфальта Trinidad / Trinidad Lake Asphalt GmbH & Co. KG. – Бремен, 2007.
13. Trinidad Naturasphalt Laborhandbuch [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.trinidad-lake-asphalt.de/asphalt/Produkte-NAF-501.php>.
14. Широкова Т.С. Средство от колеей // Дорожная держава. Спец. выпуск. – 2010.

НЕОБХОДИМОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В ОТРАСЛИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников

Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина, Россия

Рассматривается проблема необходимости организации экспериментальных и теоретических исследований долговечности конструкций транспортных сооружений и их элементов с учетом напряженного состояния, режима нагружения и условий эксплуатации. Указывается, что без решения этой проблемы внедрение инновационных решений и технологий не будет экономически обоснованным.

Ключевые слова: долговечность, транспортные сооружения, гарантийный срок, инновационные решения и технологии, эффективность вложения капитала.

В последнее время резко снизилась интенсивность экспериментальных и теоретических научных работ, посвященных исследованию долговечности материалов и конструкций. Если в области исследования долговечности строительных материалов специалисты по строительным материалам еще проводят какие-то исследования (правда, с измерением примитивных характеристик материалов по СНИПам на образцах, чаще всего находящихся в одноосном напряженном состоянии при простых программах нагружения), то исследований долговечности конструктивных элементов транспортных сооружений с учетом и сложного и неоднородного напряженного состояния, и реальных программ нагружения, и реальных условий эксплуатации проводится мало. А ведь данные по долговечности конструкций и их элементов необходимы, особенно в настоящее время, в связи с интенсивным внедрением инновационных технологий. Проиллюстрируем это, рассмотрев понятия гарантийного срока и эффективности вложения капитала – важные характеристики, особенно в свете решения задачи инновационного развития отрасли транспортного строительства.

Что такое гарантийный срок? Это срок, в течение которого подрядная организация обязана устранить скрытый брак, допущенный еще при производстве строительно-монтажных работ, за свой счет. Предельный срок обнару-

жения ненадлежащего качества результатов работ – *пять лет* в соответствии со ст. 756 Гражданского кодекса РФ «Сроки обнаружения ненадлежащего качества строительных работ». Такой же срок предусмотрен и в нормативных документах Евросоюза. При установлении этого срока исходили из того, что, как показала практика, за пять лет практически все недостатки, которые были допущены при строительстве, должны проявиться. Ст. 755 Гражданского кодекса РФ предусматривает возможность увеличения гарантийного срока *по соглашению сторон*. На практике в Европе увеличение гарантийного срока применяется очень редко и только в случае применения при строительстве новых, ранее не применяемых материалов и технологий (которые мы стали называть инновационными). Увеличение гарантийного срока в Европе сдерживается таким фактором, как увеличение стоимости строительной продукции с увеличением гарантийного срока. Дело в том, что для обеспечения выполнения гарантийных обязательств там требуется обязательное страхование риска в страховых компаниях, а стоимость страховки включается в стоимость строительной продукции и стоимость страховых взносов резко возрастает при превышении сроков гарантии, выходящих за пределы пяти лет.

В России же распространена непонятная тенденция к увеличению гарантийных сроков, а в некоторых случаях даже и к уменьшению сроков гарантии, предусмотренных Гражданским кодексом РФ. И если увеличение гарантийного срока *допускается по согласованию сторон*, то уменьшение гарантийного срока недопустимо. В гарантийном паспорте (прил. 2 к Распоряжению Минтранса РФ от 7 мая 2003 года № ИС-414-Р) гарантийные сроки устанавливаются: искусственных сооружений – от 8 лет, оснований дорожной одежды – от 6 лет, нижнего слоя покрытия – от 5 лет, верхнего слоя покрытия – от 4 лет, барьерных ограждений – от 5 лет, сигнальных столбиков – от 2 лет, дорожных знаков – от 2 лет, зданий и сооружений эксплуатационной и автотранспортной службы – от 8 лет.

Трудно понять, чем руководствовались при назначении указанных гарантийных сроков, но можно отметить следующее. Как уже говорилось выше, гарантийный срок на строительную продукцию не может быть менее предусмотренного Гражданским кодексом РФ – здесь же прямое нарушение требований Гражданского кодекса РФ. Теперь рассмотрим вопрос увеличения гарантийного срока относительно предусмотренного в Гражданском кодексе РФ. Во-первых, увеличение срока возможно *по согласованию сторон*, а не по ультимативному требованию заказчика, как это имеет место в указанном случае. Во-вторых, какова цель увеличения гарантийного срока и почему заказчик и подрядчик так легко идут на увеличение срока гарантии? Очевидным стремлением заказчика, связанным с увеличением гарантийного срока, является стремление повысить качество выполняемых строительных работ.

Но *увеличение гарантийных сроков никак не влияет на качество работ* по нескольким причинам. Во-первых, в случае разрушения какого-либо конструктивного элемента в пределах гарантийного срока заказчик обязан дока-

зять в суде, что разрушение произошло по вине подрядчика, а это в большинстве случаев практически нереальная вещь. В обоснование своей правоты стороны конфликта обычно представляют в суд заключения экспертов о причине разрушения (наука становится необходимой, когда нужно оправдать чьи-то промахи, неквалифицированные решения), и приходится сталкиваться с такими случаями, когда в суд представляются диаметрально противоположные заключения экспертов, привлекаемых конфликтующими сторонами и суду определить виновного практически не представляется возможным. Во-вторых, поскольку по существующей в России практике гарантийные обязательства не страхуются страховыми компаниями, подрядчик может уклониться от выполнения своих обязательств путем ликвидации своей организации и создания нового предприятия, ничем не связанного с ликвидированной организацией. Наконец, организация, выполнявшая строительные работы и имеющая обязательства по гарантии, может быть ликвидирована и по ряду других причин, и кто тогда будет исполнять обязательства по гарантии?

Отсюда очевидно, почему и заказчик и подрядчик так легко идут на увеличение гарантийного срока: заказчик – потому, что увеличение гарантийного срока не увеличивает стоимость выполняемых работ, но создает иллюзию повышенных требований к качеству работ, а подрядчик – потому, что если он не захочет исправлять брак за свой счет, то у него есть официальная возможность уклониться от этого.

Возникает еще один очень серьезный вопрос. И он должен обязательно возникнуть у заказчика. Этот вопрос связан как с гарантийным сроком, так и с эффективностью вложения капитала и возможностью внедрения в практику транспортного строительства новых передовых инновационных решений. Это вопрос о сроке службы отдельных конструктивных элементов сооружения в зависимости от применяемых материалов и технологий. Как этот вопрос увязывается с гарантийным сроком? Дело в том, что некоторые конструктивные элементы имеют срок службы меньше, чем установленный Гражданским кодексом РФ гарантийный срок (разметка, поверхностная обработка, верхний слой покрытия, сигнальные столбики и т.п.). И как быть в этом случае? В проектах на строительство должны быть указаны сроки службы отдельных конструктивных элементов в зависимости от конкретных применяемых материалов, технологий, условий работы. Так, например, разметка может быть выполнена из краски с разными сроками службы или из пластика, асфальтобетон может быть приготовлен из разных каменных материалов, и от этого также может зависеть срок службы, хотя марка у них будет одна и та же, поэтому в проектах должны быть указаны сроки службы и оговорено, что на конструктивные элементы, срок службы которых меньше, чем гарантийный срок, предусмотренный Гражданским кодексом РФ, гарантия не распространяется.

Но это не самое сложное. Дело в том, что новые материалы, конструкции и технологии обычно дороже старых, традиционных, и обосновать применение инновационных решений можно только путем сравнения приведенных

затрат. Однако для того, чтобы провести такое сравнение, необходимо знать стоимость, срок службы и эксплуатационные затраты по сравниваемым вариантам. К сожалению, по нашему мнению, в отрасли транспортного строительства такое сравнение возможно только для систем антикоррозионной защиты, ибо здесь известны сроки службы различных схем покраски в зависимости от применяемых красок, подтвержденные испытаниями ОАО ЦНИИС и других организаций.

Для обоснования применения инновационных решений в отрасли транспортного строительства государственному заказчику необходимо поручить ведущим научным, проектным, вузовским организациям провести огромную работу по разработке методик и определению сроков службы различных конструктивных элементов транспортных сооружений в зависимости от конкретных применяемых материалов, технологий, условий эксплуатации. Эта работа должна быть проделана как можно скорее, поскольку без определения сроков службы отдельных конструктивных элементов в зависимости от используемых материалов и условий их эксплуатации, применяемых технологий практически невозможно обосновать применение более дорогих инновационных материалов и технологий, а это, в свою очередь, не позволит вывести отрасль транспортного строительства на уровень, соответствующий мировым стандартам, современному уровню развития транспортной науки.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Г.Г. Болдырев

ООО «НПП Геотек», г. Пенза, Россия

Рассмотрены вопросы определения и применения динамических модулей деформации при проектировании асфальтовых покрытий.

Ключевые слова: *испытания асфальтобетонных смесей, динамические модули деформации, процедура испытаний, проектирование покрытий, иерархическое проектирование.*

Испытания асфальтовых смесей с целью определения динамических модулей деформации были предложены в Ohio State University в начале 1960-х гг. В дальнейшем основные дополнения в развитие метода были сделаны в ряде работ, ссылки на которые можно найти в работах [1, 2].

Динамические или комплексные испытания проводятся с целью исследования деформационных свойств горячих асфальтовых смесей при переменном внешнем воздействии [1–4, 8]. Стандартные горячие асфальтобетонные смеси делаются на 86 об.% из заполнителя, 10 об.% вяжущего и содержат около 4 об.% пор. В США при проектировании горячих асфальтовых смесей применяется механо-эмпирический метод (NCHRP, 2004) [3].

Для линейно вязкопластичных материалов, какими являются асфальтовые смеси, зависимость между напряжениями и деформациями при непрерывном синусоидальном нагружении образцов характеризуется параметром, называемым комплексным модулем деформации E^* (AASHTO, 2003) [4]. Комплексные модули имеют реальную и мнимую части, которые определяют упругое и вязкое поведение линейно упругого материала. Абсолютное значение комплексного модуля является динамическим модулем. Математически динамические модули определяются как максимум (пик) динамического напряжения, деленный на значение восстанавливаемой осевой деформации:

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}.$$

Динамические испытания на усталость, известные как комплексные модульные испытания, проводятся путем создания синусоидальной вертикальной нагрузки на цилиндрический образец, у которого отношение высоты

к диаметру равно 1,5, с измерением возникающей осевой деформации. Испытания обычно проводятся при различной температуре на разных частотах. Приложенное напряжение и возникающую деформацию (рис. 1) определяют из следующих выражений:

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t),$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \phi),$$

где σ_0 – заданная амплитуда напряжений; ε_0 – измеренная амплитуда деформации; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; f – частота; ϕ – угол сдвига фазы, определяемый как:

$$\phi = \frac{\Delta t}{T} 360^\circ,$$

где t – интервал времени между приложенным напряжением и соответствующей деформацией; T – период.

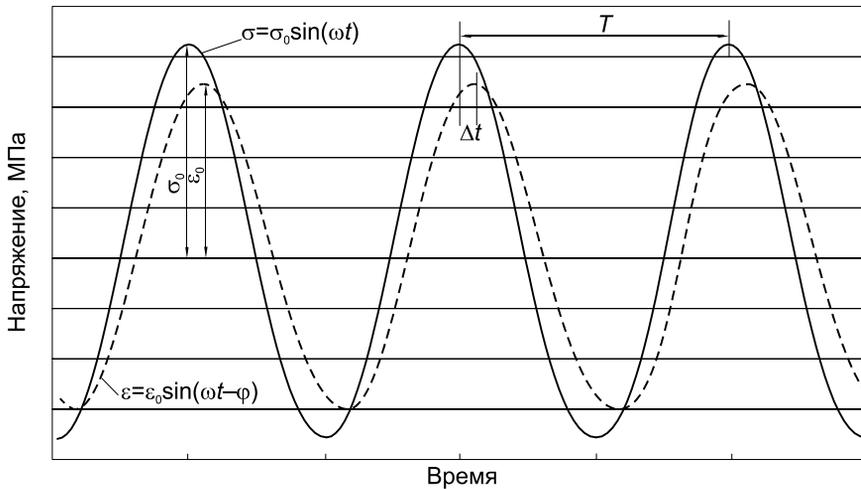


Рис. 1. Напряжения и деформация в динамическом нагружении (Flintsch et al., 2005) [1]

Компоненты динамического модуля в фазе и противофазе определяются из следующих уравнений:

$$E' = |E^*| \cos(\phi),$$

$$E'' = |E^*| \sin(\phi). \quad (1)$$

Динамические модули характеризуют общую жесткость материала. Фазовый угол определяет относительную величину упругой и вязкопластической компонент деформации. Упругий материал имеет угол фазы, равный нулю градусов, в то время как вязкопластичный материал имеет фазовый угол 90° . Фазовый угол для асфальтовых смесей изменяется от 5° при низкой температуре до 40° при высокой температуре.

На рис. 2 показаны результаты испытаний по определению динамических модулей [5]. Было получено, что при постоянной частоте нагружения значения динамических модулей уменьшаются с ростом температуры; при постоянной температуре значения динамических модулей увеличиваются с ростом частоты.

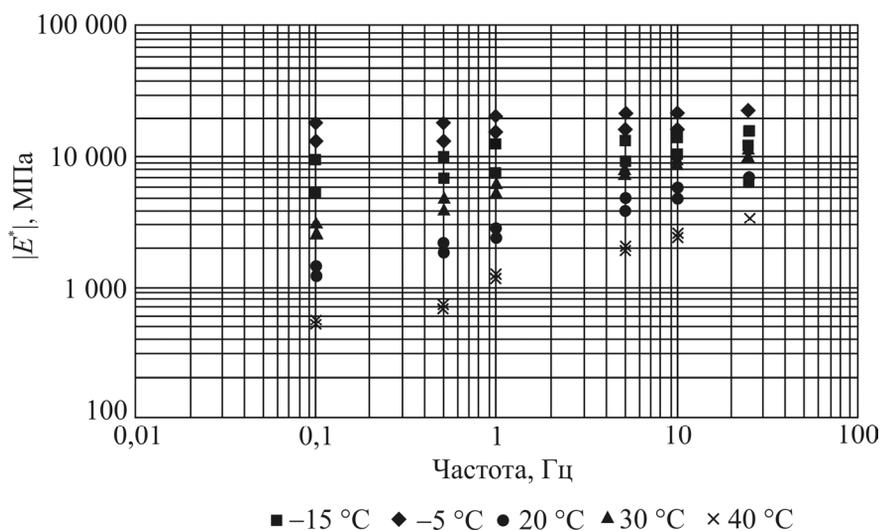


Рис. 2. Зависимость динамических модулей от температуры и частоты (Flintsch et al., 2005) [1]

На рис. 3 показана зависимость угла сдвига фазы для испытаний одной из асфальтовых смесей. Видно, что угол сдвига фазы уменьшается с ростом частоты при температуре $-15, 5, 20^\circ\text{C}$. Однако результаты испытаний при температуре 30 и 40°C говорят о том, что функция зависимости сдвига угла фазы от частоты является более сложной.

Величина динамического модуля изменяется с ростом температуры (рис. 4), возрастая с уменьшением температуры и уменьшаясь с ее ростом.

Комплексные динамические модули используются для построения обобщенной зависимости, которая позволяет сравнивать свойства подбираемых асфальтовых смесей в различном диапазоне частот и температур. Обобщенная зависимость для параметров «время – температура» строится согласно принципу суперпозиции. Этот принцип позволяет отбирать данные испытаний при

различной температуре и частотах, смещая их горизонтально относительно отсчетной температуры и частоты и приводя их в результате к одной кривой. Пример одной из обобщенных зависимостей показан на рис. 5.

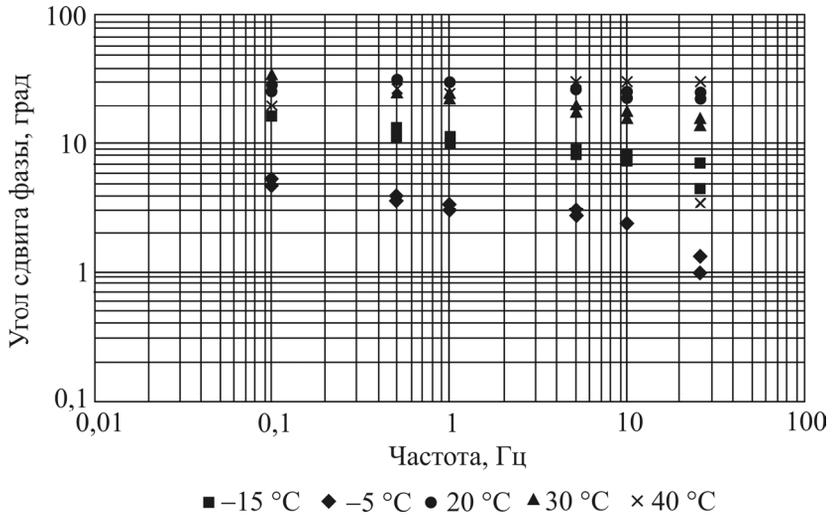


Рис. 3. Изменение угла сдвига фазы от температуры и частоты (Flintsch et al., 2005) [1]

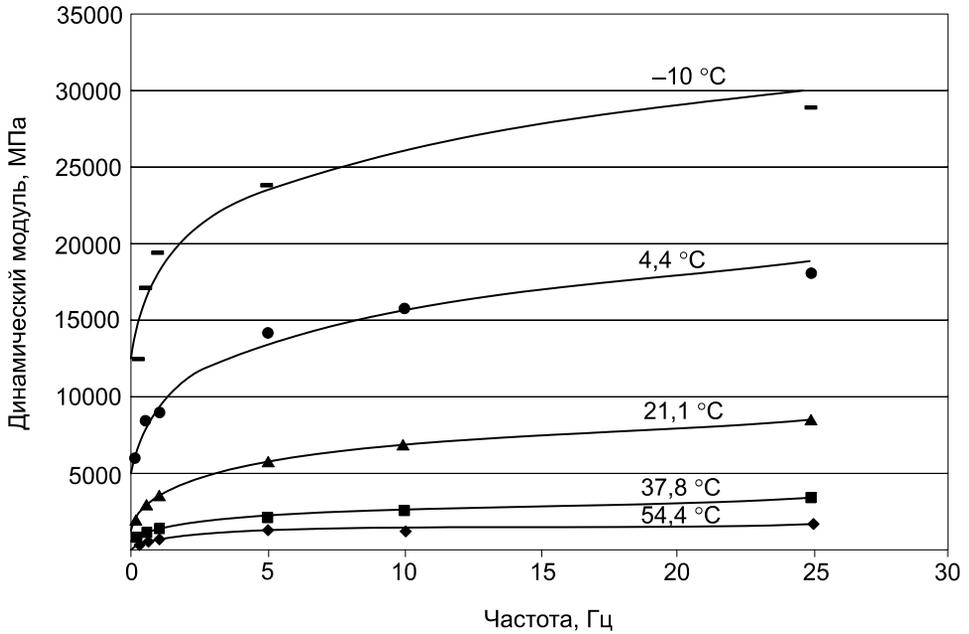


Рис. 4. Зависимость динамических модулей от температуры (Bayat and Knight, 2010) [6]

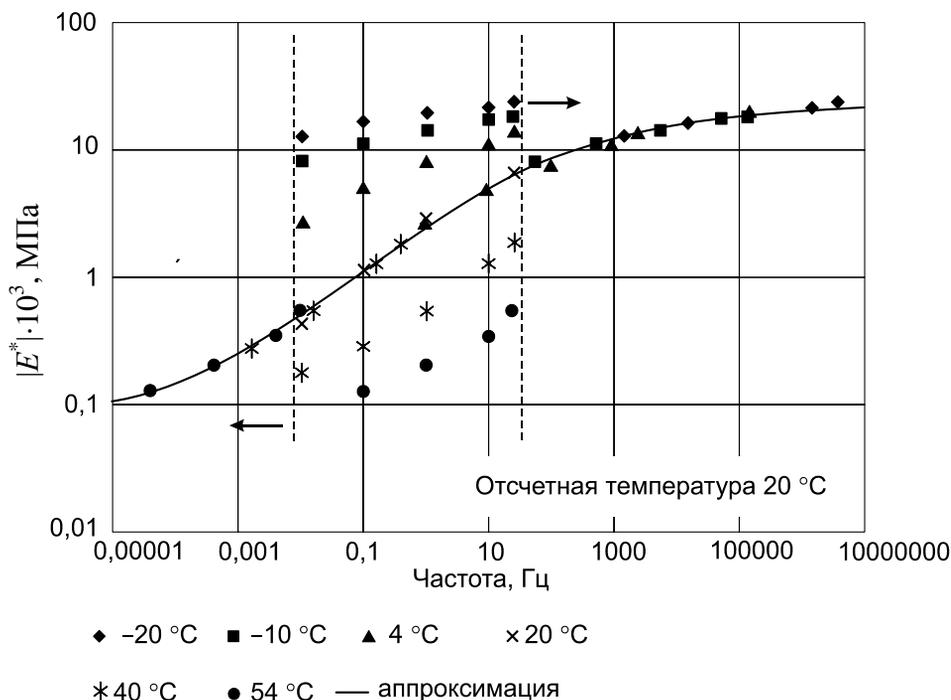


Рис. 5. Обобщенная зависимость изменения динамических модулей при различной частоте и температуре (Clyne et al., 2003) [2]

Результаты динамических испытаний применяются для построения обобщенной кривой, которая показана на рис. 5, путем их подгонки к сигмоидальной функции с использованием нелинейной аппроксимации методом наименьших квадратов. Коэффициенты сдвига для каждой температуры определяются одновременно с другими коэффициентами сигмоидальной функции в виде уравнения

$$\lg |E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta - \gamma \lg f_r}}, \quad (2)$$

где $\delta, \alpha, \beta, \gamma$ – коэффициенты сигмоидальной функции; f_r – частота, которая определяется следующим уравнением:

$$\lg f_r = \lg f + \lg a_T,$$

где a_T – коэффициент сдвига при температуре T .

Имея обобщенную зависимость и определив коэффициенты сдвига, можно определить модули при любой температуре и скорости нагружения. Уравнения (1) и (2) представляют форму обобщенной зависимости динамических модулей сдвига и коэффициенты сдвига, используемые при проектировании асфальтобетона. Эти зависимости, калиброванные для проектной смеси, используются для получения соответствующих модулей и их последующего использования в расчетах конструкции покрытия.

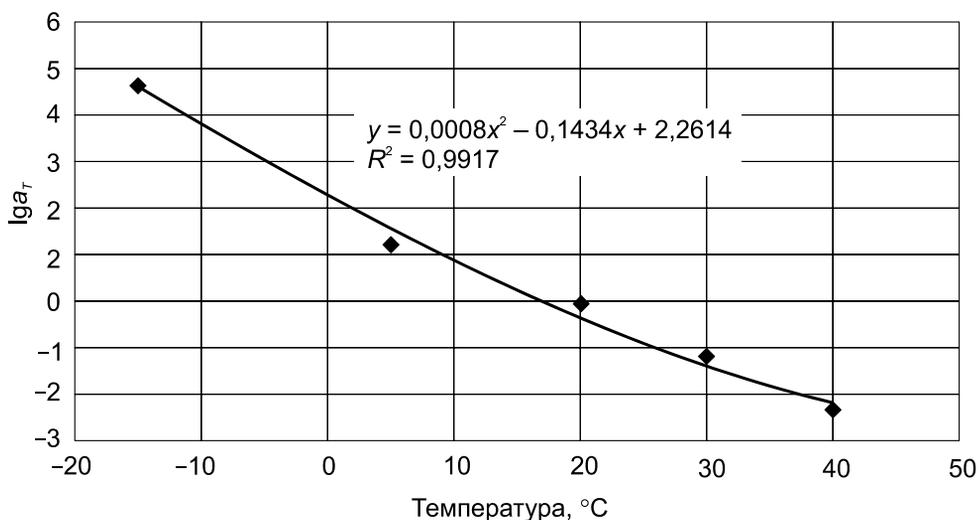


Рис. 6. Зависимость изменения коэффициента сдвига от температуры (Flintsch et al., 2005) [1]

Процедура испытаний. Обычно для нагружения образцов применяются сервогидравлические машины (рис. 7, б). Нагрузка и температура изменяются таким образом, чтобы сохранить поведение образца в диапазоне линейной деформации (начальная деформация около 20–25 микрострейн). Динамическое синусоидальное напряжение (непрерывная волна) прикладывается и измеряется датчиком силы, в то время как деформация измеряется подпружиненным датчиком перемещений, который закрепляется скобками на образце (рис. 7, а). Типичный вариант подготовки образца показан на рис. 7, а, а общий вид стенда с камерой для испытаний – на рис. 7, б.

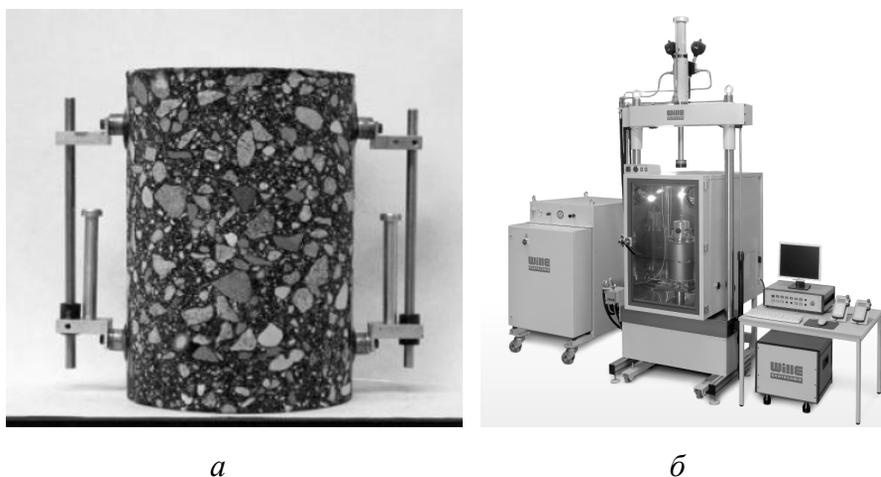


Рис. 7. Образец с датчиками перемещений (а) и общий вид стенда с климатической камерой для испытаний (б) ([www. npp-geotek.ru](http://www.npp-geotek.ru))

Установка для динамических испытаний асфальтобетонных смесей (рис. 7, б) предназначена для решения широкого спектра инженерных задач с использованием различных стандартов. Она позволяет проводить статические и динамические испытания методом трехосного или одноосного сжатия любых материалов с образцами различного размера и осуществлять в процессе испытания контроль скорости, нагрузки или положения. Установка может быть оборудована системой статического или динамического бокового обжатия, системами контроля фаз проведения испытаний, устройствами для проведения статических или динамических испытаний на кручение, климатической камерой.

На рис. 8–10 показаны результаты различных типов испытаний, выполненные с использованием рассмотренной установки.

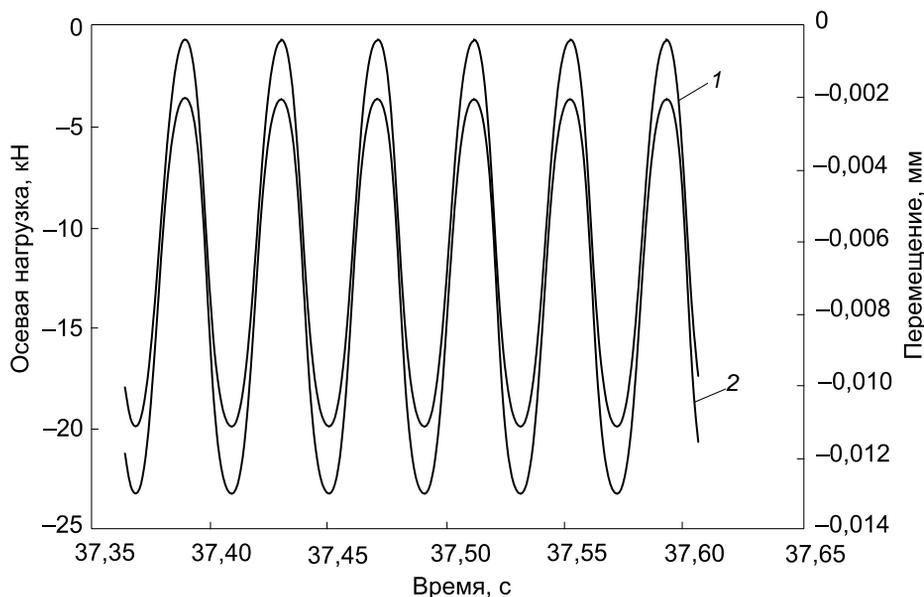


Рис. 8. Типичная зависимость силы, перемещения от времени при температуре (-20 °C): 1 – нагрузка; 2 – перемещение (Clyne et al., 2003) [2]

Сравнение результатов одноосных и трехосных испытаний (рис. 10) показывает, что значения динамических модулей различаются более значительно при высокой температуре и низких частотах, чем при низкой температуре. Различия в результатах одноосного и трехосного сжатия при высокой температуре получаются меньше с ростом обжатия. Различия между одноосным и трехосным сжатием на низких температурах много меньше, но наблюдается значительная зависимость от уровня бокового обжатия.

Проектирование асфальтобетонных покрытий с использованием динамических модулей. Динамические модули являются одним из наиболее универсальных параметров для характеристики смеси горячих асфальтов. Исследования показывают, что динамические модули могут быть использованы

как хороший индикатор при проектировании покрытий из горячих асфальтов. Некоторые преимущества использования динамических модулей по сравнению с другими параметрами оценки жесткости горячих асфальтовых смесей в конструкции покрытия заключаются в следующем [7]:

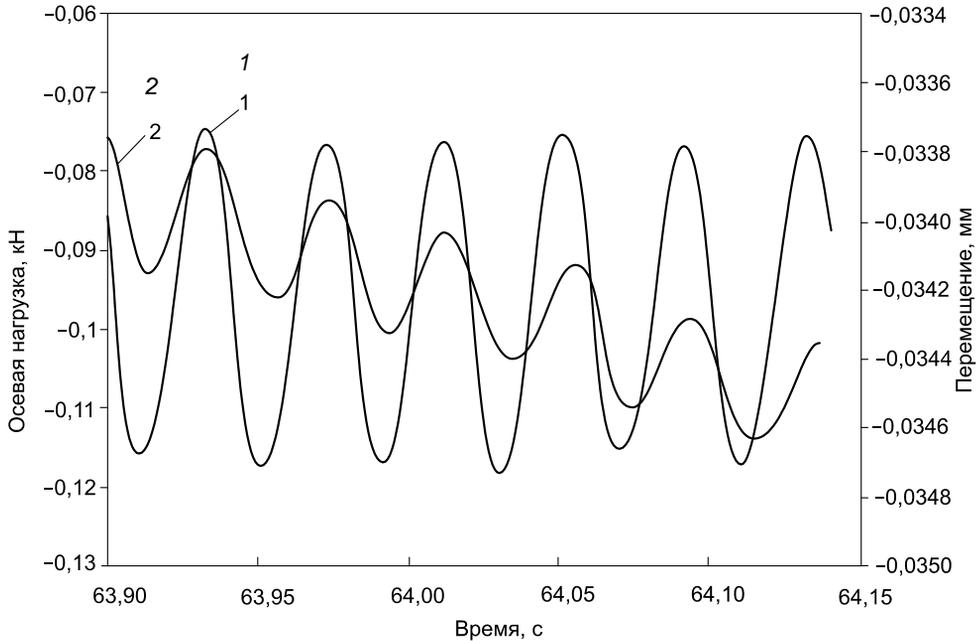


Рис. 9. Типичная зависимость силы, перемещения от времени при температуре (40 °С): 1 – одноосное сжатие; 2–4 – трехосное сжатие, соответственно при боковом обжатии в 10, 20 и 30 кПа (Clune et al., 2003) [2]

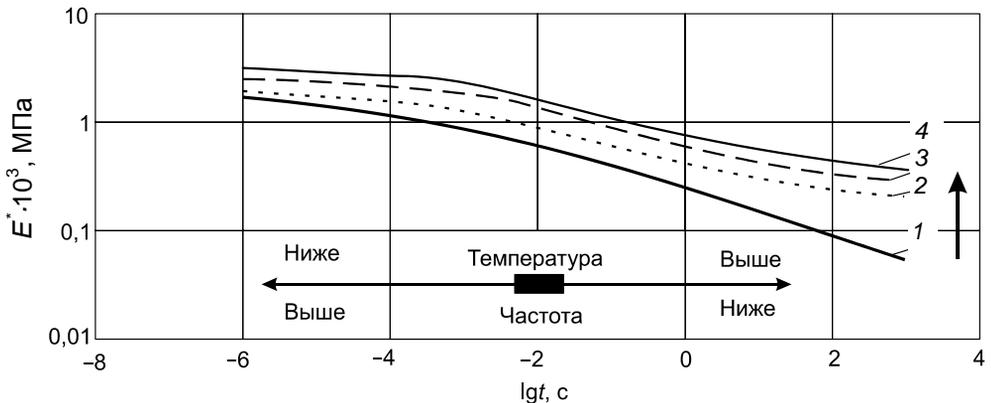


Рис. 10. Обобщенная зависимость изменения динамического модуля при различных условиях нагружения образцов асфальтовой смеси: 1 – одноосное сжатие; 2–4 – трехосное сжатие, соответственно при боковом обжатии в 10, 20 и 30 кПа (Kaloush et al., 2003) [8]

- 1) можно выполнять иерархическую характеристику смесей;
- 2) возможно рассмотрение процесса старения;
- 3) возможен учет времени нагружения;
- 4) можно осуществить связь с другими спецификациями асфальтовых смесей;
- 5) имеется связь с FWD-модулями [5], определяемыми путем измерения прогиба дорожного покрытия в полевых условиях;
- 6) можно выполнять конструирование покрытия в широком диапазоне температуры и скорости нагружения;
- 7) дается рациональный путь для создания критериев смеси по отношению к образованию колеи, трещинообразованию, которые могут быть связаны с моделью материала [5].

Динамические модули E^* рекомендованы для использования в рамках NCHRP-проекта 9–19 [3] для оценки колееобразования и усталостного поведения асфальтобетонных смесей. В данном проекте предложены три уровня проектирования покрытий на основе модели иерархического проектирования. Динамические модули используются в качестве основного индекса свойств горячих асфальтовых смесей на всех трех уровнях иерархического проектирования, введенного в M-EPDG [3]. На всех уровнях анализа динамические модули определяются из обобщенной зависимости при заданной температуре (см. рис. 5).

Модель иерархического проектирования требует выполнить прямые измерения динамических модулей для обеспечения наивысшего уровня надежности при проектировании (уровень 1) и применяется для покрытий с очень высокими транспортными нагрузками. Для разработки обобщенной зависимости первого уровня анализа при смещении лабораторных значений модулей на гладкую кривую сигмоидальной формы используется численная оптимизация. На втором уровне анализа обобщенная кривая конструируется с использованием текущей версии [5] E^* -уравнения, основанного на данных лабораторных испытаний. Для третьего уровня проектирования лабораторные испытания не требуются, определяются только объемные и гранулометрические свойства смесей.

Список литературы

1. Laboratory Tests for Hot-Mix Asphalt Characterization in Virginia / G.W. Flintsch, I.L. Al-Qadi, A. Loulizi, D. Mokarem // Report No. VTRC 05-CR22, 2005. – P. 56.
2. Dynamic and Resilient Modulus of MN/DOT Asphalt Mixtures / T.R. Clyne, X. Li, M.O. Marasteanu, E.L. Skok // Report № MN/RC-2003-09, 2003. – P. 78.
3. NCHRP. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report for Project 1-37A. P. 1, Ch. 1 / Transportation Research Board, National Research Council. – Washington, D.C., 2004.

4. AASHTO. Standard Method of Test For Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures. AASHTO Designation: TP 62-03, Washington, D.C., 2001.

5. Witzak M.W., Pellinen T.K, El-Basyouny M.M. Pursuit of the Simple Performance Test for Asphalt Concrete Fracture / Cracking // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – Vol. 71. – 2002. – P. 767–778.

6. Bayat A., Knight M. Investigation of Hot-Mix Asphalt Dynamic Modulus using Field Measured Pavement Response // TRB 2010 Annual Meeting. – 2010. – P. 16.

7. Gedafa D., Hossain M., Romanoschi S. Field Verification of KDOT's Superpave Mixture Properties to be Used as Inputs in the NCHRP Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. Report No. K-TRAN: KSU-05-1 / Department of Civil Engineering Kansas State University, 2009. – P. 247.

8. Laboratory Evaluation of Asphalt Rubber Mixtures Using the Dynamic Modulus (E^*) Test / K.E. Kaloush, M.W. Witzak, A.C. Sotil, G.B. Way // Annual Transportation Research Board. – 2003. – P. 22.

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ ОЦЕНОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ю.Э. Васильев

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ), Россия

В.В. Талалай, С.М. Евтеева

ООО «НИЦ технического регулирования», г. Саратов, Россия

Приведены результаты исследований на экспериментальных установках. Показано, что расчеты по общей модели значительно сложнее, при том, что общие принципы повторяют случай простой модели.

***Ключевые слова:** автоматизация, оценочные испытания, модель, гетерогенные материалы, критерий Кохрена, тест Граббса.*

Для проведения анализа однородности, например асфальтобетонной смеси, должна быть применена модель эксперимента для гетерогенного материала.

Естественная неоднородность материала приводит всегда к некоторым различиям между объемами проб, отобранных из одного и того же продукта, поэтому если эксперимент по испытанию гетерогенных материалов проводят по модели с однородными уровнями, в каждую лабораторию посылают пробы одного объема для каждого уровня, и тогда расхождения между пробами будут увеличивать рассчитанное стандартное отклонение воспроизводимости метода испытаний, но если в лаборатории посылают по две пробы для каждого уровня, тогда значения стандартного отклонения воспроизводимости могут быть рассчитаны так, что эти различия между пробами будут исключены.

Из-за неоднородности материала (образца) приготовленные для испытания пробы могут явиться важным источником расхождений.

Если же образцы или навески (пробы) готовят для эксперимента по оценке прецизионности с отклонениями от нормальной практики (в попытке приготовить идентичные пробы), то значения стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости, полученные в эксперименте, не будут представлять различия между образцами, имеющие место на практике.

В соответствии с принятой методикой испытания асфальтобетонных смесей (ГОСТ 12801) в лаборатории получают по три результата измерений по каждой пробе, что вызывает необходимость применения общей модели.

При проведении межлабораторных сравнительных испытаний асфальтобетонных смесей была принята модель эксперимента для гетерогенного материала (ГОСТ Р ИСО 5725-5, п. 5).

Каждую лабораторию, участвующую в таком эксперименте, необходимо обеспечить двумя (четырьмя) пробами на каждом из двух уровней. Для каждой пробы определялись в соответствии с ГОСТ 12801–98 по три результата измерений. Таким образом, каждый элемент (ячейка) в эксперименте должен содержать шесть результатов измерений (по три результата измерений для каждой из двух проб).

Простая модель, рассмотренная в ГОСТ Р ИСО 5725-5 (п. 5.2.) в ходе эксперимента должна быть обобщена на случай использования четырех проб на лабораторию и получения по три результата измерения по каждой пробе.

Как указано в п. 5.2.1 ГОСТ Р ИСО 5725-5, расчеты по более общей модели значительно сложнее, чем в случае с двумя результатами измерений по каждой пробе или с двумя пробами на лабораторию и уровень. Однако принципы более общей модели остаются теми же самыми, что и в случае простой модели.

Рассмотрим пример, основанный на межлабораторных испытаниях 2005 г. Данные эксперимента для гетерогенного материала обозначают y_{ijk} , где i – номер лаборатории ($i = 1, 2, \dots, p'$); j – уровень ($j = 1, 2, \dots, q$); t – проба ($t = 1, 2, \dots, g$); k – результат измерений ($k = 1, 2, \dots, n$).

Для 1-го уровня – мелкозернистая асфальтобетонная смесь:

$$p' = 38; t = 4; n = 3.$$

Для 2-го уровня – песчаная асфальтобетонная смесь:

$$p' = 38; t = 2; n = 3.$$

При планировании эксперимента организаторы руководствовались требованиями, изложенными в разд. 6 ГОСТ Р ИСО 5725-1. Как указано в п. 5.3.1 ГОСТ Р ИСО 5725-5 дополнительно должен быть рассмотрен вопрос о количестве проб для каждой лаборатории. Обычно этот вопрос решается с учетом затрат.

Неопределенность оценки стандартного отклонения повторяемости, полученной из эксперимента на гетерогенном материале, может быть оценена расчетом величины A_r по формуле

$$A_r = 1,96 \sqrt{\frac{1}{2p'g(n-1)}}.$$

Неопределенность оценки стандартного отклонения воспроизводимости, полученной из эксперимента на гетерогенном материале, может быть оценена вычислением величины A_R по формуле*

* В издании ГОСТ Р ИСО 5725-5–2002 данная формула представлена с опечаткой.

$$A_R = 1,96 \sqrt{\frac{D_1 + D_2 + D_3}{2\gamma^4}}$$

Детальную организацию эксперимента с гетерогенным материалом осуществляли в соответствии с руководством, изложенным в разд. 5 и 6 ГОСТ Р ИСО 5725-2.

При рассмотрении гетерогенных материалов на первый план ставят характеристику неоднородности гетерогенных материалов, так как из-за неоднородности материала (образца) приготовленные для испытания фрагменты или порции могут стать источником расхождений.

Если образцы или навески (пробы) готовят для эксперимента по оценке прецизионности с отклонениями от нормальной практики (в попытке приготовить «идентичные» пробы), то значения стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости, полученные в эксперименте, не будут представлять различия между образцами, имеющего место на практике.

№ п/п	Наименование показателя	Нормативный документ, регламентирующий методику испытаний
1	Масса образцов на воздухе (g_0)	ГОСТ 12801–98
2	Высота образцов (расчетная)	–
3	Средняя плотность	ГОСТ 12801–98
4	Водонасыщение	ГОСТ 12801–98
5	Остаточная пористость	ГОСТ 12801–98
6	Предел прочности при сжатии при 20 °С	ГОСТ 12801–98
7	Предел прочности при сжатии при 50 °С	ГОСТ 12801–98
8	Предел прочности при сжатии при 0 °С	ГОСТ 12801–98
9	Водостойкость	ГОСТ 12801–98
10	Коэффициент внутреннего трения	ГОСТ 12801–98
11	Сцепление при сдвиге	ГОСТ 12801–98
12	Растяжение при расколе	ГОСТ 12801–98
13	Содержание битума	ГОСТ 12801–98

Иногда желательно приготовить «идентичные» пробы, чтобы исключить, насколько это возможно, неоднородность материала, например для квалификационного испытания или когда эксперимент по оценке прецизионности используют как часть программы по исследованию метода измерений. Когда целью эксперимента по оценке прецизионности является установление расхождения, которое будет иметь место на практике (например, когда поставщик и покупатель или предприятие и сертификационная лаборатория испытывают пробы одного и того же продукта), тогда расхождение, возникающее вследствие гетерогенности материала, необходимо включать в оценку прецизионности метода измерений.

Необходимо также предусмотреть, чтобы каждый результат в эксперименте был получен с соблюдением процедуры испытаний, независимо от других испытаний. Это будет не так, если отдельные стадии приготовления образцов будут

выполняться совместно для нескольких образцов таким образом, что систематические или случайные погрешности, обусловленные стадией приготовления образцов, будут иметь общее влияние на результаты испытаний, полученные на этих образцах.

Модель для гетерогенных материалов, рассматриваемая в ГОСТ Р ИСО 5725-5, дает информацию о различиях между пробами, которые не могут быть получены по модели с однородными уровнями, описанной в ГОСТ Р ИСО 5725-2. Конечно, неизбежны расходы, связанные с получением дополнительной информации, так как предлагаемая модель требует большего количества проб для испытаний, но эта дополнительная информация может быть ценной. Так, информация о неоднородности материала может быть использована для принятия решения о том, сколько проб необходимо для испытаний при отгрузке продукции, или же что лучше: испытывать большее количество проб с небольшим количеством образцов от каждой пробы или испытывать проб меньше, но при большем количестве образцов от каждой пробы. Информация о различиях между пробами может быть использована для решения вопроса о том, является ли процедура отбора проб из большого объема удовлетворительной или нуждается в совершенствовании.

Модель, описанная в ГОСТ Р ИСО 5725-5, применима к экспериментам, включающим три фактора, расположенных в такой последовательности:

- 1) лаборатория – высочайший уровень в иерархии;
- 2) пробы внутри лаборатории – следующий уровень в иерархии;
- 3) результаты испытаний в пределах проб – самый низкий уровень иерархии.

Другой случай, с которым можно столкнуться на практике, – трехфакторная иерархия:

- 1) лаборатория;
- 2) результаты испытаний в пределах лаборатории;
- 3) результаты параллельных определений в результатах испытаний.

Этот случай может возникнуть, если лабораториям – участницам эксперимента по оценке прецизионности – посылают по одной пробе гомогенного материала с просьбой о выполнении двух (возможно более) испытаний на каждой пробе и если каждое испытание включает в себя некоторое число определений, а результаты испытаний рассчитывают как средние значения этих определений.

Необходимо также правильно задавать число определений, подлежащих усреднению, для выдачи результата испытаний, так как это влияет на значения стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости.

План эксперимента для гетерогенного материала был построен в соответствии с табл. 9 ГОСТ Р ИСО 5725-5.

Результаты испытаний мелкозернистой и песчаной асфальтобетонных смесей, представленные лабораториями, были исследованы на совместимость и наличие выбросов в соответствии с п. 5.6 ГОСТ Р ИСО 5725-5.

При проверке данных на совместимость использованы статистики h и k . Результаты контроля на совместимость средних значений результатов измерений (по h критерию Мандела) и результаты контроля на совместимость расхождений между пробами (по k критерию Мандела) представлены в таблицах.

Если лаборатория сообщает результаты с систематическими погрешностями, то для нее большинство данных по статистике h для средних значений в элементах на соответствующем графике будет большим и будет иметь одно направление.

Если лаборатория не провела измерение с соблюдением условий повторяемости (и допустила наличие посторонних факторов, увеличивающих расхождение между пробами), то на соответствующем графике для статистики k будут видны необычно большие статистические данные для расхождений между пробами.

Если лаборатория имеет плохую повторяемость, это проявится на графике в виде необычно больших значений статистики k для расхождений между результатами измерений.

Представленные лабораториями данные исследованы с точки зрения наличия квазивыбросов и выбросов по критериям Кохрена и Граббса.

Результаты проверки наличия квазивыбросов и выбросов в расхождениях между результатами измерений (по критерию Кохрена) и результаты проверки наличия квазивыбросов и выбросов в расхождениях между пробами измерений (по критерию Кохрена) представляются в таблице.

В эксперименте на гетерогенном материале результаты этих проверок должны быть использованы в следующем порядке: применяется тест Кохрена к расхождениям между результатами измерений; применяется тест Кохрена к расхождениям между пробами; применяют тесты Граббса к средним значениям. Определяются оценка внутренней прецизионности и оценка систематической погрешности. Результаты проверки совместимости по средним значениям в элементах и результаты проверки совместимости по внутриэлементным расхождениям представляются в таблице.

Каждую лабораторию, участвующую в эксперименте, обеспечивают двумя (четырьмя) пробами на каждом из двух уровней. Для каждой пробы определяют в соответствии с ГОСТ 12801–98 по три результата измерений. Таким образом, каждый элемент (ячейка) в эксперименте содержит шесть результатов измерений (по три результата измерений для каждой из двух проб).

Простая модель, рассмотренная в ГОСТ Р ИСО 5725-5 (п. 5.2) в ходе поставленного эксперимента, была обобщена на случай использования четырех проб на лабораторию и получение по три результата измерения по каждой пробе.

Как указано в п. 5.2.1 ГОСТ Р ИСО 5725-5, расчеты по более общей модели значительно сложнее, чем в случае с двумя результатами измерений по каждой пробе или с двумя пробами на лабораторию и уровень. Однако принципы более общей модели остаются теми же, как и в случае простой модели.

ОБОСНОВАНИЕ НОРМЫ РАСХОДА ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК В АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ И ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЕ СМЕСИ

Е.В. Веюков, М.Г. Салихов

Марийский государственный технический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

Предлагается методика и приведены расчетные формулы назначения противогололедных добавок в асфальтобетонные смеси и щебеночно-мастичные смеси. Проведен краткий обзор существующих методов борьбы с гололедообразованием.

Ключевые слова: гололед, нормы расхода добавок в асфальтобетонных смесях, противогололедные материалы, применение кристаллической соли, миграция веществ в структуре материала.

Одним из важнейших проблем на автомобильных дорогах в зимнее время является борьба с зимней скользкостью. Из-за образования гололеда снижается значение коэффициента сцепления колес автомобилей с поверхностью покрытия и, соответственно, значение скоростей движения и пропускной способности, повышается число дорожно-транспортных происшествий на дорогах. Зимняя скользкость обусловлена образованием на поверхности дорожного покрытия снежно-ледяных отложений.

В настоящее время существуют различные методы борьбы с зимней скользкостью [1]. Это фрикционный, химический и комбинированный. Фрикционный метод заключается в увеличении коэффициента сцепления колес с покрытием за счет обработки дорожных покрытий фрикционными материалами. Химический метод основывается на посыпке дорожного полотна материалами и растворами, плавящими снежно-ледяные отложения. Комбинированный заключается в сочетании предыдущих двух методов. Последний способ получил наибольшее распространение ввиду его эффективности. Разработаны также антигололедные покрытия, которые позволяют снижать адгезию льда к поверхности дорожного полотна.

Так, в Швейцарии фирмой «Пластроут» предложено вводить в асфальтобетон добавку «Верглимит». Антигололедная добавка состоит из хлорида кальция (80 %) и гидроокиси натрия (5 %). Гранулы антигололедной добавки для защиты их от воздействия влаги покрывались пленкой полимеризованного льняного масла. Введение добавки в количестве от 2,5 до 5,0 мас. % мине-

ральной части в асфальтобетонную смесь осуществляют непосредственно перед ее укладкой через загрузочный бункер асфальтоукладчика или в смеситель при приготовлении смеси на асфальтобетонном заводе [2].

Известен способ использования «соленого бетона», представляющего собой обработанные кристаллы противогололедного вещества (NaCl), введенные в минеральную часть асфальтобетона. В них минеральная оболочка противоморозной соли формируется из цемента, мелкозернистого известнякового порошка и дробленого песка. Введение добавки в количестве около 10 мас. % минерального материала является достаточным для достижения желаемого эффекта [2].

Известен также способ использования в асфальтобетонах добавок «Грикол». Это антигололедная добавка, состоящая из смеси тонкомолотых хлористых солей (90 %) и гидрофобизатора на основе кремнийорганических продуктов (10 %), вводится при приготовлении асфальтобетонной смеси в количестве от 4,5 до 6 мас. % минеральной части. Добавка обеспечивает антигололедный эффект при температурах до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5–6 лет [3].

Известны также другие способы борьбы с гололедообразованием. Например, метод использования противогололедных минеральных порошков, метод обработки поверхности покрытия кремнейорганическими жидкостями и другие.

Использование антигололедных покрытий обладает рядом преимуществ по сравнению со способами поверхностной обработки уже образовавшихся на дорожном покрытии снежно-ледяных отложений. По первому способу материалы действуют снизу, т.е. нет необходимости в полном растапливании образовавшегося слоя наката или гололеда. При температуре около $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ небольшое количество добавки расплавляет тонкие слои снега. При температурах ниже $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ плотность льда нарушается, при этом лед может сравнительно легко удаляться отвалом снегоуборочной техники. При температурах $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже антигололедный эффект снижается, однако при этом сохраняется возможность достаточно простой очистки поверхности дороги с использованием дорожной отвала и щетки [2].

От количества вводимой в асфальтобетон добавки зависят не только антигололедные свойства, но и стоимость покрытия. Например, при введении 4 % добавки «Грикол» в асфальтобетонную смесь стоимость этой смеси увеличивается в три раза [2], поэтому важно стремиться к снижению нормы расхода противоморозных солей.

При использовании противоморозной добавки кристаллической соли NaCl фракции 0,5–5,0 мм расход соли назначается по результатам специальных исследований в количестве 4–6 мас. % песчаной фракции или 1,8–2,7 мас. % минеральной части асфальтобетонов.

В данной статье предлагается методика назначения необходимого количества антигололедной добавки – NaCl .

В отличие от поверхностных посыпок на поверхность асфальтобетонных без противоморозных добавок, здесь происходит влияние подтаивания корки льда не на поверхности, а на границе поверхности покрытий асфальтобетона и льда (рис. 1), поэтому нет необходимости в плавлении всего объема льда. Предлагается расплавлять лед толщиной, равной средней высоте шероховатости покрытия. При расплавлении этого слоя происходит разрыв корки льда от поверхности покрытия. После расплавления этой прослойки верхний слой льда ломается и удаляется с поверхности дорог под действием колес транспортных средств. При значительной толщине льда и снежного наката появляется возможность достаточно простой очистки поверхности дороги.

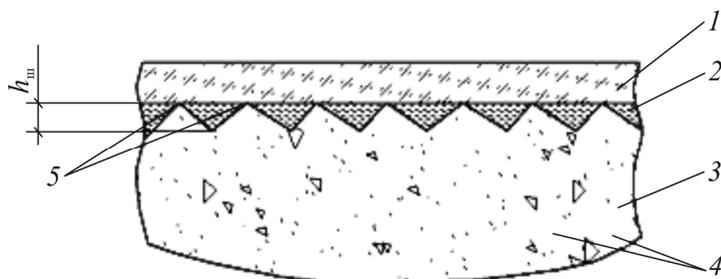


Рис. 1. Плавление льда на границе поверхности покрытия: 1 – лед (снежный накат); 2 – расплавленный лед; 3 – асфальтобетон; 4 – кристаллы соли; 5 – вершины одиночных шероховатостей; $h_{ш}$ – средняя высота шероховатостей на поверхности асфальтобетона

Необходимый расход предлагается определять как сумму реагента $P_{соли}^{T\text{ }^{\circ}\text{C}}$, необходимой для расплавления льда в объеме шероховатостей поверхности покрытия и располагаемой в структуре асфальтобетона $Q_c^{стр}$.

$$P_{норм} = P_{соли}^{T\text{ }^{\circ}\text{C}} + Q_c^{стр}.$$

Из специальных экспериментов [4]: $Q_c^{стр} = 1,5 - 2,8$ мас. % твердой части асфальтобетона.

При тщательном перемешивании асфальтобетонной смеси во всем объеме можно предположить, что добавки соли окажутся на поверхности покрытия равномерно расположенными (рис. 2).

Как отмечалось ранее, нет необходимости растапливать полностью весь слой уплотненного слоя снега или льда, а достаточно растопить слой толщиной, равной высоте шероховатостей покрытия $h_{ш}$. Объем расплавленного льда толщиной $h_{л} = h_{ш}$ на площади 1 м^2 :

$$V_{л} = \frac{1 \cdot 1 \cdot h_{ш}}{2}.$$

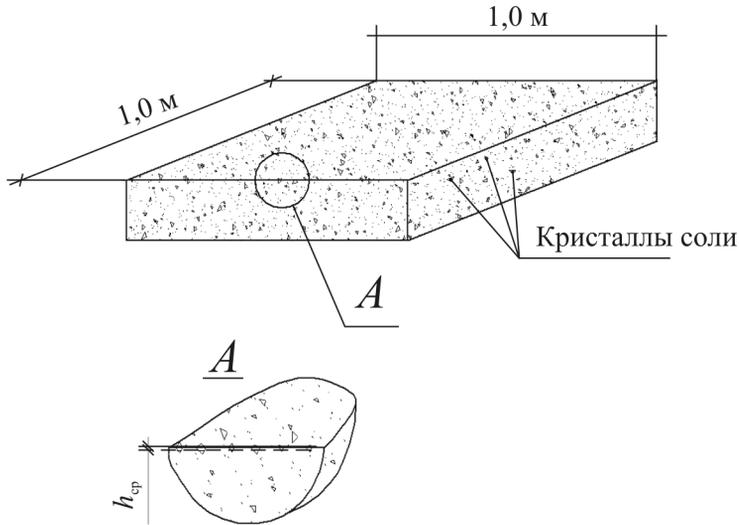


Рис. 2. Схема распределения соли на поверхности антигололедного асфальтобетонного покрытия

Тогда требуемое количество раствора соли

$$Q_{\text{соли}} = V_{\text{л}} \rho_{\text{NaCl}},$$

где ρ_{NaCl} – плотность соли.

Требуемое количество соли при температуре T °С:

$$P_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{C_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot P_{\text{в}}}{100},$$

где $C_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}}$ – требуемая концентрация растворов солей при температуре воздуха T , °С, значение берется из фазовых диаграмм [5]; $P_{\text{в}}$ – количество растворителя(воды) в рассматриваемом объеме. Можно принять $P_{\text{в}} = 0,9 \dots 1,0 V_{\text{л}}$. Тогда

$$P_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{0,9 \cdot C_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot h_{\text{ш}}}{200} = 45 \cdot 10^{-3} \cdot C_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot h_{\text{ш}}.$$

С учетом примесей в соли:

$$P_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} = 45 \cdot 10^{-3} \cdot K \cdot C_{\text{соли}}^{T \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot h_{\text{ш}}, \text{ кг/м}^2,$$

где $h_{\text{ш}}$ – средняя высота шероховатости, м; K – коэффициент, учитывающий примеси в соли.

После расплавления снежно-ледяные отложения удаляются из покрытия под воздействием колес автомобилей. Вместе с этими отложениями, очевидно, удалится часть соли, конкретное количество зависит от вида применяемой соли

и температуры окружающей среды [2]. Его можно представить в виде функции $q = f(h_{\text{ш}}, t)$, где t – температура окружающей среды во время снегопада. Или же применима другая запись $q = S \cdot h_{\text{ш}} \cdot Q_{\text{норм}}$, где S – площадь покрытия ($S = 1 \text{ м}^2$), $Q_{\text{норм}}$ – нормативный расход применяемой соли. В результате на поверхности концентрация соли станет меньше чем в объеме, и начнется процесс выравнивания концентрации по всему объему – миграция солей из объема на поверхность.

Ввиду пористой структуры асфальтобетона происходит постоянная миграция соли из объема на поверхность. Диффузия растворов солей происходит в соответствии с законом Фика [6]:

$$J = -D \frac{dc}{dx},$$

где J – диффузионный поток; D – коэффициент диффузии; dc/dx – градиент концентрации между рассматриваемой точкой асфальтобетона и поверхностью.

На поверхности асфальтобетонного покрытия хлориды обнажаются при истирании пленки битума, но концентрация хлоридов в растворах здесь всегда ниже, чем в глубинных слоях асфальтобетона, так как соли хлоридов растворяются здесь в большем количестве воды, а также частично удаляются с талой водой при разрушении гололедного слоя и с осадками в виде дождя и снега.

Скорость накопления реагента в поверхностном слое может быть установлена [6]:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2},$$

где dc/dt – изменение концентрации соли во времени; d^2c/dx^2 – изменение скорости падения концентрации соли по глубине.

Коэффициент диффузии зависит от температуры окружающей среды, от структуры и вида применяемого материала покрытия. Его можно определить экспериментальным путем. От этого коэффициента зависит скорость прибытия соли на поверхность покрытия.

Процесс движения соли и воды в объеме асфальтобетона на поверхность покрытия принимается постоянным. Истирание покрытия при движении автомобилей обеспечивает постоянное присутствие соли на поверхности. Кроме того, из-за капиллярно-пористой структуры асфальтобетона происходят фильтрационные процессы. При поступлении воды в поры происходит смещение битумной пленки с поверхности частиц хлоридов и растворение их. При низких температурах из-за пористой структуры происходит частичное замерзание воды в порах и капиллярах асфальтобетона, что способствует миграции влаги при охлаждении. Незамерзшая в порах вода остается достаточно

эффективным и своеобразным растворителем. Своеобразие ее состоит в том, что в плотно прилегающих слоях к стенке пор ее растворяющая способность снижается, а в отдалении, наоборот, повышается [2].

Необходимо подчеркнуть важную особенность миграции веществ в структуре материала: она способна придать верхнему слою покрытия в холодное время относительно стабильные, непрерывно возобновляющиеся противогололедные свойства, что искусственным путем сделать практически невозможно. Определяющим фактором здесь выступает интенсивность процесса миграции, которая зависит от процессов капиллярного увлажнения и диффузионных процессов. Потери соли в поверхностном слое покрытия восполняются из глубины слоя за счет всасывающего действия шин колес автотранспорта и диффузных процессов. При минимальной концентрации вынос солей на поверхность покрытия в твердом виде может быть оценен десятками граммов в месяц, что достаточно для расплавления слоя льда в несколько миллиметров.

Соли из структуры асфальтобетонов подвержены природному вымыванию, но потери такого рода сравнительно быстро восстанавливаются мигрирующими растворами. Тонкопористая структура асфальтобетона оказывает существенное сопротивление вымыванию солей. Вымывание солей во многом определяется интенсивностью испарения влаги. При небольшой ее интенсивности, например зимой, раствор «подтягивается» к открытой поверхности, на которой происходит отложение солей. При интенсивном испарении, например летом, зона испарения обычно смещается на некоторую глубину от поверхности, на которой и происходит разделение раствора на растворитель (в виде пара) и растворенное вещество (в виде кристаллической соли). Подобное явление препятствует вымыванию солей, способствует их накоплению близ открытой поверхности, что улучшает дальнейшую миграцию раствора к поверхности. Поступление соли на открытую поверхность, длительность этого процесса зависят от ее количества в асфальтобетоне и скорости растворения.

Список литературы

1. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах: отраслевой дорожный методический документ / Росавтодор. – М.: Информавтодор, 2003. – 72 с.
2. Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах: обзорная информация. – 2006. Вып. 4. – М.: Информавтодор. – 104 с.
3. Методические рекомендации по применению наполнителя «Грикол» в составах асфальтобетонных смесей для устройства покрытия с гололедными свойствами: отраслевой дорожный методический документ / Росавтодор. – М.: Информавтодор, 2003. – 12 с.

4. Салихов М.Г. О разработке составов, производстве и укладке асфальтобетонных с пониженной адгезией льда / М.Г. Салихов, М.Х. Хамзин, Ю.Е. Щербаков, А.Ю. Куклин, Е.В. Марков // Современные научно-технические проблемы транспортного строительства: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. / КГАСУ. – Казань, 2006. – С. 104–106.

5. Рудаков Л.М. Определение величины нормы расхода противогололедных хлоридов по фазовой диаграмме замерзания их растворов // Совершенствование зимнего содержания автомобильных дорог: тр. ГипродорНИИ. – Вып. 20. – М.: ГипродорНИИ, 1976. – С. 64–76.

6. Михайлов А.В., Коцюбинская Т.А. Строительная теплотехника дорожных одежд. – М.: Транспорт, 1986. – 145 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

С.О. Казарян, Ю.Г. Борисенко

Северо-Кавказский государственный технический университет,
г. Ставрополь, Россия

Приведен обзор российского и зарубежного опыта применения щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), рассмотрены основные вопросы проектирования, технологии производства и укладки ЩМА. Показаны основные направления совершенствования ЩМА, повышения физико-механических, эксплуатационных и технологических свойств этого материала.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь, сегрегация, сдвигоустойчивость, битумоемкость, стабилизирующая добавка.

Увеличившиеся в настоящее время интенсивность движения транспорта и нагрузки на дорожное полотно приводят к резкому росту различных деформаций, трещин, выбоин в покрытии и, как следствие, приводят к его разрушению. Внедрение в отечественное дорожное строительство новых эффективных материалов с улучшенными механическими и эксплуатационными свойствами отчасти может решить эту проблему. Одним из таких перспективных дорожно-строительных материалов является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). ЩМА – это материал, разработанный для устройства верхних слоев покрытия на дорогах с высокой интенсивностью движения транспорта. Процесс приготовления и укладки ЩМА технологичен, экономичен и не требует каких-либо специальных дорогостоящих дополнительных устройств.

Хотя ЩМА более 30 лет используется в дорожном строительстве в Германии и ряде других зарубежных стран, в России он появился сравнительно недавно. Изучению составов, свойств, технологии щебеночно-мастичного асфальтобетона посвящены работы следующих ученых – Арутюнова В.Г., Кирюхина Г.Н., Смирнова Е.А., Горельшевой Л.А., Карамышевой В.М., Сокальской М.Б., Юмашева В.М. и др.

Структура ЩМА имеет существенные отличия от других видов асфальтобетона. Главным различием является зерновой состав минеральной смеси. ЩМА содержат около 70–80 % щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен, который создает устойчивый каркас при уплотнении покрытия. Согласно требованиям ГОСТ 31015–2002 щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси (ЩМАС) должны иметь высокое содержание известнякового ми-

нерального порошка (10–20 %) и битумного вяжущего (около 6,5–7,5 %), что обеспечивает минимизацию пустот в уплотненном слое покрытия. Для структурирования и стабилизации битумного вяжущего вводят специальные стабилизирующие добавки. Щебеночно-мастичные асфальтобетонные покрытия характеризуются комфортабельностью и безопасными ездовыми качествами. Высокое содержание прочного щебня в щебеночно-мастичном асфальтобетоне позволяет достичь высокого сцепления с колесом автомобиля, шероховатости и износостойкости покрытия, а высокое содержание асфальтового вяжущего (мастики) – повысить водо- и морозостойкость, а также водонепроницаемость защитного слоя.

Различие между ЩМА и обычным асфальтобетоном заключается в его жесткой каркасной структуре, которая обеспечивает передачу нагрузки с поверхности в нижележащие слои через непосредственно контактирующие друг с другом отдельные крупные частицы каменного материала. Благодаря этому слой щебеночно-мастичного асфальтобетона подвергается меньшим деформациям как в поперечном, так и в продольном направлениях [1].

В ЩМА основную структуру составляет крупный щебень, а мелкий, совместно с вяжущим, служит только для создания мастики, которая плотно заполняет пустое пространство в щебеночном каркасе. Отсутствие природного песка приводит к тому, что под действием внешних нагрузок минеральные зерна не перемещаются, заполняя поровое пространство, как это происходит в слое из асфальтобетона типа А, а разрушаются [2]. К щебню для ЩМА предъявляются повышенные требования. В ЩМАС используют только высокопрочный щебень преимущественно кубовидной формы. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в щебне должно быть не более 15 мас. %. Поэтому в ЩМА необходимо использование щебня из более качественных и в свою очередь более дорогостоящих материалов.

В составе ЩМАС используется большое количество вяжущего вещества (до 7,5 %). Такое количество вяжущего препятствует проникновению влаги внутрь слоя, повышает водо- и морозостойкость, трещиностойкость, способствует лучшему уплотнению смеси. Однако присутствие в смеси такого объема битума требует применения специальных стабилизирующих добавок (например, типа волокон).

Присутствие объемного битума в ЩМА способствует увеличению его деформативности при растяжении, но в то же время приводит к резкому снижению когезионной прочности материала, особенно при положительных температурах. В результате показатели прочности при сжатии у щебеночно-мастичного асфальтобетона оказываются более низкими [3]. В связи с этим возникает необходимость введения в битум добавок полимеров, позволяющих увеличить теплоустойчивость материала, повысить его ударную прочность и деформативность при низких температурах.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон используется для верхних слоев покрытия, поэтому важную роль играет его сцепление с нижележащим слоем. В дорожном строительстве чаще всего связь слоев покрытия обеспечивается через связующий слой (подгрунтовку), т.е. методом приклеивания. Однако составы асфальтобетонов склеиваемых поверхностей практически не учитываются при выборе материала для подгрунтовки, хотя замечено, что сцепление верхних слоев из ЦМА всегда в среднем на 10–12 % ниже, чем сцепление слоев из горячего асфальтобетона стандартного состава. Это объясняется меньшей адгезией и большей пористостью ЦМА.

Одной из проблем традиционных горячих асфальтобетонных смесей (и особенно это касается ЦМА) является склонность к сегрегации и отслоению (стеканию) битума на всех технологических переделах: в процессе приготовления, хранения, транспортирования и укладки. Для предотвращения вытекания битума из смеси используют стабилизирующие добавки. В основном в качестве стабилизирующей добавки использовали целлюлозные волокна. Однако после перехода от единичного производства ЦМА к массовому применению стали проявляться определенные дефекты смеси. Прежде всего, это сегрегация смеси и появление битумных пятен различной величины на вновь уложенной поверхности покрытия непосредственно в процессе уплотнения. После дополнительных исследований были обнаружены следующие серьезные недостатки [3]: повышенная гигроскопичность, затрудненное распределение в смесителе, склонность к комкованию, высокая вероятность обгорания.

В связи с высоким содержанием битума в щебеночно-мастичных асфальтобетонах на поверхности слоя оказывается больше вяжущего, чем при строительстве из других видов асфальтобетонов. Это может вызвать негативные последствия. Они могут быть уменьшены или ликвидированы с помощью применения модифицированных вяжущих, обладающих более высокой вязкостью при высоких температурах.

ЦМА производится и укладывается при более высоких температурах, чем обычные асфальтобетоны, так как ЦМАС укладываются более тонкими слоями и склонны к быстрому охлаждению.

Рекомендуемая температура приготовления ЦМАС в зависимости от вязкости применяемого битума согласно [4] приведена в таблице.

Рекомендуемая температура приготовления ЦМАС

Глубина проникания иглы 0,1 мм, при температуре 25 °С	Температура, °С	
	при отгрузке	при укладке, не менее
От 40 до 60 включительно	От 160 до 175	150
Св. 60 до 90 включительно	От 155 до 170	145
Св. 90 до 130 включительно	От 150 до 165	140
Св. 130 до 200	От 140 до 160	135

При производстве ЩМАС используют песок из отсевов дробления горных пород. Применяемый песок должен иметь прочность не ниже 1000 по ГОСТ 8736–93.

Минеральный порошок для приготовления ЩМА должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 52129–2003. Он может быть как неактивированным, так и активированным, содержащим небольшое количество добавок поверхностно-активного вещества и гидрофобизатора, введенных в процессе помола минерального сырья. Следует иметь в виду, что использование активированного минерального порошка может привести к некоторым негативным последствиям: если для активации применялись маловязкие продукты, то может наблюдаться пластифицирующее действие, проявляющееся в снижении показателей сцепления при сдвиге и прочности при сжатии. Некоторые активаторы негативно влияют на показатель стекания вяжущего, что вынуждает увеличивать содержание стабилизирующей добавки в смеси.

Какими бы высокими ни были физико-механические и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, хорошее качество и долговечность устраиваемых покрытий могут быть обеспечены только при строгом соблюдении проектного состава и технологии работ. Известны случаи раннего появления дефектов в покрытии из ЩМА из-за невыполнения данных условий.

Так, например, если в составе выпускаемой смеси будет снижено по каким-либо причинам содержание битума, то это приведет к повышению величин остаточной пористости и водонасыщения ЩМА, что может повлечь за собой в дальнейшем выкрашивание щебня с поверхности и снижение устойчивости покрытия к образованию выбоин.

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси начали применять на дорогах России в 2000 г. [5]. Покрытия из ЩМАС были построены на автомобильных дорогах М4 «Дон» (км 117+600 – км 119), М1 «Беларусь» (228 км), Носовихинском шоссе (16 км), ул. Чехова в г. Альметьевске. В 2001 г. экспериментальное строительство верхних слоев покрытий из ЩМАС было продолжено на участках дорог МКАД – Кашира (96–105-й километр), МКАД – Железнодорожный – Ликино (2–7-й километр и 18–20-й километр), в г. Ханты-Мансийске, на мосту через р. Обь в г. Новосибирске и на стоянке воздушных судов в аэропорту Домодедово. Наибольший объем работ был выполнен из смеси ЩМА-15 [5]. Наблюдения за состоянием покрытий из ЩМАС показали, что экспериментальные участки находятся в хорошем состоянии, выбоины и шелушения отсутствуют на всем протяжении дороги, в отличие от базовых участков асфальтобетонных покрытий, которые эксплуатировались в аналогичных условиях. Единственным дефектом покрытий ЩМА являются поперечные трещины, отраженные от основания.

Стоимость производства ЩМАС оказывается на 30–40 % выше, чем производство обычных асфальтобетонных смесей. Это обуславливается, прежде всего, использованием более качественного щебня с улучшенной формой зерен, большого количества битума, применения стабилизирующих добавок из

натуральных целлюлозных волокон, а также большими затратами на приготовление, хранение, транспортирование и укладку. Однако в ряде случаев, учитывая то, что укладывать ЩМА можно более тонким слоем, а его долговечность выше, чем у обычных асфальтобетонов, возможно снизить затраты на содержание и ремонт дорог в 2–3 раза и, соответственно, применение ЩМАС может оказаться экономически более выгодным.

В соответствии с проведенным обзором состояния вопроса разработки составов, технологии и применения ЩМА и ЩМАС выявлен ряд негативных факторов, сдерживающих внедрение этого перспективного материала в отечественное дорожное строительство. Это повышенная битумоемкость, в ряде случаев невысокие сдвигоустойчивость, адгезия и сцепление ЩМА с нижележащими слоями, невысокое качество используемых в настоящее время минеральных заполнителей, применение дорогостоящих стабилизирующих добавок.

По нашему мнению, существуют следующие пути развития щебеночно-мастичных асфальтобетонов:

1) снижение битумоемкости ЩМА возможно путем совершенствования подбора состава щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, более тщательного подбора фракций плотного заполнителя и модификации битумного связующего с помощью применения ПАВ или полимерных добавок;

2) повышение сдвигоустойчивости и эксплуатационных свойств ЩМА возможно обеспечить путем применения в составах ЩМАС пористых материалов, отходов промышленного, химического и металлургического производства (металлургических шлаков, керамзита и т.д.), применения в качестве песчаных фракций в составе ЩМАС отходов химического и металлургического производства;

3) разработка новых способов снижения сегрегации ЩМАС.

Список литературы

1. Ларина Т.А. Влияние температурного фактора на технологические процессы и долговечность асфальтобетонных покрытий / Доркомстрой. – М., 2005. – С. 77–80.

2. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) / Союздорнии. – М., 2002. – 36 с.

3. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. – М.: Элит, 2009. – 176 с.

4. ГОСТ 31015–2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичный.

5. Арутюнов В.Г., Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М. Первый опыт строительства покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в России // Дороги России XXI века. – 2002. – № 3. – С. 58–61.

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ОСНОВЕ АКТИВАЦИИ БИТУМА ПО СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНОМУ МЕХАНИЗМУ

С.И. Романов, С.В. Мельников, А.И. Лескин

Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет, Россия

Приведены теоретические положения об особенностях свободно-радикальных процессов в асфальтенах битумов, влияющих на структуру, активность вяжущих и их взаимодействие с минеральным материалом. Экспериментально показана эффективность улучшения свойств асфальтобетона при активации битума по свободно-радикальному механизму в процессе приготовления асфальтобетонных смесей.

***Ключевые слова:** битум, активация, асфальтобетон, улучшение свойств, свободно-радикальный механизм.*

Добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимеров в битум с целью повышения его качества приводят к усложнению технологии, повышению стоимости асфальтобетона, ухудшению экологии, требуют соблюдения мероприятий по технике безопасности. Вместо добавок ПАВ предложен альтернативный способ улучшения адгезии битума с одновременным уменьшением толщины и увеличением прочности склеивающей пленки вяжущего в асфальтобетоне, основанный на повышении дисперсности и активности сложных структурных единиц (ССЕ), в битуме, представленных смолисто-асфальтеновой дисперсной фазой.

Идея уменьшения толщины пленок вяжущего в асфальтобетоне технологическим способом максимального разрушения структуры битума в момент объединения с минеральным материалом была предложена И.А. Рыбьевым [1]. По сути, предлагалось диспергирование асфальтенов битума. Впервые Л.Б. Гезенцевой обратил внимание на свободно-радикальный механизм взаимодействия битума с минеральным материалом в процессе производства активированного минерального порошка [2]. Это вызвало интерес к интенсивному исследованию структурных преобразований в битумах с участием свободных радикалов.

Асфальтены битума содержат стабильные свободные радикалы, иначе называемые парамагнитными центрами (ПЦ), количество которых определяют методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Свободный радикал содержит неспаренный электрон. Два свободных радикала образуют ковалентную связь, если происходит достаточное сближение двух неспаренных

электронов с антипараллельными спинами. Неспаренные электроны свободных радикалов находятся в конденсированных ароматических структурах асфальтенов в виде треугольно сгруппированных сотовых образований. В результате отщепления атома водорода в местах расположения углерода, обладающего тремя химически связанными валентностями и одной свободной валентностью, образуется ПЦ.

Адсорбционно-сольватные слои смол пронизывают и защищают асфальтеновые свободные радикалы от актов рекомбинаций, минимизируя размеры ССЕ при условии образования относительно толстых защитных слоев. Уменьшение толщины защитных слоев способствует укрупнению асфальтеновых ядер ССЕ за счет рекомбинаций некоторого количества асфальтеновых свободных радикалов, недостаточно защищенных от сближения на расстоянии меньше 0,5 нм, при котором реализуется рекомбинация с образованием ковалентной связи [3].

Единица массы асфальтенов в битуме типа золь содержит максимальное количество ПЦ при минимальных размерах асфальтеновых ядер в ССЕ; в битуме типа гель произошло укрупнение ССЕ и единица массы асфальтенов характеризуется минимальным количеством ПЦ в связи с меньшим содержанием смол. Ароматические углеводороды дисперсионной среды в меньшей мере, чем смолы, предотвращают процессы рекомбинации; парафинонафтоновые углеводороды способствуют актам рекомбинации свободных радикалов в асфальтенах. Рассматривая природу образования асфальтенов, следует отметить значительно повышенное количество ПЦ в асфальтенах крекинговых тяжелых остатков нефти и получаемых битумах. Известно ускоренное старение битумов из крекинговых остатков, поэтому их не целесообразно использовать для производства дорожных асфальтобетонных смесей, так как асфальтобетонные покрытия быстро стареют.

Выше отмеченные условия, влияющие на свободно-радикальные изменения в асфальтенах, позволяют предполагать наличие в асфальтенах слабых ковалентных связей, которые могут быть разрушены внешним энергетическим воздействием. В результате образуется пара активных свободных радикалов в клетке на близком расстоянии друг от друга. Во избежание их рекомбинации необходимо увеличить расстояние между ними, вывести из клетки механическим сдвиговым воздействием внутри битума и направить их активность на взаимодействие с поверхностью минеральных материалов для образования водостойких связей, переводя битум в тонкое пленочное структурированное состояние, характеризующееся повышенными показателями адгезии и когезии битума в асфальтобетоне. Контакт с минеральным материалом приведет к смещению неспаренных электронов к минеральной поверхности, обладающей некоторой свободной энергией. В результате вероятность рекомбинации и химической реакционной способности бывших активных ПЦ будет значительно понижена.

Целесообразна активация битума путем диспергирования асфальтенов в нем за счет энергетического воздействия, приводящего к высокоскоростным сдвиговым деформациям, при которых разрываются слабые ковалентные связи с образованием активных свободных радикалов.

Вероятность их рекомбинаций остается высокой, если пара свободных радикалов находится в клетке, где расстояние между неспаренными электронами активных радикалов настолько мало, что спаривание электронов становится возможным с образованием ковалентной связи. Выведение из клетки под действием высокоскоростных сдвиговых деформаций внутри битума отдаляет потенциально активные радикалы друг от друга, предотвращая их рекомбинацию.

Высокотемпературное воздействие, как известно, способно разрушить ковалентные связи, оставляя их в клетке, усиливая тепловое колебательное движение без вывода из клеток, поэтому остается высокая вероятность актов рекомбинаций внутри клеток.

Причинами стабильности свободных радикалов в асфальтенах битума являются делокализация неспаренных электронов и стерический фактор. Эти особенности отсутствуют в активных свободных радикалах, появившихся в результате разрушения слабых ковалентных связей в асфальтенах битума.

Доказательством разрушения слабых связей является регистрируемое методом ЭПР повышение примерно в 1,5 раза количества неспаренных электронов в результате диспергирования асфальтенов в вязкопластичной среде битума. Фактор повышенной вязкости сдерживает сближение неспаренных электронов активных свободных радикалов, предотвращая акты рекомбинаций, поэтому пониженная температура битума во время диспергирования должна обеспечить вязкопластичное состояние и предположительно быть не более 90–120 °С. Для обеспечения условия нормального смачивания битумом минеральный материал нагревают до 155–160 °С.

В процессе перемешивания минерального материала с активированным битумом, вероятно, происходит смещение электронных облаков свободных радикалов к поверхности минерального материала и образование адгезионных водостойких физических связей. Необходима экспериментальная проверка выдвинутых теоретических положений с целью определения влияния линейной скорости сдвига и температуры.

Состав дисперсионной углеводородной среды битума, содержание смолисто-асфальтеновых соединений в нем, высокоскоростные деформации в битуме, находящемся в вязкопластичном состоянии, своеобразно влияют на количество и активность свободных радикалов в асфальтенах вяжущего [3, 5]. Стабильные свободные радикалы содержат делокализованные неспаренные электроны и, в силу стерических препятствий, не могут достаточно сблизиться с другими свободными радикалами для актов рекомбинаций с образованием ковалентных связей.

Известное условие образования химической ковалентной связи заключается в необходимом сближении неспаренных электронов с антипараллельными спинами двух свободных радикалов. Если сближение недостаточное, то

может произойти физическое обменное взаимодействие с образованием асфальтенового ассоциата.

Энергия разрушения ковалентной связи снижается, если углеродный мостик связывает в единую молекулу около 50 углеродных атомов. В двух связанных углеродным мостиком асфальтеновых пластах битума содержится достаточно большое количество атомов углерода, что и объясняет слабость образовавшейся межпластовой связи. Внешнее энергетическое воздействие способно разрушить слабую ковалентную связь, при этом появляется два активных свободных радикала. Дисперсная фаза в битуме представлена смолисто-асфальтеновыми ассоциатами, каждый из которых содержит, по данным рентгеноструктурного анализа, от 4 до 6 асфальтеновых пластов, расстояние между которыми 0,35–0,37 нм.

Разрушение слабых ковалентных связей в макромолекулах асфальтенов битума приведет к появлению активных свободных радикалов. При этом медленно, во избежание актов рекомбинаций, должен произойти их контакт с минеральным материалом со смещением в контактную зону неспаренных электронов в процессе приготовления асфальтобетонной смеси. Слабую связь может разрушить резкое сдвиговое усилие или растворитель асфальтенов с небольшим тепловым воздействием. Температура битума, подверженного энергетическому воздействию, по-видимому, будет влиять на возможные процессы рекомбинаций свободных радикалов. Вязкопластичное состояние битума при пониженных температурах воспрепятствует сближению активных свободных радикалов, предотвращая их рекомбинацию, поэтому экспериментально следует определить оптимальную температуру энергетического воздействия с целью выяснения влияния температурного фактора на процессы рекомбинаций свободных радикалов при механическом разрушении асфальтенов, а также определить влияние линейной скорости сдвига на эффективность улучшения свойств асфальтобетона.

При планировании эксперимента приняты следующие уровни факторов: скорость деформирования битумной массы в диапазоне от 0,39 до 2,36 м/с; режим термостатирования битума от 70 до 160 °С. Для деформирования битума марок БНД 60/90, БН 60/90 использован шнек [4], снабженный регулятором скорости. Минеральная часть для приготовления асфальтобетонных смесей типа Г была представлена как гранитным, так и известняковым материалами.

Минеральный материал нагревали до 160 °С и затем перемешивали с одинаковой массой активированного или не активированного битума при фиксированных температурах 70, 90, 120, 160 °С. Через сутки приготовленные асфальтобетонные цилиндрические образцы испытывали и сопоставляли с данными ГОСТ 9128–2009. Физико-механические показатели существенно зависят от состояния битума. Водонасыщение образцов с механоактивированным битумом гораздо меньше, чем с неактивированным (табл. 1, 2). Это привело к необходимости уменьшить оптимальное содержание битума в асфальтобетоне с 8 до 7 % для соблюдения нормированного водонасыщения асфальтобетонных образцов (табл. 3).

Таблица 1

Свойства асфальтобетонов типа Г на дробленном известняковом щебне
и битуме марки БНД 60/90

Температура активации, °С	Скорость сдвига, м/с	Плотность, кг/м ³	Водонасыщение W, % по объему	Длительная и кратковременная водостойкость	
				K ^{кр}	K ^{дл}
Требования ГОСТ 9128–2009			1,5–4,0	>0,85	>0,75
70	исходный	2374	3,09	0,79	0,68
	0,39	2322	1,66	0,93	0,84
	1,37	2354	0,74	0,99	0,87
	2,36	2347	0,43	1,00	0,89
90	исходный	2323	2,75	0,81	0,70
	0,39	2320	1,83	0,90	0,81
	1,37	2370	1,03	0,98	0,86
	2,36	2368	0,67	1,00	0,88
120	исходный	2377	2,68	0,85	0,75
	0,39	2328	2,00	0,88	0,79
	1,37	2338	1,64	0,93	0,83
	2,36	2389	0,85	1,00	0,88
160	исходный	2377	2,56	0,87	0,78
	0,39	2330	2,27	0,88	0,79
	1,37	2330	1,97	0,89	0,80
	2,36	2352	1,84	0,95	0,82

Таблица 2

Свойства асфальтобетонов типа Г на дробленном гранитном щебне
и битуме марки БНД 60/90

Температура активации, °С	Скорость сдвига, м/с	Плотность, кг/м ³	Водонасыщение W, % по объему	Длительная и кратковременная водостойкость	
				K ^{кр}	K ^{дл}
Требования ГОСТ 9128–2009			1,5–4,0	> 0,85	> 0,75
70	исходный	2372	2,88	0,77	0,64
	0,39	2313	1,54	0,93	0,81
	1,37	2344	0,37	0,99	0,86
	2,36	2317	0,18	1,00	0,88
90	исходный	2352	2,67	0,80	0,68
	0,39	2329	1,68	0,89	0,78
	1,37	2334	0,69	0,97	0,84
	2,36	2337	0,40	1,00	0,87
120	исходный	2358	2,21	0,84	0,73
	0,39	2312	1,89	0,87	0,76
	1,37	2340	1,21	0,90	0,78
	2,36	2308	0,55	0,99	0,86
160	исходный	2318	2,03	0,86	0,76
	0,39	2341	1,96	0,86	0,75
	1,37	2358	1,65	0,87	0,77
	2,36	2350	1,55	0,91	0,79

Таблица 3

Свойства плотных мелкозернистых асфальтобетонов с различным содержанием битума марки БНД 60/90

Температура активации, °С	Скорость сдвига, м/с	Количество битума, %	Плотность, кг/м ³	Водонасыщение W и набухание H, % по объему		Прочность при сжатии, МПа, при температурах			Длительная и кратковременная водостойкость	
				W	H	50 °С	20 °С	0 °С	K ^{кр}	K ^{дл}
На дробленном известняковом щебне										
Исходный		8	2375	1,52	0,21	1,90	4,41	5,90	0,90	0,78
120	2,36	7	2393	2,74	0,24	2,12	4,36	6,48	0,95	0,84
На дробленном гранитном щебне										
Исходный		8	2342	2,53	0,24	1,55	3,39	5,47	0,88	0,77
120	2,36	7	2387	3,08	0,15	1,86	4,57	6,29	0,96	0,81

Битум БН 60/90 относится к золеобразному типу, и его асфальтеновые ядра в ССЕ защищены от рекомбинаций более надежно за счет увеличенных адсорбционно-сольватных оболочек из смол, поэтому для разрушения асфальтеновых ядер потребовалась повышенная скорость деформирования битумной среды.

В результате испытания битумов на термоокислительное воздействие не происходит ускоренного старения механоактивированного битума по сравнению с неактивированным.

Таблица 4

Свойства плотных мелкозернистых асфальтобетонов типа Б

№ п/п	Режим активации битума			Свойства образцов асфальтобетонов											
		t _{пер} , °С	t _{бит} , °С	взятых из смесителя						переформованных образцов					
				Прочность, МПа			W, %	K ^{кр}	K ^{дл}	Прочность, МПа			W, %	K ^{кр}	K ^{дл}
				R ₅₀	R ₂₀	R ₀				R ₅₀	R ₂₀	R ₀			
1	исходный неактив.	160	158	1,55	4,50	8,21	1,02	0,97	0,76	1,63	4,42	8,09	1,79	0,96	0,76
2		160	157	1,63	4,41	7,97	1,78	0,96	0,77						
3		160	158	1,62	4,43	8,12	1,80	0,96	0,76						
4	актив. 160 °С	160	157	1,71	4,39	8,14	1,37	0,97	0,80	1,67	4,39	8,00	1,76	0,97	0,79
5		160	159	1,68	4,32	8,05	1,74	0,97	0,81						
6		160	157	1,71	4,36	8,01	1,75	0,96	0,79						
7	актив. 120 °С	160	118	1,82	4,21	7,95	1,61	0,99	0,89	1,81	4,24	7,92	1,60	0,99	0,88
8		160	117	1,85	4,27	7,93	1,59	1,00	0,89						
9		160	117	1,84	4,25	7,92	1,58	0,99	0,88						

Уменьшение температуры битума в процессе активации способствует увеличению водостойкости (см. табл. 1, 2) асфальтобетона. Температура 120 °С принята из соображений предотвращения затруднений подачи в смеситель вы-

соковязкого активированного битума при пониженной температуре. Достаточная продолжительность активации шнеком – 10–15 с. Термостатированный шнек установлен между дозатором и асфальтосмесителем.

Проведенная опытно-производственная проверка результатов теоретических и лабораторных исследований свидетельствуют об улучшении физико-механических свойств асфальтобетона с активированным битумом БНД 60/90 (табл. 4).

Происходит увеличение предела прочности на сжатие при 50 °С асфальтобетона, приготовленного на механоактивированном битуме, в среднем на 15 %. Увеличивается коэффициент длительной водостойкости для асфальтобетонов, приготовленных на механоактивированном битуме в среднем на 15–20 % по сравнению с асфальтобетонами, приготовленными на исходном битуме.

Приведенные теоретические положения и результаты испытаний асфальтобетонов показали целесообразность активации битума по свободно-радикальному механизму, способствующему диспергированию асфальтенов в битуме, улучшению физико-механических свойств и уменьшению оптимального содержания битума в асфальтобетоне.

Список литературы

1. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. – М., 1969. – С. 258.
2. Гезенцевей Л.Б. Асфальтовые бетоны из активированных минеральных материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1970. – 46 с.
3. Романов С.И. Физико-химические основы технологии нефтяного битума и асфальтобетона: учеб. пособие. – Волгоград, 1998. – 86 с.
4. Устройство для механоактивации битума: пат. на полезную модель № 79570 Рос. Федерация / ВолгГасу, 2009.
5. Пронин С.А. Обоснование температурного и сдвигового режимов для улучшения качества асфальтобетонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2003. – 23 с.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ И ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Л.И. Малянова

Марийский государственный технический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

М.Г. Салихов

Волжский филиал Московского автомобильно-дорожного
института – государственного технического университета,
г. Чебоксары, Россия

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследований асфальтобетонов с заменой компонентов (стабилизирующей добавки, дробленого песка изверженных пород и минерального порошка) на отходы камнедробления местных каменных материалов из месторождений известняков и доломитов Чувашии и с применением отходов химической промышленности Чувашии для покрытий лесовозных дорог.

Ключевые слова: известняки, доломиты, активация, адгезия, анилин, новантокс, лесовозные дороги

Важнейшим свойством асфальтобетона, предопределяющим долговечность этого материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов. Подобно большинству других пористых строительных материалов, асфальтобетон разрушается главным образом при длительном или периодическом увлажнении, а также в результате попеременного замораживания и оттаивания.

Помимо разрушающего действия воды при ее замерзании в порах, адсорбционные слои воды, понижая поверхностную энергию, облегчают образование новых поверхностей в асфальтобетоне при его деформировании. Расклинивающее действие водных пленок, разъединяющих минеральные зерна и отслаивающих битумные слои усиливает разрушающий эффект. При длительном увлажнении вода проникает в поры асфальтобетона, частично насыщает битум, проникает через дефектные места битумных слоев к поверхности минеральных зерен. Все это способствует отслаиванию битумных пленок, особенно при недостаточной адгезии их к поверхности минеральных частиц. Эти явления приводят к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне,

что облегчает его разрушение под действием транспортных средств. Еще более разрушительно действие воды, замерзающей в порах асфальтобетона или в порах содержащегося в нем каменного материала. Замерзающая вода, увеличиваясь в объеме, вызывает большие напряжения в стенках пор. В результате этого могут возникать микротрещины, заполняющиеся при оттаивании водой. Коррозионные разрушения асфальтобетонных покрытий обычно проявляются в виде усиленного выкрашивания асфальтобетона или минеральных частиц, приводящего к большому износу покрытия и образованию значительного количества отдельных разрушенных участков [1].

Изучению долговечности асфальтобетонных материалов посвящены работы Гезенцвей Л.Б., Горельшева Н.В., Золотарева В.А., Королева И.В., Ладыгина Б.И., Рыбьева И.А. и других отечественных и зарубежных исследователей.

Опыт эксплуатации асфальтобетонных покрытий показывает, что они особенно интенсивно разрушаются от атмосферной коррозии в период длительного увлажнения, а также во время оттепелей, которым предшествовало значительное количество знакопеременных колебаний температур. Таким образом, применение асфальтобетонов более устойчивых к атмосферной коррозии является одним из важнейших факторов, способствующих удлинению сроков службы покрытий.

На водо- и морозоустойчивость асфальтобетона большое влияние оказывают: плотность, однородность структуры и водопроницаемость асфальтобетона, а также характер имеющихся в нем пор; характер адгезии битума к поверхности минеральных зерен; водо- и морозостойкость используемых минеральных материалов, интенсивность процессов старения асфальтобетона [1].

Решающее влияние на коррозионную устойчивость асфальтобетона оказывает его плотность. При недостаточной плотности (повышенной пористости) асфальтобетона резче проявляются любые другие факторы, снижающие его коррозионную устойчивость. Плотность асфальтобетона зависит от пористости его минерального остова, количества битума и степени уплотнения. Плотность асфальтобетона характеризуется величиной остаточной пористости. Косвенным показателем плотности является величина водонасыщения, которая нормируется в пределах от 1 до 5 об. % в зависимости от типа асфальтобетона. Нижний предел водонасыщения нормируется исходя из соображений обеспечения деформационной устойчивости при высоких температурах.

Для районов с избыточным увлажнением и частыми оттепелями, для которых коррозионная устойчивость является решающим условием долговечности покрытия, целесообразно применять асфальтобетоны с остаточной пористостью и водонасыщением, приближающимся к нижним допускаемым пределам, и содержанием минерального порошка, приближающимся к верхним установленным пределам [2].

Наряду с общим объемом пор, содержащихся в асфальтобетоне, на коррозионную устойчивость большое влияние оказывают особенности поровой структуры: распределение пор в асфальтобетоне и их преобладающие разме-

ры. Большой объем открытых пор, т.е. сообщающихся между собой и доступных действию влаги, естественно, снижает в большей степени коррозионную устойчивость в сравнении с равным объемом замкнутых пор, практически недоступных действию воды. Другой важной особенностью пор, с точки зрения их влияния на коррозионную устойчивость и, в частности, на морозостойкость, является их размер. В мелких порах вода присутствует в виде тонких адсорбционных слоев на внутренней поверхности пор и способна замерзнуть при более низких температурах. Это приводит к тому, что многие циклы понижения температуры проходят бесследно для адсорбционно-связанной воды и не оказывают разрушающего влияния на асфальтобетон.

Таким образом, мелкопористая структура асфальтобетона с преобладанием замкнутых пор является наиболее благоприятной для обеспечения коррозионной устойчивости этого материала. Исключительно большое влияние на коррозионную устойчивость оказывает степень уплотнения асфальтобетонного покрытия. Покрытие, сделанное из рационально подобранной смеси, но недостаточно уплотненное, окажется пористым, а следовательно, недостаточно устойчивым к атмосферной коррозии. Недостаточное уплотнение покрытий является одной из частых причин их преждевременного разрушения.

Коррозионная устойчивость асфальтобетона во многом определяется и прочностью сцепления (адгезией) битумных слоев с поверхностью минеральных частиц в присутствии воды. Устойчивое сцепление возможно только при хемоадсорбционном взаимодействии битума с минеральным материалом [2].

При использовании битумов, не обеспечивающих необходимого сцепления с минеральными материалами, следует применять добавки поверхностно-активных веществ или активаторов, улучшающих сцепление и повышающих таким образом коррозионную устойчивость покрытия.

При прочих равных условиях склонность к хрупкому разрушению, возрастающая по мере старения асфальтобетона, способствует его коррозии. Наиболее важным проявлением старения является снижение водо- и морозостойкости покрытия. Именно этим объясняется, что покрытие, сделанное из асфальтобетонной смеси, приготовленной с нарушением температурного режима (превышение допустимой температуры, длительный нагрев битума) быстрее теряет коррозионную устойчивость. Помимо повышения хрупкости битума, вызванной его перегревом, в подобном асфальтобетоне интенсивней протекают процессы старения и во время эксплуатации покрытия. На таких покрытиях иногда через 1–2 года наблюдается быстрое выкрашивание.

В данной работе, посвященной получению асфальтобетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками, мы предлагаем путь модификации асфальтобетонов с помощью добавок поверхностно-активных веществ введением в состав вяжущего [3], с заменой в новом составе компонентов (стабилизирующей добавки, дробленого песка изверженных пород и минерального порошка) на отходы камнедробления местных каменных материа-

лов из месторождений известняков и доломитов [4] Чувашии и с применением отходов химической промышленности Чувашии для покрытий лесовозных дорог. Проверка теоретических представлений проводилась путем определения влияния добавок с содержанием побочных продуктов производств анилина (ЛКМС1) и Новантокса 8 ПФДА (ЛКМС2) – антиоксиданта предприятия «Химпром» Чувашской Республики смесей на физико-механические показатели горячих мелкощебенистых асфальтобетонных смесей

Некоторые физико-механические показатели модифицированного мелкощебенистого асфальтобетона

Номер образца	Содержание вяжущего, %	Содержание ПАВ, % от вяжущего	Средняя плотность, г/см ³	Водонасыщение, %	R ₂₀ МПа	R ₅₀ МПа	R _b МПа	K _b
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Добавка ЛКМС1								
1	4,8	0	2,54	2,7	5,5	2,3	6,6	0,83
2	4,8	1	2,53	3,06	5,4	2,6	6,3	1,17
3	4,8	1,5	2,55	3,47	6,98	1,94	6,23	0,89
4	4,8	2	2,54	2,94	6,61	2,15	6,52	0,99
5	4,8	2,5	2,53	2,88	6,63	2	6,9	1,0
6	4,8	0,6	2,54	2,6	5,9	2,7	6,5	0,91
Добавка ЛКМС2								
1	4,8	1	2,56	1,7	5,4	2,0	5,5	1,02
2	4,8	1,5	2,55	1,8	6,5	1,7	6,2	0,95
3	4,8	2	2,55	2,43	7,1	2,0	5,7	0,8
4	4,8	2,5	2,57	2,25	6,4	1,9	5,5	0,86

Из таблицы видно что использование добавок ЛКМС1 и ЛКМС2 уменьшает показатель водонасыщения до нижнего предела, что способствует получению жирной асфальтобетонной смеси. Это условие дает возможность снижать количество вяжущего (битума) в смеси. Известно, что чем ближе показатель водонасыщения к верхнему пределу, тем суше асфальтобетонная смесь, соответственно увеличивается и количество вяжущего. Введение в вяжущее добавок ЛКМС1 и ЛКМС2 резко увеличивает предел прочности на сжатие асфальтобетонов. Результаты испытаний показали, что прочность на сжатие образцов при температуре +20±2 °С колеблется в пределах 5,4–7,1 МПа, что выше требований [5].

Добавки ЛКМС1 и ЛКМС2 незначительно влияют на предел прочности на сжатие образцов, испытанных при температуре +50 °С. Однако эти показатели в 1,5 раза выше нижнего предела [5]. Конструкционные материалы дорожных одежд работают в сложных условиях. В летний период дорожное покрытие нагревается до температуры 50–60 °С. Это ведет к снижению вязкости битумных связей и падению прочности. В результате от действия транспортной нагрузки могут появляться пластические деформации в виде волн, колеи, «гребенки» и т.д. Соответственно, чем выше показатель прочности при температуре +50 °С, тем

меньше вероятность образования колеи на дорожном покрытии. Полученные значения прочности образцов варьируются в пределах от 2,0 до 2,7, что соответствует [5]. Значение коэффициента водостойкости K_v для асфальтобетона по [5] должно быть не менее 0,9, и он зависит главным образом от минералогического состава составляющих материалов. Чем выше значение коэффициента водостойкости, тем прочнее асфальтобетон.

Сделаем следующие выводы:

1) В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований доказано повышение физико-механических свойств в зависимости от добавок отходов химического производства и малопрочного известняка Чувашии.

2) Предложенные составы асфальтобетонной смеси соответствуют требованиям ГОСТ 9128–2009 к горячим асфальтобетонам типа Б и позволяют их использовать в качестве покрытий лесовозных дорог.

В то же время исследования в направлении разработки составов модификаций асфальтобетонных смесей с жидкими отходами промышленности Чувашии и ОДИ М 200–400, позволяющих улучшить их показатели по сравнению с ГОСТ 9128–2009, продолжаются.

Список литературы

1. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. – М.: Высшая школа, 1969. – 369 с.
2. Зимон А.Д. Что такое адгезия. – М.: Наука, 1983. – 176 с.
3. Салихов М.Г. Разработка научно-практических основ объемной пропитки малопрочных каменных материалов жидкими вяжущими для дорожного строительства: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / МАДИ – ГТУ. – М., 1999. – 38 с.
4. Салихов М.Г., Вайнштейн В.М., Вайнштейн Е.В. Обоснование применения в щебеночно-мастичных асфальтобетонах отсевов дробления малопрочных известняков // Современные наукоемкие технологии: материалы III Всерос. науч. конф. «Современные проблемы науки и образования» (13.05–15.05.2008 г.). – М., 2008. – № 4. – С. 88–90.
5. ГОСТ 9128–2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

В.Ю. Иливанов, М.Г. Салихов

Марийский государственный технический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

Рассмотрены теоретические основы долговременной прочности твердых тел применительно к асфальтобетонам. Особое внимание уделено влиянию на время жизни асфальтобетона одновременного воздействия нагрузок и высоких температур. Показано, что предложенная асфальтобетонная смесь менее подвержена процессам старения при длительном действии высоких технологических температур. Методами длительного нагревания смеси и длительного водонасыщения установлена высокая коррозионная устойчивость предложенного состава асфальтобетона.

Ключевые слова: битум, долговечность, щебеночно-мастичный асфальтобетон, отсева дробления известняка, модификация.

Исследования и практика последних лет показывают, что направленное улучшение свойств битума путем его модификации является одним из наиболее эффективных способов повышения долговечности асфальтобетона. Однако в некоторых случаях применение модификаторов приводит к усложнению технологии выполнения работ, удорожанию строительства без заметного увеличения долговечности, односторонним эффектам, проявляющимся в отдельных случаях. Это вызывает потребность в расширении номенклатуры модификаторов для более гибкого регулирования свойств асфальтобетона с учетом разнообразнейших условий его эксплуатации в зависимости от расположения асфальтобетонных слоев в конструкции дорожной одежды, от параметров транспортной нагрузки, от климатических параметров и др.

Асфальтовый бетон в процессе работы в дорожных покрытиях подвергается воздействию комплекса атмосферных факторов и во времени изменяет свои свойства. Одной из причин разрушения асфальтобетонных покрытий является старение битума, входящего в состав материала, что связано с потерей им вязкопластических свойств. Это обусловливается испарением масел, входящих в состав битумов.

В ранее проведенных исследованиях с положительной стороны проявил себя щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) с отсевами дробления известняка (ОДИ). Как показали специальные исследования и наблюдения за опытным участком на автодороге Йошкар-Ола – Козмодемьянск – Чебоксары,

покрытия из данного материала полностью отвечают требованиям к их эксплуатационным характеристикам, а по некоторым показателям имеют преимущества. Однако при этом наблюдается некоторый рост требуемого расхода вяжущего для приготовления смеси щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА. С целью снижения требуемого расхода вяжущего были испытаны некоторые отходы химической промышленности Чувашской Республики.

В ходе проведенных лабораторных исследований был подобран состав минеральной части и установлен оптимальный расход вяжущего в составе ЩМА с ОДИ на битумном вяжущем БНД 60/90, равный 6,5 % сверх 100 %. Хорошие результаты были достигнуты за счет применения в битумном вяжущем 0,5 % кубовых отходов производства «Новантокс 8ПФДА». Введение добавки кубовых отходов в смесь ЩМА с ОДИ позволяет снизить количество вяжущего на 0,7 %, при этом предел прочности при сжатии при 50 °С уменьшается незначительно, в то время как прочность при сжатии водонасыщенных образцов увеличивается на 9 %, улучшаются показатели водостойкости и средней плотности. Нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90 с добавкой кубовых отходов показал повышенное сцепление с песком, улучшение показателя температуры хрупкости вяжущего. Таким образом, дальнейшее изучение долговечности данной модифицированной щебеночно-мастичной смеси (модифицированный ЩМА) представляет интерес.

Долговечность ЩМА в значительной степени зависит от скорости протекания процессов старения пленок битума на поверхности минеральных материалов. Интенсивное старение битума происходит уже на стадии приготовления смеси, в процессе объединения вяжущего с минеральными материалами, разогретыми до высоких технологических температур. Поэтому исследование процессов старения битума БНД 60/90 при взаимодействии с добавкой кубовых отходов производства «Новантокс 8ПФДА» и ЩМА с ОДИ на его основе также представляет значительный интерес.

При оценке долговечности асфальтобетона необходимо выбирать такие показатели и условия, которые характеризуют напряженное состояние дорожного покрытия при наиболее характерных возможных причинах его разрушения. К таким основным показателям модифицированного ЩМА могут быть отнесены:

- температурная устойчивость при длительном действии нагрузки и высокой температуры;
- коррозионная устойчивость при длительном нагревании смеси;
- изменение свойств при длительном водонасыщении образцов.

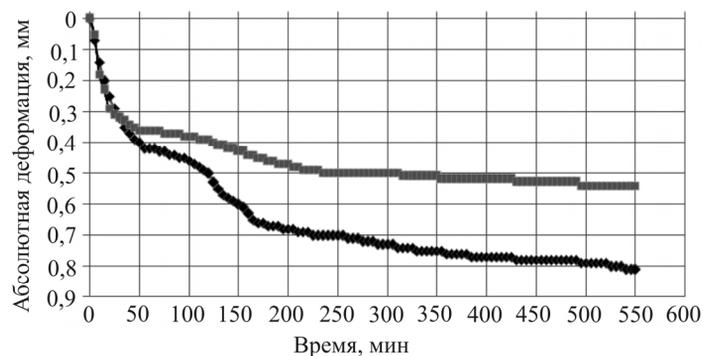
Для проведения испытаний были приготовлены асфальтобетонные смеси следующих составов:

– 1-й состав – модифицированный ЩМА: щебень М 1400 – 72 %, ОДИ М 300 – 28 %, вяжущее – 5,8 % сверх 100 % (битум БНД 60/90 – 99,5 %, кубовые отходы – 0,5 %);

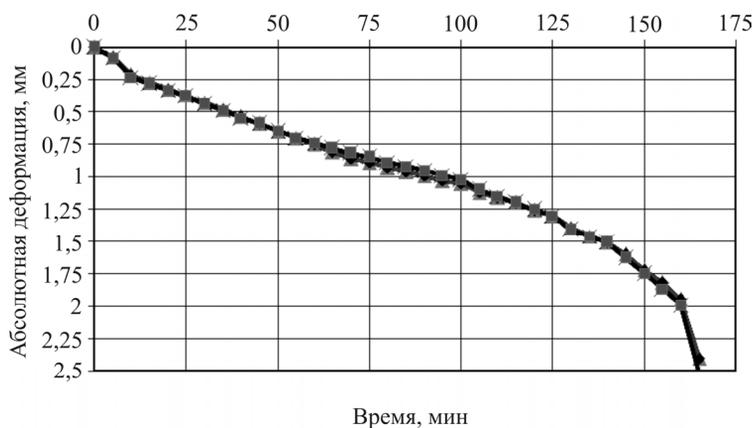
– 2-й состав – ЩМА с ОДИ: щебень М 1400 – 72 %, ОДИ М 300 – 28 %, битум БНД 60/90 – 6,5 % сверх 100 %.

Метод определения температурной устойчивости образцов заключается в определении деформации образцов под нагрузкой, равной удельному давлению от колеса автомобиля $p = 0,6$ МПа при изменении температуры от $+20$ до $+50$ °С. Стандартный образец асфальтобетона устанавливается между плитами механического пресса УП-7 и нагружается расчетной нагрузкой, равной удельному давлению колеса автомобиля на поверхность дороги $0,6$ МПа. Площадь образца равна 40 см². Таким образом, требуется нагрузка $4,2$ кг на образец с учетом масштаба пресса $1:50$. Во время проведения испытаний с помощью индикаторов часового типа с точностью отчета $0,01$ мм определяются продольные деформации образцов. Продольная деформация образца происходит при изменении температуры образца от 20 до 50 °С и далее до разрушения образца поддерживалась температура 50 °С. Постоянная температура поддерживалась с помощью рефлекторов. За окончание эксперимента принимается разрушение образца.

На рис. 1 представлены графики зависимости деформации образцов ЩМА от времени.



◆ Показание индикатора № 1 ■ Показание индикатора № 2
а



◆ Показание индикатора № 1 ■ Показание индикатора № 2
б

Рис. 1. Графики зависимости деформации образцов от времени:
а – модифицированного ЩМА; б – ЩМА с ОДИ

Важным свойством асфальтобетона, предопределяющим долговечность материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов. Асфальтобетоны, склонные к хрупкому разрушению, по мере старения подвергаются коррозии [2]. Изучение свойств модифицированного ЩМА, склонного к хрупкому разрушению по мере его старения, под действием сверхнормативной нагрузки от транспортных средств является актуальной проблемой.

Метод определения коррозионной устойчивости модифицированного ЩМА заключается в определении физико-механических свойств образцов при длительном нагревании смеси.

Температура нагрева ЩМА смеси была постоянной и составила 150 °С. Время нагрева смеси составляло: 1, 2, 4, 6 ч. Физико-механические свойства смеси при длительном нагревании определялись по известной методике, описанной ГОСТом [1].

График зависимости средней плотности образцов от времени прогрева приведен на рис. 2.

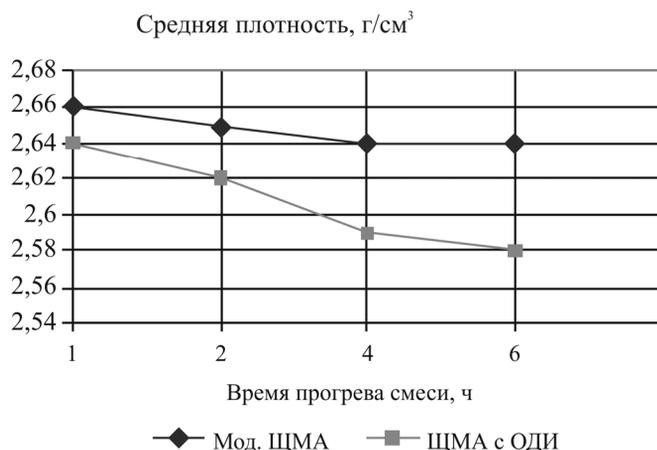


Рис. 2. График зависимости средней плотности образцов от времени прогрева смеси

График зависимости водонасыщения образцов от времени прогрева приведен на рис. 3.

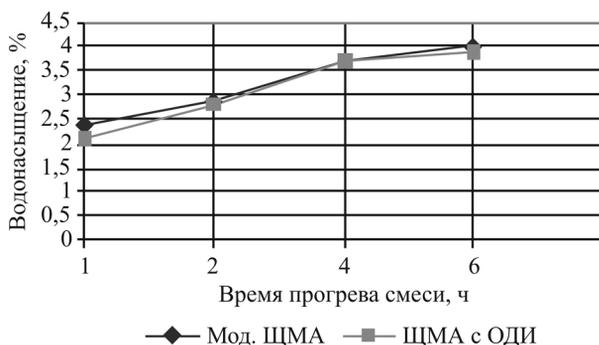


Рис. 3. График зависимости водонасыщения от времени прогрева смеси

График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева представлен на рис. 4.

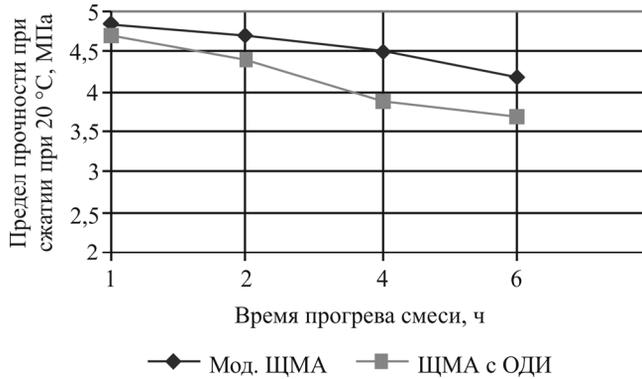


Рис. 4. График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева смеси

График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева представлен на рис. 5.

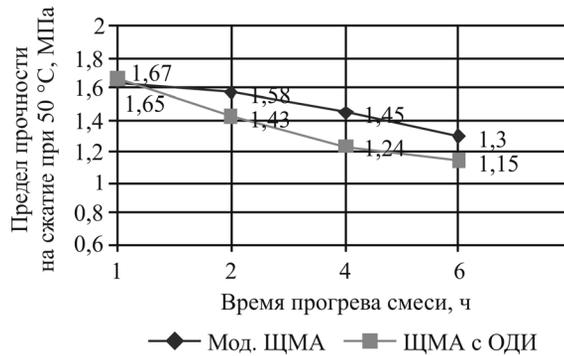


Рис. 5. График зависимости предела прочности на сжатие образцов при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ от времени прогрева смеси

Для оценки процессов старения ЩМА в процессе нагревания смеси устанавливаются значения коэффициента теплостойкости (K_T), который определяется по формуле:

$$K_T = \frac{R_{сж}^{20\text{ }^{\circ}\text{C}}}{R_{сж}^{50\text{ }^{\circ}\text{C}}}, \quad (1)$$

где $R_{сж}^{50\text{ }^{\circ}\text{C}}$ – предел прочности при сжатии при температуре $t = +50\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$R_{сж}^{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ – предел прочности при сжатии при температуре $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

График зависимости коэффициента теплостойкости образцов из ЩМА с ОДИ от времени прогрева смеси представлен на рис. 6.

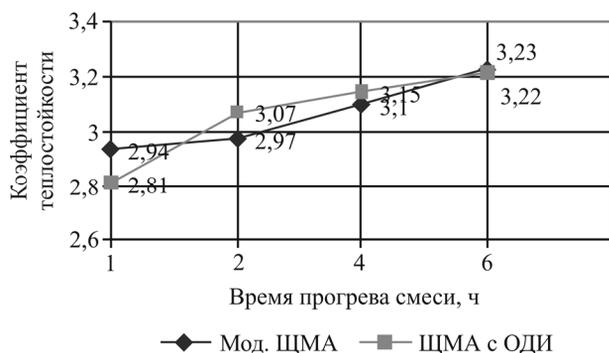


Рис. 6. График зависимости коэффициента теплостойкости образцов от времени прогрева смеси

Стандартные испытания ЩМА предусматривают длительное выдерживание образцов в воде в течение 15 сут и получение коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении в зависимости от показателей предела прочности при 20 °С, что не дает возможности объективно судить о характере изменения физико-механических свойств в течение длительного водонасыщения. В связи с этим были выполнены исследования по определению физико-механических свойств образцов модифицированного ЩМА в условиях изменяющегося влажностного режима.

На рис. 7 представлен график зависимости основных показателей образцов от времени водонасыщения.

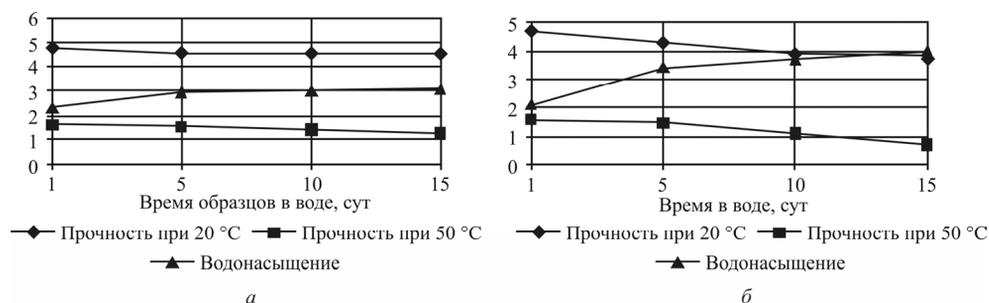


Рис. 7. Сводный график зависимости основных показателей образцов от времени водонасыщения: а – модифицированный ЩМА; б – ЩМА с ОДИ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующий вывод. Наиболее важным проявлением старения ЩМА с ОДИ является снижение средней плотности, водонасыщения, прочности на сжатие образцов при температурах 20 и 50 °С и коэффициента теплостойкости покрытия. Этим

объясняется тот факт, что покрытие, выполненное из модифицированного ЩМА и приготовленное с нарушением температурного режима быстрее снижает эксплуатационные качества асфальтобетонного покрытия.

Результаты экспериментальных исследований позволили оценить физико-механические свойства выбранного вида ЩМА, его коррозионную устойчивость к таким факторам, как старение при длительном прогреве смеси и длительном водонасыщении, и соответствия их требованиям действующего стандарта. Установлено, что рационально подобранный состав отвечает условиям долговечности и температурной устойчивости покрытия. Результаты исследований показали, что процессы старения битума при приготовлении смеси, а также в образцах модифицированного ЩМА протекает менее интенсивно, чем в смеси и в ЩМА, приготовленных без добавки.

Учет особенностей структуры применяемых асфальтобетонов будет способствовать повышению надежности проектирования и расчета нежестких дорожных одежд по критериям прочности.

Список литературы

1. ГОСТ 31015–02. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия.
2. Дорожный асфальтобетон / Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, Л.Б. Генценцев, И.В. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
3. Кирюхин Г.Н. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний // Автомобильные дороги и мосты: обзорн. информ. / Информавтор. – М., 2005. – Вып. 6. – 96 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗВРЕДНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ

**С.В. Дудынов, Д.Ю. Александров, В.В. Егоров,
Е.А. Журавлёва, А.А. Кострюкова**

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
г. Саранск, Россия

Приведены сведения о цементных системах с экологически безвредными модифицирующими компонентами, приближающие структуру к оптимальному состоянию.

Ключевые слова: *структура цементных композитов, высокодисперсный порошок, пластификатор, математическое планирование эксперимента, экологическая безвредность.*

При возведении строительных объектов применяются детали, изделия и конструкции различных конфигураций, размеров и очертаний. Однако все многообразие форм обеспечивают, в подавляющем своем большинстве, смеси на основе портландцемента. Причем ввиду обширности применения цементные композиционные материалы практически выступают в качестве универсальных, хотя таковыми на настоящей стадии своего развития не являются.

Для устранения их слабых мест проводят всевозможные усовершенствования. Одно из перспективных направлений прикладываемых усилий заключается в ликвидации дефектов структуры, в том числе путем их предотвращения. Успешное решение этой задачи позволит управлять процессом структурообразования, а в перспективе – создавать материалы с идеальным, для данных условий эксплуатации, строением.

Именно возникновением дефектов в структуре материала объясняются, согласно существующим взглядам на прочность материалов, большие расхождения теоретического и практического значений. Но однозначно отнести те или иные особенности структуры к разряду дефектов или исключить их из числа последних весьма проблематично, так как это во многом определяется условиями эксплуатации.

Однако и здесь можно выделить ряд определяющих аспектов. К числу таковых у цементных систем, на наш взгляд, следует отнести пористость. По большому счету, наличие развитой пористости важно для теплоизоляционных, акустических, адсорбционных и других аналогичных материалов, тогда как для материала несущих конструкций это будет фактор, относимый к недостаткам.

На достигнутом к настоящему времени уровне развития техники и технологии полностью ликвидировать пористость не представляется возможным. Действенные шаги здесь заключаются в добавлении в состав цементных систем активных тонкомолотых порошков. Но любые высокодисперсные компоненты, включаемые в рецептуру композиций в сравнительно больших дозировках снижают подвижность смеси [1], следовательно, создают затруднения при ее укладке, что приводит к неудовлетворительному уплотнению и, естественно, повышает пористость материала.

На производстве в этом случае применяют вибрирование с пригрузом, прессование и другие способы. Но подобные методы не решают проблему, так как дороги, требуют сложного оборудования и недостаточно эффективны. Один из перспективных вариантов решения заключается в использовании пластификаторов [2, 3]. Совместное введение в состав цементной композиции высокодисперсного порошка (наполнителя) и разжижителя позволяет эффективнее удалять из смеси воздух при формовании и создать более плотный материал с менее дефектным строением. Подтверждением этого служит существенное повышение прочностных характеристик, коррозионной стойкости и водонепроницаемости цементных систем. Кроме того, совместное введение пластификатора и наполнителя оказывает мощное воздействие и на протекание процесса гидратации [4].

В поисковых экспериментах выявлена степень отдельного воздействия исследуемых нами модифицирующих добавок на подвижность смеси (рис. 1).

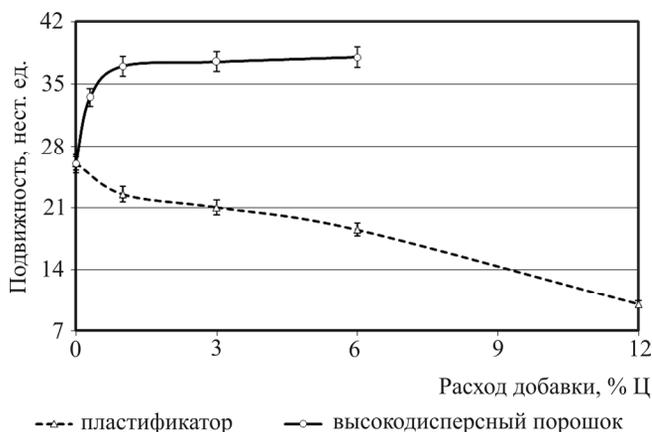


Рис. 1. Зависимость подвижности цементной смеси от дозировки модификатора

Важным свойством применяемых компонентов является их принадлежность к экологически безопасным продуктам. Оно становится основополагающим в случае использования цементных смесей для формования конструкций, изделий и деталей, применяемых в жилищном строительстве. Кроме того, поскольку объемы выпускаемого бетона и железобетона огромны, возможны сложности их получения в необходимых объемах в последующие периоды. Следовательно, предпочтительнее соединения из числа возобновляемых.

В проведенных экспериментах в качестве дополнительно вводимых в состав цементной композиции веществ были задействованы именно экологически безопасные продукты.

Химический состав высокодисперсного наполнителя включает не менее чем 83 % SiO₂. Причем применяли двуоксид кремния как в аморфном виде, так и в кристаллической форме. В обоих случаях результат оказался положительным. Отличие отмечено лишь в дозировке вводимых реагентов.

Соединение с разжижающим действием представлено веществом из группы природных белков – протеинов, модифицированное с целью повышения его пластифицирующего эффекта и предотвращения быстрой деградации в обычных условиях хранения. Причем технологический процесс получения протеина основан на применении биотехнологии. Микроорганизм-продуцент отбирали по скорости накопления максимального количества биомассы в единицу времени. Для исключения негативных последствий – в плане возможных мутаций – микробная культура выбрана из числа гетероферментативных молочнокислых бактерий. Ферментацию осуществляли на синтетической питательной среде (хотя природные среды и относятся к числу предпочтительных). При подборе параметров процесса биосинтеза во главу угла поставлены максимальная скорость роста микробной колонии и минимальное количество необходимого для нормального роста микробной популяции кислорода. По завершении биосинтеза проводили протеолиз продуктов метаболизма и дальнейшее модифицирование для повышения пластифицирующего действия.

В проводимых экспериментах требовалось учесть влияние различных факторов, поэтому опыты проводили с применением математического планирования экспериментов. Остановились на двухфакторной модели с варьированием переменных на трех уровнях. Независимыми величинами приняты количественное содержание высокодисперсного наполнителя и дозировка пластификатора (таблица).

Матрица планирования

Кодированные значения факторов варьирования		Натуральные значения факторов варьирования	
X_1	X_2	X_1 (наполнитель), % цемента	X_2 (пластификатор), % цемента
–	–	10 (1)	2 (0,2)
0	–	20 (5)	2 (0,2)
+	–	30 (8)	2 (0,2)
–	0	10 (1)	5 (0,4)
0	0	20 (5)	5 (0,4)
+	0	30 (8)	5 (0,4)
–	+	10 (1)	8 (0,8)
0	+	20 (5)	8 (0,8)
+	+	30 (8)	8 (0,8)

Функциями отклика определены плотность (г/см^3) и предел прочности материала при сжатии (МПа). Поверхности описываются уравнениями:

$$Y_1 = 2,03 - 0,033X_1 + 0,08X_2 + 0,035X_1X_2 - 0,09X_1^2 + 0,122X_2^2,$$

$$Y_2 = 30,6 + 5,1X_1 - 0,1X_2 - 0,18X_1X_2 + 5,07X_1^2 + 1,67X_2^2,$$

$$Y_3 = 2,1 - 0,02X_1 - 0,03X_2 + 0,002X_1X_2 + 0,045X_1^2 + 0,023X_2^2,$$

$$Y_4 = 34,6 + 0,07X_1 + 2,7X_2 + 0,675X_1X_2 - 0,667X_1^2 + 1,933X_2^2,$$

а их вид показан на рис. 2–5.

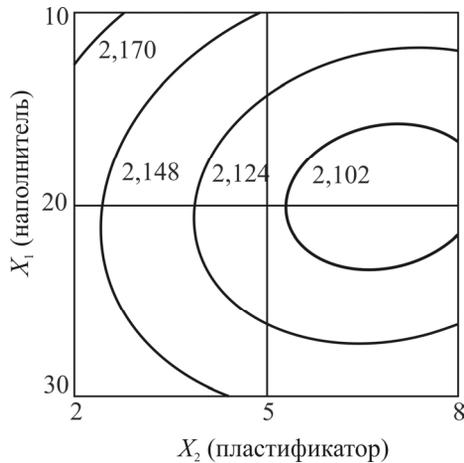


Рис. 2. Изолинии равной плотности (г/см^3) материала с пластификатором и высокодисперсным наполнителем из кремнезема кристаллической формы

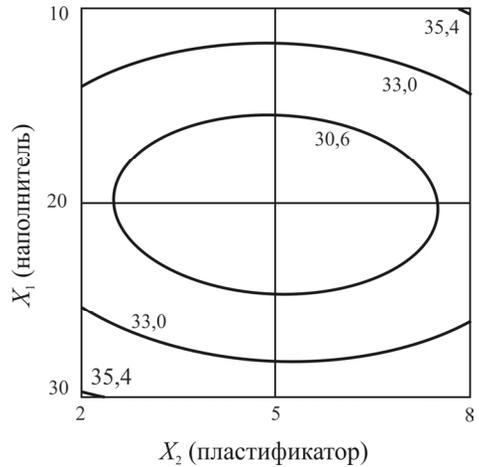


Рис. 3. Линии равной прочности при сжатии (МПа) материала с пластификатором и аморфным SiO_2

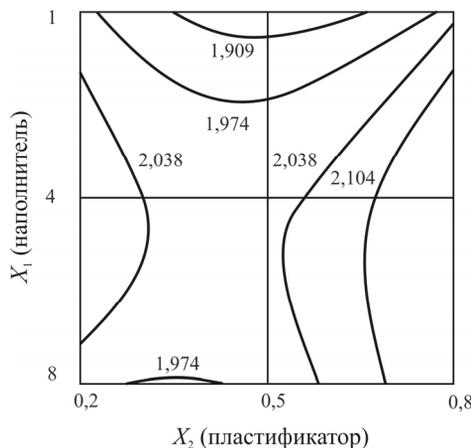


Рис. 4. Изолинии равной плотности (г/см^3) материала с пластификатором и высокодисперсным кристаллическим кремнеземом

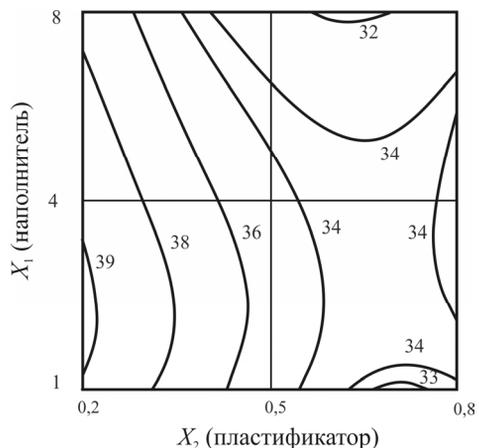


Рис. 5. Линии равной прочности при сжатии (МПа) материала с пластификатором и SiO_2 аморфного вида

Построенные модели признаны адекватными (при 98%-м уровне значимости).

Общепринятые химические реакции, протекающие при гидратации силикатных минералов цементного клинкера, сопровождаются образованием гидроксида и описываются следующими уравнениями:



Введение порошковидного кремнезема в цементные системы вполне логичный шаг. Причина заключена в гидроксиде кальция, наименее слабом звене в структуре цементного камня и может быть обоснована характерными особенностями некоторых его свойств. В частности, Ca(OH)_2 имеет наибольшую растворимость в воде из числа окружающих его гидротированных минералов. Но более важной отличительной чертой, в данном контексте, будет обратная зависимость растворимости от температуре. Так, если у других соединений с ростом температуры повышается и растворимость, то у гидроксида кальция растворимость увеличивается с понижением температуры [5]. Более того, она особенно сильно повышается в присутствии солей. А именно такие условия и присутствуют в поровой жидкости цементного камня. Следовательно, в структуре цементных систем, набравших прочность в ходе тепловлажностной обработки, при снижении температуры будут накапливаться дефекты в местах контактирования Ca(OH)_2 с другими веществами. Ликвидировать или хотя бы уменьшить это влияние возможно, связав его, т.е. вызвав химическое взаимодействие, с активным SiO_2 с образованием тех же силикатов кальция – более прочных и стойких соединений.

Применение пластификатора в связке с дисперсным порошком также обоснованно, поскольку при введении разжижителя одновременно с наполнителем, молекулы пластификатора адсорбируются его зернами и практически не блокируют поверхность минералов цементного клинкера и не препятствуют их контакту с водой, т.е. нормальному ходу процесса гидратации. А с образованием в системе Ca(OH)_2 он, как крайне активный реактив, энергично вступает в химическое взаимодействие с SiO_2 , и процесс сравнительно активно идет даже при невысокой температуре из-за чрезвычайно большой поверхности взаимодействующих реагентов. В результате предпринятых шагов образуется менее дефектный материал.

Сделаем следующие выводы. Совместное введение в состав цементной композиции высокодисперсного наполнителя и пластификатора позволило получить материал с менее дефектной структурой и тем самым улучшить его строительно-технические характеристики. Дополнительные компоненты относятся к числу экологически безвредных продуктов: высокодисперсный по-

рошок состоит из не менее чем 83 % SiO_2 (аморфной или кристаллической формы), пластификатор – модифицированное соединение природной протеиновой группы.

Разработанные составы могут применяться без ограничений для изготовления конструкций, изделий и деталей, используемых в жилищном строительстве.

Список литературы

1. Добавки в бетон / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.]. – М.: Стройиздат 1988. – 575 с.
2. Фаликман В.Р., Вайнер А.Я., Башлыков Н.Ф. Новое поколение суперпластификаторов // Бетон и железобетон. – 2000. – № 5. – С. 5–7.
3. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: перспективы и реальность // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С. 6–10.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: 1998. – 768 с.
5. Краткая химическая энциклопедия / под ред. И.Л. Кнунянц [и др.]. – М.: Советская энциклопедия, 1963. – Т. 2. – 1088 с.

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ СЕТКА «РОДМЕШ» ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

М.Н. Богданов, А.М. Иншаков

ООО «Габियोны Маккаферри СНГ», г. Москва, Россия

Основана на результатах исследований, выполненных ГОУ ВПО МАДИ, ФГУП «РосдорНИИ», опыта строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог с применением сетки «Родмеш» в различных регионах России, в том числе в условиях сурового климата Тюменской области, Забайкальского края (автомобильная дорога Чита – Хабаровск), а также обобщении зарубежного опыта.

Ключевые слова: борьба с колейностью, металлическая армирующая сетка «Родмеш», увеличение межремонтного срока эксплуатации, стальная сетка, армирование асфальтобетона, отраженные трещины, слабые основания.

Возросшие за последние годы транспортные нагрузки на автомобильные дороги России и неспособность справиться с ними существующих транспортных артерий явились серьезным поводом для строительства новых магистралей и реконструкции старых и временных дорог. Увеличение автомобилизации, а следовательно, и транспортной нагрузки на существующие автомобильные дороги, обострило и без того актуальные проблемы – такие как отраженные трещины, колейность, усталостная сетка трещин. Также стоит учитывать погодную особенность последних лет – многократно увеличившееся количество переходов через ноль в зимне-весенний период оказывает пагубное влияние на асфальтобетонное покрытие автомобильных дорог.

Компания «Габियोны Маккаферри СНГ» является частью транснациональной индустриальной группы компаний. Шагая в ногу со временем, вот уже 18 лет компания занимается производством металлической армирующей сетки «Родмеш», зарекомендовавшей себя исключительно с положительной стороны на более чем 210 объектах по всему миру. Суммарный объем уложенной сетки на данный момент составляет 1 622 370 м².

Армирующий материал выполнен на основе сетки двойного кручения из проволоки $D = 2,4$ мм, с дополнительным поперечным прутком $D = 4,4$ мм, расположенным через ячейку, т.е. каждые 160 мм (рис. 1, 2). Все составляющие элементы имеют плотное цинковое антикоррозионное покрытие с гарантированным сроком службы не менее 35 лет.

Начиная с 2008 г. «Родмеш» производится на территории России в г. Курган, где располагается один из заводов компании «Габбионы Маккаферри СНГ» по производству готовой продукции.

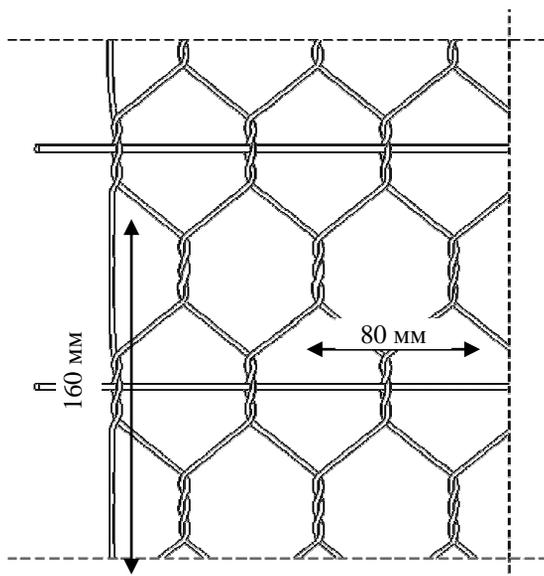


Рис. 1. Сетка «Родмеш»

Первый объект с применением металлической сетки «Родмеш» был построен и сдан в эксплуатацию в Италии в 1994 г. Объект по сей день эксплуатируется без капитального ремонта в связи с отсутствием необходимости в нем.

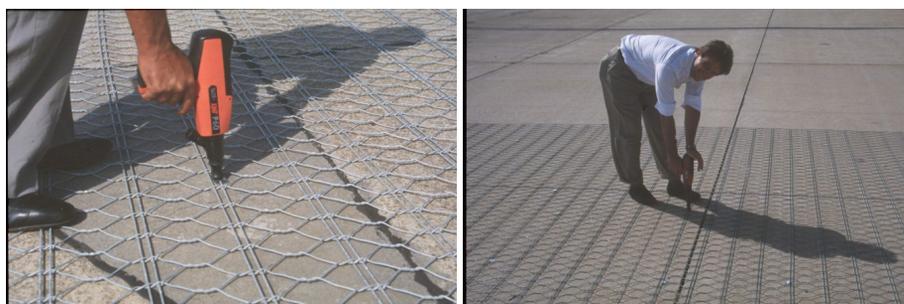


Рис. 2. Крепление сетки «Родмеш»

Основные сферы применения. Применение сетки «Родмеш» создает условия для увеличения межремонтных сроков службы дорожных покрытий, замедляя процесс появления отраженных трещин и снижая вероятность появления колеиности на проезжей части автомобильных дорог. В результате нескольких испытаний, в том числе испытаний Ноттингемского университета

(Великобритания), были получены данные об увеличении несущей способности дорожной одежды на 10–15 % при применении сетки «Родмеш» в качестве армирующего элемента.

На сегодняшний день применение материала «Родмеш» положительно зарекомендовало себя практически на всей территории России, начиная с Приморского края (уложен в порту Владивостока, на площадке погрузки-разгрузки контейнеров), заканчивая трассой Москва – Санкт-Петербург.

На экспериментальном участке трассы Чита – Хабаровск, мониторинг которого велся с 2008 по 2011 г. включительно, результаты превзошли ожидания. Оказалось, материал не только работает на замедление раскрытия трещин, уменьшение процесса колееобразования, но и положительно сказывается на продольной ровности покрытия! Длина исследуемого участка 250 м, из них участок с дополнительным армированием составил 100 м. На рис. 3 показано схематичное расположение продольных и поперечных трещин.

На рис. 4 показаны трещины, появившиеся на всем протяжении исследуемых участков.



Рис. 3. Схема распространения поперечных и продольных трещин на участке автомобильной дороги Чита – Хабаровск на 365-м километре (ПК 142+00 – ПК 144+02), установленных в 2009 г.

Испытания опытных участков дорожных одежд, армированных металлической сеткой «Родмеш», на автомобильной дороге Чита – Хабаровск в период с 2008 по 2011 г., позволили сделать следующие выводы:

1. Укладка металлической сетки «Родмеш» между щебеночным основанием и асфальтобетонным покрытием оказывает положительное влияние на замедление образования и распространение трещин в асфальтобетоне в период эксплуатации.

На неармированных участках асфальтобетонного покрытия распространение трещин происходит более интенсивно, они распределены на поверхности покрытия неравномерно по сравнению с армированным участком покрытия металлической сеткой «Родмеш».

2. Армирование металлической сеткой «Родмеш» предотвращает неравномерное деформирование дорожного покрытия, особенно при наличии многолетнемерзлых грунтов. Армирование дорожной одежды способствует сохранению ровности поверхности асфальтобетонного покрытия в течение длительного срока эксплуатации.

3. Армирование нежесткой дорожной одежды металлической сеткой «Родмеш» приводит к увеличению ее прочности в среднем на 10 %.

4. Рекомендуется применять армирование нежестких дорожных одежд металлической сеткой «Родмеш» на участках со слабыми грунтами, при наличии многолетних мерзлых грунтов, в местах обеспечения ровности асфальтобетонного покрытия в течение длительного времени.

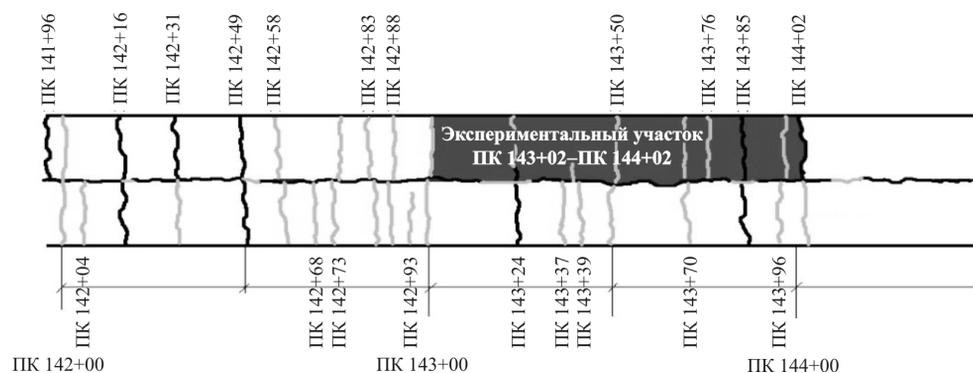


Рис. 4. Схема распространения поперечных и продольных трещин на участке автомобильной дороги Чита – Хабаровск на 365-м километре (ПК 142+00 – ПК 144+02), установленных в 2011 г.

Уральский регион тоже не остался без внимания. Самый большой по объему российский объект находится в Тюменской области на трассе Тюмень – Тобольск. По результатам двухлетней эксплуатации нами было получено письмо с положительным отзывом от подрядной организации, обслуживающей данный участок.



Рис. 5. Первоуральск (Свердловская область)

В Свердловской области было построено четыре объекта. Во всех случаях металлическая сетка уложена поверх новых бетонных плит при строительстве городских улиц в городах-спутниках Екатеринбурга (рис. 5, *а* и *б*) для замедления процесса образования отраженных трещин и минимизации вертикальных перемещений.

Самый северный объект на данный момент находится в г. Сургут (рис. 6, *а* и *б*), где производился ремонт центрального перекрестка. Здесь, по сравнению с соседними неармированными прилегающими магистралями, глубина колеи меньше в три раза.



Рис. 6. Сургут: перекресток ул. Мира и Ленина – монтаж сетки

Политика государства в области инноваций, в том числе и в дорожном строительстве, дала положительный эффект в отрасли. Республика Татарстан стала российским лидером по количеству строящихся и ремонтируемых автомобильных дорог в 2011 г. В регионе на сегодняшний день подрядная организация, сдавшая объект в эксплуатацию, несет по нему определенные гарантийные обязательства. Таким образом, подрядчику выгодно сразу строить качественно, используя лучшие из существующих материалов, максимально увеличивая межремонтный срок эксплуатации.

В июне 2011 г. при реконструкции трассы Нижнекамск – Чистополь сетка «Родмеш» была использована как усиливающий элемент при ремонте деформационных швов бетонного основания старой дороги, а также над обратной засыпкой водопропускных труб в насыпи автомобильной дороги.

После нескольких лет успешной эксплуатации руководством «ТатАвтодора» было принято решение о дальнейшем использовании дополнительных армирующих материалов на объектах строительства автомобильных дорог.

Географию продолжит центральная Россия. В частности, в Москве находится несколько участков городских улиц с применением дополнительного армирования металлической сеткой: Щелковское шоссе, Киевское

шоссе (поворот к международному аэропорту Внуково), улица в спальном районе Бутово.

Вторым экспериментальным и самым западным объектом является участок трассы М-10 Москва – Санкт-Петербург в г. Вышний Волочек. Данный участок был выбран для проведения испытаний в связи с уникальным трафиком: количество проезжающего транспорта на тот момент не имело аналогов в России и составляло 13 300 автомобилей в сутки.

Фактическая осевая нагрузка от длинномерных фур составляет 115 кН на ось, при этом интенсивность движения тяжелых грузовых машин составила примерно 50 % от всего транспортного потока.

По результатам замеров за первый год эксплуатации было выявлено замедление процесса колееобразования более чем в три раза по сравнению с соседними неармированными участками.

Аэропорты. В 2008 г. компания Massafertі профинансировала исследования в области аэродромного строительства с применением дополнительного армирования. Научным руководителем этих исследований был Имад Л. Аль-Кади – директор центра транспортных средств Иллинойского университета в Урбана-Шампейнте.

Основной задачей данного исследования стало числовое моделирование и анализ затрат за срок службы верхнего слоя покрытия из горячей асфальтобетонной смеси с системой промежуточного слоя в виде стальной сетки для дорожного покрытия аэродромов.

Результаты исследований. Система промежуточного слоя из стальной сетки, установленная в нижней части верхнего слоя из горячей асфальтобетонной смеси (ГАС) на дорожных покрытиях из портланд-цементобетона, уменьшает площадь повреждения, возникшего в результате поперечного и продольного трещинообразования, в 8,4 и 1,8 раз соответственно по сравнению с неармированным верхним слоем из ГАС.

1. Общий срок эксплуатации армированного верхнего слоя в 1,8 раз больше, чем общий у неармированного верхнего слоя, учитывая, что критическое воздействие наблюдается в продольном направлении.

2. Исходя из данных, полученных в результате анализа затрат за срок эксплуатации, рентабельность использования системы промежуточного слоя из стальной сетки зависит от толщины верхнего слоя из ГАС и отношения затрат на ГАС к стоимости стальной сетки. Если коэффициент стоимости или толщина верхнего слоя из ГАС (или оба значения) увеличивается, использование системы промежуточного слоя в виде стальной сетки становится более рентабельным.

Одним из примеров применения дополнительного армирования ВПП является аэропорт Вроцлав в Польше (рис. 7, а и б).



а



б

Рис. 7. Капитальный ремонт ВПП

Технология монтажа. В зависимости от условий, в которых предстоит монтаж «Родмеша», выбирается один из вариантов крепления сетки:

1. Фиксация сетки предварительно рассыпанным под колеса или гусеницы асфальтоукладчика небольшим слоем асфальтобетона, поверх которого укладывается асфальт на проектную толщину (рис. 8, *а* и *б*).



а



б

Рис. 8. Фиксация сетки слоем асфальтобетона:
а – распределение асфальта; *б* – укладка асфальтобетона



а



б

Рис. 9. Фиксация сетки на дробе: *а* – пристрелка сетки дюбелями;
б – финал фиксации «Родмеша»



а



б

Рис. 10. Фиксация битумной эмульсией: *а* – разлив эмульсии;
б – застывшая битумная эмульсия

2. Более трудоемким считается способ фиксации на дюбеля, если основание под укладку сетки позволяет зафиксировать ими (рис. 9, *а* и *б*)
3. Фиксация битумной эмульсией (рис. 10, *а* и *б*).

ТРОТУАРНАЯ ПЛИТКА С ШЛАКОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

К.Г. Пугин, Г.Н. Волков, А.В. Мальцев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

Рассказывается о тротуарной плитке – современном отделочном материале, описаны достоинства данного продукта и технология его производства. Приведены доказательства актуальности совершенствования технологии производства плитки. Предложен способ снижения себестоимости готового продукта, путем использования в качестве сырья отходов металлургии.

Ключевые слова: тротуарная плитка, шлаковый щебень, совершенствование технологии производства, гранитный щебень.

Такой практичный способ обустройства дорог и других территорий, как укладка каменных плит, был применен греками и римлянами много веков назад. С тех пор технологии строительства ушли далеко вперед, и дороги в наших городах сплошь затянулись серой асфальтовой коркой – безусловно, технологичным, но таким скучным и не лишенным недостатков покрытием. Улицы современных городов утратили индивидуальность. Желание человека окружать себя красивыми вещами возродило традиции мощения улиц в двадцать первом веке. Современный мир предъявляет совершенно иные требования к мостовому покрытию: оно должно быть более практичным и дешевым, а при его производстве природные ресурсы должны использоваться крайне экономично. Натуральный камень не соответствовал этим требованиям, и на смену ему пришел камень искусственный – тротуарная плитка (рис. 1).



Рис. 1. Тротуарная плитка

Тротуарная плитка – современный отделочный материал, широко применяемый в строительстве. Популярность данного вида покрытия обусловлена уникальным набором положительных свойств и практически отсутствием недостатков. Среди преимуществ тротуарной плитки можно выделить [1]:

- эстетические качества – благодаря разнообразию форм, фактур и широкой цветовой гаммы тротуарной плитки можно реализовать любые ландшафтные идеи;

- морозоустойчивость – препятствует образованию гололеда и не трескается при низких температурах;

- стойкость к высоким температурам – покрытие не размягчается в жаркое время года и не выделяет в атмосферу вредные летучие вещества, как например асфальт;

- экологичность – замощенный плиткой тротуар не препятствует естественному водо- и газообмену зеленых насаждений;

- долговечность – правильно и качественно уложенная тротуарная плитка прослужит не менее 20 лет;

- простота обслуживания – уход за тротуарной плиткой требует минимальных усилий, намного проще восстановить поврежденный участок, заменив несколько плиток, чем отремонтировать асфальтовое или бетонное полотно;

- полностью исключено образование луж – поскольку вода уходит через межплиточные швы;

- периодически возникающие потребности в прокладке или ремонте подземных коммуникаций не означают полную замену дорожного покрытия – плитку можно аккуратно снять, а по окончании работ уложить на прежнее место.

С каждым годом объемы производства тротуарной плитки возрастают. Соответственно, актуальным становится вопрос совершенствования технологии производства данного продукта с целью улучшения его потребительских качеств, сбережения природных ресурсов, повышения конкурентоспособности путем снижения цены готового изделия.

Для изыскания возможностей улучшения рассмотрим применяемую на сегодняшний день технологию. Тротуарная плитка является не чем иным, как искусственным камнем (бетоном) определенной формы. ГОСТ 17608–91 «Плиты бетонные тротуарные», не дает четких указаний по составу бетонной смеси и технологии производства и носит рекомендательный характер, поскольку тротуарная плитка не подлежит обязательной сертификации. Производитель волен сам выбирать технологию производства, но повсеместно применяется следующая схема производства: замес бетонной смеси, формовка плиток, сушка, упаковка готовой продукции.

Детальное изучение процесса производства выявляет, что конечное качество продукта напрямую зависит от соблюдения технологических процессов формовки и сушки, которые определяются составом бетонной смеси. А конечная стоимость продукта в основном зависит от себестоимости сырья.

Можно сделать вывод, что совершенствование тротуарной плитки заключается в улучшении технических и экономических показателей бетонов, применяемых при ее производстве.

Если по таким параметрам, как прочность, износостойкость, морозостойкость и др., применяемые бетонные смеси полностью удовлетворяют, а в чем-то даже превосходят предъявляемые к ним требования, то их стоимость необходимо снижать, при этом не жертвуя другими показателями.

Бетонная смесь для изготовления тротуарной плитки основана на минеральном вяжущем – поргланцементе марки М500 или М400, в качестве заполнителя мелкой фракции применяют песок с модулем крупности 2, крупный заполнитель – щебень 0–5 или 5–10, для повышения технологических свойств бетона в смесь добавляют различные добавки, в том числе красители [3].

Уменьшение количества или снижение качества вяжущего и добавок незамедлительно скажется на качестве готовой продукции, а вот варьирование заполнителей может значительно снизить стоимость продукции, при этом сохранив потребительские качества на прежнем уровне. Рынок строительных материалов предлагает следующие варианты заполнителей: щебень известковый, щебень доломитовый, щебень гранитный, щебень гравийный, гравий речной мытый [4]. Практика производства тротуарной плиткой показывает, что наилучший результат получается при использовании гранитного щебня фракции 0–10 марки прочности М1000 и более [3]. Данный заполнитель весьма дорог, но с этим приходится мириться, поскольку остальные минеральные заполнители не могут обеспечить требуемой прочности изделия.

Поиски альтернативы гранитному щебню в свете современных тенденций заставили обратить внимание на сферу безотходного производства, где отходы одного производства являются сырьем для другого, в случае с заполнителями бетона это шлаковый щебень. Шлак является побочным продуктом черной металлургии. Шлаковый щебень получают путем дробления исходного материала до нужной фракции. На выходе это прекрасный строительный материал, сопоставимый по свойствам с гранитным щебнем.

По прочности шлаковый щебень практически не уступает гранитному (рис. 2), имея при этом в разы меньшую цену (рис. 3).

Авторы статьи уверены, что шлаковый щебень может и должен с успехом заменять гранитный при производстве тротуарной плитки. Такая замена позволит существенно снизить себестоимость изделий. К тому же к организации производства тротуарной плитки на основе шлакового щебня в Пермском крае есть все предпосылки, в регионе есть крупнейший поставщик шлакового щебня – ОАО «Чусовской металлургический завод», с 2000 г. выпускающий на установках по переработке шлаков щебень всех фракций [2], сертифицированный в соответствии с ГОСТ 3344–83 и ГОСТ 5578–94.

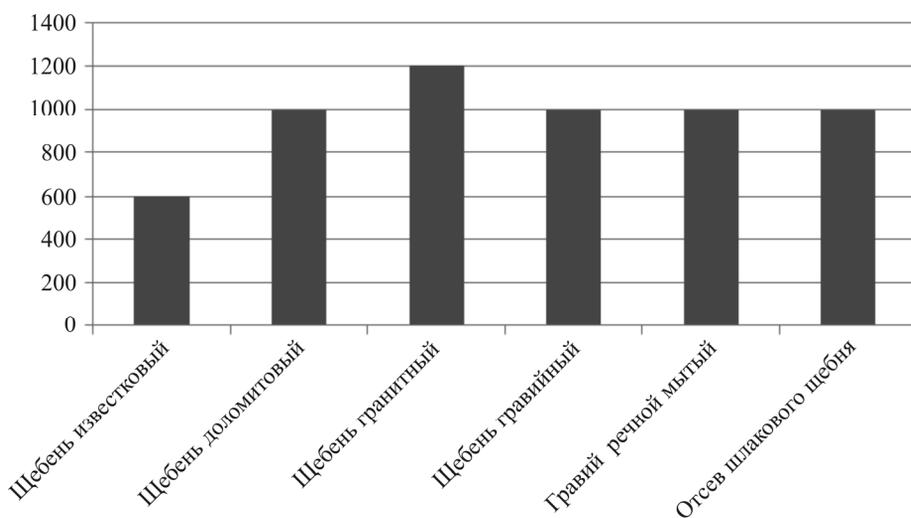


Рис. 2. Сравнение прочности заполнителей

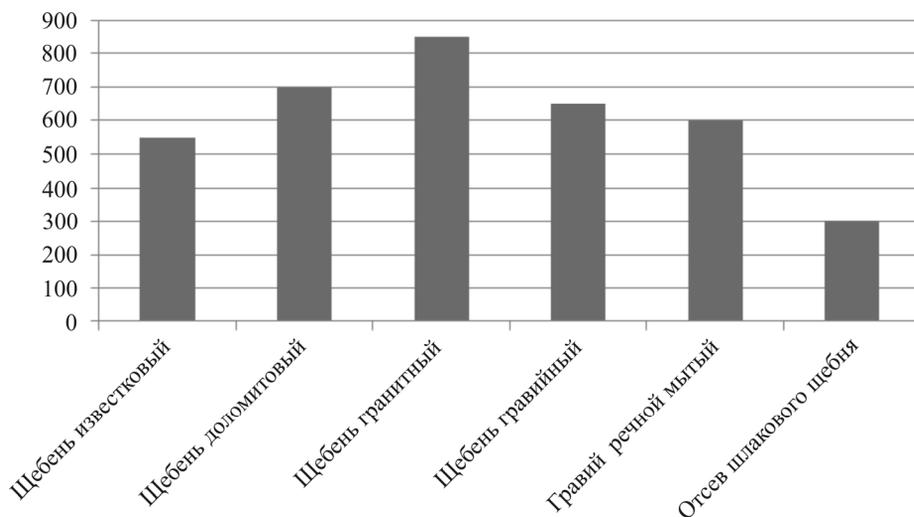


Рис. 3. Сравнение цен на материалы заполнителей

На момент написания данной статьи ведутся изыскательные работы по выявлению влияния замены гранитного щебня шлаковым на конечный продукт.

Список литературы

1. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org>.
2. ОАО «Чусовской металлургический завод» [Электронный ресурс]. – URL: <http://оао-чмз.рф>.

3. Сайт о брусчатке, дренаже, гидроизоляции [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.trotuar.ru>.
4. Поставщик стройматериалов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pp-servis.ru>.
5. ГОСТ 17608–91. Плиты бетонные тротуарные.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ВОДООТВОДОВ

С.В. Игонин, С.С. Асламова

Пермский институт железнодорожного транспорта, Россия

Рассмотрена возможность использования водоотводных устройств, изготовленных из базальтового материала. Приведено сравнение с типовыми железобетонными устройствами. Рассчитаны параметры расхода воды, нагрузки и стоимости установки устройств.

Ключевые слова: водоотводный лоток, базальтовое волокно, площадь живого сечения водного потока, себестоимость, земляное полотно железнодорожного пути.

Одним из основных условий, обеспечивающих прочность, устойчивость и сохранность земляного полотна железнодорожного пути, является быстрый и полный отвод поверхностных и грунтовых вод. Существующие водоотводы на длительно эксплуатируемых линиях, представленные естественными кюветами, железобетонными лотками и дренажами, как правило, находятся в неудовлетворительном состоянии либо вообще отсутствуют. В соответствии с требованиями нормативных документов на современные виды ремонтов пути все водоотводные и дренажные сооружения должны быть приведены в рабочее состояние.

Междушпальные и междупутные лотки входят в состав водоотводных устройств от земляного полотна и отдельных сооружений железнодорожных станций согласно Альбому водоотводных устройств на станции (инв. № 984) и серии 3.501–68 «Сборные железобетонные междушпальные лотки на железнодорожных путях промышленных предприятий».

Конструкции железобетонных лотков (рис. 1) применяются в районах с расчетной температурой не ниже -40 °С. Во избежание засорения бетонный лоток предусмотрено закрывать железобетонными крышками. Поверхности стенок лотков, соприкасающиеся с грунтом, покрываются обмазочной изоляцией. Обмазочная изоляция состоит из двух слоев битумной мастики.

Базальтовые волокна (БВ) производятся из базальтовых пород вулканического происхождения, обладающих высокими природными термическими свойствами, химической стойкостью. БВ являются природным экологически чистым сырьем и характеризуются высокой стойкостью к знакопеременным нагрузкам и долговечностью. Профильные пластики – прутки на основе не-

прерывных базальтовых волокон после многих лет эксплуатации (более 9 лет) под воздействием знакопеременных нагрузок практически не имеют следов усталостных разрушений – трещин и других признаков разрушения.



Рис. 1. Железобетонные лотки

БВ имеют высокую совместимость с другими материалами: металлами, пластмассами, пластиком. Это открывает широкую перспективу производства целого ряда новых композиционных материалов: металлокомпозитных материалов, сотовых конструкций, армированных волокном пластмасс, защитных покрытий и др.

Следует отметить высокие эксплуатационные качества материалов и изделий из базальтовых волокон: высокую стойкость к воздействию окружающей среды и агрессивных сред, долговечность, удельные прочностные и весовые показатели, красивый внешний вид (без применения лакокрасочных покрытий), ремонтпригодность.

Существует возможность производства материалов и изделий с применением различных технологий: формовки, холодной штамповки, напыления, вытяжки и других технологий, не требующих значительных затрат энергоресурсов, так называемых «холодных технологий». Таким образом, это наиболее подходящий материал для устройства водоотводных лотков. Кроме того, сырьевая база для производства материалов и изделий из базальта доступна и практически неограниченна.

Исходными данными для расчета сечения водоотводных лотков, обеспечивающих необходимую пропускную способность, являются расчетные расходы дождевых вод $Q_{\text{расч}}$ в соответствии с СНиП 2.04.03–85.

При одинаковых расчетных значениях расхода воды определим преимущества водоотводных лотков из базальтовых волокон.

Пусть $h = 0,4$ м; $b = 0,2$ м; $D = 0,6$ м (рис. 2).

$$Q = \omega \cdot v,$$

где v – средняя скорость течения воды в лотке; ω – площадь живого сечения потока воды в бетонном лотке в расчетном прямоугольном сечении (при расчетной глубине водного потока h), м.

$$\omega = b \cdot h = 0,4 \cdot 0,2 = 0,08 \text{ м}.$$

Водоотводные лотки из БВ имеют полукруглый профиль и в отличие от типовых железобетонных лотков величина ω определяется по формуле

$$a = 1 - 0,2 \cdot 0,4 / 0,6 = 0,87,$$

$$\beta = \arccos(\alpha) = 1,57,$$

$$\omega = \frac{d^2}{4} (\beta - \alpha \sin \beta) = 0,09 \cdot 1,57 = 0,14.$$

Таким образом, значение ω в полукруглых лотках из БВ при равных значениях h (по сравнению с типовыми бетонными лотками) больше. А это увеличивает расход воды и скорость отвода воды от земляного полотна.

Примером такого лотка может быть образец на рис. 3.



Рис. 3. Лоток водоотводный полимербетонный ЛВ-10.14.13

Габаритные размеры 1000×140×130 мм, проходное сечение 92,1 см². Пропускная способность (0,5%-й уклон) 5,01 л/с. Пропускная способность (1,0%-й уклон) 7,09 л/с. Класс нагрузки С250 250 кН (до 25 т).

Себестоимость производства НБВ сопоставима с себестоимостью стекловолокна. Базальтовое сырье доступное и очень дешевое – это цена обыкновенного щебня для укладки дорог. Стоимость базальтового сырья в себестоимости производства базальтового волокна составляет от 3 до 5 %.

Срок окупаемости проекта строительства водоотводной сети на железнодорожной станции с данным отводом поверхностного стока не превышает одного года, а эффективность на один рубль затрат составляет от 51,6 руб. до 68,2 руб.

Список литературы

1. Грицык В.И. Расчеты земляного полотна железных дорог: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / УМК МПС. – М., 1998. – 520 с.
2. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений. – М.: Транспорт, 1974. – 296 с.
3. Альбом водоотводных устройств на станциях, инв. № 984 / Мосгипротранс. – М., 1975. – 89 с.

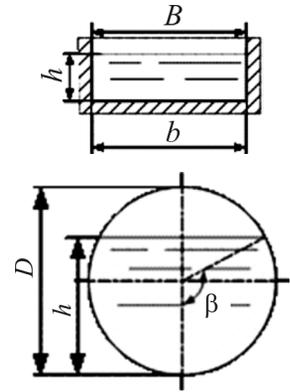


Рис. 2. Расчетная схема водоотводного лотка

ДЕФЕКТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

О.С. Середина

Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет, Россия

Приводятся описания дефектов железобетонных водопропускных труб, ведущих к коррозии и потере прочности, изложены причины образования дефектов и способы их устранения.

Ключевые слова: железобетонные водопропускные трубы, воздействие внешней среды, нагрузки и воздействия, разрушения, дефекты труб.

В условиях нашей страны важно следить за состоянием железобетонных водопропускных труб, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию внешней среды, что приводит к их разрушению. Помимо воздействий внешней нагрузки большую опасность для водопропускных труб под насыпями может представлять вода, отводимая с проезжей части автомобильной дороги и нередко содержащая в растворенном виде те или иные материалы, применяемые для борьбы с гололедом, принесенные автомобилями с загрязненных промышленных территорий, содержащиеся в снеге и других осадках. Хлориды и сульфаты, содержащиеся в этой воде и снеге, являются весьма агрессивными коррозионными реагентами по отношению к бетону и арматуре железобетонных труб. Снег, талая вода и вода, протекающая через отверстия водопропускных труб, также могут содержать различные агрессивные по отношению к материалу труб компоненты, особенно если на территории водосбора находятся промышленные предприятия, нефтехранилища, бензозаправочные станции, химические заводы. Эта вода может иметь различный химический состав с наличием сероводорода, углекислого газа, аммиака и других компонентов, вызывающих коррозию и разрушение внутренних частей труб.

Следовательно, несущая конструкция водопропускных труб в процессе эксплуатации подвергается воздействию внешней среды с двух сторон: с внешней, обращенной в сторону грунта, и внутренней, по которой производится отвод воды.

Данные о внешних воздействиях на водопропускные трубы сведены в табл. 1. Все эти воздействия ведут к повреждениям и деформациям, и в конечном итоге – к разрушению конструкции трубы.

Таблица 1

Внешние воздействия на водопропускные трубы

Группа и вид воздействия	Характер воздействия					
	во времени		по направлению		по разрушающему действию	
	Пост.	Врем.	Внеш.	Внутр.	Механ.	Корроз.
1-я группа – постоянные и временные силовые воздействия:						
– вертикальное и горизонтальное давление грунта насыпи;	*	–	*	–	*	–
– собственный вес трубы;	*	–	*	–	*	–
– вес воды в трубе;	*	–	*	–	*	–
– отпор грунта;	*	–	*	–	*	–
– вертикальная и горизонтальная нагрузка от наземного транспорта;	–	*	*	–	*	–
– действие строительных факторов;	–	*	*	–	*	–
– сейсмическое воздействие;	–	*	*	–	*	–
– динамическое воздействие подвижного состава;	–	*	*	–	*	–
– температурное воздействие;	–	*	–	*	*	–
– образование наледи	–	*	–	*	*	–
2-я группа – агрессивное воздействие окружающей среды:						
– воздействие грунтов и грунтовых вод;	*	–	*	–	–	*
– воздействие поверхностных вод;	–	*	–	*	–	*
– газовая (физическая и химическая) коррозия;	*	–	*	*	–	*
– атмосферная коррозия;	*	–	–	*	–	*
– биологическая коррозия;	*	–	–	*	–	*
– электрокоррозия	*	–	*	–	–	*

Описание дефектов и повреждений железобетонных мостовых конструкций и других транспортных сооружений целесообразно начать с обзора методов их выявления. При обследовании железобетонных мостов, помимо определения фактических размеров конструкций, толщины конструктивных слоев дорожной одежды, съемки продольных и поперечных профилей, как правило, производятся следующие измерения, необходимые для оценки несущей способности и долговечности конструкции пролетного строения: определение толщины бетона защитного слоя рабочей арматуры; определение ширины раскрытия трещин; определение прочностных характеристик бетона; определение глубины карбонизации бетона; определение процентного содержания хлоридов в бетоне.

Действие всех факторов, воспринимаемых водопропускной трубой, можно разделить на две группы. Первая группа включает нагрузки и воздействия, в результате которых может наступить механическое, прочностное разрушение кон-

струкции трубы. К этой группе воздействий можно отнести собственный вес трубы, вес воды, наполняющей трубу, вертикальное и горизонтальное давление грунта, отпор грунта, временную нагрузку от подвижного состава на поверхности дороги, а также температурные воздействия и деформации основания.

Ко второй группе относятся факторы, способные вызвать коррозионное разрушение трубы под влиянием физического, химического, биологического воздействия окружающей среды и эксплуатационных условий. К ним относятся: действие грунтов насыпи и воды, содержащейся в грунте насыпи; перемещение по трубе больших масс взвешенных жидкостей, способных вызывать коррозионные разрушения стенок труб из-за возникающей газовой, химической или биологической коррозии; возможное разрушение от действия блуждающих токов (при расположении водопропускных труб вблизи железных дорог, трамвайных путей, линий электропередач).



Рис. Общий вид двухочковой трубы: *а* – до мероприятий по устранению дефектов; *б* – после ремонта без устройства рисбермы (фото РосдорНИИ)

На рисунке, *а* видно, что произошло частичное разрушение портала трубы, открылков трубы, звеньев трубы и занос площадки растекания.

На рисунке, *б* проведены мероприятия по устранению дефектов: очистили площадки растекания и открылков трубы от наносов грунта, залили цементные стяжки и произвели ремонт портала трубы, т.е. оштукатурили и покрасили.

Данные о дефектах водопропускных труб и их способах устранения сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Дефекты водопропускных труб, их причины и способы устранения [1]

Дефекты	Причины образования	Метод устранения
Неравномерные просадки звеньев по длине трубы, раздвижка звенья	Слабые грунты основания, подмыв фундамента вследствие разрушения гидроизоляции швов	Восстановить звенья, заделать швы и гидроизоляцию, выровнять лоток при необходимости заменить грунт основания
Заиливание трубы и русла	Отсутствие уклона лотка и трубы	Очистить трубу от песка и ила, устранить уступы в лотке

Окончание табл. 2

Размывы откосов насыпи у оголовков	Отсутствие укрепления откосов насыпи и обочин над трубой	Восстановить обочины с устройством дренажа и укреплением откосов плитами или засевом трав
Просадка насыпи над трубой	Неудовлетворительное уплотнение грунта, некачественные грунты	Выровнять проезжую часть дополнительным слоем асфальтобетона или грунтом (при просадке более 10 см)
Отрыв оголовков от трубы, трещины и смещения оголовков	Переувлажнение грунтов насыпи, осадка основания трубы	Исправить оголовки с укреплением основания
Трещины и деформации звеньев трубы или кладки	Силовые факторы, вызванные увеличением давления увлажненного грунта, внешними нагрузками	Осушить насыпь, заделать трещины, восстановить поверхность
Выщелачивание бетона, появление мокрых пятен, ржавчины, разрушение швов, сдвиг камней в кладке	Фильтрация воды через насыпь, разрушение гидроизоляции	Восстановить изоляцию и заделать стыки
Сплюсывание звеньев, сколы кладки со сдвигом камней	Разрушение вследствие воздействия сверхнормативных нагрузок, насыпь выше допустимых значений	Заменить поврежденную часть трубы, «усилить» трубу
Застой воды перед трубой и образование водоема	Отсутствие уклонов в трубе и отводящем русле, заиливание трубы	Прочистить трубу, восстановить отвод воды из трубы
Образование подпора перед трубой	Недостаточное отверстие трубы	Проверить расчетом пропускную способность трубы, реконструировать трубу (при необходимости)
Образование водоема на выходе из трубы	Отсутствие отводящего русла	Восстановить русло на выходе из трубы

Список литературы

1. Методическое пособие мастеру по содержанию водопропускных труб при эксплуатации автомобильных дорог / Росавтодор. – М., 1996.
2. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий / ЦНИИ-Промзданий. – М., 1997. – 112 с.
3. Землянский А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений: учеб. пособие. – М.: АСВ, 2001. – 240 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПЕНОСТЕКЛЯННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

В.С. Корзанов, Ю.А. Кетов

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Россия

Обсуждаются особенности использования пеностеклянной теплоизоляции трубопроводов, обозначено наличие эксплуатационных условий, допускающих единственно возможное применение данного вида теплоизоляции. Рассмотрены технологические проблемы при производстве пеностеклянной теплоизоляции для трубопроводов по классической технологии и вытекающие из этого экономические характеристики. Предложены и опробованы в пилотных условиях технологические решения, исключаящие этап резки материала, рассчитана стоимость предлагаемой технологии.

Ключевые слова: теплоизоляция трубопроводов, пеностекло, экономические показатели технологии.

Пеностеклянная теплоизоляция для трубопроводов считается одним из наиболее эффективных видов энергосбережения – прекрасно сохраняет тепло или холод, не имеет ограничений по пожарной опасности и экологичности, применяется в широчайшем интервале температур – от криогенной техники до металлургических производств. Пеностеклянная теплоизоляция легко монтируется в самых жестких климатических условиях и может эксплуатироваться даже под воздействием агрессивных жидкостей и газов.

По известной технологии пеностеклянные скорлупы изготавливаются путем вырезания изделия из цельного блока готового пеностекла. Это приводит к ряду проблем при производстве и эксплуатации изделий. Прежде всего, это высокая стоимость производимой теплоизоляции. Так, стандартный комплект для теплоизоляции одного погонного метра трубы диаметром 89 мм в Центральном регионе составляет примерно 700 руб. При пересчете на объем удельная стоимость материала поднимается с 15–17 тыс. руб. за кубометр в блоке исходного пеностекла до 40–42 тыс. руб. за кубометр в готовом изделии.

Очевидно, что такое возрастание стоимости связано с высокой затратностью обработки исходных блоков пеностекла. Во-первых, процесс сложно автоматизируется и требует большой доли ручного труда. Во-вторых, значи-

тельная доля материала попадает в отходы вследствие сложной геометрии получаемых изделий. Даже при специальном раскрое заготовки не удастся избежать отходов в количестве не менее 30–40 об. % исходного блока. И наконец, сам процесс резки предполагает переход части материала в мелкодисперсное состояние, что ведет к неизбежным затратам на очистку воздуха и природоохранные мероприятия.

Готовые изделия, полученные по обычной технологии, также не лишены недостатков. Прежде всего, поверхность скорлуп легко накапливает загрязнения в процессе эксплуатации, что связано с ячеисто-пористой структурой поверхности. Кроме того, сложность раскроя заготовок и желание максимально использовать сырьевые блоки приводит к многочисленным клееным швам на готовых изделиях и снижению теплоизоляционных свойств последних.

При разработке технологии изготовления пеностеклянных скорлуп ставилась задача получения готовой продукции непосредственного после обжига в печи. Решение было закреплено в соответствующем патенте [1]. В соответствии с предлагаемым решением несортной стеклобой измельчается до порошка с добавлением модификаторов. Полученный порошок обладает вяжущими свойствами, и после заливки в формы паста отверждается и полученные прочные пластины размещаются поверх цилиндрической формы и нагреваются. При нагревании до температуры термопластичности стекла заготовка расширяется с образованием пеностекла и принимает форму полуцилиндра в соответствии с поверхностью металлической формы.

Коммерческое применение пеностеклянных скорлуп, полученных по предлагаемой технологии, может быть реализовано в любых условиях – повышенных температур или агрессивных сред, когда другие виды теплоизоляции неприменимы или быстро разрушаются. Эксплуатационные характеристики изделий:

Плотность пеностекла, кг/м ³	120–220
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,043–0,060
Стабильность размеров	отличная
Прочность на сжатие, МПа	0,5–0,8
Сопротивление непродолжительному воздействию тепла, °С	750
Верхний температурный предел эксплуатации, °С	600
Время эксплуатации	неограничено

В настоящее время пеностекло в Российской Федерации не производится, даже изготовление скорлуп из готового пеностекла основано на импортном сырье – пеностеклянных блоках, поэтому предлагаемая технология является импортозамещающей. Кроме того, предлагаемое технологическое решение позволяет получать материал по значительно более низкой цене и с рядом других преимуществ, приведенных в таблице.

Сравнение существующей и предлагаемой технологии и материалов

Недостатки существующих пеностеклянных скорлуп:	Следствия	Решение вопроса при использовании предлагаемого технического решения
– Эксплуатационные Высокая стоимость изделий	Ограниченный рынок сбыта	Себестоимость готовых изделий снижается в 1,5–2 раза
Наличие мостиков холода по швам склейки блоков	Увеличение теплопроводности	Скорлупы получают требуемой формы, отпадает необходимость в склеивании изделий
Поверхность изделий загрязняется вследствие высокой шероховатости	Возможность быстрого загрязнения посторонними материалами, в том числе и пожароопасной пылью, увеличение теплопроводности	Скорлупы получают с гладкой поверхностью, исключая механическое загрязнение
Наличие в структуре сульфидов и сероводорода	Запах сероводорода готового продукта – ограничения при использовании в пищевой и фармацевтической промышленности	Процесс вспенивания происходит за счет выделения воды и оксидов углерода
– Технологические Сырье – используется только специальное стекло или специальная стекольная мука, невозможно использовать несортовой стеклобой	Узкая сырьевая база, рост себестоимости	Используется несортовой стеклобой
Нагрев сухих порошков в печи приводит к интенсивному пылению	Сложная система пылеочистки	В печи нагреваются монолитные заготовки, исключая пыление
Невозможность «разрыва» технологии	Невозможность оптимизации логистических схем производства и потребления	Возможность производства заготовок вблизи сырьевых источников, а термообработки – вблизи потребителя

К единственному недостатку предложенного метода в сравнении с существующим следует отнести «волнистость» поверхности изделий. Однако эта особенность не влияет на эксплуатационные характеристики готовых изделий, а, кроме того, может быть исключена путем создания дополнительного слоя на поверхности из пенополиуретана или упрочненного неорганического вяжущего.

В настоящее время единственной альтернативой предлагаемой технологии является производство пеностеклянных скорлуп по классической технологии – методом вырезания из готовых блоков пеностекла импортного производства. Процесс изготовления пеностеклянных скорлуп по известной технологии показан на рис. 1.

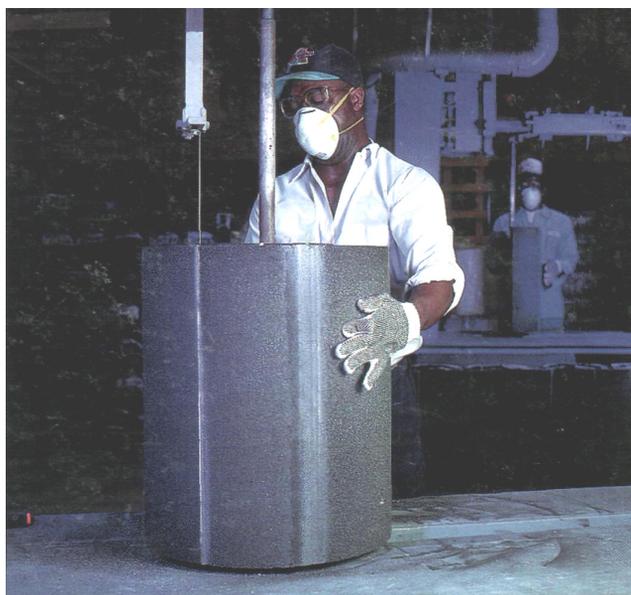


Рис. 1. Резка скорлупы из пеностекла
(по рекламным материалам компании ACS-Industries)

Предлагаемая технология позволяет получать пеностеклянные изделия заданной формы непосредственно в процессе термообработки. Фотография изделия в процессе обжига показана на рис. 2.



Рис. 2. Пеностеклянное изделие по предлагаемой технологии
в процессе термообработки

Принципиальным отличием предлагаемой технологии от известной является направленное создание вязущих композиций на основе дисперсного стекла при получении сырцовых заготовок. Ранее было показано [2], что использование ионообменных свойств дисперсного стекла представляет интерес как с точки зрения утилизации стеклобоя, так и получения качественного полупродукта в технологии пеностекла, причем различные варианты модификации технологии позволяют производить такие продукты, как блочное пеностекло, гранулированное пеностекло, мелкогранулированное пеностекло и облицовочное пеностекло. В продолжение данного ряда продуктов было предложено в настоящей работе рассмотреть возможность производства пеностеклянных скорлуп.

По предлагаемой технологии предварительные расчеты с привязкой к серийному оборудованию при производительности 170 погонных метров (пог. м) в сутки ($0,8 \text{ м}^3/\text{сут}$) пеностеклянной теплоизоляции на трубу диаметра 89 мм предполагает заводскую себестоимость готового продукта 170 руб/пог. м. При отпускной цене с завода в 500 руб/пог. м окупаемость проекта при капитальных затратах на серийно производимом в России оборудовании в 8 млн руб., составит менее полугода.

Список литературы

1. Патент РФ на полезную модель № 102003, МПК С 03 С 11/00. Технологическая линия производства облицовочного теплоизоляционного материала / Н.Н. Капустинский, П.А. Кетов, Ю.А. Кетов. – заявл. 08.10.2010. – Опубл. 10.02.2011, бюл. № 4.

2. Кетов А.А. Нанотехнологии при производстве пеностеклянных материалов нового поколения // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2009. – № 2. – С. 15–23. – URL: www.nanobuild.ru.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕНОСТЕКЛЯННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Н.И. Зверева, А.А. Кетов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

Рассмотрены конструкционные решения ограждающих конструкций с применением пеностеклянных материалов, обеспечивающие требуемые теплотехнические требования. Показано, что использование пеностеклянных материалов как блочного, так и гранулированного типа позволяет создавать энергоэффективные конструкции при высоких экономических показателях – высокой скорости строительства и снижении стоимости конструкций. Приводятся конкретные примеры существующих строений.

Ключевые слова: пеностеклянные материалы, теплоизоляция, энергоэффективность.

Требования к повышению тепловой защиты зданий и сооружений, основных потребителей энергии, являются важным объектом государственного регулирования в большинстве стран мира. Эти требования рассматриваются также с точки зрения охраны окружающей среды, рационального использования невозобновляемых природных ресурсов и уменьшения влияния парникового эффекта и сокращения выделений двуокиси углерода и других вредных веществ в атмосферу [1]. Все это предполагает необходимость разработки новых, более энергоэффективных строительных материалов, а использование при их производстве вторичного сырья повышает их привлекательность с точки зрения охраны окружающей среды.

Одним из таких материалов является пеностекло (рис. 1), производство которого идет путем вспенивания в процессе обжига измельченного в порошок стекла и газообразователя при температуре выше 700 °С, а с целью снижения нагрузки на окружающую среду предлагается в качестве сырья использование несортного стеклобоя.

Пеностекло представляет собой материал пористой структуры с размерами пор от 0,1 до 20 мм, имеющий среднюю плотность от 100 до 600 кг/м³, относится к группе негорючих материалов, отличается удобством обработки и монтажа при экологической безопасности и долговечности. Из пеностекла изготавливают разнообразные изделия и материалы.



Рис. 1. Блоки и гравий из пеностекла

Изделия из пеностекла изготавливают в форме прямоугольного параллелепипеда 500×500 мм толщиной от 50 до 200 мм. В зависимости от назначения изделия подразделяют на плиты и блоки. Материалы из пеностекла подразделяют на гравий, щебень и песок.

Таблица 1

Основные характеристики изделий из пеностекла

Марка по плотности	Средняя плотность (объемная масса), кг/м ³	Теплопроводность, Вт/ (м °С), не более	Морозостойкость, циклов
100	100–120	0,030	15
150	121–170	0,040	
200	171–220	0,045	
300	221–320	0,060	25
400	321–420	0,075	
500	421–520	0,080	35
600	521–620	0,100	
			50

Основные уникальные свойства пеностекла в сравнении с традиционными теплоизоляционными материалами заключаются в низкой теплопроводности при высокой прочности [2]. Основные характеристики изделий из пеностекла представлена в табл. 1, основные характеристики материалов (гравий, щебень) из пеностекла представлена в табл. 2.

Рассмотрим энергоэффективность зданий, построенных с применением пеностекла. В качестве образцов рассмотрим дома с одинаковой планировкой, расположенных в одной климатической зоне. Для этого берем двухэтажный жилой дом общей площадью 240 м² (10×12 м), спроектированный и построенный в Пермском крае. Площадь окон 39 м², площадь дверей 5,7 м². Площадь стен (включая окна) 270 м². Планы дома и разрез представлены на рис. 2, 3.

Основные характеристики материалов (гравий, щебень) из пеностекла

Марка по насыпной плотности	Насыпная плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С), не более
150	100–150	0,045
200	151–200	0,053
250	201–250	0,062
300	251–300	0,073
350	301–350	0,085
400	351–400	0,097
450	401–450	0,110
500	451–500	0,130
600	501–600	0,160

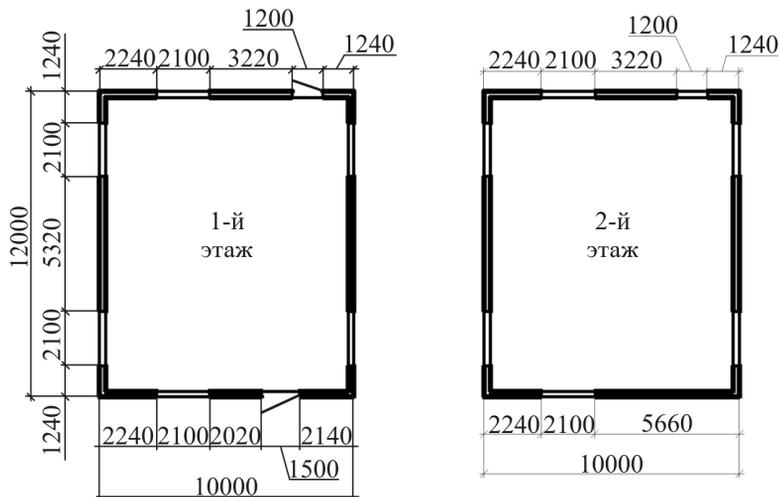


Рис. 2. Планы дома

Эти дома будут отличаться лишь составом ограждающих конструкций, а именно наружная стена будет состоять из:

1. Кирпич глиняный обыкновенный на цементно-песчаном растворе: $k = 0,7$ Вт/(м·°С), $\delta = 120$ мм – засыпка из гранулированного пеностекла-200, $k = 0,053$ Вт/(м·°С), $\delta = 90$ мм – керамический пустотный кирпич на цементно-песчаном растворе $k = 0,47$ Вт/(м·°С), $\delta = 240$ мм;

2. Кирпич глиняный обыкновенный на цементно-песчаном растворе: $k = 0,7$ Вт/(м·°С), $\delta = 240$ мм – засыпка из гранулированного пеностекла-200, $k = 0,053$ Вт/(м·°С), $\delta = 100$ мм – штукатурка;

3. Штукатурка – пеностеклянные блоки-250, $k = 0,0525$ Вт/(м·°С), $\delta = 240$ мм – штукатурка.

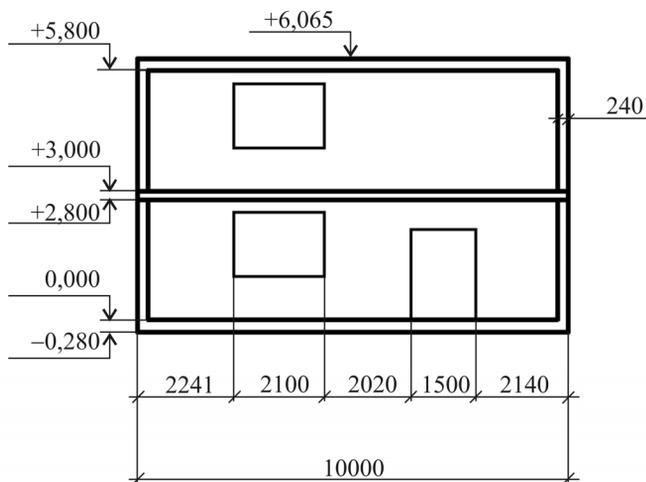


Рис. 3. Разрез дома

Энергетическую эффективность жилых и общественных зданий следует устанавливать в соответствии с классификацией по табл. 3 [1]. Графическое изображение энергетической эффективности представлено на рис. 4.

Расход тепловой энергии на отопление, Вт, рассчитывается по формуле [3]:

$$Q = A(t_p - t_{\text{ext}})(1 + \sum \beta + n)/R.$$

Средний расход тепловой энергии, кВт·ч/м²/г, рассчитывается по формуле

$$q = Q/F,$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²; R – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°C/Вт; t_p – расчетная температура воздуха, °C; t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете потерь теплоты через наружные ограждения или температура воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждения; β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь; n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; F – жилая площадь, м².

Суммарный расход тепловой энергии на отопление по зданиям:

1. Расход тепловой энергии на отопление: 11462 Вт. Средний расход тепловой энергии: 47,8 кВт·ч/(м²/год).
2. Расход тепловой энергии на отопление: 11198 Вт. Средний расход тепловой энергии: 46,7 кВт·ч/(м²/год).
3. Расход тепловой энергии на отопление: 8250 Вт. Средний расход тепловой энергии: 34,4 кВт·ч/(м²/год).

В соответствии с классификацией энергетической эффективности (рис. 4) данные дома относятся к классу В (энергоэффективный дом).

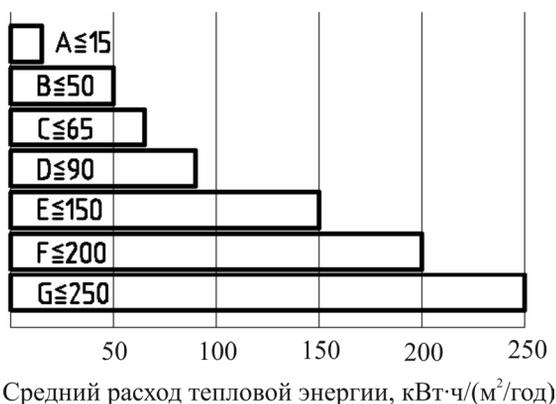


Рис. 4. Классификация домов по расходу на отопление: А – «пассивный» дом (очень экономичный); В – энергоэффективный дом (энергетически экономный); С – современная постройка (удовлетворительное расходование); D – дома 80–90-х гг. (неудовлетворительное); E – дома 70-х гг. («расточительные»); F – старые постройки («очень расточительные»); G – чрезвычайно нерентабельные

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что строительство домов с применением изделий и материалов из пеностекла для климатических условий Пермского края соответствует требованиям [1], предъявляемым к тепловой защите зданий и является энергоэффективным. Благодаря свойствам пеностекла такие дома отвечает всем санитарно-гигиеническим требованиям и требованиям пожарной безопасности. При производстве пеностекла можно использовать несортовой стеклобой, что позволит снизить нагрузку на окружающую среду.

Список литературы

1. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий.
2. ТУ 5914-001-73893595–2005. Пеностекло и изделия из него.
3. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 1. Отопление / под ред. Староверова. – М.: Стройиздат, 1990.

СЕРТИФИКАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ю.Э. Васильев

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ), Россия

И.Б. Челпанов

Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, Россия

А.М. Руст, В.Ю. Гладков

ООО «НИЦ технического регулирования», г. Саратов, Россия

В.Ю. Казарян

Саратовский государственный технический университет, Россия

Проведен анализ проблем, существующих при внедрении и применении систем менеджмента качества в аспекте математического моделирования процессного подхода и сертификации. Рассматривается проблематика математического моделирования процессного подхода с учетом применения моделей и оценок риска недостижения целей и требований технических регламентов, нормативных документов и контрактов.

***Ключевые слова:** сертификация, математическое моделирование, процессы управления, риск, технический регламент.*

Снижение общего интереса к внедрению систем менеджмента качества было заложено в концепции самих документов по управлению качеством. Оказалось, это приводило к увеличению рисков, выявился специфический характер систем менеджмента качества, приводящий к формированию негативной информации о процессах и недостатках в организации, которая часто воспринимается персоналом как направленная против них. Внедряющими организациями замалчивался необходимый приоритет внедрения систем управления процессами. До системы менеджмента качества должны быть обязательно созданы система административного управления, система менеджмента персонала, информационная система, система финансового менеджмента.

В настоящей статье сделана попытка анализа проблем, существующих в настоящее время при внедрении и применении систем менеджмента качества в аспекте математического моделирования процессного подхода и сертификации.

В стандартах ГОСТ Р ИСО серии 9000 разработана по существу общая идеология, которая по замыслу близка к философской системе. Существует довольно обширная литература, в которой эта философская система снижена с абстрактного уровня до уровня простых рекомендаций для исполнителей низших звеньев. Вместо концепции «оптимального качества» предлагается переход на концепцию «постоянного улучшения» (улучшение «всего и вся» на предприятии, постепенное уменьшение полей всех допусков). «Качество не бывает случайным, это продукт системы управления всей деятельностью предприятия, устойчивой к множеству возмущающих факторов (внутренних и внешних)». Акцентирование на устойчивости (понимаемое, в частности, как робастность), с одной стороны, является вполне конструктивным, а с другой – вызывает необходимость отработки процессов менеджмента качества на математических моделях. Сами стандарты ИСО серии 9000 рассчитаны на хорошо подготовленных специалистов, начиная со средних уровней и выше. Как часто бывает с документами международного уровня, характер аргументации, терминосистема, фразеология и декларативный стиль изложения значительно отличается от принятых в отечественной стандартизации, поэтому материалы даже при формально безукоризненном переводе требуют осмысления, транслирования на общепринятые в России представления при сохранении общей концепции.

Содержание предыдущих версий стандартов качества серии 9000 девяностых годов неоднократно пересказывалось и анализировалось в многочисленных отечественных источниках. В качестве исходного рассматривалось понятие жизненного цикла изделий, по этапам этого цикла формулировались рекомендации по качеству. В принятой версии 2001 г. основные акценты были смещены, формулировки основных положений переработаны, расширены и дополнены, в результате чего произошло еще большее удаление от традиций отечественной стандартизации, в которой были и свои недостатки, но конструктивный подход всегда отчетливо просматривался.

Здесь другая базовая терминология. При общепризнанной правильности основных положений и полезности рекомендаций они слишком общи. Чтобы выявить практически полезные рекомендации, необходима перегруппировка для реализации присутствующей в документах естественной логики. Авторами проделана работа по комментированию основных положений и выявлению конструктивных идей в общепринятой на сегодня редакции стандартов с целью приспособления к проблематике математического моделирования процессного подхода и стандартизации.

Отметим, что стандарты в качестве базового используют более широкое понятие, чем «управление качеством», а именно «менеджмент качества». Формулируется тезис, что для успешного руководства организацией и ее функционирования необходимо направлять ее и управлять систематически и прозрачным способом. Прозрачность подразумевает возможно более полный контроль, регистрацию и анализ состояния производственной системы, что отражается во многих документах и комментариях к ним. На лицо стремление сделать менеджмент качества всеобъемлющим. В действительности менеджмент качества встраивается в производственные системы устоявшейся структуры как надстройка с ограни-

ченными штатами. Выход видится в возложении новых функций на уже имеющийся персонал подразделений основной структуры предприятия. Опыт показывает, что это условие необходимое, но недостаточное.

Далее утверждается, что успех организации может быть достигнут в результате внедрения и поддержания в рабочем состоянии системы менеджмента качества, разработанной для постоянного улучшения деятельности с учетом потребностей всех заинтересованных сторон. Последнее существенно. Необходимо отметить, что управление организацией включает менеджмент качества наряду с другими аспектами менеджмента.

Концепция качества формулируется в виде принципов, которые адресуются исключительно к руководству. Восемь принципов менеджмента качества были определены для того, чтобы высшее руководство могло руководствоваться ими с целью улучшения деятельности организации. Ниже они переформулированы и перегруппированы, чтобы вскрыть внутреннюю логику в целях математического моделирования процессного подхода.

Общая схема и логическая последовательность, по мнению авторов, на базе последней версии стандартов ИСО серии 9000 должна выглядеть следующим образом: глобальная, главенствующая цель, окружение, в котором работает организация, принципы внутренней организации, качественные особенности самой работы.

Официально принятые переведенные наименования выделены жирным шрифтом. Глобальная цель формулируется в достаточно общих выражениях как *постоянное улучшение качества*. Математически это может быть определено как реализация всеобщего принципа минимизации разброса отклонений (принципы взаимозаменяемости по Тейлору и Тагути), обеспечение требуемого уровня однородности или степени риска, например использования некондиционной продукции, риска недостижения целей и требований технических регламентов, нормативных документов и контрактной документации, недостижения требуемого срока службы.

Стандарт раскрывает это, казалось бы, само по себе совершенно ясное понятие: улучшение качества это часть менеджмента качества, направленная на увеличение способности выполнить требования к качеству. На передний план выходит способность выполнения определенных требований. В комментирующих публикациях общий тезис формулируется так: постоянное улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель.

В действительности этот тезис нельзя абсолютизировать; нужно учитывать, что имеет место известное противоречие с часто более важным требованием стабильности производства, причем нередко стабильность значит больше. Известно, например что любые изменения при нечеткой взаимной координации и при отсутствии скрупулезного анализа могут содействовать, наоборот, дезорганизации производства, например при частых изменениях технической документации. Процесс установления целей и поиска возможностей улучшения является постоянным, использует наблюдения аудита (проверки) и заключения по результатам аудита, анализ данных, анализ со стороны руководства или другие средства и обычно ведет к корректирующим или предупреждающим действиям.

Улучшение системы менеджмента качества должно происходить по многим направлениям. Постоянное совершенствование системы тем эффективнее, чем более разносторонней она является, чем больше эффективных методов менеджмента качества в ней использовано, чем более обученным этим методам является персонал, чем в большей степени эта система интегрирована в общую систему управления предприятием. Стандарт устанавливает следующие обобщенные критерии: результативность (степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов), эффективность (связь между и достигнутым результатом и использованными ресурсами), прослеживаемость. Практически сформированы требуемые системные свойства процессного управления (гибкость и адаптивность, наблюдаемость и управляемость).

После определения целей обращается внимание на внешние обстоятельства: взаимоотношения с заказчиком или потребителем (условно – «на выходе» производства) и поставщиками («на входе»). Это – первый и последний пункты обычно приводимого перечня. Используется простейшая модель взаимоотношений – двухсторонние договоры сторон. При общем принципе тотального документирования основным документом является договор. Характер взаимоотношений с потребителем или заказчиком формулируется как *ориентация на потребителя (заказчика)*.

Констатируется, что поставщик зависит от своих потребителей и поэтому должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания (последнее выглядит несколько избыточно). Текущие потребности вполне определены, они фиксируются в техническом задании. Обычно наименее определенными являются будущие требования, которые определяются по прогнозу. Достоверность и точность прогноза – иное дело, это принципиальная неопределенность. Многие пункты задания берутся из стандартов, особенно если потребителем является государство. Потребителям необходима продукция, характеристики которой удовлетворяли бы их потребности и ожидания. Эти потребности и ожидания отражаются в технических условиях на продукцию и обычно считаются требованиями потребителей.

Поскольку потребности и ожидания потребителей меняются, организации также испытывают давление, обусловленное конкуренцией и техническим прогрессом, они должны постоянно совершенствовать свою продукцию и свои процессы. Более общая позиция заключена в лозунге «Качество – это благо для всех» и раскрывается с разных сторон: удовлетворение потребителя; экономический успех и благополучие предприятия и его работников; для общества в целом – здоровая экономика.

Характер взаимоотношений с организациями определяется как взаимовыгодные отношения. Взаимовыгодность определяется опосредованно, необходимое условие – прочность связей. Она должна дополняться другими обязательными требованиями. Следствием взаимовыгодности является стабильность и однородность.

На следующем этапе рассматриваются внутренние проблемы, преимущественно проблемы построения внутренней организации. Сама структура не регламентируется. Подразумевается последовательно иерархическая структу-

ра, поэтому в качестве первого принципа правильной организации работ по качеству устанавливается лидерство руководителя. Исходным является положение, что только руководители высоких уровней обеспечивают единство цели и направления деятельности предприятия. Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в решение задач организации. Вопрос заключается в том, осуществляет ли руководство разовое действие в начале (подготовка только нормативной базы, а далее функционирование осуществляется как бы автоматически) или организуется непрерывное правильное функционирование.

Но само функционирование должно предусматривать тотальный охват персонала, поэтому следующим является принцип: *общими силами вовлечение сотрудников*. Работники всех уровней составляют основу организации, и их полное вовлечение дает возможность организации с выгодой использовать их способности. Предусматриваются специальные структуры, но их недостаточно. Однако характер вовлечения зависит от уровней категорий персонала, функции на различных уровнях существенно различаются. Можно установить три уровня: стратегический, тактический и исполнительский. На высоких уровнях осуществляются планирование, управление, контроль. На низших уровнях – исполнителей – общая установка, чтобы по возможности сама по себе основная структура могла как можно лучше функционировать без вмешательства руководства. Необходимо выполнять работы правильно с первого раза; это достигается продуманной системой мотивации.

Хотя полное отсутствие нарушений практически недостижимо, оно устанавливается как идеал, к которому нужно стремиться. Предотвращайте, а не исправляйте: предотвращение дефектов (несоответствий) – кропотливый повседневный труд по поддержанию всех процессов и ресурсов в управляемых условиях на основе анализа их изменчивости и выработки необходимых предупреждающих действий. Все же поскольку дефектность нельзя свести к нулю, в дополнение к этому даются следующие рекомендации: реагировать на каждый случай появления дефекта, любой дефект на любом этапе жизненного цикла продукции должен быть обнаружен, необходимо тщательное изучение причин его появления с выработкой эффективных мер по устранению этих причин.

Системный подход к менеджменту качества. В многочисленных комментариях к стандартам ИСО 9000 декларируется, что выявление, понимание и менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействуют в результативности и эффективности организации при достижении ее целей. В основе лежит представление об организации как о сложной (многомерной, многосвязной) системе, для которой должна быть представлена соответствующая математическая модель. При системном подходе важнейшими моментами в принципе является максимально полный учет структурных взаимосвязей элементов, что влечет за собой громоздкость моделей. Но усложнение имеет и отрицательные последствия: возникает необходимость все больших объемов информации, усложняется анализ свойств. Чтобы уйти от этих труд-

ностей, приходится останавливаться на пути усложнения или даже частично проводить упрощения на основе применения различных приемов обоснованной декомпозиции и редукции сложных систем.

При этом все время следует иметь в виду основную линию: системный подход к менеджменту качества побуждает организации анализировать требования потребителей, определять процессы, способствующие получению продукции, приемлемой для потребителей, а также поддерживать эти процессы в управляемом состоянии. Системный подход, интенсивно разрабатываемый в последние два десятилетия, нашел очень широкое применение не только в проблематике качества, но и в других направлениях прикладной науки, по его математической формализации имеется обширная литература.

Принятие решений, основанное на фактах. Имеется в виду, что эффективные решения основываются на анализе реальных данных и достоверной информации о состоянии объектов системы, результатах деятельности и пр. Факты противопоставляются не только ни на чем не основанным домыслам, но и научным прогнозам, степень точности которых часто недостаточна. Совокупность фактов должна относиться ко всем компонентам, в первую очередь к оборудованию, материалам, технологиям, персоналу. Подчеркивается важность максимально полного использования информации о реальном положении дел и реальной динамике.

При важности прогнозирования и планирования существенно признание необходимости обратных связей по выходным параметрам при условии правильной и рациональной трактовки информации как при принятии оперативных решений по единичным фактам, например брака или отказа в эксплуатации (что типично для индивидуального и мелкосерийного производства), так и при накоплении данных по результатам первичной и последующих видов их обработки и анализа (что типично для производственных процессов). К последнему относится статистическая обработка.

На передний план выдвигается *процессный подход и построение математических моделей*. Обычно в комментариях приводится следующая элементарная расшифровка: деятельностью и соответствующими ресурсами организации управляют как процессом, протекающим во времени. Общие соображения обычно формулируются примерно следующим образом. Любая деятельность или комплекс деятельности, в которой используются ресурсы для преобразования входов в выходы, может рассматриваться как процесс. Для моделирования необходимо создавать математические модели этих процессов; в этих случаях в первую очередь необходимо сначала определить полную совокупность переменных, а затем определить их параметры, которые собственно и должны рассматриваться как процессы, протекающие во времени.

Должно осуществляться планирование и управление многочисленными взаимосвязанными и взаимодействующими процессами. Часто одни и те же процессы образуют непосредственно вход следующего. Систематическая идентификация и менеджмент процессов и обеспечения их взаимодействия могут считаться частью процессного подхода. Декларируемое назначение

стандарта ГОСТ Р ИСО 9000–2001 – побуждать руководителей организации широко применять процессный подход к менеджменту организации. На этот пункт обращается особое внимание, в предыдущей редакции он не выделялся из большого числа прочих. Комментарии самого стандарта скудны. Приведем некоторые из этих принципов с минимально необходимыми комментариями.

При возникновении проблем искать источник, чтобы проблема не возникла вновь; установить, причина случайная или системная (систематическая, по принятой в метрологии терминологии). Речь должна идти о разделении, с одной стороны, систематических составляющих явлений, об их устойчивости, и, с другой стороны, случайных явлений с отсутствием корреляции во времени и с контролируруемыми факторами. В отношении случайной составляющей еще неявно предполагается, что случайные явления редки.

Разделять работы с разными ритмами, согласовывать ритмы заданий и выполнения. Представляется, что этапы всех работ должны быть представлены на графиках с разметкой по времени, что всегда и делается в серьезных организациях при планировании их выполнения. Отметим, что это делается при сетевом планировании также в гораздо более сложных случаях, когда части одной и той же работы выполняются частично независимо с выходом на конечный результат.

Разделять управленческие и исполнительные работы. Здесь неявно принимается априорное равноправие работ этих двух типов. Существует и другая точка зрения, согласно которой управленческие – это управляющие воздействия, а исполнительные – реализуют основной процесс, именно такой способ разделения принимается при составлении математических моделей.

Осуществлять управление постоянно, держать проблематику в фокусе внимания. Очевидно, что постоянное управление в производственных системах – определенная идеализация, управление реально осуществляется дискретно, в частности периодически, хотя это и необязательно. Практически важно обоснованно установить периодичность выполнения операций контроля и выработки корректирующих воздействий. Несмотря на несомненную правильность приведенных положений со сделанными уточнениями, специфика именно процессного подхода отражена недостаточно последовательно, а очень важная научная проблематика, связанная с формализованным ее представлением, не отражена вовсе.

На основе обобщения имеющихся материалов по процессному управлению необходимо сформировать следующие положения, которые имеют прямой выход в математическое моделирование:

- производственная система или любая организация исходно представляется в виде организованной структуры, взаимодействующие элементы которой связаны;

- состояние элементов задается совокупностями параметров состояния, которые являются непрерывными или дискретными (в частности, логически) переменными, некоторые из параметров считаются выходными, другие – внутренними;

- у элементов имеются входные воздействия, некоторые рассматриваются как возмущающие, другие – управляющие воздействия;

– имеются перекрестные связи, которые характеризуют взаимодействие элементов;

– параметры состояния всех элементов, подсистем и системы в целом, а также все воздействия рассматриваются как функции времени (непрерывного или дискретного) или иного аргумента (например, номера этапа процесса);

– элементы могут рассматриваться по отдельности, изолированно, их автономное функционирование характеризуется определенными процессами, законами изменения параметров состояния, задаваемыми динамическими математическими моделями (например, стохастическими дифференциальными уравнениями второго порядка);

– управляемые процессы, законы изменения параметров состояния при наличии воздействий, поступающих по каналам связи всех видов, задается расширенными математическими моделями (дифференциальными уравнениями с правыми частями, переменные в которых являются управляющими воздействиями).

При том, что процессы развиваются по времени или по этапам, представление процессов может быть принципиально различным. Во всех подобных случаях можно говорить об объектно ориентированных процессах. Однако процессный подход может относиться также к элементам структур производственных систем. Имеется в виду описание динамики параметров элементов самой системы (например, повышение надежности процессов) или параметров связей взаимодействия элементов (например, усиление или ослабление контроля, частоты выдачи новых заданий и т.п.). В этих случаях можно говорить о структурных или элементных процессах. Важно, что процессный подход может использоваться и используется по отношению к одним и тем же объектам многократно, с разной степенью адекватности и полноты описания.

Основанная на процессном подходе система менеджмента качества, описанная в семействе стандартов ИСО 9000, показывает, что заинтересованные стороны играют существенную роль в предоставлении организации входных данных. Наблюдение за удовлетворенностью заинтересованных сторон требует оценки информации, касающейся восприятия сторонами степени выполнения их потребностей и ожиданий. Используемые принципы менеджмента качества образуют основу для стандартов системы менеджмента качества, входящих в семейство ИСО 9000 и вполне отвечают задачам процессного подхода. Представляется, что перечисленные принципы существенно неравноценны, что они не образуют полную систему, но они могут быть дополнены. Система менеджмента качества с учетом ожидаемых изменений может быть основой постоянного улучшения с целью увеличения вероятности повышения удовлетворенности потребителей.

В последние годы возникла и получила развитие идея реализации принципиально новой схемы – схемы сертификационного сопровождения проектов (в современном, очень широком смысле) последовательно по всем этапам реализации. Имеется в виду, что работы по сертификации производств следует начинать возможно раньше, с начальных стадий проектирования, а не тогда, когда продукцию уже начали выпускать. Когда речь идет о создании нового производ-

ственного комплекса, то при таком подходе объектами сертификации должны быть: технический и рабочий проекты со всей документацией, площадка для строительства, основное и вспомогательное оборудование, построенные здания и сооружения, монтажные работы, производственно-технологический комплекс в целом, технологический процесс как таковой, пусконаладочные работы, обслуживающий персонал. По многим позициям должны проводиться испытания. Только после этого производится сертификация системы качества предприятия.

Важность всех перечисленных этапов и составных частей общепризнана, всегда выполнение всех работ в той или иной степени контролируется, однако реализация поэтапной сертификации существенно повысит ответственность исполнителей и облегчит работу по устранению выявленных несоответствий продукции установленным требованиям. Во многих из этапов важное место могут занять исследовательские испытания по оценке степени риска. Это важно с учетом требований систем менеджмента качества на оценку степени риска использования некондиционной продукции и с учетом международных стандартов долговечного (зеленого) строительства, в которых оценивается риск недостижения требуемого срока службы.

Указанные вопросы получили свою практическую разрешимость в связи с тем, что Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии зарегистрирована «Система добровольной сертификации испытательных лабораторий (центров)», в рамках которой осуществляются работы по подтверждению технической компетенции и независимости испытательных лабораторий на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2006.

Аналогичная «Система добровольной сертификации услуг по оценке степени риска причинения вреда» зарегистрирована и от ООО «Научно-исследовательский центр технического регулирования». Объектами сертификации в системе являются услуги по оценке степени риска и степени причинения материального вреда, осуществляемые в том числе и в рамках экспертиз различного уровня, деятельность которых соответствует правилам функционирования Системы добровольной сертификации услуг по оценке степени риска причинения вреда, в том числе к коду 74.3 раздела К ОКВЭД (КДЕС ред. 1) – Технические испытания, исследования и сертификация. Используются различные процедуры оценки риска, в том числе прямые вычисления и исследования проектного (параметрического) риска [1].

С учетом вышесказанного рекомендуется более внимательно рассмотреть проблематику математического моделирования процессного подхода с учетом применения моделей и оценок риска недостижения целей и требований технических регламентов, нормативных документов и контрактной документации.

Тем самым в структуре систем менеджмента качества может быть решена задача гармонизации старой системы технического нормирования (с учетом надежности) и новой системы технического регулирования (с учетом степени риска причинения вреда).

Раздел 3.2

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И АЭРОДРОМЫ

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

П.Б. Рапопорт, Н.В. Рапопорт

ООО ЦДТ «Дорэксперт», г. Новосибирск, Россия

А.В. Кочетков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

С.А. Шиндина

ГП «Дорожный научно-производственный центр по охране окружающей
среды» ГИ «Узгосжелдорнадзор», г. Ташкент, Узбекистан

Проведен анализ современного нормативно-методического проектирования автомобильных дорог. Рассмотрены положения Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Описан процесс формирования рисков, алгоритмы и назначение видов работ, выполняемых при эксплуатации автодорог.

***Ключевые слова:** автомобильная дорога, техническое регулирование, риск, уровень надежности, эксплуатация.*

В Российской Федерации в настоящее время разрабатываются и утверждаются законодательные документы с целью выполнения Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании», в том числе и применительно к автомобильным дорогам.

Закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» требует разработки новых концептуальных подходов к проектированию автомобильных дорог (АД) в РФ.

Допустимый риск устанавливается статистической обработкой имеющихся в наличии результатов проектирования, строительства, реконструкции, ремонта и эксплуатации АД на современном этапе с последующей корректировкой его величины по мере поступления новых данных. Риск целесообразно рассматривать в виде количественной характеристики объекта на рассматриваемом отрезке времени.

АД в процессе своего функционирования подвергаются влиянию различных рисков, которые систематизированы и классифицированы авторами по семи блокам, соответствующим функциональным подсистемам: осуществле-

ния инженерных изысканий; проектирования; строительства, реконструкции, капитального ремонта; эксплуатации; разборки дороги или сооружения. Выделение рисков в рамках функциональных подсистем позволяет более точно определить способы управления рисками в практической деятельности. Соответственно, необходимо рассмотреть процесс формирования рисков, с определением вклада в величину общего риска в виде соответствующих весовых коэффициентов на каждом этапе жизненного цикла автомобильной дороги или выполнения на ней технологических процессов.

Специфика отраслевой принадлежности рисков к АД заключается в идентификации таких рисков, которые могут оказать существенное влияние на результаты функционирования АД.

Например, в качестве источников риска при проектировании могут быть приняты отдельные конструктивные элементы автомобильной дороги, их неблагоприятные сочетания, а также эксплуатационное состояние автомобильной дороги в целом или ее отдельных элементов, в том числе: элементы трассы; поперечный профиль; пересечения и примыкания; дорожные одежды; земляное полотно; мостовые сооружения, водопропускные трубы; сооружения инженерного обустройства; организации дорожного сервиса; эксплуатационное состояние.

Для удобства восприятия процесс формирования рисков целесообразно представлять в виде дерева рисков или структурно-логической схемы формирования рисков по каждой функциональной подсистеме и системы в целом.

В качестве примера рассмотрим алгоритм формирования рисков и учета их при назначении видов работ выполняемых при эксплуатации.

1. Источниками риска при эксплуатации выбираем технические характеристики и эксплуатационное состояние конструктивных элементов:

- проезжей части;
- краевых полос, обочин и разделительной полосы;
- земляного полотна;
- искусственных сооружений;
- средств организации движения;
- ограждения дорог;
- сооружений дорожного сервиса и благоустройства дороги;
- искусственного освещения.

2. Рассматриваем основные факторы, определяющими возможность возникновения рисков на автомобильной дороге при ее эксплуатации.

2.1. Соблюдение пользователями автомобильных дорог требований технических регламентов и государственных стандартов, предъявляемых:

– к габаритным размерам, параметрам общей массы и осевых нагрузок, а в отдельных случаях и иным характеристикам транспортных средств, используемых в перевозочном процессе, и их техническому состоянию;

– скоростному режиму движения автомобилей с учетом типа транспортного средства, технической категории автомобильной дороги и погодноклиматических особенностей, при которых осуществляется перевозочный

процесс как в штатных условиях эксплуатации автомобильной дороги, так и при проведении эксплуатационной службой тех или иных технологических операций по ее содержанию и ремонту.

2.2. Соответствие проекту параметров геометрических элементов земляного полотна, дорожной одежды и искусственных сооружений, а также обстановки пути и инженерного обустройства эксплуатируемой дороги.

2.3. Соответствие показателей среднегодовой, среднесуточной интенсивности движения транспортных средств установленной государственным уполномоченным органом технической категории эксплуатируемой автомобильной дороги.

2.4. Соответствие требованиям настоящего технического регламента технического состояния проезжей части и обочин, искусственных сооружений, обстановки пути, предметов инженерного обустройства дороги и организации движения.

2.5. Соблюдение техническим персоналом эксплуатационной службы требований соответствующих технических регламентов, государственных стандартов, технологических карт и правил:

- к характеристикам используемых при выполнении различных видов работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог материалов, изделий, машин и механизмов, а также квалификации работников, привлекаемых к выполнению этих видов работ;

- срокам и периодичности выполнения работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог;

- организации и технологии выполнения дорожно-эксплуатационных работ;

- составу машин, механизмов и оборудования, используемых для производства работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог, условиям их эксплуатации и парковки;

- условиям размещения и складирования необходимых запасов ремонтно-строительных материалов и изделий;

- организации движения в зоне выполнения работ по содержанию и ремонту автомобильной дороги;

- защите окружающей среды и обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения при реализации всего комплекса мероприятий, связанных с проведением тех или иных видов дорожно-эксплуатационных работ;

- условиям эксплуатации сооружений обслуживания движения и благоустройства дороги, расположенным на придорожной полосе эксплуатируемой автомобильной дороги;

- организации и проведению контроля качества выполнения работ по содержанию и ремонту автомобильной дороги и мониторинга ее эксплуатационного состояния.

Уточняем основные требования безопасности, которые необходимо принимать во внимание при эксплуатации автомобильных дорог, так как они связаны со следующими рисками (в рамках подсистем):

- возможное возникновение дорожно-транспортных происшествий;
- разрушение автомобильной дороги в целом или отдельных ее конструктивных элементов;
- воздействие природно-климатических, техногенных и иных факторов, вызывающих кратковременное или длительное изменение показателей надежности работы автомобильной дороги и ее инфраструктуры.

Разрабатываем мероприятия по эксплуатации, которые должны быть направлены на соблюдение трех основных принципов, позволяющих обеспечить создание безопасных условий перевозки грузов и пассажиров по автомобильным дорогам в течение установленного срока их службы:

1) защита от рисков, которые при пользовании автомобильными дорогами невозможно исключить в силу климатических, чрезвычайных и других факторов и ситуаций и могут привести к возникновению дорожно-транспортных происшествий;

2) своевременное устранение или снижение риска возникновения дорожно-транспортных происшествий и других видов опасности для людей, животных и растений, окружающей среды и национальной безопасности в результате неблагоприятного воздействия эксплуатационного состояния автомобильной дороги;

3) наличие и доступность информации о возможных остаточных рисках ухудшения эксплуатационного состояния автомобильной дороги и возникновения дорожно-транспортных происшествий на отдельных ее участках вследствие недостаточности принятых мер безопасности или возникновения чрезвычайных ситуаций.

Нами разработана методика, в основу которой положена оценка стоимости устранения или уменьшения до допустимых размеров рисков и ликвидации или уменьшения возможных негативных последствий их наличия на ТЭС АД. Все риски измеряются в денежном эквиваленте, что позволяет производить с ними арифметические действия, анализировать с позиции влияния их параметров на стоимость устранения или ликвидации рисков.

Мы исходим из того, что понятие риска должно быть многомерным, а оценка его в значительной степени зависит от информации, доступной при его оценке и измерении, и от предположения, что доказательство приемлемости какого-либо новшества в АД требует много большего, чем демонстрация приемлемо малого риска.

Понятие риска позволит обеспечить эффективность проектирования, строительства, ремонта, эксплуатации и планирования работ по снижению риска, направленных на совершенствование надежности и экономической эффективности работы дорожной отрасли, АД и сооружений на них в плане ужесточения требований к безопасности, экологической и социальной приемлемости. Это, в свою очередь, побуждает дорожное хозяйство к созданию принципиально новых технологий, конструкций, материалов, вынуждает критически относиться к потребностям и возможностям дорожной отрасли в целом.

Риски автомобильной дороги должны рассматриваться во взаимосвязи с надежностью. Надежность (reliability, dependability) [6] – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условия его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания их свойств.

Все показатели надежности (ПН) являются функциями времени: безотказность – время работы до момента наступления отказа, ремонтпригодность – время, которое затрачивается на предупреждение отказа и устранение его последствий, долговечность – время до наступления предельного состояния, сохраняемость – время сохранения работоспособного состояния объекта, выключенного из эксплуатации.

Отказ определяется в [6] как событие, заключающееся в наступлении неработоспособного состояния объекта, а по определению МЭК – как утрата объектом способности выполнять свои функции.

Измерителями ПН являются параметры законов распределения времени как случайной величины, например вероятность работы без отказа в течение заданного времени, время безотказной работы при задаваемой предельной вероятности отказа γ , %, и др. Использование ПН как критериев свойств объектов позволяет проводить системный анализ объектов (ибо время – одно для всех составляющих объекта) и получать прогнозы их эволюции.

Совместное рассмотрение отказа, вероятности отказа и его последствий, ущерба от отказа привело к появлению понятий «критичности отказа» и «риска». Критичность отказа – совокупность признаков, характеризующих последствия отказа [4]. Термин «риск» (risk) обычно используется тогда, когда существует хотя бы возможность негативных последствий.

Показатель критичности отказа – количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий [4]. В рекомендуемых приложениях к [4] содержатся таблицы сомножителей формулы определения критичности i -го элемента объекта

$$C_i = B1_i B2_i B3_i,$$

где $B1_i$, $B2_i$, $B3_i$ – оценки в баллах соответственно; для $B1_i$ – частоты (вероятности) наступления потенциального отказа; для $B2_i$ – вероятности выявления отказа; для $B3_i$ – тяжести последствий.

Значения C_i градуируются по четырем признакам тяжести последствий.

В работе [8] расчет общего риска для технологических систем рекомендуют проводить суммированием рисков $R_i = C_i P(A_i) U_i$ где i – вид аварий, катастроф или других экстремальных ситуаций, вероятность каждого из которых

равна A_i , а математическое ожидание ущерба от каждого из них равно U_i . Весовые функции C_i нужны для корректировки балльных оценок отличающихся объектов. Если ущерб оценивается в стоимостном выражении, как в нашей методике, весовые функции позволяют отдавать предпочтение тем или другим объектам.

Анализ риска становится источником понуждения к совершенствованию технологий проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и повышению надежности АД. При обеспечении безопасности АД важно не только устранение риска, но и осознание его наличия, а также поиск путей преодоления опасных ситуаций и снижения величин рисков.

Пока темпы создания и внедрения в дорожной отрасли новых материалов, технологий были невелики, можно было все последствия их использования проверить на практике, последствия внедрения были ограничены по масштабу и фактически не требовали предварительной оценки риска.

Однако по мере роста темпов внедрения различных новшеств, которые обосновываются, как правило, с точки зрения экономики, масштабы последствий внедрения стали таковы, что теперь необходимо не только предварительно оценивать риск от их использования, но и убеждать в том, что результаты их внедрения или развития не увеличат риск вообще и особенно отдаленных неустраняемых глобальных последствий. И теперь анализ риска использования новой технологии должен охватывать все этапы жизненного цикла, включая этапы устранения возможных вредных последствий функционирования новой технологии.

Согласно [4] «анализ риска (risk analysis) – систематическое использование информации для определения источников и количественных оценок риска ГОСТ [4] содержит общее описание различных методик анализа рисков. Поскольку выбор методик зависит от многих условий сбора информации и условий анализа, рекомендуется идти от простого к сложному.

Установить непосредственную связь между функционированием АД и элементов можно далеко не всегда, поэтому систему разукрупняют на элементы с точностью до параметров, которые способны контролировать выполнение функций этого элемента – определяющих параметров. Это делается путем разукрупнения системы на подсистемы, этих подсистем на составляющие их части и так далее по функциональным и/или конструктивным признакам. При этом на всех уровнях иерархии для каждого объекта разукрупнения системы устанавливаются функции, выходные характеристики и критерии отказов. Результатом разукрупнения системы на элементы является построение структурно-функциональной модели (СФМ) АД. Жестких правил этой процедуры не существует, и первыми логическими критериями служит выбор предпочтений между функциональными и конструктивными признаками объектов. Неудачный выбор затрудняет анализ последствий отказов. Следующий шаг – составление списка рисков, оказывающих влияние на значения определяющих параметров. Такие риски называют фиктивными элементами СФМ.

Анализ вида и последствий отказов (АВПО). Для каждого риска, способного вызвать отказ элемента, дается подробное описание вида отказа, вызываемое этим риском. В понятие «вид отказа» включают внешние проявления, причины, механизм возникновения и стадии развития риска и другие признаки, кроме последствий отказа.

Имея такую информацию, можно приступить к анализу влияния отказа на другие элементы СФМ. В зависимости от сферы влияния отказ может быть локальным, промежуточным или конечным. Конечный отказ непосредственно связан с отказом системы и является критическим отказом, а сам этот элемент – критичным элементом. Одна из целей АВПО – выявление критичных элементов системы. Промежуточные отказы вызывают отказы элементов старшего уровня иерархии или смежных с ним или же изменяют условия их работы, увеличивая вероятность отказов. В результате такого анализа снизу вверх выявляются связи между отказами каждого компонента системы и строится «дерево отказов». Кроме того, при анализе получают сведения о природе процессов развития рисков, необходимые для расчетов вероятностей отказов. На стадии АВПО проводят предварительную количественную оценку и ранжирование отказов объектов по тяжести их последствий, а также предварительную качественную оценку ожидаемой (наблюдаемой) частоты наступления отказов разных категорий тяжести при эксплуатации объекта.

По определению [4] критичность отказа – это совокупность признаков, характеризующих последствия отказа. Показатель критичности отказа – количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий. Анализ вида, последствий и критичности отказов (АВПКО) – процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности.

Проведение АВПКО не отменяет необходимости выполнения расчетов надежности объекта в соответствии с общими требованиями [12]. Значения вероятностей отказов, учитываемые при оценке их критичности, рассчитывают (прогнозируют) принятыми в расчетах надежности методами с учетом структуры объекта, уровней нагруженности и режимов работы его элементов по имеющимся справочным или экспериментальным данным об их надежности [3]. Надо заметить, что получение исходных данных, выбор методов расчета и оценка их точности для эксплуатируемых объектов сложнее, чем при их проектировании, что должно учитываться при обследованиях АД и АВПО. Оценки критичности отказов при АВПКО нуждаются в показателе размера возможного ущерба в результате наступления каждого из ожидаемых последствий отказов. В расчетах рисков применяют математическое ожидание размера ущерба. НД указывает на возможность применения средневзвешенного (по условным вероятностям проявления последствий отказа) ущерба от него. Не исключено также применение балльных оценок возможного ущерба от отказов с использованием шкалы,

разработанной применительно к АД и установленной в методике их АВПКО. Примеры возможной шкалы балльных оценок критичности отказов приведены в [4, 5].

Используя результаты АВПКО, можно уточнять критерии отказов объекта, модели, которые будут приняты для расчета его надежности, задачи и содержание технического обслуживания и ремонта [4]. Также используя результаты, можно построить имитационную модель для АД на конкретный вид работ с учетом функциональной надежности и разработки методик оценки рисков функционирования как данной технологии, так и совместного ее сосуществования с другими.

Математическая постановка задачи включает формализацию целевой функции и ограничений с учетом многокритериальности задачи, необходимо найти решение, доставляющее экстремум нескольким целевым функциям:

$$F_1 = f_1(P, T, G, Z) \rightarrow \min,$$

$$F_2 = f_2(P, T, G, Z) \rightarrow \max,$$

$$F_k = f_k(P, T, G, Z) \rightarrow \min,$$

$$H = f(P, T, G, Z) \rightarrow \max,$$

где F_1, F_2, \dots, F_k – технико-экономические критерии; H – надежность выполнения плана работ по содержанию (эксплуатации) или ремонта; P – множество номеров объектов работ, задающее приоритеты объектов; T – множество моментов начала работ на объектах; G – множество длительностей выполнения работ; Z – множество заделов, создаваемых перед каждой работой.

Задача многокритериальной оптимизации может быть сформулирована следующим образом. В некоторой области альтернатив организационных решений, которые задаются вектором x , необходимо отыскать альтернативу, обеспечивающую компромиссное решение по функциям цели F_1, F_2, \dots, F_k , включающим и надежность $F_k = H$. Для решения задачи можно воспользоваться методом многокритериальной оптимизации, разработанным В.С. Михайлевым и В.Л. Волковичем в Институте кибернетики АН УССР.

Поскольку функции цели имеют различную физическую природу, их необходимо путем монотонного преобразования привести к безразмерному виду:

– для минимизируемых функций

$$\omega_i(F_i(x)) = \frac{F_i(x) - F_i^{\min}}{F_i^{\max} - F_i^{\min}};$$

– для максимизируемых функций

$$\omega_i(F_i(x)) = \frac{F_i^{\max} - F_i(x)}{F_i^{\max} - F_i^{\min}},$$

где $F_i(x)$ – значение i -й функции цели при выборе альтернативы x , F_i^{\min} , F_i^{\max} – минимальное и максимальное значения функции цели на множестве допустимых альтернатив.

Ввиду того, что функции цели F_1, F_2, \dots, F_k в общем случае не равнозначны, для их сравнения экспертами определяется вектор p – такой, что $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$.

При одинаковой значимости функций цели $p_1 = p_2 = \dots = p_n$.

Процесс поиска компромиссного решения состоит в итерационной процедуре проверки неравенств:

$$p_i \omega_i (F_i(x)) \leq k_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad k_0 \in \left(0, \frac{1}{n}\right),$$

где k_0 – параметр.

Необходимо найти такую альтернативу x , которая бы обеспечивала минимальное значение k_0 , при котором все n неравенств совместны. С уменьшением параметра k_0 уменьшаются взвешенные потери по всем функциям цели, т.е. происходит приближение к альтернативе, обеспечивающей минимум потерь по всем функциям цели. Такая альтернатива называется компромиссной. На каждом i -м шаге итерационной процедуры поиска компромиссного решения определяется величина $k_0(i)$ и проверяется совместимость системы неравенств. Если на i -м шаге система еще совместна, а на $i+1$ -м шаге уже не совместна и $k_0(i) - k_0(i+1) \leq E$, то итерационная процедура прекращается, а альтернатива, соответствующая i -му шагу, является компромиссной.

АД является сложной системой, основным системообразующим фактором которой является ее функциональное назначение (обеспечение пропуска транспортного потока с расчетной скоростью на всем протяжении срока службы).

Система – комплекс избирательно вовлеченных элементов, способствующих достижению заданного результата. При моделировании учитываем не одну какую-нибудь сторону реальной системы, а все существующие для данной задачи аспекты и их взаимосвязь.

Процесс рассматривается с вероятностной точки зрения, так как предсказание поведения сложных систем возможно лишь на основе стохастических категорий. В основу разработки имитационной модели положен следующий подход:

- изучаемая сложная система расчленяется на конечное число подсистем – элементов, для которых легко найти удобное математическое описание;
- описываются состояния элементов и динамика изменения состояний под воздействием внутренних причин или других элементов системы.

Математическая модель сложной системы состоит из математических моделей элементов и модели, описывающей взаимодействие между элементами.

В [17] рассматривают аспекты безопасности: предназначенное использование; возможное предсказуемое неправильное использование; способность к действию при ожидаемых условиях использования; совместимость с окружающей средой; эргономические факторы; безотказность; ремонтпригодность и удобство обслуживания; долговечность; возможность утилизации; специальные потребности пользователей продукции, процесса или услуги, например детей, пожилых людей, групп людей с ограниченными возможностями. Следует подчеркнуть, что вопросы ремонтпригодности и долговечности стандартом рассматриваются как аспекты безопасности.

Известна общепринятая зависимость между риском (r) и уровнем надежности (K_n):

$$K_n = 1 - r.$$

Например, если за период эксплуатации t риск разрушения дорожной одежды равен 0,05 (на каждые 100 м² покрытия приходится 5 м² разрушения), то уровень надежности данной дорожной одежды через t лет после строительства или усиления составит $K_n = 1 - 0,05 = 0,95$.

Список литературы

1. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: учебник. – М.: Логос, 2003. – 208 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
3. Инструкция по оценке качества содержания (состояния) автомобильных дорог: ВСН 10–87: утв. М-вом автомобильных дорог РСФСР 29 декабря 1986 г. (с изменениями, утвержденными 15 ноября 1989 г.).
4. ГОСТ Р 51901.1–2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 22 с.
5. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ вида, последствий и критичности отказов. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.
6. ГОСТ Р 53480–2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2009. 37 с.
7. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Основные положения: ОДН 218.006–2002: утв. Минтранса России 3 октября 2002 г. – М., 2002. – 112 с.
8. Махутов Н.А. Научно-методические подходы и разработка мер по обеспечению защищенности критически важных для национальной безопасности объектов инфраструктуры от угроз техногенного и природного характера // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Safety and emergencies problems. – 2004. – № 1. – С. 37–48.

9. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Клюев [и др.]; под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1980. – 672 с.
10. О техническом регулировании: федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184–ФЗ (с изменениями на 9 мая 2005 г.).
11. ГОСТ 27.301–95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 12 с.
12. День дорожника. Успех в новых подходах // Автомобильные дороги. – 2010. – № 11. – С. 12–20.
13. ГОСТ Р 27.001–2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения.
14. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов.
15. ГОСТ Р 27.403–2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы.
16. ГОСТ Р 51898–2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты (разработан Техническим комитетом по стандартизации ТК 10 «Основополагающие общетехнические стандарты. Оценка эффективности и управление рисками», принят Постановлением Госстандарта России от 5 июня 2002 г. № 228-ст.).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ СЕТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПЕРМСКОГО КРАЯ

А.Г. Гилева

СДО КГБУ «Управление автодорог и транспорта»,
г. Пермь, Россия

Обоснована необходимость развития системы управления в области эксплуатации региональных автодорог и мостов, а также рассматривает цели и задачи при модернизации системы управления. Предложен реалистичный механизм достижения результатов проекта в современных условиях.

Ключевые слова: эксплуатация автодорог, менеджмент, стратегический анализ, SWOT-анализ, инвестиционный проект.

Согласно Концепции Программы социально-экономического развития Пермского края на 2008–2017 гг. основными стратегическими целями в дорожной отрасли являются:

- совершенствование сети автомобильных дорог;
- сохранение существующей сети за счет доведения ее технического состояния до уровня, соответствующего нормативным требованиям.

В 2008 г. положение вещей сложилось таким образом, что всего 18,7 % региональных автодорог соответствует транспортно-эксплуатационным требованиям. Кроме того, большая часть дорог строилась 25–30 лет назад, когда требования к транспортным и скоростным нагрузкам были намного ниже. Поэтому существующая сеть дорог не способна обеспечить бесперебойный, безопасный и эффективный пропуск все возрастающих транспортных потоков, что свидетельствует о необходимости существенного улучшения ее эксплуатационных показателей.

Для поддержания сети региональных дорог с учетом отложенных ремонтов необходимо ежегодно ремонтировать порядка 800 км автодорог на сумму 7 млрд руб. Средств на ремонт дорог выделяется меньше, чем того требует их состояние. Задержка с ремонтом приводит к существенному росту затрат, которые уже стали сопоставимы с новым строительством и реконструкцией. Такая ситуация характерна для Российской Федерации в целом. Государство и национальная экономика из-за плохих дорог несут серьезные убытки [3].

Основным фактором, тормозящим развитие отрасли, является слабая инвестиционная привлекательность, особенно в сфере содержания и ремонта дорог, и отсутствие долгосрочных механизмов управления состоянием автодорог.

Сама система управления состоянием дорог представляет собой замкнутый непрерывно функционирующий процесс, состоящий из ввода объектов в эксплуатацию – выполнения работ по содержанию объектов – оценки состояния сети в целом и объекта в частности – назначения обоснованных результатами диагностики ремонтных работ и их выполнения.

В центре данной системы находится автоматизированная структура управления (сеть ДМС), позволяющая оперативно управлять процессом. Совершенствование системы управления эксплуатацией сети автодорог необходимо начинать с назначения приоритетных направлений и определения скрытых возможностей в существующей системе управления. С этой целью выполнен стратегический анализ сети автодорог Пермского края по методике SWOT [1]:

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Транспортная доступность ко всем административным центрам. 2. Отсутствие грунтовых разрывов. 3. Реализация технологий интеллектуально-транспортных систем для управления эксплуатацией сети. 4. Внедрение системы проектного управления. 5. Ориентация на строительство объектов высоких категорий с применением новейших технологий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие сети автомобильных дорог, из которых 81,3 % автодорог и 37 % мостовых сооружений не соответствует современным транспортным и скоростным нагрузкам. 2. Темпы роста интенсивности дорожного движения и доли тяжелого подвижного состава не соответствуют темпам развития сети автодорог Пермского края. 3. Радиальная структура сети дорог ориентирована на крупные административные центры, с недостаточным числом хордовых дорог. 4. Слаборазвитая система объектов дорожного сервиса. 5. Политическое влияние на процесс управления развитием сети дорог. 6. Отсутствие логистики в управлении сетью дорог. 7. Отсутствие государственных и законодательных гарантий на планируемые инвестиции. 8. Отсутствие критериев оценки эффективного расходования средств
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение объемов финансирования за счет привлечения дополнительных средств из внебюджетных фондов. 2. Использование логистических технологий в планировании работ. 3. Улучшение системы управления. 4. Улучшение качества выполняемых работ за счет увеличения конкуренции 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постоянные изменения законодательства. 2. Неувеличение или уменьшение объемов финансирования работ по ремонту. 3. Фактический рост инфляции превышает прогнозируемый

В целом в качестве сильных сторон сети региональных автодорог Пермского края выступает транспортная доступность центров, отсутствие грунтовых разрывов, а также реализация технологий ИТС. Слабыми сторонами являются низкое эксплуатационное состояние сети, развитие транспорта, во много раз опережающее развитие сети и отсутствие критериев оценки эффективного расходования средств. В данной ситуации возможно улучшение системы управления, улучшение качества выполняемых работ, а также активное использование логистических технологий при планировании. Помешать достижению стратегических целей может неустойчивая законодательная система и отсутствие стабильных профессиональных подрядчиков по эксплуатации автомобильных дорог, из-за непрогнозируемого финансирования.

Целью проекта «Совершенствование системы управления эксплуатацией сети региональных автомобильных дорог Пермского края» является улучшение транспортно-эксплуатационного состояния региональных автодорог за счет совершенствования системы управления эксплуатацией сети.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- создать условия для развития рынка подрядных организаций;
- увеличить требования к качеству содержания дорог;
- разработать эффективный механизм исполнения гарантийных обязательств;
- повысить достоверность результатов мониторинга состояния сети;
- разработать количественные критерии оценки потребительских характеристик;
- разработать методику эффективного планирования ремонтных работ;
- создать систему дорожного метеообеспечения с покрытием всей сети региональных автомобильных дорог.

Проект рассчитан на 4 года, с началом в 2009 и окончанием в 2013 г.

1-й этап проекта включает анализ существующей ситуации в управлении и планирование мероприятий по улучшению. 2-й этап постановку задач по совершенствованию системы управления эксплуатацией и формирование плана проекта. На 3-м этапе проекта осуществляется непосредственная его реализация. На заключительном, 4-м этапе выполняется расчет эффективности проекта, производится анализ достигнутых результатов [2].

Проектом необходимо решить задачи реорганизации системы управления по эксплуатации автодорог, модернизации системы содержания автодорог, включая создание автоматизированных систем, модернизации системы ремонтов автодорог:

Направление	Задачи
1. Реорганизация	1. Создание новой организационной структуры управления 1.1. Оценка эффективности работы существующей оргструктуры 1.2. Изменение оргструктуры 1.3. Укомплектование штата 1.4. Распределение полномочий и разработка системы мотиваций 2. Внедрение новой оргструктуры <i>Итог – новая организационная структура</i>

Направление	Задачи
2. Содержание дорог	<p>1. Создание нового контракта по содержанию автодорог и мостовых сооружений</p> <p>1.1. Анализ существующей ситуации</p> <p>1.2. Анализ опыта работы других регионов</p> <p>1.3. Разработка проекта контракта по содержанию</p> <p>1.3.1. Разработка требований к эксплуатационному состоянию</p> <p>1.3.2. Разработка системы санкций к подрядным организациям</p> <p>1.3.3. Согласование и внесение изменений в проект контракта</p> <p><i>Итог – новый контракт по содержанию</i></p> <p>1.4. Разработка новых критериев оценки претендентов</p> <p>1.5. Содержание автомобильных дорог (выбор подрядчика и проведение работ)</p> <p>1.6. Паспортизация и инвентаризация автодорог (выбор подрядчика и проведение работ)</p> <p>1.7. Создание «новых» нормативов по содержанию автодорог и мостовых сооружений</p> <p>1.8. Анализ состояния дорог</p> <p>1.8.1. Разработка критериев оценки эксплуатационного состояния дорог</p> <p>1.8.2. Оценка фактических показателей</p> <p>1.8.3. Корректировка проекта контракта с учетом изменений</p> <p><i>Итог – формирование проекта бюджета с учетом уточненной БД и изменения норматива</i></p>
3. Создание сети ДМС	<p>1. Закупка оборудования</p> <p>2. Разработка проекта сети ДМС</p> <p>3. Монтаж и наладка системы ДМС</p> <p><i>Итог – постоянное информационное обеспечение эксплуатации автодорог</i></p>
4. Планирование ремонтов автодорог	<p>1. Диагностика автомобильных дорог и сооружений на них</p> <p>1.1. Покупка передвижных лабораторий</p> <p>1.2. Наем специалистов</p> <p>1.3. Обучение персонала</p> <p>1.4. Сертификация оборудования и формирование регламентов</p> <p>1.5. Проведение работ по диагностике</p> <p>1.6. Оценка интенсивности и состава движения</p> <p>1.7. Формирование отчетов ТЭС дорог</p> <p>2. Формирование базы данных</p> <p>2.1. Загрузка информации в формат «Титул 2005»</p> <p>3. Создание инструмента (программного обеспечения) управления БД</p> <p><i>Итог – разработка плана ремонтов на 2012–2013 гг.</i></p>
<i>Итог – внесение предложений в Правительство Пермского края по изменению бюджетных ассигнований дорожной отрасли</i>	

Для обеспечения контроля достижения результатов проекта создан реестр контрольных точек с показателями достижения и допустимыми отклонениями по срокам (рис. 1).

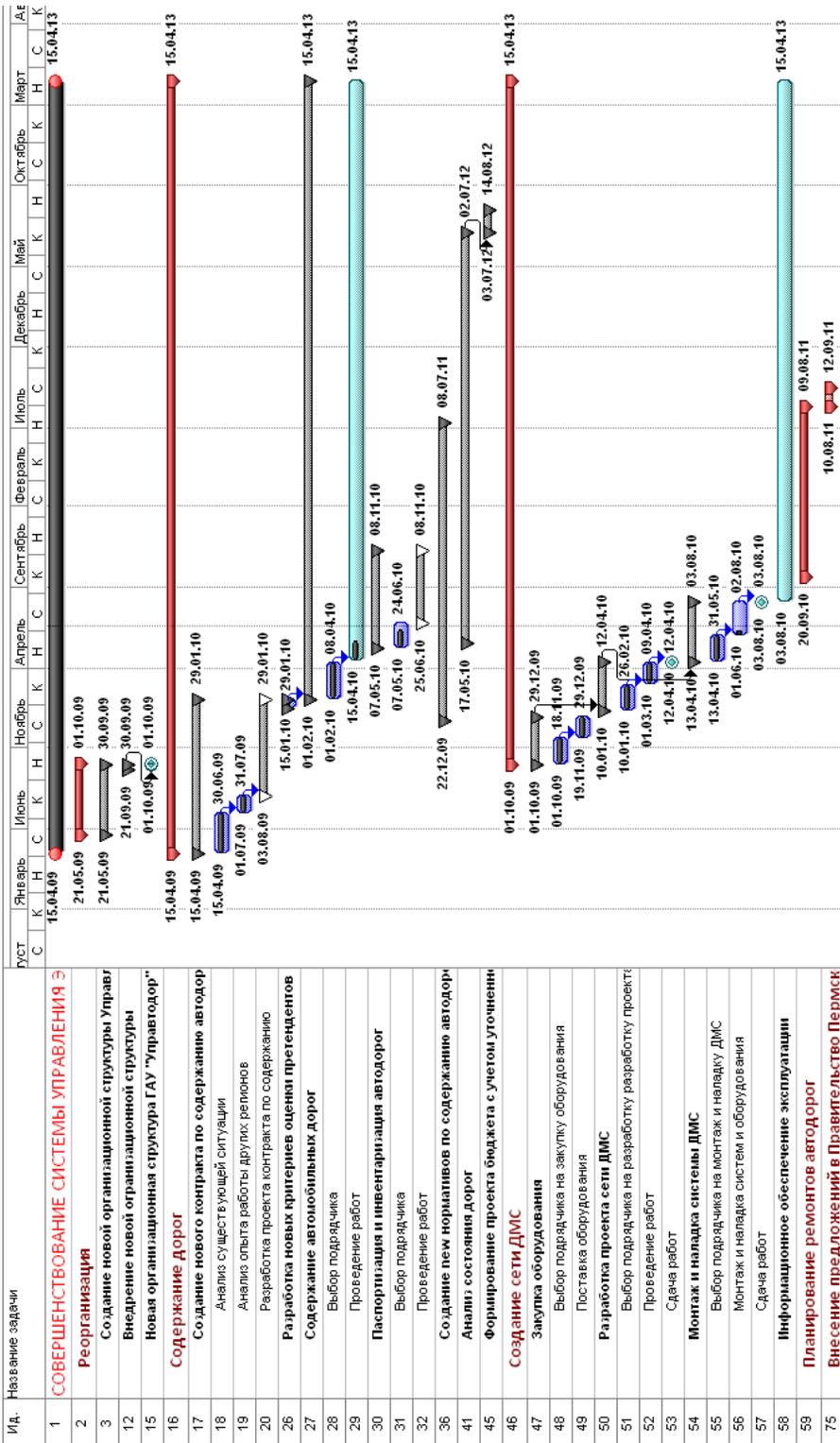


Рис. 1. Календарный план проекта

Для осуществления данного инвестиционного проекта в 2010–2013 гг. необходимо 10,7 млрд руб. Основная статья расходов – ремонт автомобильных дорог, включает в себя оплату проектно-изыскательских работ, работ по капитальному ремонту, ремонту и планово предупредительных работ.

По результатам торгов возможна экономия бюджета на 7–10 %, что примерно может составить 850 млн руб. Сэкономленные финансовые средства по мере вероятности их освоения необходимо направлять либо на увеличение объема ремонтных работ с использованием малозатратных технологий, либо на выполнение программ по повышению безопасности дорожного движения [4].

Проект имеет 4 значимых риска, наступление которых может привести либо к полному отсутствию возможности выполнения проекта, либо к недостижению одного или нескольких целевых показателей: снижение существующего финансирования работ и неувеличение финансирования до требуемого объема, смена приоритетов, необеспечение в ходе выполнения проекта основных показателей качества выполнения работ, а также применение неверных инструментов управления.

Для успешной реализации проекта и достижения ключевых показателей эффективности необходимо постоянное выполнение мероприятий по недопущению возникновения или снижению последствий наступления данных рисков.

Известно, что уровень развития и техническое состояние дорожной сети оказывает значительное влияние на социально-экономическое развитие страны, поэтому при оценке экономической эффективности использованы три группы показателей:

- 1) *транспортный эффект*, характеризующий прямую выгоду пользователей дорог от улучшения дорожных условий в виде снижения себестоимости перевозок;
- 2) *социально-экономический эффект*, возникающий в связи с повышением удобства и безопасности сообщения, сокращением времени пребывания пассажиров в пути, снижением потерь от дорожно-транспортных происшествий;
- 3) *внетранспортный экономический эффект* в других отраслях экономики вследствие активизации предпринимательской деятельности.

Для достижения ключевых показателей эффективности проекта для каждой проектной единицы разработаны цели и выполнено четкое распределение ролей и ответственности всех участников проекта. Разработана система мотивации, которая призвана связать результаты каждого с результатами всей проектной команды.

В настоящий момент проект находится на стадии реализации и уже достигнут ряд ключевых позиций. Проведена реорганизация управления, позволившая оптимизировать штат, создано автономное (а в 2012 г. реорганизовано в бюджетное) учреждение с четкой и понятной структурой взаимодействия и подчинения, совершенствуется система мотивации персонала.

Для улучшения качества выполнения работ и повышения напряженности на рынке содержания автодорог разработана новая редакция контракта и специальные критерии оценки претендентов на право заключения контракта. Проведены торги по содержанию и заключены контракты сроком на 3 года, экономия на содержании автодорог по результатам торгов составила 228 млн руб.

Использование новой системы оценки претендентов при проведении торгов позволило избежать демпинга, а также дала возможность заключения контрактов с подрядными организациями, имеющими лучшие ресурсы для выполнения работ и обеспечения требований контракта. В результате чего на рынок работ по содержанию пришло 8 новых подрядчиков, напряженность на рынке увеличилась в 2,7 раза, что в свою очередь должно привести к увеличению качества выполнения работ.

Распределение подрядных организаций по территории Пермского края можно увидеть на рис. 2.

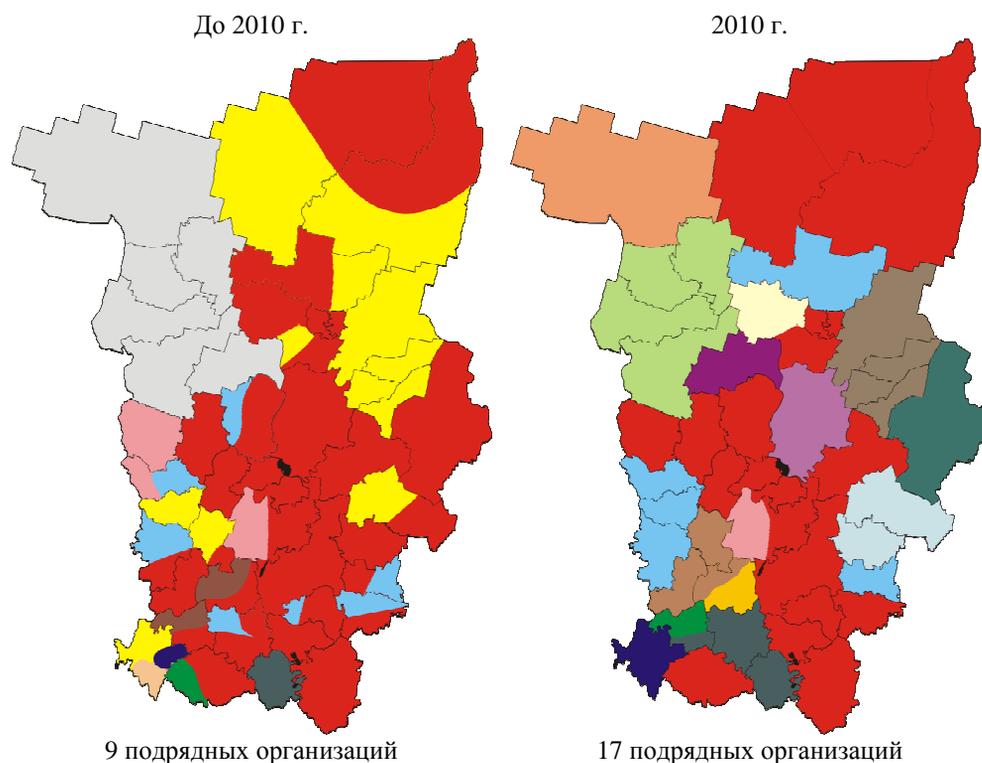


Рис. 2. Распределение подрядных организаций на рынке содержания автодорог Пермского края

Линейно увеличился объем финансирования ремонта региональных автодорог, на 2011 г. – 2,4 раза. Программа ремонта сосредоточена на автодорогах с наибольшими транспортными потоками, протяженными участками, с целью дополнительно создать комфортные и безопасные условия для дви-

жения транспорта. После проведенных мероприятий доля региональных автодорог, соответствующих транспортно-эксплуатационным требованиям, увеличилась в 2011 г. до 69 %.

Для получения максимального эффекта по окончании проекта необходимо создать постоянно действующие процессы:

1. Проведение диагностики с формированием базы данных.
2. Формирование и выполнение программы ремонтных работ на основе данных об изменении ТЭС дорожной сети.
3. Выполнение работ по содержанию с обязательным условием обеспечения требований сроков и качества выполнения работ и использованием прогнозных и оперативных данных сети ДМС.
4. Повышение квалификации всех сотрудников управления.

Представленный проект является социально и экономически значимым для Пермского края. Его актуальность особенно возрастает в условиях ограниченного финансирования, когда особенно важно правильно расставлять приоритеты и принимать правильные решения.

Список литературы

1. Грант Р. Современный стратегический анализ. – СПб.: Питер, 2008. – 560 с.
2. Маслов Д.В., Вылгина Ю.В. Современные инструменты управления: модель совершенствования EFQM: учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2006. – 107 с.
3. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 г. № 1734-р «О транспортной стратегии Российской Федерации».
4. Постановление Правительства РФ от 05.12.2001 г. № 848 (ред. от 22.04.2010 г.) «О федеральной целевой программе "Развитие транспортной системы России (2010–2015 гг.)"».

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

О.В. Ковалева, А.Б. Стефанов, Н.А. Пушкина

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены основные ошибки при возведении объектов транспортной инфраструктуры. Предложено проведение строительного контроля на основе анализа и составления реестра рисков.

***Ключевые слова:** качество, строительный контроль, оценка рисков, транспортная инфраструктура, нарушение нормативов.*

В разных странах вопрос об управлении качеством в строительстве решался по-разному. Стандарты ISO серии 9000 создали базу для системы качества в строительстве. Тем не менее единого международного стандарта, учитывающего особенности строительной отрасли, пока нет. В отдельных странах существуют национальные стандарты, созданные на основе ISO 9001, которые принимают во внимание специфику строительной индустрии.

В России национальных стандартов по системе управления качеством в строительстве, созданных на базе ISO 9001, не разработано. Существуют только отдельные методические рекомендации, построенные на основе стандартов версии 1994 г.

В общем понимании менеджмент качества в России заключается в понятии «строительный контроль», который прочно вошел в повседневную жизнь подрядных организаций и заказчиков строительства благодаря принятию нового градостроительного кодекса РФ (№ 190-ФЗ от 29 декабря 2004 г.).

Цель заказчика строительства – получить качественный результат с наименьшими экономическими и временными затратами. Задача коммерческой подрядной организации – максимальная прибыль и возможность получения дальнейшего заказа. Причем организация, работающая в условиях конкуренции – это хозяйственный механизм, который функционирует для того, чтобы выпустить продукцию, выполнить работы или оказать услуги с таким качеством и по такой цене, которые бы удовлетворяли различные потребности общества. Поэтому качество продукции, работ и услуг является одной из основных целей действующего хозяйственного механизма организации и основным орудием конкуренции.

Требования потребителя включаются в нормативные документы. Однако сами по себе нормативные документы не могут быть гарантией качества, тем более что в настоящее время еще не закончена работа по их актуализации, т.е. если хозяйственный механизм организации не содержит соответствующих элементов, обеспечивающих соблюдение требований потребителя, то их обеспечение крайне затруднительно, а порой и невозможно.

Опыт работы специалистов Сибирского государственного университета путей сообщения, в том числе при реализации муниципальных и государственных программ, показывает, что постоянно меняющиеся условия строительства (в том числе технические требования к продукции и динамично развивающиеся рынки новых строительных материалов) требуют более оперативного решения различных вопросов, связанных с качеством работ.

Например, в соответствии с № 94-ФЗ от 21.07.2005 г. основной критерий, позволяющий организациям выигрывать конкурсы и аукционы на выполнение проектных и строительно-монтажных работ, – это стоимость. При этом начальная стоимость работ определена исходя из рыночных условий и соответствует фактическим условиям выполнения работ, ее достоверность проверена соответствующими экспертами (в соответствии с постановлениями правительства РФ № 145 от 05.03.2007 г., № 427 от 18.05.2009 г.). Данный фактор вынуждает проектные и строительно-монтажные организации снижать себестоимость продукции по результатам проведенных торгов, что, соответственно, влечет за собой изменение некоторых параметров, функциональные и количественные значения которых определены в соответствии с действующими нормативами.

Определение перечня и величин отклонений этих параметров, их учет, в том числе еще на стадии инженерной подготовки строительства, проводимой подрядной организацией, позволит оценить возникающие риски, связанные с реализацией конкретных проектов, что в конечном итоге гарантирует обеспечение надежности объекта на протяжении всего срока эксплуатации (эксплуатационная надежность).

Другой фактор, напрямую влияющий на качество продукции (объекта строительства), – это часто встречающаяся в строительной отрасли практика формального подхода к освидетельствованию скрытых работ, которые оказывают влияние на безопасность объекта капитального строительства. При этом исполнительная документация формируется только при окончании этапов строительства и часто не отражает фактическое состояние конструкций. Также в начале работ и в процессе строительства зачастую отсутствует единый реестр исполнительной документации, который включает в себя не только акты приемки работ и конструкций, но и специальные журналы по видам работ, лабораторные и инструментальные измерения и пр.

По существующим нормативным положениям весь контроль качества строительства можно разделить на три основных этапа: проект, строительство, приемка объекта. В последнее время выпущено достаточное количество норма-

тивных материалов (в том числе СП 48.13330.2011, СДОС-03–2009, СДОС-04–2009, Постановление Правительства РФ № 468 от 21 июня 2010 г. и пр.), раскрывающих ст. 53 Градостроительного кодекса РФ и позволяющих качественно организовать работу строительного контроля. Для этого в соответствии со спецификой строительства со стороны инвесторов целесообразно привлекать высококвалифицированных специалистов или организации, не зависящие от проектных и подрядных организаций. Однако в данном случае суть контроля заключается в основном в констатации уже свершившегося события, и в случае отклонений для приведения в соответствие параметров строящегося объекта требуются дополнительные затраты (временные, ресурсные и пр.).

Нередко возникают ситуации, когда еще не введенное в эксплуатацию сооружение требует ремонта, если конструкции сооружаются заведомо с отклонениями от проектных параметров. Также следует учитывать, что влияние на конечный продукт оказывают не только применяемые материалы, конструкции, изделия, но и сама технология работ, соблюдение всех циклов и процессов. Как правило, снижение эксплуатационной надежности сооружения возникает, когда какие-то параметры конструкций или процессов превышают предельно-допустимые значения, при этом разработка полноценного комплекса компенсационных мероприятий не выполнена. Как правило, подрядчики стараются минимизировать затраты на компенсационные мероприятия или даже умолчать о браке.

Для решения подобных задач и оценки возможностей реализации требований в области качества проектирования и строительства в существующих условиях в первую очередь необходимо определить те факторы, которые могут негативно повлиять на реализацию проекта, провести так называемый анализ рисков. При расчете рисков и обеспечения безопасности сооружений используются различные методы: статистические, аналитические, экспертных оценок. Данные методы имеют достаточное практическое применение, в данной статье мы не будем давать их оценку, однако следует отметить, что выбор метода зависит от многих параметров и от правильности его использования зависит достоверность получаемых результатов.

В строительной отрасли, в том числе при строительстве объектов транспортной инфраструктуры, наиболее значимые параметры возникающих рисков проявляются, как правило, непосредственно на стадии строительства, когда типовые и неоднократно применяемые проектные решения реализуются в условиях нестабильного финансирования, в крайне сжатые сроки, при кадровом и техническом дефиците, в том числе с учетом факторов, описанных ранее.

Несмотря на многообразие методов расчета рисков и обеспечения безопасности сооружений в России большинство объектов проектируется, строится и эксплуатируется без проведения соответствующего анализа. Но даже на тех объектах, на которых введена система анализа рисков или работает группа строительного контроля, не всегда исключена вероятность возникновения брака.

Для определения причин сложившейся ситуации специалистами СГУПС выполнены исследования, основанные на анализе основных замечаний и несоответствий, встречающихся на стадии производства работ, выявленных при осуществлении инженерного сопровождения, технического надзора и строительного контроля объектов транспортной инфраструктуры за период с 2005 по 2011 г. Перечень этих замечаний приведен в таблице.

Замечания и несоответствия, встречающиеся
на стадии производства работ

№ п/п	Наименование	Замечания, %
1	Несоблюдение графика строительства, невыполнение соответствующих корректировок с учетом изменений параметров строительства	9
2	Отсутствие или несоответствие нормам организационно-технологической документации (в том числе проектов производства работ)	8
3	Невыполнение входного контроля подрядными организациями (или недостоверный контроль)	5
4	Невыполнение или некачественное проведение подготовительных работ (подготовка площадок, устройство водоотведения и пр.)	7
5	Нарушение порядка освидетельствования работ, конструкций, участков сетей	7
6	Несоответствие выполненных конструктивных элементов проекту (производственный брак, без учета замечаний операционного контроля)	11
7	Несоблюдение порядка по оформлению дополнительных работ и корректировок проектных решений подрядными организациями	12
8	Несвоевременное оформление исполнительной документации	8
9	Несоблюдение правил оформления исполнительной документации	7
10	Нарушение правил ведения общего и специальных журналов	5
11	Несоответствие положения (плановое, высотное) конструктивных элементов	3
12	Несоблюдение требований по актуализации технических условий	2
13	Разрушение существующих конструкций (в том числе построенных ранее) в процессе производства работ	7
14	Грубые нарушения требований ТБ	5
15	Недостаточность лабораторного и геодезического контроля подрядчиков	4
	Итого	100

По приведенному перечню замечаний видно, что все несоответствия можно разделить на три основные группы:

1. Невыполнение нормативных требований по проведению организационно-технологической подготовки строительства (26 %).

Эти нарушения связаны в основном с недостаточным контролем со стороны заказчика, так как зачастую время от принятия решения на строительство до начала реализации проекта (выход подрядчика на объект) не позволяло подрядным организациям осуществлять соответствующую подготовку, и требования к ее проведению снижались. Однако в этой ситуации, как показала практика, достаточно утвердить соответствующий перечень документации и сроки ее разработки, эти требования включать в состав технического задания на стадии проведения процедур госзакупок.

К сожалению, не являются исключением случаи, когда строительство начинается до окончания проектных работ и окончательной проработки основных узлов в рабочей документации. Однако в подобных ситуациях важно давать соответствующую оценку в вопросах организации и подрядчик совместно с заказчиком должны предусматривать необходимые процедуры компенсации этих отступлений от нормативных требований. Одним из возможных решений является усиление групп авторского надзора, способных на месте принимать и оформлять необходимые проектные решения.

2. Допущение сверхнормативных отклонений в параметрах объекта или его конструктивных элементов (35 %).

Анализируя основные замечания по этой группе нарушений, можно увидеть, что они во многом являются следствием непроведения соответствующей подготовки строительства, также нарушения в процессе производства работ вызваны и недостаточной квалификацией инженерно-технического персонала и рабочих специалистов. Здесь все зависит от подхода руководителей подрядных организаций, правильно расставленных приоритетов и постановки соответствующих задач исполнителям.

3. Нарушение нормативных требований при оформлении результатов работ (39 %).

В этой группе нарушения, на наш взгляд, вызваны в первую очередь непроработкой в подрядных организациях соответствующих организационно-технических документов. В данном случае только в немногих крупных организациях разработаны соответствующие регламенты и стандарты предприятий. Исполнители зачастую не информированы о предъявляемых к этим работам нормативным требованиям.

При проведении анализа оценивались только выполняемые строительномонтажные работы, однако необходимо отметить, что имеют место факты, когда снижение качества работ, вызывающих дополнительные эксплуатационные затраты или, наоборот, необоснованные запасы прочности, приводящие к удорожанию или увеличению сроков строительства, происходят по причине недостаточной проработки проектных решений. Часто имеет смысл подвергнуть негосударственной экспертизе экономическую целесообразность того или иного проекта. Предметом экспертизы может также выступить обоснованность принятых проектных решений, конструктивных элементов, социальная значимость объекта и ряд других аспектов.

Из представленного материала видно, что практически все возникающие риски при строительстве объектов транспортной инфраструктуры связаны с организационными недоработками, т.е. отсутствием механизма, позволяющего отслеживать проблемы, принимать вовремя решения, согласовывать их с остальными участниками проекта.

Строительство объектов транспортной инфраструктуры, как правило, представляет собой самый сложный многоуровневый проект, и в процессе работ над объектами специалисты университета пришли к выводу, что процессы управления проектами могут быть разбиты на пять основных групп, реализующих различные функции управления:

- 1) Инициация – принятие решения о начале выполнения проекта;
- 2) Планирование – определение целей и критериев проекта, разработка документации для их достижения;
- 3) Исполнение – координация организаций и других ресурсов для реализации проекта;
- 4) Анализ – определение соответствия графика и фактического исполнения проекта, принятие решений о необходимости применения корректирующих воздействий;
- 5) Завершение – оформление выполнения проекта и ввод в эксплуатацию.

Представленные процессы управления позволяют полностью контролировать процесс строительства и, соответственно, максимально снизить вероятность возникновения рисков. Рассмотренная схема выходит за рамки строительного контроля (технического надзора), договоры по которым разрешены законодательством. А содержать отдел управления проектами может позволить себе только крупная корпорация. Выход из сложившейся ситуации видится во введении комплексного технического надзора со стадии проектно-изыскательских работ.

Опыт проведения работ по контролю и сопровождению различных объектов, в том числе при строительстве Новосибирского метрополитена, объектов транспортной инфраструктуры в г. Томске, Сочи, Владивостоке, позволили разработать систему управления основными рисками при реализации муниципальных и государственных заказов. Организовано создание реестра рисков, который охватывает основные виды деятельности, связанные со строительством. В результате анализа реестра разработаны предложения по проведению соответствующих компенсационных мер. Созданный реестр регулярно обновляется в период реализации того или иного проекта.

Первоначальная оценка складывается из определения нежелательных факторов и ситуаций, возникновение которых теоретически возможно (качественный анализ), и количественной оценки вероятности их возникновения (количественный анализ). Действие неблагоприятных факторов ведет к недопустимому сценарию.

Задачей качественного анализа является выявление источников и причин риска, этапов и работ, при выполнении которых возникает риск, т.е.:

- определение потенциальных процессов, в ходе которых возможны сбои;
- выявление проблем, сопутствующих деятельности предприятия (смежные отрасли);
- прогнозирование возможных негативных последствий проявления выявленных отклонений.

Результаты качественного анализа риска, в свою очередь, служат исходной информацией для проведения количественного анализа, т.е. оцениваются только те факторы, которые присутствуют при осуществлении конкретной операции.

Количественный анализ в некоторых случаях можно формализовать, для чего используется инструментарий теории вероятностей, математической статистики, теории исследования операций. Наиболее распространенными методами количественного анализа риска являются статистические, аналитические, метод экспертных оценок, метод аналогов.

Преимущество такого подхода заключается в том, что уже на начальном этапе анализа руководитель может наглядно оценить степень рискованности по количественному составу рисков и уже на этом этапе отказаться от претворения в жизнь определенного решения.

Использование системы управления основными рисками при реализации муниципальных и государственных заказов помогает:

1. Разработать оптимальную схему финансирования работ.
2. Составить план работ, включающий сроки исполнения работ, потребление ресурсов, необходимые затраты.
3. Осуществлять анализ и управление проектными рисками.
4. Оптимально организовать исполнение работ и взаимодействие участников проекта.
5. Осуществлять планирование и управление качеством.
6. Оптимально планировать и управлять контрактами.
7. Анализировать отклонения фактического хода выполнения работ от запланированного и прогнозировать последствия возникающих отклонений.
8. Моделировать корректирующие воздействия на информационных моделях проектов и принимать обоснованные управленческие решения.
9. Вести архивы проектов и анализировать опыт их реализации, который может быть использован в других проектах, и т.д.

В дальнейшем нормирование этих процессов, учитывая российскую специфику отрасли и их широкое внедрение, позволит гарантированно снизить количество техногенных катастроф и аварий, все чаще происходящих в последнее время.

ОЦЕНКА РИСКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

О.А. Бендер

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Используемые методы контроля качества дорожного покрытия, инструментальные средства измерения и нормативная база в системе управления качеством содержания и ремонта автомобильных дорог порождают риски производителя работ и риски заказчика строительных работ. Предложена методика и модели количественной оценки и прогнозирования данных рисков.

Ключевые слова: автомобильные дороги, капитальный ремонт, контроль качества, риск изготовителя, риск заказчика работ.

В системе контроля качества дорожного покрытия, который осуществляется периодически в рамках мониторинга или иных мероприятий, ключевая роль отводится инструментальным средствам измерения и методам, опирающимся на данные технические средства. Результаты контроля зависят не только от метрологических показателей инструментальных средств, но, как отмечено в ряде работ, даже в большей степени от нормативной базы, статистических характеристик контролируемых параметров и законов их распределения [1].

В связи с тем, что процесс измерения сопровождается случайной погрешностью, в системе контроля возникают в обязательном порядке ошибки принятия решений, которые являются рисками, так как приводят к определенным экономическим и социальным потерям [2]. Во многих работах приводятся данные, из которых следует, что транспортно-эксплуатационные расходы и безопасность движения в значительной мере зависят от ровности дорожного покрытия и контроль этого параметра является обязательным как на стадии строительства, так и в процессе эксплуатации, поэтому риски в системе контроля ровности дорожного покрытия очень тесно коррелируют с экономическими и социальными потерями.

Исследование процесса изменения модуля упругости дорожной одежды в эксплуатационных условиях детально проводилось профессором О.А. Красиковым, и было установлено, что распределение модуля упругости на разных участках тяготеет к двум законам – нормальному и закону Вейбулла [3].

Для случая, когда контролируемый параметр подчиняется закону Вейбулла, а погрешность измерения – нормальному закону, $P_{л.б}$ – вероятность ложного брака (риск изготовителя) и $P_{н.б}$ – вероятность необнаруженного брака (риск заказчика работ) определяются по формулам работы [1].

Риск изготовителя – это риск строительной организации, которая несет излишние материальные и, в конечном итоге, финансовые затраты. Риск заказчика также связан с финансовыми затратами, но в более отдаленной перспективе.

Для использования выражений в целях количественной оценки и прогнозирования указанных рисков на конкретном примере контроля ровности и шероховатости дорожного покрытия необходимы данные по точностным показателям приборов, используемых на практике для измерения данных параметров. Точностные показатели рекомендуемых средств измерения ровности и шероховатости приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Погрешность измерения параметров качества автомобильных дорог

Наименование контролируемых параметров	Качество измерения		Нормативы
	Погрешность	Средства измерения	
Ровность покрытия	1 см (25 %)	Толчкомер ТЭД-2М	100–125 см/км
	7–9 %	Профилометр	4 м/км (IRI)
	15 %	3-метровая рейка	3 мм
Шероховатость покрытия	± 1 мм	Профилометр	
Коэффициент сцепления	$\pm 0,02$		

Ряд параметров рекомендуется контролировать при строгом соблюдении скоростного режима в пределах 60 ± 5 км (60 ± 2 км). Вместе с тем анализ погрешности измерения скорости движения на современных автомобилях показал, что она колеблется в диапазоне от 8 до 15 %.

Кроме приведенных в табл. 1 приборов, существуют и другие инструментальные средства, разрабатываются перспективные приборы, использующие новые физические принципы измерения. С целью оценки и прогнозирования эффективности практического использования различных средств измерения возникла необходимость исследовать и представить в графической форме зависимость величины рисков от соотношения погрешности измерения к среднему квадратическому отклонению контролируемых параметров ровности и шероховатости дорожного покрытия при заданных нормативах. Был разработан алгоритм и программный комплекс для расчета указанных рисков по аналитическим выражениям [1].

Функциональное назначение программного комплекса оценки и прогнозирования рисков заключается:

- в количественной оценке рисков производителя строительных работ;
- количественной оценке рисков пользователя автомобильными дорогами;

– оценке достоверности процесса принятия решений в системе контроля качества капитального ремонта автомобильных дорог в условиях статистической неопределенности.

На базе представленных в табл. 1 данных и разработанного программного обеспечения был проведен компьютерный эксперимент. Результаты компьютерного эксперимента представлены на рис. 1. Графические модели рисунка могут быть использованы в качестве номограмм расчета вероятностей ложного и необнаруженного брака. Можно оценивать качество контроля при существующей нормативной базе и метрологических характеристиках инструментальных средств и методов измерения, а также прогнозировать эти риски при выборе средств контроля из предлагаемого списка.

Исследуя рис. 1, *а* и *б*, можно сделать вывод, что наибольшему влиянию подвержена вероятность появления ложного брака $P_{л.б}$. При значении погрешности измерения, соизмеримой с величиной σ_s , риск ложного брака $P_{л.б}$ может достигать 25 %. При увеличении среднеквадратического отклонения погрешности измерения вероятность ошибок при разных нормативах растет нелинейно, что необходимо учитывать при экономическом обосновании качества контроля, и тогда появляется возможность оптимизации точностных показателей средств контроля. При этом, как заметно из графиков, влияние вариации нормативов значительно выше, чем влияние погрешности.

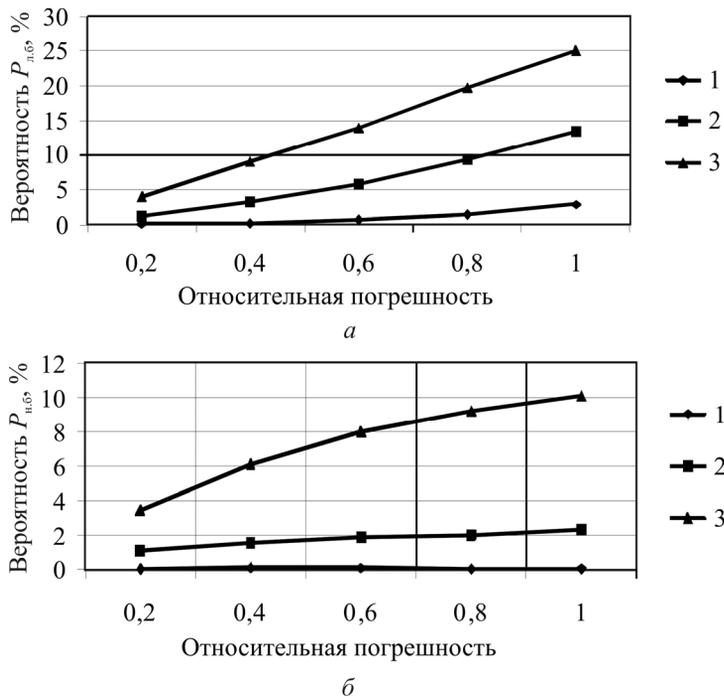


Рис. 1. Номограммы расчета рисков: *а* – $P_{л.б}$; *б* – $P_{н.б}$:
 1 – значение нижнего норматива $S_{cp} + \sigma_s$; 2 – значение нижнего норматива $S_{cp} + 2\sigma_s$;
 3 – значение нижнего норматива $S_{cp} + 3\sigma_s$

Полученные результаты могут быть использованы в качестве математического и программного обеспечения в автоматизированных системах принятия решений при строительстве и ремонте автомобильных дорог.

На графиках S_{cp} и σ_s – среднее и среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра.

Для оценки рисков в процессе контроля продольной ровности автомобильной дороги толчкомером воспользуемся табл. 1. Так, по данным [3], погрешность этого прибора составляет 25 %, или, в абсолютных единицах, 25 см/км. Норматив следует считать при оценке работ после капитального ремонта равным $S_{cp} + \sigma_s$, что соответствует кривой 1 (см. рис. 1). Тогда из номограмм следует, что $P_{л.б} = 10$ %, а $P_{н.б} = 6$ %. Вопрос, много это или мало, на данном этапе остается открытым, и в соответствии с рекомендациями [1, 3] его можно решить путем оптимизации либо экспертными методами.

Для оценки рисков в процессе контроля шероховатости автомобильной дороги прибором профилографом воспользуемся также табл. 1, из которой следует, что погрешность в абсолютных единицах составляет 1 мм.

Тогда среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра $\sigma_s = 0,5$ мм. Отношение $\sigma_{\phi} \sigma_s = 6/16 = 0,34$. Нижний норматив для среднешероховатой поверхности равен 1 мм. По номограмме следует выбрать кривую 2 (см. рис. 1), и тогда $P_{л.б} = 8$ %, а $P_{н.б} = 1,8$ %.

По численным значениям рисков производителя работ и заказчика строительных работ необходимо принять решения об их соответствии некоторым нормам, существующим в дорожной отрасли. Анализ литературы и нормативных документов не привел к положительным результатам, в связи с чем возникла необходимость в обосновании нормативных допусков на указанные риски.

Предварительно сведем расчетные значения вероятностей $P_{л.б}$ и $P_{н.б}$, полученные выше, в единую табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Расчетные значения рисков контроля

№ п/п	Контролируемые параметры	Риск производителя работ ($P_{л.б}$), %	Риск заказчика ($P_{н.б}$), %
1	Продольная ровность дорожного покрытия	10	6
2	Шероховатость дорожного покрытия	8	1,8

В автомобильно-дорожной отрасли существуют качественные лингвистические оценки для некоторых показателей качества. В поиске лингвистических оценок применительно к данной задаче можно использовать два подхода. Первый подход предполагает использование метода экспертных оценок, что внесет значительную субъективную ошибку, а второй подход, предлагаемый в данной статье, состоит в использовании обобщенной функции желательности Харрингтона [4]. Использование указанной

обобщенной функции позволяет преобразовывать качественные данные в количественные, и наоборот. Стандартные отметки на шкале желательности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Стандартные отметки на шкале желательности [4]

Баллы	Желательность	Отметки на шкале желательности (P)
5	«Очень плохо»	1,00–0,80
4	«Плохо»	0,80–0,63
3	«Удовлетворительно»	0,63–0,37
2	«Хорошо»	0,37–0,20
1	«Очень хорошо»	0,20–0,00

Данная шкала представлена ниже в графической форме на рис. 2.

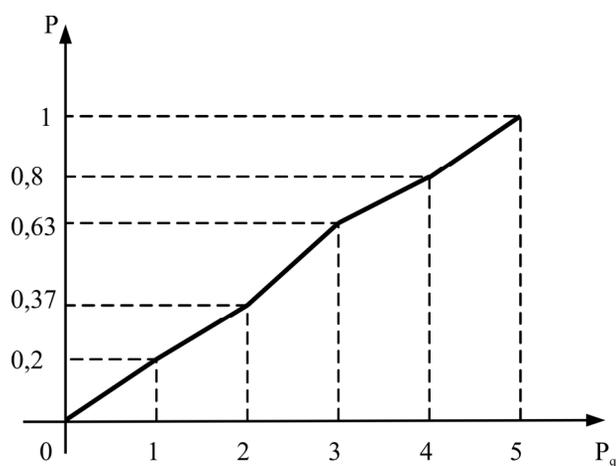


Рис. 2. Функция желательности

Весь диапазон нормированных значений вероятностей P (рисков) разбивается в соответствии с табл. 3 на следующие пять интервалов: 0–0,2; 0,2–0,37; 0,37–0,63; 0,63–0,8; 0,8–1,0. Каждому вероятностному количественному интервалу присваивается «вес» в описательной качественной интерпретации. В результате были разработаны качественные интервальные оценки и соответствующие им количественные значения рисков, представленные в табл. 4.

Количественные значения рисков позволяют сделать следующее заключение:

– используемые методы контроля качества дорожного покрытия, инструментальные средства измерения и нормативная база в системе управления качеством порождают риски производителя работ и риски заказчика строительных работ, которые в соответствии с классификацией можно отнести к маловероятным;

– значения полученных подобным образом количественных оценок рисков следует расценивать как предварительные, и по мере накопления статистического материала расчетные данные необходимо подвергать корректировке, что будет способствовать «интеллектуализации» системы.

Таблица 4

Классификация рисков по вероятности возникновения

Виды рисков	Оценки	
	Количественные оценки рисков Р (Р-вероятность)	Качественная интерпретация
Слабовероятные	$0,0 < P \leq 0,2$	Событие может произойти в исключительных случаях
Маловероятные	$0,2 < P \leq 0,37$	Редкое событие, но, как известно, уже имело место
Вероятные	$0,37 < P \leq 0,63$	Наличие свидетельств, достаточных для предположения возможности события
Достаточно вероятные	$0,63 < P \leq 0,8$	Событие может произойти
Практически возможные	$0,8 < P < 1,0$	Событие, как ожидается, произойдет

Вместе с тем автор считает, что в изученных материалах по метрологии измерений в дорожной отрасли отсутствует системный анализ структуры погрешностей по контролируемым параметрам, процессам и процедурам.

Список литературы

1. Кулешов В.К., Корнев В.А. Моделирование процессов контроля и принятия решений: монография; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. – 295 с.
2. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля. – М.: Транспорт, 1980. – 192 с.
3. Красиков О.А. Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог / КазГОСИНТИ. – Алматы, 2004. – 263 с.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 278 с.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ НА ПРОЕКТЫ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.А. Давыдов, А.А. Макенов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Освещены вопросы оптимального распределения финансовых средств на проекты дорожного строительства. Рассматриваются задачи оперативного перераспределения финансовых средств и оптимизации по критерию «время – затраты» модели управления строительными работами в нечетких условиях, что будет способствовать принятию оптимальных управленческих решений при реализации проектов дорожного строительства.

Ключевые слова: дорожное строительство, программа, проект, финансовые средства, управленческое решение, оптимизация.

Государственная программа дорожного строительства представляет собой сложную систему, которая подвержена воздействию множества внешних факторов. В некоторых случаях они могут оказывать существенное негативное влияние. Например, по договору строительного подряда подрядчик обязуется в установленный договором срок построить по заданию заказчика определенный объект либо выполнить иные строительные работы. Однако в действительности нередко встречаются такие случаи, когда завершение строительства объекта в установленный срок невозможно. Это может быть связано с различными факторами, а именно удорожанием строительных материалов, нарушением установленных в проектно-сметной документации обязательств со стороны подрядчика и т.п. [1].

В этом случае администратору программы для принятия управленческого решения необходимо оптимально перераспределить имеющиеся денежные средства между различными объектами дорожного строительства. Поэтому данная задача может быть, по нашему мнению, решена в два этапа. На первом этапе необходимо выполнить многокритериальный выбор объектов дорожного строительства для ускоренного финансирования методом максиминной свертки [2].

Целью данной задачи является упорядочение объектов строительства для ускоренного финансирования для достижения максимально приближенных к плану показателей реализации государственной программы дорожного строительства.

Например, пусть имеется множество объектов-альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ и множество критериев оценки $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$.

Множество критериев оценки включает в себя: степень завершенности объекта (C_1), количество элементов в объекте (сложность объекта) (C_2), протяженность участка дорожного строительства (или другой результирующий показатель объекта) (C_3), рейтинг подрядчика (C_4). Последний критерий должен складываться из следующих характеристик: наличия опыта, материально-технической базы, собственной рабочей силы у подрядчика и т.д.

Пусть $\mu_{C_i}(a_j)$ – число в диапазоне $[0,1]$, которое характеризует уровень оценки варианта $a_j \in A$ по критерию $C_i \in C$: чем больше число $\mu_{C_i}(a_j)$, тем выше оценка варианта a_j по критерию C_i , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Оценку объектов по каждому i -му критерию представляются в виде нечеткого множества \tilde{C}_i :

$$\tilde{C}_i = \{\mu_{C_i}(a_1)/a_1, \mu_{C_i}(a_2)/a_2, \dots, \mu_{C_i}(a_m)/a_m\},$$

где $\mu_{C_i}(a_j)$ – степень принадлежности элемента a_j нечеткому множеству \tilde{C}_i .

Степени принадлежности нечеткого множества находятся методом построения функций принадлежности на основе парных сравнений. При этом необходимо сформировать диагональные обратно симметричные транзитивные матрицы парных сравнений объектов по каждому критерию. Затем нечеткие множества \tilde{C}_i определяются по следующей формуле:

$$\mu(a_i) = \frac{1}{a_{1i} + a_{2i} + \dots + a_{mi}}. \quad (1)$$

Критерии могут иметь различную значимость при определении наиболее рационального варианта. В этом случае необходимо построить матрицу парных сравнений критериев. Весовой коэффициент критерия β_i определяется на основании вычисленных значений правого собственного вектора матрицы парных сравнений $\acute{\alpha}_i$ с последующим умножением на число критериев n :

$$\beta_i = \acute{\alpha}_i n,$$

причем весовые коэффициенты должны удовлетворять следующим условиям $\beta_i \geq 0$; $i = \overline{1, n}$; $(1/n) \sum_{i=1}^n \beta_i = 1$, или используем формулу (1).

Для выбранных критериев также необходимо построить матрицу попарных сравнений.

Правило выбора лучшей альтернативы представляется как пересечение нечетких множеств, которые соответствуют критериям:

$$D = C_1^{\beta_1} \cap C_2^{\beta_2} \cap \dots \cap C_n^{\beta_n}.$$

При этом операции пересечения соответствуют взятию минимума

$$\mu_D(a_j) = \min_{i=1, \dots, n} (\mu_{c_i}(a_j))^{\beta_i}, j = 1, \dots, m, \tilde{D} = \left\{ \frac{\min_{i=1, n} (\mu_{c_i}(a_1))^{\beta_i}}{a_1}, \dots, \frac{\min_{i=1, n} (\mu_{c_i}(a_m))^{\beta_i}}{a_m} \right\}.$$

Лучшая альтернатива a^* определяется как наибольшее значение функции принадлежности $\mu_D(a^*) = \max_{j=1, m} \mu_D(a_j)$.

Таким образом может быть получен упорядоченный список объектов дорожного строительства для ускоренного финансирования, т.е. для каждого j -го строительного объекта устанавливается приоритет выделения денежных средств $\mu_D(a_j)$, $j = \overline{1, m}$.

Далее на втором этапе администратору программы необходимо принять решение о распределении денежных средств, выделяемых в течение некоторого календарного периода. Например, объем имеющихся для распределения денежных средств составляет R . Потребность объектов дорожного строительства $j = \overline{1, m}$ в финансировании r_j , $j = \overline{1, m}$. Альтернативные переменные, которые характеризуют выбор при распределении денежных средств, имеют следующий вид:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-му объекту выделяются денежные средства} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$j = \overline{1, m}.$$

С учетом приоритетов $\mu_D(a_j)$, $j = \overline{1, m}$ в качестве критерия оптимизации принимается максимизация уровня достижения цели при возможном распределении денежных средств между объектами финансирования:

$$\sum_{j=1}^m \mu_D(a_j) x_j \rightarrow \max. \quad (2)$$

В качестве ограничения выступают объемы денежных средств, которые имеются для распределения:

$$\sum_{j=1}^m r_j x_j \leq R. \quad (3)$$

При объединении критериев оптимизации (2) и ограничения (3) получим следующую оптимизационную модель:

$$\sum_{j=1}^m \mu_D(a_j) x_j \rightarrow \max,$$

$$\sum_{j=1}^m r_j x_j \leq R,$$

$$x_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, j = \overline{1, m}.$$

Для определения целочисленного оптимально возможного плана перераспределения может быть использован так называемый метод отсечения, который предложен Гомори [3].

После оперативного перераспределения администратором финансовых средств между строительными объектами государственной программы дорожного строительства подрядчикам необходимо пересмотреть сетевые графики технологии строительства объектов с целью уменьшения времени их реализации за счет привлечения дополнительных ресурсов, т.е. решить задачу оптимизации сетевого графика по критерию «время – затраты».

Оптимизацию по критерию «время – затраты» целесообразно проводить только тогда, когда длительность выполнения работ может быть уменьшена за счет повышения затрат на выполнение работ.

Для оценки величины дополнительных затрат, которые связаны с ускорением выполнения той или иной работы, могут быть использованы либо нормативные данные, либо данные о выполнении аналогичных работ в предыдущие годы.

Исходными данными для проведения оптимизации являются:

- $T_n(i, j)$ – нормальная длительность работы,
- $T_y(i, j)$ – ускоренная длительность,
- $C_n(i, j)$ – затраты на выполнение работы в нормальный срок,
- $C_y(i, j)$ – затраты на выполнение работы в ускоренные сроки.

Каждая работа имеет некоторый максимальный запас времени для сокращения своей деятельности $Z_{\max}(i, j) = T_n(i, j) - T_y(i, j)$. Для анализа сетевой модели в данном виде оптимизации используется коэффициент нарастания затрат (коэффициент ускорения):

$$k(i, j) = [C_y(i, j) - C_n(i, j)] / [(T_n(i, j) / T_y(i, j))],$$

который количественно оценивает денежные средства или затраты на сокращение своей деятельности выполнения работы (i, j) на один день.

Если обозначить работы критического пути как $\{(i, j)_{кр}\}$, то его длительность L определяется как $L = \sum_{l \in \{(i, j)_{кр}\}} t_l$. Для сокращения L за счет дополни-

тельных сил и средств в первую очередь имеет смысл форсировать работы критического пути.

В условиях четких значений параметров сетевой модели задача оптимизации по критерию «время – затраты» формируется следующим образом, какие

дополнительные средства x_1, x_2, \dots, x_n и в какие критические работы $\{(i, j)_{\text{кр}}\}$ нужно вложить, чтобы уменьшить длину критического пути L .

Предположим, что при вложении дополнительных средств x_l в работу a_i сокращается время выполнения этой работы до времени $t'_l = f_l(x_l) < t_l$. При этом требуется определить значения переменных $x_1, x_2, \dots, x_l, \dots, x_n, x_l > 0, \forall l = 1, \dots, \left| \{(i, j)_{\text{кр}} \} \right|$ (дополнительные вложения) при которых бы выполнялось условие

$$L' = \sum_{l \in \{(i, j)_{\text{Нов_кр}}\}} f_l(x_l) \leq L, \quad (4)$$

где $\{(i, j)_{\text{Нов_кр}}\}$ – множество работ нового критического пути (после определения средств), а общая сумма дополнительных средств была бы минимальной, т.е.

$$L = \sum_{l \in \{(i, j)_{\text{Нов_кр}}\}} x_l \rightarrow \min. \quad (5)$$

В общем виде ограничения (4) являются нелинейными, так как вложение каких-то средств в работу a_l не обязательно вызывает линейное уменьшение времени, которое затрачивается на эту работу. Поэтому задачи (4)–(5) в общем случае относятся к классу задач нелинейного программирования.

Алгоритм формирования множества работ критического пути, для которых возможно уменьшение продолжительности за счет привлечения дополнительных средств, содержит определенные шаги.

В описанных методах анализа сетевой модели управления строительными работами предполагалось, что время выполнения работ точно известно, однако в реальном процессе строительства объекта сроки выполнения работ обычно неопределенны. В задачах сетевого планирования с нечетко заданными продолжительностями работ T_j точно неизвестны и представлены нечеткими интервалами $(L-R)$ -типа. Оценками критического пути могут выступать ранний и поздний срок завершения всего комплекса работ.

Пусть известны самый ранний срок начала строительных работ на объекте $T_n(1,1,1)_{LR}$, самый поздний срок окончания строительных работ $T_o(L_p, L_n, 1,0)_{LR}$ и длительность работ T_{ji} .

Ранний срок начала i -й работы $t_{\text{рн}}(i)$ рассчитывается по формуле $\max \{t_{\text{рн}}(j) + T_{ji}, j \in P_i\}$, если P_i – непустое, и $T_n(1, 1, 1)_{LR}$ – в противном случае, P – множество работ, предшествующих i -й работе. Ранний срок окончания всего комплекса работ равен $L_p = \max \{t_{\text{ро}}(i)\}, i \in P$.

Поздний срок начала i -й работы $t_{\text{пн}}(i)$ рассчитывается по формуле $\min \{t_{\text{пн}}(j) - T_{ji}, j \in S_i\}$, если S_i – непустое, и $T_o(L_p, L_n, 1, 0)_{LR}$ – в противном случае, где S_i – множество работ, следующих за i -й работой. Поздний срок окончания всего комплекса работ $L_n = \max \{t_{\text{но}}(i)\}, i \in P$.

Для выполнения операций \max и \min используются арифметические операции аппроксимации.

Определение максимального и минимального из двух нечетких чисел $M = (m_1, m_2, \alpha, \beta)_{LR}$ и $N = (n_1, n_2, \gamma, \delta)_{LR}$ осуществляется по формулам [4]:

$$\max(M, N) \equiv (\max(m_1, n_1), \max(m_2, n_2), \max(m_1, n_1) - \max(m_1 - \alpha, n_1 - \gamma), \max(m_2 + \beta, n_2 + \delta) - \max(m_2, n_2))_{LR};$$

$$\min(M, N) \equiv (\min(m_1, n_1), \min(m_2, n_2), \min(m_1, n_1) - \min(m_1 - \alpha, n_1 - \gamma), \min(m_2 + \beta, n_2 + \delta) - \min(m_2, n_2))_{LR}.$$

Приведенный вариант аппроксимации используется последовательно для пар нечетких чисел и результатов их сравнения.

Разработанный алгоритм решения задачи оптимизации по критерию «время – затраты» сетевой модели управления строительными работами в нечетких условиях успешно реализуется в средах, которые поддерживают Fuzzy-технологии [5].

Список литературы

1. Подольский В.П., Глагольев А.В., Поспелов П.И. Технология и организация строительства автомобильных дорог: Земляное полотно. – М.: Академия, 2011. – 432 с.

2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

3. Таха Х.А. Введение в исследование операций: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.

4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy-TECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОДОРОГИ

И.М. Сербен

Инновационный Евразийский университет,
г. Павлодар, Казахстан

Рассмотрена проблема эксплуатации сооружений автотранспортного комплекса в условиях влияния природных факторов, а также вопросы нарушения природного равновесия, т.е. реакций среды, влияющих на устойчивость антропогенных объектов. В настоящее время разработаны методики прогноза нарушений в природно-технических геосистемах, но недостаток информации о факторах среды не дает достоверной картины развития процессов в технических системах и окружающей среде. Представленная в статье методика оценки территории строительства может быть полезна для выбора территории функционирования автотранспортного комплекса.

Ключевые слова: ландшафт, техногенез, природно-техническая геосистема, инженерная экология, потенциал среды, математическое моделирование, адаптивная способность.

Чем выше технический уровень жизни, тем более прочные и важные связи в природе могут быть нарушены, тем насущнее потребность в научных рекомендациях для проектных и технических решений строительства и эксплуатации дорожного комплекса. Недостаток информации о процессах развития среды в целом и отдельных ее факторах отразился в отставании теоретических разработок в области обменных процессов в природно-технических геосистемах. Это объясняется решением и исследованием частных вопросов без учета реакции среды на объект. Например, при планировании работ по строительству автомобильных дорог рассматриваются проблемы устойчивости сооружений под влиянием природных факторов и не уделяется внимание цепи явлений: хозяйственная деятельность – нарушение природного равновесия – реакция природной среды – нарушение устойчивости антропогенных объектов – реакция среды – нарушение устойчивости антропогенных объектов – реакция среды – нарушение здоровья и сокращение жизни человека.

Важно признать отсутствие на сегодняшний день совершенных методов оценки экологической ситуации как в природных, так и в антропогенных ландшафтах. Однако уже разработанные методы могут быть усовершенствованы по мере возникающих потребностей общества. Кроме того, создаются

новые оценочные методики благодаря возможностям информационных технологий. Приближение к достоверной оценке экологической ситуации сегодня возможно. Такого рода исследования должны быть основаны на комплексном применении как математических, так и аналитических методов. Интегрированный характер инженерной экологии предопределяет синтез методов, что объясняется разнообразием и разноплановостью ее интересов и объектов исследования.

Автотранспорт имеет высокие потребности в площадях, отведенные под его нужды территории, например в городах, достигают до 30 % городской территории. Строительство и эксплуатация автодорог ведет к значительным преобразованиям рельефа, изменениям направления и количества наземных и грунтовых вод, истощению биоты. Техногенез не позволяет остановить преобразование природной среды, но экологические потери могут быть минимизированы на этапах изысканий и проектирования.

Оценка потенциального взаимодействия между сооружениями и природной средой важна для выбора территории функционирования объектов. Для оптимального расположения технических систем необходимо предварительное планирование, которое должно включать комплексную оценку природной среды площадок строительства и эксплуатации объектов автотранспортного комплекса, в том числе характеристику географического положения и оценку геоморфологических процессов. В существующих нормативно-технических требованиях к формированию промышленного объекта не в полной мере учитывается зональный принцип использования критериев техногенного воздействия на окружающую среду. Данный вопрос может быть решен с условием классификации параметров техногенного воздействия на компоненты ландшафта.

Существует общепринятая классификация ландшафтов по степени технофильности:

- 1) ландшафты, обладающие высокими рекреационными показателями;
- 2) ландшафты, содержащие в своих недрах месторождения полезных ископаемых;
- 3) сельскохозяйственные и лесные ландшафты;
- 4) ландшафты, малопригодные для сельского хозяйства, создания рекреационных зон, не содержащие полезных ископаемых*.

Последний вид ландшафта предпочтителен для промышленного и гражданского строительства. Предпочтение в выборе ландшафта для технической системы – параметры, определяющие территорию как малопригодную для хозяйственной деятельности, в которой окружающая среда не имеет ценных качеств в виде плодородной почвы, лесных массивов, полноводных и доступ-

* Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии. – М.: Высшая школа, 2001. – 437 с.

ных водных источников. Следовательно, при строительстве и эксплуатации объектов автотранспортного комплекса нарушение связей между компонентами ландшафта, изменение характеристик био-, гидро-, лито- и атмосферы будет минимальным. Минимальные изменения природного комплекса будут отражаться на функционировании технической системы в меньшей степени по сравнению с теми условиями, где имеют место высокие рекреационный, биологический и минеральный потенциалы среды. Такой подход определил выбор цели математического моделирования – экологическая оценка территории с точки зрения условно более простой адаптационной способности к использованию в автотранспортном комплексе. Предпосылками к созданию модели послужили следующие положения:

- проведение классификации ландшафтов по возможно большему количеству признаков;
- высокая степень влияния литосферных изменений на компоненты природных сфер;
- зависимость безотказной эксплуатации автодорожного комплекса от влияния факторов окружающей среды;
- возможность устойчивой работы технической системы при возможности прогнозируемых изменений среды под влиянием этой системы;
- для прогноза изменений компонентов ландшафта в природно-технической геосистеме их оценка представляется наиболее целесообразной на предпроектном этапе.

Принципы, положенные в основу разработки математической оценки территории автодорожного комплекса:

- 1) невозможность создания таких методов оценки природной среды, которые включают и классифицируют весь комплекс природных компонентов ввиду сложностей в обеспечении исходным материалом и нарушении целостности оценки из-за излишней детализации;
- 2) способ обеспечения исходными данными для оценки обширных территорий связан с использованием и обработкой данных наблюдений;
- 3) учет функциональной специфики территории при использовании для строительства требует дифференцированного подхода к различным сочетаниям элементов оценки;
- 4) выбор элементов оценки территории связан с функциональным назначением территории;
- 5) существенное влияние на выбор элементов оценки имеет точка зрения, с которой оценивается территория;
- 6) большая полнота элементов оценки повышает качество ее результатов;
- 7) для характеристики каждого элемента оцениваемой территории должно быть проанализировано большее количество данных, что повышает степень надежности выводов;

8) при оценке территории применяются две группы данных – экономически учитываемых (технологических, производственных) и экономически не учитываемых (объективные ощущения человека);

9) оценка пригодности территории для определенных функций предполагает использование шкалы характеристик элементов;

10) комплекс элементов оценки, принятый для создания «эталона» территории:

- сейсмичность имеет особое значение при промышленном строительстве (в том числе строительстве автотранспортного комплекса, его объектов), объектов горнодобывающей промышленности (в том числе карьеров дорожно-строительных материалов);

- уклон поверхности – значительные уклоны поверхности снижают экономичность строительства с точки зрения применения сложных строительных технологий и возрастания затрат на перемещение масс грунта, которое ведет к ландшафтными нарушениям;

- подземные воды – источник обеспечения водой и создания резерва, фактор, существенно влияющий на высоту земляного полотна, которое рассматривается как препятствие на путях миграции животных, к тому же, источник приземных аэродинамических процессов;

- поверхностные воды дают представление о масштабах затопления территории;

- осадки оказывают влияние на изменения эксплуатационных качеств объектов автотранспортного комплекса и субъективных ощущений человека;

- водные объекты – доля водной площади в общей кадастровой площади территории;

- лесные объекты – доля лесных площадей в общей кадастровой площади территории;

- солнечное излучение – информация при выборе экспозиции сооружений дорожного комплекса;

- температура воздуха с экономической точки зрения определяет сезон выполнения отдельных видов работ и мероприятий при строительстве и эксплуатации, а также влияет на решение по выбору строительных материалов;

- инверсия температур местного характера принимается во внимание при условии влияния рельефа на их возникновение;

- облачность – количество ясных и пасмурных дней;

- ветер, его сила и направление определяют несколько критериев оценки, так как реакция технических систем (объекты автотранспортного комплекса) при строительстве и эксплуатации может быть различной;

- эмиссия – характеристика, требующая анализа объемов твердых и газообразных веществ не только вблизи центров эмиссии, но и на большом от них удалении.

Для оценки территории возникает потребность в весовом выражении каждого элемента. Установить весовое соотношение элементов – сложная задача, так как при этом сочетаются различные аргументы: социальные, транспортные, территориальные и т.д. Таким образом, следует проводить анализ элементов в нескольких аспектах, но единым методом.

При выборе аспектов анализа элементов оценки территории учитывались следующие условия:

- 1) определение максимального негативного воздействия соответствующих элементов на рассматриваемой территории;
- 2) выявление связей каждого элемента оценки с экономическими последствиями его действия;
- 3) установление связей с субъектами, которые используют данную территорию.

Если подчинить все элементы функциональной оценки территории указанным аспектам (негативному, экономическому, субъективному), то после их дифференциации вступит в силу критерий веса. В рамках нескольких аспектов роль отдельных элементов возрастает в квадратичном порядке, а оценка весового фактора колеблется в кратности 1 – 2 – 4 ...

По шкале характеристик, имеющей пять качественных ступеней, которым соответствуют пять качественных оценок, расположенных в нисходящем порядке (1-я категория – 5 баллов, 2-я категория – 4 балла и т.д.), оценивается отдельно каждый элемент с разных точек зрения. Затем результат этой оценки умножается на величину весового коэффициента. Этот способ пригоден для всех элементов, выбранных для оценки территории.

Представленная математическая модель оценки территории – экспертная программа «Качественная оценка компонентов ландшафта на этапе проектирования автодороги» (рис. 1) разработана в MS Excel, предназначена для оценки компонентов, необходимых для проектирования автодорог в соответствии с экологическими требованиями, предъявляемыми к размещению транспортного комплекса при создании антропогенного ландшафта.

При использовании этого способа оценки территории результаты оценки колеблются в пределах пяти категорий пригодности (в баллах):

- I – территория весьма пригодная;
- II – территория пригодная;
- III – территория малопригодная;
- IV – территория непригодная;
- V – территория полностью пригодная.

Номер категории	Баллы
I	4,1–5,0
II	3,1–4,0
III	2,1–3,0
IV	1,1–2,0
V	0,1–1,0

оценка в баллах: 5 сумма полученных баллов: 155,00

Протяженность а/д в км.: 1 Вывод: проект является отличным подбором факторов для строительства автодороги.

№ п/п	Оцениваемые элементы	Весовой коэф.	Баллы					Сумма по элементу	
			Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV	Категория V		
1	Сейсмичность данные верны	4	<=3	4-5	3	2	1	9	20,00
2	Поверхность данные верны	2	<=3	3-10	10,1-18,0	18,1-25,0	25,1-44,5	0	10,00
3	Грунты данные верны	2	весьма пригодн.	в прошлом пригодн.	условия исп.1	малопригодные	непригодные	0	10,00
4	Подземные воды данные верны	4	>5,0	2,01-5,0	1,01-2,0	0,31-1,0	<=0,30	0	20,00
5	Поверхностные воды данные верны	4	<0,05	<0,1	<0,2	<0,5	1,0-0,5	0	20,00
6	Солнечное излучение данные верны	2	Ю,ЮЮВ/ЮЮЗ	ЮВ/ЮЗ ВСВ/ЗЮЗ	В/З	ВСВ/ЗСЗ	СВ/СЗ,ССВ/ССЗ,С	0	10,00
7	Темпер. атм. воздуха данные верны	1	>120	81-120	61-80	41-60	<=40	0	5,00
8	Инверсии температур данные верны	2	вне инверсии	вне инверсии	периодич. инверсии	вблизи ср. части инверсии	в центре инверсии	0	10,00
9	Облачность данные верны	1	<=110	111-130	131-150	151-170	>170	0	5,00
10	Осадки данные верны	1	90	91-100	101-110	111-120	120	0	5,00
11	Ветер данные верны	2	слабый ветер	слабый ветер	относит.ветровые	ветровые участки	сильный/ штиль	0	10,00
12	Эмиссии данные верны	4	150	151-300	301-500	501-1000	>1000	0	20,00
13	Водные объекты данные верны	1	3,0	2,0-2,9	1,0-1,9	0,5-0,9	0,5	0	5,00
14	Лесные площади данные верны	1	45	35-44	25-34	15-24	15	0	5,00

Рис. 1. Модель качественной оценки компонентов ландшафта – территории проектирования автодороги

Для качественной работы с макросами следует не отключать макросы, используемые в этой программе. Помимо макросов широко используется цветовая гамма для разграничения вводимых и получаемых данных. Красным цветом обозначены ячейки для ввода пользовательской информации, синим – для полученных данных, черным – для данных, не требующих изменения.

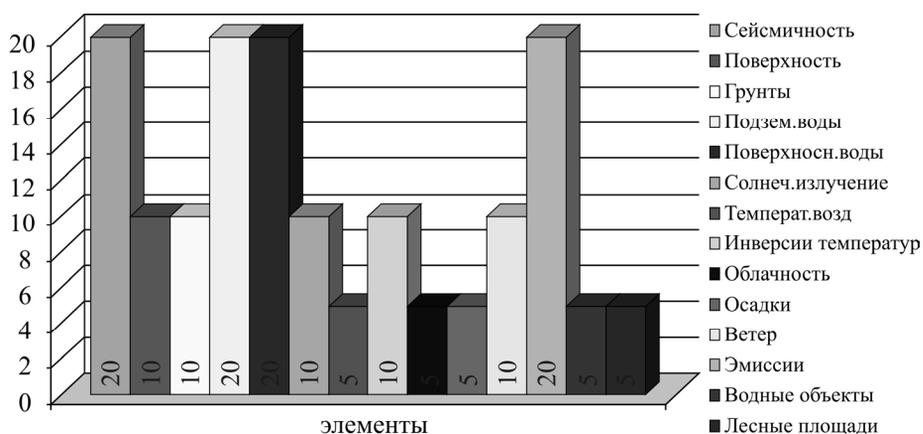


Рис. 2. Диаграмма оценки компонентов природной среды с точки зрения устойчивости проектируемого объекта

Диаграмма на рис. 2 должна рассматриваться как результат введенных в таблицу программы данных (см. рис. 1). Полученные баллы оценки территории строительства и категория пригодности территории для объекта автотранспортного комплекса зависят от точности информации о параметрах существующей природной среды и назначении антропогенного объекта.

О МЕТОДЕ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

А.В. Кочетков, Л.В. Янковский

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

Н.В. Кокодеева

Саратовский государственный технический университет, Россия

Н.В. Рапопорт

ООО «Центр дорожных технологий "Дорэксперт"»,
г. Новосибирск, Россия

Проанализированы современные методы расчета НДС дорожной одежды нежесткого типа. Рассмотрена модель многослойной конструкции. Предложен метод расчета и конструирования нежестких одежд.

Ключевые слова: дорожная одежда, деформация, метод расчета.

Одной из наиболее серьезных проблем на текущий момент остается неудовлетворительное техническое состояние и дефицит пропускной способности значительных по протяженности участков автомобильных дорог общего пользования. Из-за низкого уровня транспортно-эксплуатационного состояния российских автомобильных дорог средние скорости движения автомобилей по ним существенно ниже, чем в европейских странах. Несмотря на то, что в России уровень автомобилизации населения в несколько раз ниже, чем в странах Европейского Союза и США (Российская Федерация – 177,8 шт. на 1000 человек [3], в 15 основных странах ЕС – 508 шт. на 1000 человек на конец 2006 г. [4]), показатель погибших в дорожно-транспортных происшествиях на российских дорогах является самым высоким среди развитых стран. По данным пресс-службы ГИБДД, в 2007 г. в России в ДТП погибли 27 289 человек, т.е. почти столько же, сколько 6–7 лет назад погибало во всех странах – членах ЕС [5]. Это не в последнюю очередь связано с низким уровнем транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования [1]. Режимы и безопасность движения автомобильного транспорта определяет состояние дорожного покрытия.

Дорожная одежда является одним из наиболее важных и материалоемких элементов автомобильной дороги. Конструкция дорожной одежды, как и любое инженерное сооружение, должна быть достаточно надежной и соответствовать определенным эксплуатационным требованиям. Дорожные одежды являются одним из наиболее дорогих элементов автомобильных дорог, их экономичность в значительной степени определяет строительную стоимость объекта в целом и эффективность капиталовложений [6]. Конструкция дорожной одежды определяется применяемыми при проектировании методами расчета и конструирования дорожных одежд.

Все существующие методы расчета можно объединить в три группы:

1. Эмпирические методы, по которым толщину дорожной одежды назначают исходя из опыта службы конструкций на дорогах разных категорий без теоретических обоснований, но с учетом особенностей грунтов земляного полотна, климатических и гидрологических условий. Здесь выделяются две подгруппы:

– методы, основанные на дорожной классификации грунтов (метод группового индекса и т.п.);

– методы, использующие результаты крупномасштабных испытаний дорожных одежд на опытных полигонах и наблюдений за эксплуатацией дорожных одежд в самых различных географических регионах (методы AASHTO, Института асфальта, Caltrans, Бюро общественных дорог (США), Центральной лаборатории путей сообщения (Франции), [8] (РФ) и др.).

2. Полуэмпирические методы, согласно которым при анализе напряженного состояния дорожной одежды используют допущения и условные расчетные схемы, а также эмпирические зависимости между напряжениями и деформациями, с одной стороны, и параметрами внешней нагрузки – с другой (методы СоюздорНИИ, расчета по предельным относительным удлинениям и др.);

3. Теоретические методы, основанные на решениях задач механики слоистых систем. В качестве расчетной схемы в них принято многослойное упругое полупространство. Вводимые в теоретические формулы расчетные характеристики материалов для получения надежных результатов определяют экспериментальным путем (методы ВСН 46–83, фирмы «Шелл» (1963 и 1974), [8] и др.).

Эмпирические методы распространены во многих странах в различных вариантах, хотя во многом и несовершенны, они дают надежные результаты только в тех условиях, для которых были ранее разработаны. Теоретические методы обладают большей общностью, но содержат ряд коэффициентов, которые устанавливаются из опыта. Наибольшей надежностью отличаются комбинированные методы, в основе которых лежат решения теории упругости, так как других, более приемлемых, решений в настоящее время пока не имеется.

Для дорожников за рубежом на современном этапе характерно снижение интереса к совершенствованию теории расчета дорожных одежд. Большое влияние на это оказали проведенные в США в период с 1958 по 1960 г. Ассо-

циацией сотрудников дорожных управлений штатов обширные испытания в штате Иллинойс опытных участков разных дорожных одежд проездами автотопоездов до полного разрушения. В результате этих испытаний накоплены обширные материалы о работоспособности различных их конструкций. В решениях XVIII Международного дорожного конгресса 1984 г. в Сиднее отмечалось, что методы расчета дорожных одежд с теоретической точки зрения достигли совершенства, но эффективность их использования в большей степени зависит от точности, с которой могут быть определены расчетные параметры грунтов и материалов конструктивных слоев дорожных одежд.

Такого рода решения повлекли за собой перераспределение финансовых потоков с научных работ, направленных на усовершенствование теории расчета дорожных одежд, на работы, нацеленные на усовершенствование и разработку методик определения параметров грунта и материалов конструктивных слоев дорожных одежд.

В СССР, а потом и в России работы по усовершенствованию методов расчета продолжались, так были разработаны ВСН 46–83 (1983 г.) и [8] (2001 г.), которые направлены на обеспечение требуемого уровня надежности и долговечности с учетом ресурсных возможностей.

Методы расчета дорожных одежд исходят из представления, что напряженно-деформированное состояние (НДС) дорожной одежды под действием автомобильной нагрузки может быть выражено решениями теории упругости для слоистого полупространства с учетом условий сопряжения на контактах слоев. В основу принята формула для определения величины сжатия элементарного слоя

$$d\ell = \frac{1}{E}(\sigma Z \cdot dZ),$$

где $d\ell$ – сжатие элементарного слоя толщиной dZ ; σZ – напряжения в слоях дорожной одежды; E – модуль деформативности – обобщенная характеристика деформативных свойств материала, показывающая, какую нагрузку может выдержать материал без образования пластических деформаций.

Если внешняя нагрузка p (давление на поверхности) такова, что сжатие происходит за счет сближения частиц материала без бокового выпора, то в зависимости от абсолютной величины сжатия модуль деформативности E может быть либо модулем деформации, либо модулем упругости материала. Если нагрузка p такова, что материал работает в упругой стадии деформирования, тогда $d\ell$ – это упругая (восстанавливающаяся) деформация, а E – это модуль упругости E_y . Если производить дальнейшее увеличение нагрузки, то после ее снятия останется какая-то часть невосстановившейся деформации – пластическая деформация. Материал начинает работать в упругопластической стадии деформирования, и E – это модуль деформации материала E_d . При дальнейшем, самом незначительном, увеличении нагрузки происходит пластическое течение материала с образованием боковых выпоров (рис. 1, 2).

В случае, если напряженно-деформированное состояние характеризуется линейной (или условно линейной) зависимостью между напряжением и осадкой сжатия (деформации обратимы), модуль деформативности принимается равным модулю упругости. При дальнейшем увеличении нагрузки связь между напряжением и деформацией приобретает нелинейную зависимость. Кроме обратимых (упругих) осадок сжатия появляются остаточные осадки, свидетельствующие о нарастании пластических деформаций.

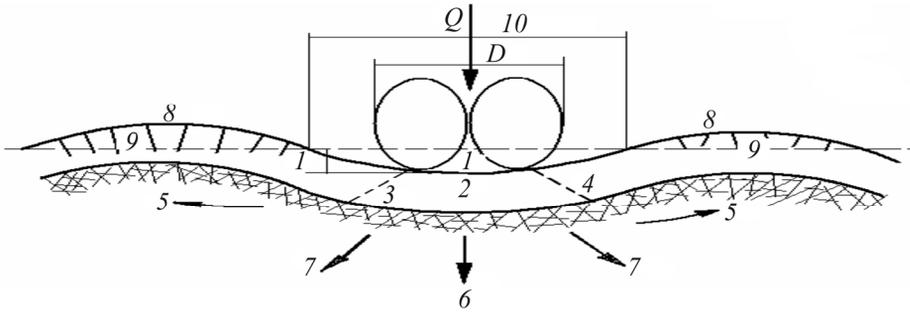


Рис. 1. Деформация дорожной одежды: 1 – осадка дорожной одежды; 2 – сжатие; 3 – растяжение; 4 – срез; 5 – выпирание; 6 – уплотнение грунта; 7 – направление сжатия грунта; 8 – растяжение; 9 – трещины; 10 – чаша прогиба

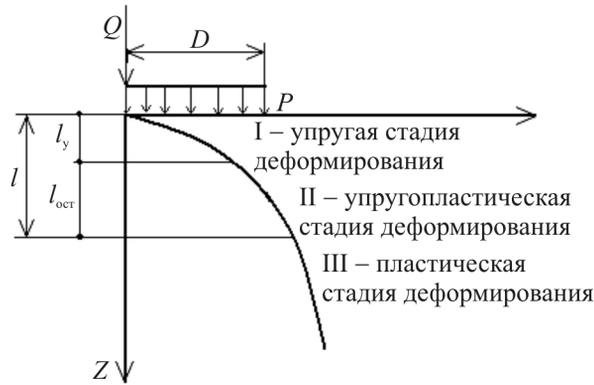


Рис. 2. Стадии деформирования дорожной конструкции под действием внешних нагрузок

Напряженно-деформированное состояние переходит в упругопластическую стадию. Их характеристикой является модуль деформации. Полное сжатие массива определится как

$$\ell = \frac{1}{E} \int_a^b \sigma Z dZ.$$

Пределы интегрирования в данном случае определяют толщину сжимаемого массива. Таким образом, определив величину сжатия ℓ и сравнив с допускаемым значением, делаем вывод о правильности конструирования до-

рожной одежды. Необходимо нахождение функции распределения напряжений σ_Z в слоях дорожной одежды под нагрузкой.

Практические методы определения модуля деформативности и модуля упругости асфальтобетона и зернистых сред, дающие результаты с приемлемой точностью, так и не были разработаны.

Известно, что верхние слои дорожной одежды должны иметь при всех прочих равных условиях более высокие деформативные качества, но благодаря именно таким качествам напряжения от внешних нагрузок в них затухают быстрее. В менее прочных слоях затухание слабее. Кривые, отражающие распределение напряжений в однородном и слоистом полупространстве, отличаются, и поэтому для слоистого полупространства не годятся формулы, полученные для изотропного полупространства. Для определения деформаций многослойной дорожной одежды с неоднородными свойствами слоев ее необходимо привести к эквивалентному однородному массиву, чтобы можно было воспользоваться формулами Буссине и других авторов.

Метод [8] основан на приведении реальной многослойной конструкции дорожной одежды к эквивалентной двухслойной. За основу принято рассмотрение упругого полупространства, решение пространственной задачи подменяется плоской в продольном направлении дороги. Деформации в продольном направлении рассматриваются в отрыве от деформаций поперечных.

В качестве расчетной модели дорожной одежды с покрытием капитального типа было принято слоистое линейно-деформируемое упругое полупространство, на поверхность которого действует вертикальная нагрузка, распределенная равномерно по площади круга. Принятие такой модели дает основание использовать для теоретического исследования полного напряженно-деформированного состояния всех видов слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна методы теории упругости [9, 10, 11, 12, 13].

Различные усовершенствования этой расчетной схемы, используемые сегодня, основаны, как правило, на абсолютизации свойств одних элементов и отбрасывании тех особенностей строения системы, которые на первый взгляд относительно слабо влияют на ее напряженно-деформированное состояние.

В результате решения смешанной задачи теории упругости и механики зернистых сред были получены формулы, позволяющие определить все тензоры напряжений и перемещения произвольной точки любого слоя системы в условиях пространственного осесимметричного и плоского напряженного состояния [14, 15, 16, 17].

Состояние изученности работы слабосвязных зернистых материалов в слоях дорожной одежды пока не позволило разработать для них метод расчета, достаточно полно учитывающий особенности поведения этих материалов. Указанные особенности связаны с дискретностью структуры зернистых материалов и проявляются как в характере распределения этими материалами

приложенного к ним давления, так и в изменении прочностных характеристик такого рода материалов в зависимости от того, как они размещены в слоистой конструкции и каковы деформативные свойства окружающих слоев [18].

Методика проектирования нежестких дорожных одежд, представленная в [8] являет собой эклектику (смесь) различных по своей сути методов: расчета по разрушающим нагрузкам, по допускаемым напряжениям и по предельным состояниям.

В качестве предельного состояния используется напряженно-деформированное состояние верхних связных слоев покрытия (первое предельное состояние) и грунтового основания (второе предельное состояние). А критерием этого является допустимая величина обратимого прогиба, определяемая либо по первому, либо по второму предельному состоянию. По величине допустимого упругого прогиба вычисляют допустимый (требуемый) модуль упругости дорожной конструкции. При этом прогиб покрытия принимается за обобщающую характеристику сопротивления дорожной одежды нагрузкам.

Допустимый модуль упругости $E_{\text{доп}}$ дорожной одежды – это такой модуль, при котором еще не возникают деформации, свидетельствующие о недостаточной прочности, но ниже которого указанные деформации уже появляются. Требуемые значения эквивалентного (общего) модуля упругости многослойных нежестких дорожных одежд были установлены на основе многочисленных экспериментов в СССР и за рубежом по испытаниям дорожных одежд нагрузками и анализа причин их разрушений в условиях эксплуатации. Однако до сих пор нет четкой связи между коэффициентами надежности и прочности со сроками службы дорожной одежды.

Слои, состоящие из слабосвязных зернистых материалов, не способны сопротивляться напряжениям. Зернистым материалам присущи особенности, объяснить которые с точки зрения механики сплошной среды не представляется возможным. Если зерна, составляющие среду, расположены достаточно плотно, то любая последующая деформация приведет к уменьшению плотности, т.е. к проявлению эффекта *дилатансии*. В расчетных уравнениях существующего полуэмпирического метода расчета нежестких дорожных одежд это явление учитывается с помощью коэффициента Пуассона, принимаемого равным величине, найденной из результатов испытаний на трехосное сжатие с учетом «защемления» его в одежде. Это позволяет учесть дискретные свойства материалов и отразить явление дилатансии, так как в настоящее время пока не создан теоретически обоснованный метод расчета промежуточных слоев из зернистых слабосвязных материалов.

В табл. 1 представлены расчеты вертикальных нормальных напряжений по Буссине, по эмпирической формуле М.Я. Якунина при $a = 1$ и при $a = 2,5$ и в соответствии с гиперболическим законом.

Данные, представленные в таблице, показывают, что ни одна из анализируемых зависимостей не может быть рекомендована для использования, так

как погрешность определения напряжений меняется по глубине и составляет до 250 %.

Расчетные характеристики материалов конструктивных слоев, приведенные в [8], определены испытанием лабораторных образцов. Поскольку изготовление лабораторных образцов существенно отличается от реальных условий, то и материал образцов существенно отличается от того же материала конструктивного слоя. Методы лабораторных испытаний материалов не моделируют реальные условия работы этих материалов в конструктивных слоях. Как следствие, в методах расчета [8] используются характеристики свойств виртуальных, а не реальных материалов.

Таблица 1

Распределение вертикальных нормальных напряжений под круглым штампом

Z/D	относительные напряжения σ_z/p			
	Ж. Буссине	М.Я. Якунин, $a = 2,5$	М.Я. Якунин, $a = 1,0$	Гиперболический закон
0,2	0,949/100%	0,909/95,7%	0,962/101,4%	0,961/101,3%
0,5	0,646/100%	0,615/95,2%	0,800/123,8%	0,786/121,7%
1,0	0,284/100%	0,286/102,1%	0,500/208,3%	0,420/147,9%
1,5	0,146/100%	0,151/103,4%	0,308/210,9%	0,181/124%
2,0	0,087/100%	0,091/104,6%	0,200/229,9%	0,071/81,6%
2,5	0,057/100%	0,060/105,3%	0,138/242,1%	0,027/47,4%
3,0	0,040/100%	0,042/105%	0,100/250%	0,010/25%

Методики определения отдельных свойств дорожно-строительных материалов в России не отработаны, например:

- определение нормативных, расчетных и кратковременных модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее и дисперсных материалов;

- прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе;

- нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки;

- коэффициентов, учитывающих снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки и снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов.

Методы измерений и испытаний не обеспечивают воспроизводимости и повторяемости результатов испытаний, заданной точности, а в отдельных случаях отсутствуют. Проверка стандартных методов испытаний «на правильность» в соответствии с рекомендациями серии ГОСТ 5725 не произведена [7]. Случайные причины, влияющие на результаты испытаний, невозможно

определить заранее, а тем более учесть количественно. В результате влияния случайных факторов полученные значения одного и того же показателя имеют случайный характер. А случайные показатели не могут характеризовать истинные свойства материала. Путем статистической обработки результатов можно установить значение, максимально близкое к истинному значению изучаемого свойства материала. При этом также обнаруживается картина изменчивости свойства и некоторые его закономерности, что способствует управлению процессом исследования и надлежащего контроля над ним.

Например, коэффициент вариации в [8] независимо от видов испытаний принят одинаковым (равным 0,10), что не вполне корректно. Отдельные действительные значения коэффициентов и величины ошибки их определения по стандартным методикам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики показателей некоторых свойств

Наименование показателей при испытаниях	Коэффициент вариации V	Средняя величина ошибки b
Определение плотности грунта прибором Ковалева	0,03	0,015
Испытание асфальтобетонной смеси и асфальтобетона	0,03	0,010
Модуль упругости грунта штампом	0,30	0,100
Модуль упругости слоев дорожной одежды прогибомером	0,25	0,100
Определение толщины слоев дорожной одежды	0,20	0,080
Определение ширины слоев	0,10	0,050
Просвет под трехметровой рейкой	0,80	0,200
Определение прочности асфальтобетона	0,10	0,050
Определение прочности цементогрунта	0,15	0,050
Определение влажности грунта	0,10	0,050
Определение угла естественного откоса грунта	0,10	0,050
Температура асфальтобетонной смеси	0,18	0,030

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что погрешности определения отдельных показателей весьма существенны [7]. Методы испытания не обеспечивают требуемой точности и требуют уточнения, что соответствует решениям XVIII Международного дорожного конгресса (1984 г.) в Сиднее.

Для приближения результатов расчета предполагаемой конструкции к реальным условиям работы дорожной одежды в теоретические зависимости вводились эмпирические коэффициенты, (например α -коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчетной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности). Величины значений эмпирических коэффициентов составляют от 0,4 до 6 и более.

Большие по величине значения (до 6,0) и многочисленность (14 наименований) эмпирических коэффициентов, которые практически определяют степень нашего незнания реальных условий работы конструкций, доказывают, что существующие методы расчета недостаточно корректно отражают работу дорожной одежды в составе конструкции реальной автомобильной дороги.

Необходимо отметить, что значения эмпирических коэффициентов получены на основе анализа состояния и изменения состояния конструкций дорожных одежд автомобильных дорог, существующих на момент обследования, т.е. построенных до 1980 г. Условия, обеспечивающие надежность и долговечность дорожных конструкций, определялись более 30 лет назад для европейской части 2-й и 3-й дорожно-климатических зон, а позже и для других регионов страны в зоне вечной мерзлоты, в Сибири, на Дальнем Востоке, в условиях засушливой зоны в Казахстане и Средней Азии на единой теоретической основе.

Вместе с тем следует отметить, что нормы, созданные на основе практических данных, эффективны только в тех условиях, для которых они создавались. Возможно, этим объясняются наблюдаемые на практике нередкие случаи преждевременного разрушения дорожных одежд во всех климатических зонах. Анализ сложившейся ситуации показывает, что НД не обеспечивают потребности проектирования дорожных одежд. Со времени разработки действующих норм, изменились:

- требования к автомобильной дороге;
- состав транспортных потоков, виды транспортных средств, нагрузки;
- материалы, из которых изготавливаются дорожные одежды;
- свойства традиционных материалов, непосредственно в конструктивных слоях;
- технологии и способы строительства дорожных одежд.

Конструкции современных дорожных одежд, рассчитанные практически по устаревшей методике, не выдерживают новых нагрузок. Во многих случаях не учитываются климатические условия региона, которые также изменились, а в отдельных случаях и недостаточно исследованы.

За последнее время значительно изменились условия работы автомобильных дорог и, соответственно, функциональные требования к покрытию со стороны автомобильного транспорта, что и предопределило изменение методики проектирования покрытия в большинстве зарубежных стран. В России до сего времени практически не учитываются функциональные требования к качеству асфальтобетона: износостойкость, устойчивость к деформациям (сдвигоустойчивость), водостойкость, трещиностойкость, способность смеси к уплотнению и др.

Все это объясняет недостаточную долговечность покрытий автомобильных дорог РФ по сравнению с зарубежными [3, 6]. В результате двух массовых независимых обследований дорог в европейской части СССР (проведен-

ных СоюздорНИИ, ГипродорНИИ и МАДИ в 60–70-е гг. прошедшего столетия) установлено, что средний срок службы их покрытий составлял примерно две трети от срока службы зарубежных дорог, а в Сибири он вообще часто не превышал 50–55 %. В ЕС нормативный срок службы национальных автотрасс колеблется от 40 лет в схожей с Россией по климатическим условиям Швеции до 80 лет в Италии (в РФ срок службы дорог, по материалам 1980-х гг., составлял не более 10–12, в настоящее время – 5–6 лет). По данным Н.В. Горельшева, средний срок службы асфальтобетонных покрытий снизился с 16–18 лет в 50-х, до 12–14 лет в 1980-х, 8–10 в 1990-х и не более 5–6 лет в 2000–2005 гг., что совпадает с нашими данными.

Одним из недостатков существующего метода расчета нежестких дорожных одежд является отсутствие четкой связи между коэффициентами надежности или степенью деформированности со сроком службы между капитальными ремонтами и качеством строительства. Анализ литературных источников [19, 20, 21, 22] показывает, что математический аппарат для учета качества строительства дорожных одежд к настоящему времени разработан в достаточной мере благодаря работам таких ученых, как М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев и В.А. Семёнов. Однако практические методики, обобщающие накопленный опыт, отсутствуют.

Имеющее место снижение долговечности не учтено при разработке норм и методов расчета дорожных одежд, например при расчете нежесткой дорожной одежды капитального типа для 1-й категории дороги рекомендуемый срок службы составляет от 15 до 20 лет [8].

В современных условиях резкого усиления роли автомобильных перевозок в общем объеме грузопотоков, значительного увеличения грузоподъемности транспорта и скоростей его движения происходит ускоренное развитие нарушений в конструктивных слоях дорожных одежд, что приводит к преждевременному разрушению покрытий автомобильных дорог и существенному сокращению их межремонтных сроков. Это, наряду с целым рядом других причин, предопределяет в качестве важнейшей проблемы совершенствование методов исследования дорожных конструкций, ужесточение требований к их конструктивным элементам.

Одним из наиболее существенных и важных результатов деятельности дорожников является обеспечение надежности и долговечности автомобильных дорог в целом.

Для обеспечения нормативной долговечности необходимы координация и концентрация усилий всех, кто имеет отношение к автомобильным дорогам, от изыскателей, проектировщиков, строителей до тех, кто ведет содержание дороги, на всем протяжении жизненного цикла объекта.

Именно поэтому в ряде зарубежных методов проектирования дорожных одежд расчет на усталость материала изгибаемого слоя считается главным при определении требуемой толщины слоев конструкции (метод нефтяной

компании «Шелл», финские нормы на проектирование и т.п.). Важный вывод получен в ходе разработки Руководства по механико-эмпирическому проектированию новых и реконструируемых дорожных одежд (США), в котором большое внимание уделено вопросам усталостного трещинообразования (рассматривается два вида усталостного трещинообразования: восходящее и нисходящее). Он состоит в том, что наибольшему усталостному разрушению подвержены асфальтобетонные покрытия толщиной 7,6–12,7 см (3–5 дюймов). Увеличение или уменьшение толщины асфальтобетонного покрытия приводит к повышению его усталостной долговечности. Учитывая, что в России на дорогах III, IV технической категории толщина двухслойного асфальтобетонного покрытия составляет 10–12 см, следует уделять повышенное внимание разработке мероприятий по повышению сопротивления асфальтобетонов усталостному разрушению.

Настало время, когда проектирование нежестких дорожных одежд, по нашему мнению, необходимо осуществлять моделированием дорожных одежд, основанном на системном конструировании с регулированием напряженно-деформированного состояния (НДС) и оптимизацией конструкции. При этом должны быть соблюдены следующие основные принципы:

- многовариантность, основанная на анализе различных технологических схем строительства и ожидаемых условий эксплуатации за расчетный срок службы;
- соответствующая оптимизация конструкций на основе регулирования НДС;
- моделирование предстоящих условий эксплуатации одежд;
- оценка надежности проектных решений и оценка риска разрушения дорожных одежд.

Многовариантность конструкций одежды в условиях разнообразия строительных материалов, технологий, разных видов жестких и нежестких одежд, эксплуатируемых в различных условиях, делает задачу определения оптимальной конструкции одежды практически неразрешимой без применения математических моделей и использования программного обеспечения.

Для анализа НДС возможных многослойных конструкций дорожных одежд на упругой и пластической стадиях работы может быть использован метод конечных элементов (МКЭ) [2], что позволит анализировать множество направлений регулирования НДС дорожной одежды с учетом конкретных условий эксплуатации, возможной неоднородности и видов материалов, динамического воздействия нагрузок и дополнительных напряжений, возникающих от температурно-влажностных деформаций в реальной климатической среде.

Подобного типа моделирование НДС позволяет рассматривать многослойную конструкцию без приведения ее к эквивалентной одно- или двухслойной, что снижает вероятность ошибок и приближает рассматриваемую схему конструкции к реальной. При этом отпадает необходимость определять:

- общий расчетный модуль упругости конструкции;
- модуль упругости верхнего слоя модели.

В связи с изложенным моделирование НДС требует уточнения методов определения потребительских и расчетных свойств материалов дорожных одежд. Естественно, что определение этих свойств надлежит вести в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы этих материалов в составе конструкции дорожных одежд.

Список литературы

1. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Таскаев О.Г. Стандарты на методы испытаний, применяемые в дорожной отрасли, в свете современных требований // Методы оценки соответствия. – 2009. – № 4.
2. Рапопорт Н.В., Рапопорт П.Б., Таскаев О.Г. Оптимизация конструкции дорожной одежды методом моделирования ее напряженно-деформированного состояния // Транспортное строительство. – 2008. – № 3.
3. Прогнозирование долговечности автомобильных дорог / П.Б. Рапопорт [и др.] // Транспортное строительство. – 2008. – № 5. – С. 20–26.
4. Рапопорт П.Б., Дончук А.И., Чубукин И.В. Оптимизация гранулометрии минеральной части асфальтобетонной смеси / ООО ЦДТ «Дорэксперт». – Новосибирск, 2007. Деп. В ВИНТИ 21.02.2007, № 156-В2007.
5. ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1. Основные положения и определения.
6. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Таскаев О.Г. Почему у нас плохое состояние наших дорог // Красная линия. Дороги. – 2010. – С. 8–12.
7. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Таскаев О.Г. Аккредитация испытательных лабораторий (строительной и дорожной отраслей) // Методы оценки соответствия. – 2008. – № 12. – С. 12–16.
8. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Государственная служба дорожного хозяйства Минтранса РФ. – М., 2001. – С. 144.
9. Коган Б.И. Точные решения теории упругости для многослойного полупространства для расчета нежестких дорожных покрытий // Тр. ХАДИ. Вып. 21. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1958. – 35 с.
10. Корсунский М. Б. Метод численного определения напряжений и перемещений в многослойном линейно-деформируемом полупространстве. Доклады и сообщения на науч.-техн. совещании по строительству автомобильных дорог. Секция земляного полотна. – М.: Изд-во СоюздорНИИ.
11. Корсунский М.Б. Оценка прочности дорог с нежесткими одеждами. – М.: Транспорт, 1966. – 163 с.
12. Корсунский М.Б. Приближенный метод определения вертикальных перемещений дорожных одежд и распределения давления на подстилающий

грунт в условиях пространственной задачи // Исследование прочности дорожных одежд. – М.: Автотрансиздат, 1959. – С. 261–299.

13. Burmister D.M. The general theory of stresses and displacements in layered systems // Journal of Applied Physics. – 1945. – Vol. 16.

14. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. – 314 с.

15. О статистической механике зернистых грунтов и трещиноватых скальных горных пород / И.И. Кандауров [и др.] // Proceedings of 3 rd Budapest Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Section 4. – Budapest, 1968.

16. Радовский Б.С. Напряженное состояние жестких дорожных одежд с промежуточными слоями из слабосвязных зернистых материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1966. – 21 с.

17. Радовский Б.С. Распределение напряжений в модели нежесткой дорожной одежды // Тр. СоюздорНИИ. – Вып. 13. – М.: Изд-во СоюздорНИИ, 1966. – С. 116–125.

18. Иванов Н.Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. – М.: Транспорт, 1978. – 327 с.

19. Коганзон М.С., Яковлев Ю.М. Качество и надежность дорожного строительства. – М.: Изд-во МАДИ, 1981. – 90 с.

20. Повышение надежности автомобильных дорог / под ред. проф. И.А. Золотаря. – М.: Транспорт, 1977. – 184 с.

21. Рокас С.Ю. Статистический контроль качества в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1977. – 152 с.

22. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1989. – 129 с.

23. Радовский Б.С., Мерзликин А.Е. Руководство по механико-эмпирическому проектированию новых и реконструируемых дорожных одежд (США) // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 1. – С. 32–33.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОБРАТНЫХ ТРЕЩИН В МАТЕРИАЛАХ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПОСЛЕ ЕЕ РЕКОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТОВ МКЭ

Н.И. Горшков, М.А. Краснов

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

Предложено математическое моделирование взаимодействия элементов системы «автодорога – геосреда», разработка новых способов анализа и оценки напряженно-деформированного состояния этой системы на основе МКЭ.

Ключевые слова: метод конечного элемента, покрытие, дорожная одежда, грунт, основание, прочность, деформируемость, конечный элемент.

Дефекты покрытия участка автомобильной дороги «Колыма» «Магадан – Якутск» категории I-б до и после капитального ремонта 2009 г. выражались в наличии в асфальтобетоне трещин разных размеров, форм и ориентации. Основные технические нормативы участка автомобильной дороги: число полос движения 4; ширина земляного полотна 22,5 м, то же для проезжей части 15,0 м; то же для обочин $3,75 \cdot 2 = 7,5$ м.

До реконструкции дорожная одежда состояла из следующих элементов: асфальтобетон $h = 7...12$ см; цементобетон $h = 20...30$ см; щебенисто-галечниковый грунт с песчаным заполнителем (основание).

Земляное полотно в насыпи (средняя высота $h = 2,0$ м) выполнено из щебенисто-галечникового грунта, обочины – из щебня, уложенного по способу заклинки; основание насыпи сложено суглинистым грунтом.

На поверхности покрытия до капитального ремонта 2009 г. была видна неупорядоченная полигональная ячеистая сетка трещин с раскрытием в несколько миллиметров. Неупорядоченность рисунка трещин указывала на незавершенность процесса их развития из-за изменения температуры материалов покрытия в природных циклах промерзания-оттаивания и низкую морозостойкость сплошных материалов дорожной одежды.

Среди этой неупорядоченной сети трещин выделялись продольные трещины, имеющие ширину раскрытия до нескольких сантиметров. Местоположение трещин с большей величиной раскрытия совпадает с положением про-

дольных технологических трещин, устроенных в слое цементобетона. Продольные трещины с меньшей шириной раскрытия располагаются между полосами наката, их положение указывает на возможную причину – действие временной полосовой поверхностной нагрузки от транспорта на материалы покрытия.

На некоторых участках поверхности покрытия выделялись поперечные трещины с раскрытием в несколько сантиметров. Их местоположение приурочено к технологическим поперечным швам в слое цементобетона.

По проекту реконструкции на асфальтобетон существующей конструкции дорожной одежды укладывается выравнивающий слой из черного щебня, $h = 11$ см, на котором размещаются сетки стеклянные нитепрошивные пропитанные (ССНП 50/50-25, СТО 00205009–2005), а сверху – асфальтобетон из горячей плотной мелкозернистой смеси, $h = 5$ см (марка I, тип А по ГОСТ 9128–97*– БНД90/130).

На поверхности покрытия после капитального ремонта 2009 г. проявились продольные и поперечные трещины, приуроченные к старым «отраженным» трещинам, образовавшимся над швами цементобетонного основания.

Состояние материалов тонкой полосы, или, если так можно выразиться, тонкой протяженной пленки покрытия автомобильной дороги (в сравнении с толщиной земной коры), определяется постоянно действующими контурными (приповерхностными) напряжениями, которые являются функцией НДС движущихся тектонических структур верхней части земной коры и местных природно-климатических условий.

Известно, что в верхних частях земной коры действуют значительные по величине природные горизонтальные тектонические напряжения [2], а напряжения от движущейся по поверхности покрытия транспортной нагрузки являются временными и дополнительными к природным. Именно на действие таких напряжений, а также температурных (отдельно от действия поверхностной нагрузки), по принятой в действующем нормативном документе расчетной схеме и методике выполняется расчет конструкции дорожной одежды [3].

Напряжения, вызванные действием различных факторов в конкретном временном и пространственном масштабе, вызывают движения и деформации в материалах покрытия, что в конечном итоге приводит к возникновению в них трещин и образованию новых структур. В результате действия таких напряжений во времени изначально сплошное непрерывное покрытие становится дискретным, состоящим из множества структур различной формы и масштабов.

Дискретность является широко распространенным свойством в мире природных тел. Диапазон изменения масштабов структурных тел в земной коре огромен. Трещины отдельности, расчленяющие изначально сплошное непрерывное покрытие автомобильной дороги на блоки, – самый распространенный, но вместе с тем и самый неизученный с инженерной точки зрения тип разрывных нарушений.

До выполнения расчетов были проанализированы результаты исследований процессов трещинообразования в материалах асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог (за последние 10–15 лет), устраиваемых на цементобетонных основаниях, а также рассмотрены интересные точки зрения исследователей на эту проблему.

Как показал анализ, стопроцентных способов предотвращения появления «обратных» трещин пока нет; нет разработанных и проверенных методик и расчетных схем, моделирующих возникновение и развитие «обратных» трещин; нет проверенных на практике соответствующих конструктивных мероприятий и технологий.

В качестве средства расчета НДС элементов системы принят метод конечного элемента, на основе которого разработаны алгоритмы для сертифицированного программного продукта GenIDE32 (авторы Н.И. Горшков, М.А. Краснов [3]).

В расчетной схеме модели системы все материалы и грунты конструктивных и природных элементов (зоны по неоднородности) однородные, изотропные и весомые.

Арматура моделировалась на основе одномерных конечных элементов сжатия-растяжения.

Значения деформационных и прочностных параметров природных грунтов, материалов дорожной одежды, покрытия и обочин приняты на основе проектных материалов, таблица. Значения расчетных параметров для материала геосетки ССНП 50/50-25 приняты по таблицам рекламного листа «Стеклонит» и ТУ 2296-004-00205009–2003. Модуль деформации материала геосетки E при испытательной разрывной нагрузке $R = 50$ кН/м и относительном удлинении $\varepsilon = 0,05 \dots 1000$ кН/м.

Расчетные значения физико-механических параметров грунтов и материалов

Наименование материала или грунта	γ , кН/м ³	E , МПа	ν	$\varphi (R_c)$, град (МПа)	$c(R_t)$, МПа (МПа)
№ 1 – асфальтобетон плотный, марка I, тип А	24	3200	0,20	(8,64)	(1,08)
№ 2 – асфальтобетон плотный (старое покрытие)	22	2400	0,20	(3,52)	(0,44)
№ 3 – цементобетон (основание старого покрытия)	22	30000	0,20	(43)	(3)
№ 4 – щебенистый грунт (земляное полотно)	18	120	0,27	30	0,002
№ 6 – черный щебень	20	600	0,27	3,6	0,40
№ 5 – щебенистый грунт (старые обочины)	18	120	0,30	30	0,002
№ 6 – суглинок тугопластичный (основание насыпи)	18	46	0,30	12	0,04
№ 7 – щебенистый грунт присыпных обочин	18	120	0,27	30	0,002

В расчетах НДС для всех материалов и грунтов, как сплошных, так и дисперсных, принята нелинейная модель на основе ассоциированного закона пластического течения с условием текучести по Кулону – Мору.

Процесс моделирования предполагал несколько схем выполнения расчетов:

1. Расчет начального напряженного состояния геологической среды;
2. Расчет НДС при устройстве каждого элемента.
3. Расчет НДС от действия одного фактора (действие поверхностной транспортной нагрузки, температурных напряжений) и комплекса факторов.

Количественная оценка НДС элементов системы «автодорога – геосреда» выполняется на расчетных схемах (рис. 1), в состав которых входят полости – трещины. В расчетных схемах введены две трещины шириной 3 см и высотой 36 см (сумма толщин слоев старого асфальтобетона и цементобетона). Их местоположение определялось на основе фотографий, представленных в проектных материалах. Трещины моделируют швы между цементобетонными плитами. Материал швов считается разрушенным, т.е. трещины в расчетах учитываются без заполнителя (наихудший вариант).

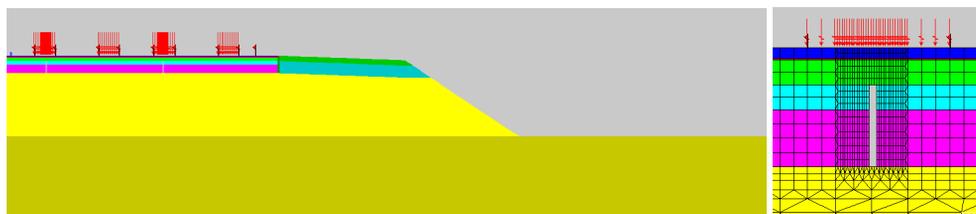


Рис. 1. Геомеханическая модель «автодорога – геосреда» с фрагментом сетки разбивки (место трещин)

В первой серии расчетов распределенная нагрузка от транспорта располагалась на каждой полосе движения (3,75 м), на двух полосах наката. Приложение нагрузки от транспорта моделировалось в циклах «нагрузка-разгрузка» (принято десять циклов «квазидинамического» нагружения). В каждой части цикла нагрузка возрастает или убывает в соответствии с рекуррентным отношением $p_i = p_{i-1} \pm \Delta p_i$, где $i = 1 \dots 11$, $p_{i-1} = 0,0$ и $\Delta p_i = 0,0204$ МН/м. Во второй серии расчетов нагрузка от транспорта прикладывалась на поверхности внутренних полос движения. В третьей серии расчетов нагрузка от транспорта прикладывалась на поверхности внешних полос движения.

Во всех сериях расчетов зон предельного состояния в сплошных материалах покрытия, в окрестности трещин, не возникало.

Основной вывод по этим сериям расчетов – нагрузка от транспорта, при любом ее расположении на проезжей части, не влияет на образование и развитие «обратных» трещин в материалах нового покрытия.

В расчетах задачи термоупругопластичности приняты следующие значения коэффициентов температурного расширения α , $1/^\circ\text{C}$: плотный асфальтобетон (новое покрытие) – 0,00005, геосетка «Стеклонит» – 0,000001, черный ще-

бень (основание нового покрытия) – 0,00005, асфальтобетон (старое покрытие) – 0,00005, цементобетон (основание старого покрытия) – 0,00001, крупнообломочные грунты (земляное полотно и обочины) – 0,0002...0,0005; суглинок (основание насыпи) – 0,0002.

Значение максимального перепада суточных температур принято по документам [1]: $\Delta T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\Delta T = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Схема выполнения этой серии расчетов следующая:

1. Определение начального НДС системы.
2. Расчет на изменение температуры.

В расчетах принято, что наибольшая разность температур наблюдается в поверхностном слое покрытия, в других элементах конструкции дороги температура по их толщине практически не меняется.

В первой серии температурных расчетов значение изменения температуры в суточное время в верхнем слое асфальтобетона и поверхностном слое обочины принималось равным $\Delta T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (отрицательная величина).

Результаты расчетов (пять циклов изменения температуры), где в каждом из пяти циклов ее изменение $\Delta T = -3\text{ }^{\circ}\text{C}$, в сумме $\Delta T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$, приведены на рис. 2. После третьего цикла в окрестности вершины трещин (незаполненных швов) появились зоны «пластичности» с разорванными конечными элементами. Такие элементы сначала появились около вершины трещины в слое старого асфальтобетона, цементобетона, затем – в слое черного щебня, и в последнем цикле – около поверхности покрытия у подножий возвышений.

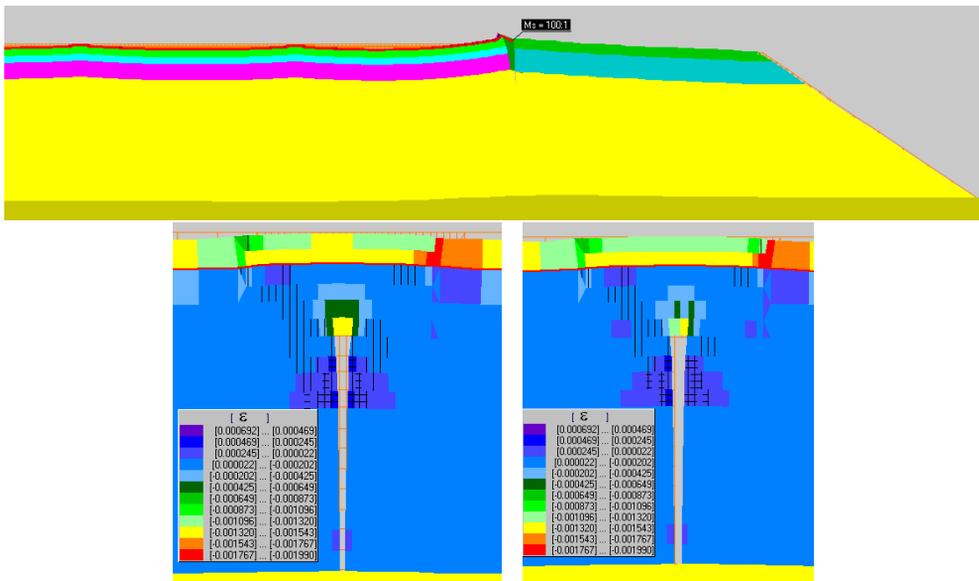


Рис. 2. Деформированная сетка разбивки М 100:1 и трещинообразование в окрестности незаполненных швов (уровни значений объемных деформаций ϵ) – моделирования на изменение температуры ($\Delta T = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$)

В целом плита покрытия в своих поперечных размерах уменьшилась. Ее верхняя асфальтобетонная часть почти полностью находилась в состоянии сжатия, а нижняя часть слоя цементобетона – в состоянии растяжения. Над незаполненными швами появляется возвышение, около 2 мм. Здесь необходимо отметить, что морфология поверхности покрытия над швами (впадина или возвышение) зависит от конструкции и материалов шва и покрытия.

Материал геосеток находился в состоянии сжатия и никакой роли в изменении НДС не играл. Разорванные конечные элементы появляются ниже и выше сетки. В циклах положительного интервала температур и ступенчатой поверхности материалов материал сетки может быть легко разорван, этому может способствовать нагрузка от транспорта, ее расположение на одной стороне трещины. Дисперсный материал верхней части обочин находился в предельном состоянии растяжения, что не снижает его способности воспринимать нагрузки от транспорта.

В второй серии температурных расчетов значение изменения температуры в суточное время в верхнем слое асфальтобетона и поверхностном слое обочины принималось равным $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ (положительная величина).

Результаты расчетов, где в каждом из пяти циклов изменение температуры $\Delta T = +3^\circ\text{C}$, в сумме $\Delta T = +15^\circ\text{C}$, приведены на рис. 3. Так же, как и в первой серии расчетов, после третьего цикла, в окрестности вершины трещин (незаполненных швов) появились зоны «пластичности» с разорванными конечными элементами. Такие элементы сначала появились около вершины трещины в слое старого асфальтобетона, цементобетона, затем – в слое черного щебня, и в конце – около поверхности покрытия у бровок впадин.



Рис. 3. Деформированная сетка разбивки М 100:1 и трещинообразование в окрестности незаполненных швов (уровни значений объемных деформаций ϵ) – моделирования на изменение температуры ($\Delta T = 15^\circ\text{C}$)

В целом, плита покрытия в своих поперечных размерах увеличилась. Практически вся плита находится в состоянии растяжения, а верхняя ее часть (новый слой асфальтобетона) еще и в предельном состоянии, т.е. его состав должен подбираться из условий его сопротивления растягивающим усилиям. Над незаполненными швами появляются впадины глубиной около 3 мм.

Материал геосеток находится в состоянии растяжения и никакой большой роли в изменении НДС не играет. Разорванные конечные элементы появляются ниже и выше сетки. В циклах отрицательного интервала температур и при ступенчатой поверхности материалов материал сетки также может быть легко разорван.

Основной вывод по этой серии расчетов – изменение температуры материалов покрытия в природных циклах промерзание-оттаивание вызывает в местах расположения швов или других неоднородностей концентрацию значительных по величине напряжений, имеющих порядок значений величин пределов прочности, что в конечном итоге приводит к образованию «отраженных» и иных трещин.

Список литературы

1. М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. – М.: Наука, 2000. – 350 с.
2. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М., 2001. – 144 с.
3. Горшков Н.И., Краснов М.А. Программа *GenIDE32* для решения прикладных задач геомеханики [Электронный ресурс]. – URL: www.femsoft.ru.

ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТЫХ СЕРОАСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Ю.Э. Васильев, И.Ю. Сарычев

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ), Россия

Н.В. Мотин

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва, Россия

Т. Аакала

Фирма ЗАО «Лемминкяйнен Рус», г. Хельсинки, Финляндия

Рассматриваются вопросы нормативно-методического обеспечения производства и применения литых сероасфальтобетонных смесей и литого сероасфальтобетона. Нормативный документ ТР 164–04. Технические рекомендации по устройству и ремонту дорожных покрытий с применением литого асфальтобетона разработаны с учетом опыта устройства ездового полотна и тротуаров на основе сероасфальтобетона на мосту в Крылатском (г. Москва).

***Ключевые слова:** литые асфальтобетонные смеси, литой асфальтобетон, сера, дорожное строительство.*

История вопроса. Нормативно-методический документ ТР 164–04. «Технические рекомендации по устройству и ремонту дорожных покрытий с применением литого асфальтобетона» был утвержден Управлением научно-технической политики в строительной отрасли Комплекса архитектуры, строительства, развития и реконструкции города Москвы 12.01.2005). ТР 164–04 был введен взамен ВСН 60–97.

Рекомендации содержат сведения об организации и технологии производства работ, контроле качества и технике безопасности при устройстве и ремонте дорожных покрытий с использованием литых асфальтобетонных смесей. Данный нормативный документ был разработан с учетом опыта устройства ездового полотна и тротуаров на основе сероасфальтобетона на автодорожном мосту в Крылатском (г. Москва). Работы производились при температуре –26 °С в декабре 2002 г. В настоящее время успешно эксплуатируются тротуары мостового сооружения.

Важность этого документа и разработанных на его основе ряда стандартов организаций подчеркивается большим вниманием Правительства России, Федерального агентства и государственной компании «Автодор» к применению технической серы в дорожном строительстве.

Технические рекомендации разработаны в Инструкции по устройству и ремонту дорожных покрытий с применением литого асфальтобетона (ВСН 60–97) на основе научно-исследовательских и опытно-производственных работ, выполненных с учетом зарубежного опыта в основном на объектах дорожного хозяйства г. Москвы. При их разработке был учтен опыт работ по устройству и ремонту покрытий организациями треста «Мосасфальтстрой», ГУП «НИИМосстрой», ЗАО «Асфальттехмаш» и др. Рекомендации распространяются на строительство и ремонт дорожных покрытий с применением литых асфальтобетонных смесей, отвечающих требованиям ТУ 400-24-158–89* с изм. № 1 от 1995 г. «Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон. Технические условия» и ТУ 5718-001-53737504–03 «Смеси сероасфальтобетонные литые и литой сероасфальтобетон. Технические условия».

Производство материалов. Литые асфальтобетонные смеси в зависимости от назначения подразделяют на пять типов:

– I тип – для устройства покрытий проезжей части мостов, эстакад, путепроводов, паркингов, и т.п. [3];

– II тип – для устройства покрытий проезжей части магистральных улиц общегородского значения с непрерывным и регулируемым движением [3], дорог I, II и III технических категорий, аэродромов, мостов, эстакад, путепроводов и т.п.;

– III тип – для устройства несущего слоя основания магистральных улиц общегородского значения, дорог I, II и III технических категорий, а также аэродромов;

– IV тип – для устройства и ремонта покрытий тротуаров, полов, стяжек и кровли;

– V тип – для ямочного ремонта покрытий проезжей части городских и автомобильных дорог, устройства гидроизоляционных покрытий и покрытий в трамвайных путях.

Литые сероасфальтобетонные смеси в зависимости от назначения подразделяются на два типа:

– I тип – для строительства, капитального и текущего ремонта проезжей части улиц и дорог, мостового полотна мостов и путепроводов;

– II тип – для строительства, капитального и текущего ремонта тротуаров, пешеходных и велосипедных дорожек.

Литые асфальтобетонные смеси указанных типов отличаются качеством исходных компонентов, рецептурой, рабочей температурой и консистенцией.

Устройство ездового полотна мостовых сооружений. В зависимости от типа для их приготовления, перевозки и укладки используют либо обычное, либо специальное оборудование.

Литые асфальтобетонные смеси I, II, III и IV типов укладывают в сухую погоду весной при температуре не ниже +5 °С, а летом и осенью при температуре не ниже +10 °С. Подготовленная поверхность должна быть немерзлой, сухой, чистой, отвечать нормам по ровности для конкретного конструктивного слоя и категории дороги, без наличия ям, выбоин и трещин. Поверхность необходимо равномерно и без пропусков подгрунтовать горячим битумом или битумной эмульсией при расходе 0,3–0,5 л/м². Места сопряжений нового и старого покрытий также должны прогрунтовываться.

Литую смесь V типа укладывают круглогодично при ямочном ремонте, а при устройстве покрытия только в теплую и сухую погоду.

Зимой работы выполняют при температуре воздуха до –10 °С, а при более низкой температуре – только при аварийно-восстановительных работах, при подготовке к массовым мероприятиям, для обеспечения временного проезда.

Работы по укладке литой сероасфальтобетонной смеси выполняют при положительной температуре воздуха в сухую погоду, а весной и осенью при температуре окружающего воздуха не ниже –5 °С; основание не должно быть промерзшим и влажным. При текущем ремонте допускается проведение работ при отрицательной температуре до –10 °С, а ниже – только при аварийных ситуациях, в случае возможной остановки движения транспорта.

Дорожные работы с применением литых асфальтобетонных смесей имеют специфические особенности и требуют производственного навыка.

Для обеспечения стабильных технологических характеристик смесей (температуры, подвижности, однородности) необходим согласованный непрерывный цикл работы асфальтосмесительной установки, транспортных средств и асфальтоукладчика.

При укладке смеси в дорожное покрытие в состав проекта производства работ должна включаться циклограмма транспортирования смеси от АБЗ до объекта. В графике производства работ указывается требуемое количество передвижных котлов (автомобилей-самосвалов), время их прибытия на завод, количество рейсов на каждую машину, время начала и окончания работ, количество смеси. Организация работ должна предусматривать движение передвижных котлов (автомобилей-самосвалов) со смесью навстречу строительному потоку для исключения возможности переезда транспорта через края устраиваемого верхнего слоя покрытия и движения по свежееуложенному слою.

В случае необходимости до начала работ по укладке литой асфальтобетонной смеси на строительный объект должен быть доставлен горячий черный щебень в количествах, необходимых для бесперебойной работы по его втапливанию в покрытие. Щебень целесообразно выгружать в соответствующих объемах по длине трассы, равной длине захватки.

Бригада асфальтобетонщиков должна быть оснащена необходимым инвентарем и приспособлениями.

Началу работ по устройству асфальтобетонного покрытия предшествует разработка проекта производства работ или привязка типовой технологической карты к местным условиям производства работ на данном объекте.

В проекте производства работ должны быть представлены: генеральный план строящегося или ремонтируемого объекта; технологическая последовательность производства работ; схемы движения городского транспорта в период строительства или ремонта (при наличии движения городского транспорта); схемы движения технологического транспорта; места установки ограждений; места установки светильников (прожекторов) для работы в вечернее и ночное время; календарный график производства работ с указанием сроков, объема работ, подлежащих ежедневному выполнению, и потребного количества технологических машин, инструментов и материалов; циклограмма транспортирования смеси от асфальтобетонного завода до объекта, требуемое количество котлов-термосов, время их прибытия на завод, количество рейсов на каждую машину, время начала и окончания работ; пояснительная записка, в которой обосновывается организация и технология работ, указываются мероприятия по обеспечению безопасных условий производства работ, подробно излагаются особые условия объекта.

Проекты производства работ по строительству и ремонту технически несложных объектов могут состоять из календарного плана производства работ, стройгенплана и краткой пояснительной записки.

При производстве работ без прекращения движения автомобильного транспорта место укладки смеси должно быть оборудовано дорожными знаками, ограждениями и другими техническими средствами, обеспечивающими безопасность ведения работ.

Технология устройства и ремонта покрытий и оснований заключается в следующем. Устройство покрытия начинают с подготовительных работ, в состав которых входят:

а) при новом строительстве:

– установка в продольном направлении деревянного бруса длиной до 20 м (высота бруса должна соответствовать толщине укладываемого слоя покрытия). Упорный деревянный брус, состоящий из отдельных звеньев длиной около 4 м каждое, прикрепляется металлическими штырями или гвоздями к нижнему слою покрытия. Установка звеньев производится по шаблону, фиксирующему ширину укладываемой полосы, или с использованием геодезических инструментов. По мере снижения температуры уложенного слоя (до 70–75 °С) звенья переставляются;

– установка и крепление штырей с последующей натяжкой проволоки или шнура (для работы автоматической следящей системы);

б) при ремонтно-дорожных работах в дополнение к работам при новом строительстве:

– очистка основания от пыли и грязи механическими дорожными щетками, поливомоечными машинами или сжатым воздухом;

– просушка влажного основания горячим песком или воздухом; при этом особое внимание должно уделяться очистке лотка проезжей части боковых поверхностей обечаек и дождеприемных решеток. В зимний период при текущем ремонте предусматриваются также работы по очистке ремонтируемых карт от песка, солей, снега, льда и пр.;

– проверка (с помощью геодезических инструментов) ровности ремонтируемого покрытия, продольных и поперечных уклонов, ширины проезжей части дороги и правильности установки люков колодцев подземных коммуникаций. При обнаружении отклонений от требований настоящих рекомендаций и проекта производят выравнивание нижележащих слоев укатываемой асфальтобетонной смесью и перестановку люков колодцев на высоту проектной отметки покрытия;

– обрезка нарезчиком швов, обрубка специальными приспособлениями, отбойными молотками краев ранее уложенной полосы литого асфальта, а также мест входа и выхода фрезы (текущий ремонт), причем линия обрезки должна быть прямой и вертикальной. Для обеспечения ровности устраиваемого верхнего слоя покрытия при устройстве поперечного шва сопряжения место обрезки (обрубки) устанавливается с помощью рейки, рейка с уровнем накладывается внахлест на уложенный слой. Место под рейкой, в котором начинается снижение толщины слоя, принимается за линию поперечной обрезки слоя;

– обработка подготовленного слоя ранее уложенной полосы (при проведении капитального ремонта) битумной эмульсией с расходом 0,3–0,4 л/м² или жидким битумом с расходом 0,5–0,8 л/м². Одновременно с этим производится также обработка всех выступающих мест конструкции: люков, колодцев и дождеприемных решеток, трамвайных путей и др. При разливе эмульсии не допускается ее скопление в пониженных местах;

– регулировка высоты люков колодцев подземных коммуникаций и приведение их в соответствие с проектной отметкой покрытия;

– наращивание при необходимости колодцев металлическими вкладышами или железобетонными сегментами. При установке дождеприемной решетки края ее должны быть ниже проектной отметки лотка с верхней стороны на 30 мм, а с низовой – на 20 мм;

– разогрев уложенной полосы на ширину 10–15 см до 120–140 °С с помощью тепловой энергии инфракрасного излучения при охлаждении уложенного в покрытие слоя литого асфальта ниже 120 °С;

– закладка и закрепление специальных блоков (бетонных, шлакобетонных или пресованных асфальтобетонных) в местах стыков рельсов трамвайных путей с внутренней, а при укладке смесей в местах сопряжений с проезжей частью – и с внешней стороны рельсов для обеспечения возможности проведения работ по затяжке болтов стяжных пластин без разрушения верхнего слоя покрытия.

Транспортировка смеси к месту проведения работ производится в зависимости от типа смеси: I и V типов и литой сероасфальтобетонной – в специальных самоходных установках с котлом-термосом или бункером, оборудованными обогревом и мешалкой, при транспортировании должны обеспечиваться непрерывное перемешивание и температура смеси 180–240 °С (для литой сероасфальтобетонной – 140–150 °С), а в необходимых случаях – порционная выгрузка с варьированием скорости выдачи смеси; II и III – в утепленных автомобилях-самосвалах большой грузоподъемности, оборудованных утепленными кузовами; IV – в автомобилях-самосвалах любой грузоподъемности. Продолжительность транспортирования не должна превышать 30–40 мин.

Перед началом загрузки котел-термос (бункер) прогревается в течение 10 мин двумя подогревателями или форсункой (в зависимости от погодных условий время прогрева может быть увеличено) до температуры 140–160 °С (для литой сероасфальтобетонной смеси до 120–140 °С).

Запрещается включать сцепление привода мешалки перед запуском двигателя, а также привод мешалки до прогрева бункера и при наличии в нем остатков затвердевшей (неразогретой) смеси, препятствующей движению лопастей мешалки.

В процессе транспортирования общее время перемешивания смеси в передвижной установке должно быть не менее 20 мин.

На месте укладки самоходная установка располагается перед асфальтоукладчиком с таким расчетом, чтобы выпускной лоток при наклоне котла (бункера) был направлен в приемный бункер асфальтоукладчика. Выгрузка смеси производится при наклоне выпускного лотка и одновременной работе лопастной мешалки в котле. При текущем ремонте и устройстве покрытий в зоне трамвайных путей смесь выгружается непосредственно в подготовленную карту или в зону межрельсового пространства трамвайных путей.

Приемка автомобилей-самосвалов и выгрузка из них смеси в приемный бункер асфальтоукладчика осуществляется под руководством специально выделенного опытного рабочего-сигнальщика, имеющего красную повязку.

Способ и режим распределения смеси определяется типом литого асфальтобетона [1, 2] и предусматривает устройство слоев покрытия:

- без уплотнения материала (тип I, V и литой сероасфальтобетон);
- с уплотнением материала только вибротрамбующим брусом асфальтоукладчика (тип II) и с дополнительной прикаткой смеси самоходными моторными катками до 10 т (тип III);
- с уплотнением материала (тип IV) двухвальцовыми катками массой до 1 т, или легкими тандемными самоходными виброкатками с вибрирующим задним вальцем массой до 2 т, или самоходными моторными катками статического действия массой до 5 т. Выбор уплотняющих средств для литого асфальтобетона типа IV связан с конкретными условиями и зависит в первую очередь от объемов выполняемых работ.

При распределении смеси используются:

– самоходные асфальтоукладчики для литого асфальтобетона, оборудованные электронной следящей системой, обогреваемыми выглаживающей плитой и приемным бункером, загружаемым смесью из передвижных котлов (типы I, V и литой сероасфальтобетон);

– самоходные асфальтоукладчики, оборудованные вибротрамбующей плитой и приемным бункером, позволяющим производить выгрузку смеси из автомобилей-самосвалов большой грузоподъемности (тип II и III);

– самоходные (тротуарные) асфальтоукладчики, позволяющие производить загрузку смеси из автомобилей-самосвалов (тип IV).

Температура смеси в асфальтоукладчике должна составлять: для смеси типа I – 220–240 °С, типа II, III – 200–230 °С, для литой сероасфальтобетонной – 140–150 °С в зависимости от температуры воздуха, а при температуре менее +10 °С – 155 °С.

Перед распределением смеси выглаживающая плита асфальтоукладчика должна быть установлена на край ранее уложенного слоя или на брус, толщина которого соответствует толщине укладываемого слоя. Для предотвращения растекания укладываемого слоя применяется скользящая опалубка, перемещающаяся за асфальтоукладчиком. При ее отсутствии до начала распределения смеси должны быть установлены в продольном направлении и закреплены упорные или металлические брусья, состоящие из звеньев общей длиной до 20 м. Высота бруса должна соответствовать проектной толщине укладываемого слоя. По мере остывания уложенного слоя брусья переставляются.

Распределение смеси, как правило, производится одновременно и непрерывно по всей ширине проезжей части улицы. При работе нескольких асфальтоукладчиков они должны двигаться уступами с опережением один другого на 25–30 м.

При работе одного асфальтоукладчика длина захватки устанавливается из расчета, что край ранее уложенной полосы должен иметь температуру 100–130 °С (для литого сероасфальтобетона – 70–80 °С).

Дефекты, обнаруженные на поверхности покрытия после распределения смеси (особенно в местах примыкания к упорным брусьям), обрабатываются вручную с помощью специальных ручных трамбовок. Для выполнения этих работ рабочие располагаются с каждой стороны устраиваемой полосы покрытия. В случае необходимости используются линейки-разогреватели, утюги.

Одновременно с работой асфальтоукладчика отдельные места, недоступные для механической укладки (уширения, узкая полоса вдоль бортового камня и др.), заделываются вручную подсыпкой асфальтобетонной смеси, взятой из приемного бункера. Черный горячий щебень для втапливания равномерно распределяется механизмами или вручную в соответствующих объемах по поверхности устраиваемого покрытия.

Обработка поверхности покрытия производится россыпью по нему горячего щебня фракций 3–5 (8) или 5–8 (10) мм. Россыпь щебня производится равномерным слоем в одну щебенку вслед за асфальтоукладчиком сразу после распределения смеси. Ориентировочный расход щебня для смеси типа I – 5–8 кг/м². После остывания покрытия до температуры 80–100 °С допускается прикатка щебня легким катком. С остывшего до температуры наружного воздуха слоя незакрепившиеся щебенки должны сметаться. Движение автомобильного транспорта по готовому покрытию открывается после того, как температура покрытия сравнивается с температурой окружающего воздуха, но не ранее чем через 3 ч после завершения работ.

Методы контроля качества. Производство этапов работ и учет нарушений технологических операций ведут в журнале работ. Проверке подлежат качество подготовки основания: высотные отметки, поперечный и продольный уклоны, ровность, наличие влаги на поверхности, чистота, равномерность распределения грунтового слоя по основанию, в местах сопряжения с существующим покрытием и на выступающих элементах проезжей части, правильность установки решеток и люков колодцев, бортового камня, упорных брусьев.

В процессе укладки контролируют: наполнение приемного бункера и шнековой камеры смесью, работу выглаживающей плиты и ее вибратора, скорость укладки, равномерность распределения смеси, толщину укладываемого слоя, его ровность, поперечный и продольный уклоны, температуру смеси, своевременность перестановки упорного бруса, длину полосы укладки с учетом погодных условий, качество сопряжения со смежной полосой, количество проходов катка, работу системы смачивания вальцов.

При создании шероховатой поверхности с помощью черного мелкого щебня контролируют температуру покрытия, размер фракции, расход щебня, равномерность его распределения, глубину погружения щебенки.

После завершения строительства проверяют общую толщину, поперечный и продольный уклоны покрытия, плотность и деформационную устойчивость слоя [6], коэффициент сцепления покрытия с протектором колеса автомобиля. Пробы отбирают из полосы наката покрытия с каждые 3 тыс. м² не ранее чем через 3 сут после окончания строительства и открытия движения транспорта.

Ровность проверяют рейкой длиной 3 м, измеряя величину просвета под ней. Для магистральных улиц общегородского значения величина просвета должна быть не более 3 мм, районного значения – не более 5 мм и местного значения – не более 7 мм. Ровность проверяют через каждые 30–50 м на расстоянии 1–1,5 м от бортового камня. При текущем ремонте разница высотных отметок существующего и отремонтированного покрытия допускается не более 7 мм.

Безопасность производства работ. При приготовлении смесей и устройстве из них асфальтобетонных покрытий следует соблюдать требования, изложенные в СНиП 12-03–2001 «Безопасность труда в строительстве». Особое вни-

мание следует обращать на то, что укладка литого асфальтобетона производится при повышенных и стабильных во времени температурах материала по сравнению с укладкой обычно применяемых асфальтобетонных смесей.

В связи с этим запрещается при загрузке приемных бункеров асфальтоукладчиков находиться вблизи его боковых стенок во избежание ожогов, подниматься в кузов автомобиля-самосвала при затрудненной выгрузке литого асфальтобетона. Прилипшую к кузову автомобиля-самосвала смесь разрешается выгружать стоя на земле специальными скребками или лопатой с ручкой длиной не менее 2 м.

Перед началом работ инженерно-технический персонал, машинисты асфальтоукладчиков, водители транспортных средств, механики и рабочие должны изучить технологические особенности смесей, правила производства работ, правила работы на машинах, а также безопасные условия труда.

При производстве работ навстречу движению транспорта необходимо принимать дополнительные меры безопасности ведения работ. Место работ должно быть ограждено. Техника должна работать с зажженными фарами и проблесковыми маячками, а впереди, не менее чем за 10 м от машины, должен быть установлен предупредительный знак.

В темное время суток места производства работ должны быть освещены. По мере движения фронта работ осветительные приборы и технические средства переставляют.

Инструменты должны быть удобными, исправными и содержаться в чистоте. Разравниватели, скребки, гладилки, грабли, лопаты следует насаживать только на деревянные черенки. Чтобы смесь меньше прилипала, они должны постоянно находиться в горячем состоянии. Очищать и обрабатывать инструмент дизельным топливом не допускается. Ручной шпатель должен быть изготовлен из дерева (преимущественно из липы). Металлическая выглаживающая поверхность ручного шпателя должна быть нержавеющей, ровной, гладкой и труднодеформируемой.

Выводы. Данный нормативный документ был разработан с учетом опыта устройства ездового полотна и тротуаров на основе сероасфальтобетона на автодорожном мосту в Крылатском (г. Москва). Работы производились при температуре $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ в декабре 2002 г. В настоящее время успешно эксплуатируются тротуары мостового сооружения.

Важность этого документа и разработанных на его основе ряда стандартов организаций подчеркивается большим вниманием Правительства России, Федерального агентства и государственной компании «Автодор» к применению технической серы в дорожном строительстве.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГ

А.Л. Ланис, С.А. Овчинников

Сибирский государственный университет
путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

Объектом исследования являются способы ремонта деформирующегося земляного полотна. Задача исследования состоит в обобщении существующего опыта ремонта дорог и разработке технологии закрепления земляного полотна с помощью армирования. В процессе работы проводились экспериментальные исследования эффективности закрепления откосов армирующим каркасом. Эффективность предложенного способа закрепления определяется технологической доступностью и широким спектром решаемых задач.

Ключевые слова: армирование, земляное полотно, закрепление, иньектор.

Повышение интенсивности движения, на фоне постоянно увеличивающейся осевой нагрузки, приводит к значительному износу основных дорожных фондов и как следствие к уменьшению межремонтных циклов. При этом выполняемые в настоящее время дорожные работы, как правило, связаны только с восстановлением дорожной одежды и в большинстве случаев не затрагивают причин деформаций покрытия, часто связанных зачастую с деформациями земляного полотна, без восстановления эксплуатационной надежности которого капитальный ремонт автомобильной дороги приносит кратковременный, чаще сезонный эффект.

Обеспечение стабильности, прочности и устойчивости земляного полотна – ключевая задача транспортного строительства. Недостаточное внимание к проблемам земляного полотна, а также нарушение технологии строительства и отступление от норм проектирования приводит к развитию дефектов рабочего слоя и откосов, перерастающих со временем в деформации. При этом разрушение асфальтобетонного покрытия может служить лишь индикатором происходящих процессов. В связи с этим ремонт дорожного покрытия дает лишь кратковременный эффект.

Анализ опыта ремонта насыпей автомобильных и железных дорог показывает, что мероприятия по планировке и подсыпке обочин, восстановлению в проектных очертаниях деформированных откосов или сооружению поперечных прорезей не способны устранить причину развития деформаций.

Осушение верхней зоны рабочего слоя с помощью устройства поперечных прорезей дает, как правило, кратковременный эффект. Заиливание дренажных устройств глинистыми частицами приводит к снижению их фильтрационных свойств. Успешная нейтрализация деформаций, вызванных переувлажнением грунтов, возможна только посредством устройства постоянно действующих дренажей. Однако устройство буровых дрен с откосов в условиях заболоченной местности практически труднореализуемо.

Возможности повышения стабильности земляного полотна расширились с началом массового использования при строительстве геотекстильных материалов и экструдированных пенополистиролов. Однако такие работы напрямую связаны с полным переустройством дорожной одежды.

Возведение гравитационных поддерживающих сооружений является надежным способом повышения устойчивости откосов, однако они требуют крупных инвестиционных вложений и, как правило, занимают значительные площади культурных земель в полосе отвода, что ограничивает их применение. Кроме того, при просадочных деформациях применение таких устройств нецелесообразно.

Особо следует рассмотреть армогрунтовые удерживающие конструкции. Они более эффективны при повышении стабильности земляного полотна и не требуют применения дорогостоящих материалов и оборудования. Однако эффективное применение армирующих конструкций в настоящее время возможно только в условиях ограничения или полной остановки движения.

Наряду с рассмотренными недостатками указанные методы усиления земляного полотна, как правило, используются для борьбы со следствиями протекающих деформаций, не устраняя причину их возникновения, что в дальнейшем приводит к их прогрессивному развитию либо к переходу их в другой вид (состояние). Например, вместо оползневых деформаций или сплывов начинают развиваться суффозионные процессы, просадки, провалы, боковые подвижки.

Гарантированное восстановление эксплуатационной надежности деформируемых насыпей возможно путем замены верхних обводненных и разуплотненных слоев грунта, что реализуемо только при полной остановке движения на длительный период.

Альтернативным решением проблемы ремонта эксплуатируемого земляного полотна в настоящее время становится активное внедрение современных методов упрочнения и армирования грунтов. Интенсивное развитие гражданского, промышленного и дорожного строительства последних лет диктует потребность широкого внедрения новых методов усиления оснований, укрепления стен глубоких котлованов, уплотнения насыпных техногенных грунтов, закрепления и осушения крутых склонов и откосов и т.д. Значительным подспорьем в решении этих проблем является активное внедрение современных методов армирования грунтового массива. К таким методам следует отнести

устройство анкерных и нагельных конструкций, инъекционное упрочнение грунтов, армирование грунтов микросваями в пробуренных, пробитых или раскатанных скважинах, устройство закрытых дренажей различной конструкции и т.д. Внедрение этих технологий в дорожном строительстве является перспективной составляющей программы модернизации автомобильных дорог.

Искусственное улучшение физико-механических свойств грунтов (упрочнение, уплотнение, закрепление, армирование) в ряде случаев является конкурентоспособной альтернативой традиционных методов ремонта земляного полотна. Особенно в тех случаях, когда требуется уменьшить сжимаемость, повысить несущую способность грунтов, обеспечить устойчивость склонов и откосов. В этих случаях главным аргументом в пользу искусственного улучшения свойств грунтов становится возможность их применения на площадках со сложными инженерно-геологическими условиями, что позволяет существенно снизить затраты на строительство, предупредить возможное возникновение деформаций в несущих конструкциях от неравномерных осадок и, в конечном итоге, увеличить сроки эксплуатации.

Результаты научных исследований, проведенных специалистами СГУПС в этом направлении, позволили эффективно решать задачи, связанные с усилением, осушением, армированием земляного полотна и его основания, отводом избыточной воды из обводненных мест насыпей и выемок, стабилизацией оползневых и пучинистых деформаций, устранением разуплотнений грунта и пустот над водопропускными трубами, устройством противодиффузионных завес, анкерных и стягивающих конструкций.

В качестве одного из наиболее эффективных методов ремонта земляного полотна автомобильных дорог в первую очередь следует рассмотреть метод напорной инъекции. Сущность метода состоит в нагнетании в грунт под большим давлением вяжущего раствора. Одна из модификаций данного способа применительно к земляному полотну железных дорог разработана в СГУПС и защищена патентом РФ № 2277616 от 19 июля 2006 г. Эффективность этого метода состоит в том, что нагнетание производится при давлении, превышающем структурную прочность грунта, в результате чего происходит одновременное уплотнение и армирование грунтового массива линзами твердеющего раствора. Стоит особо отметить, что реализация этого метода не требует применения дорогостоящего оборудования и материалов, а также привлечения значительного числа квалифицированных кадров.

К настоящему времени метод напорной инъекции апробирован при стабилизации и усилении ряда насыпей на железных дорогах Сибири. Ниже приведен пример проектирования усиления грунтов земляного полотна на 109-м километре автомобильной дороги «Байкал».

Необходимость усиления возникла в связи с развитием деформаций насыпи, проявившихся в виде сползания нижней части откоса. На момент обследования хорошо просматривался оползневой уступ высотой 0,5 м, граница которого совпадает с кромкой дорожной одежды. Контуры оползня просле-

живаются по оползневым трещинам отрыва. После начала оползневых деформаций пазухи и депрессии рельефа с верховой стороны насыпи, в которых скапливалась вода, были засыпаны местным грунтом для обеспечения ее отвода в сторону трубы, расположенной в 150 м от границы участка.

Проведенное инженерно-геологическое обследование установило наличие прослоек, линз и гнезд органики в виде гумусированного суглинка черного цвета. Проведенные ранее противодеформационные мероприятия, включающие отсыпку контрбанкетов и организацию водоотвода, были реализованы с нарушением технологии производства работ. Активизация деформаций происходит, как правило, при весеннем оттаивании грунтов и в дождливые осенние периоды, когда грунты тела насыпи интенсивно увлажняются за счет инфильтрации атмосферных вод, чему способствует аккумуляция воды в засыпке.

Выполненный расчетно-теоретический анализ показал, что деформация насыпи обусловлена комплексом причин, а именно наличием в основании насыпи грунтов с низкими механическими характеристиками, некачественной отсыпкой земляного полотна, необеспеченным водоотводом с верховой части насыпи. Деформации насыпи проявляются в виде оседания центральной ее части с последующим сдвигом по контакту слабых грунтов. Поверхность скольжения не захватывает глубокие слои в основании насыпи.

Разработан комплекс мероприятий, включающий упрочнение и армирование слабых грунтов в основании насыпи, тампонирующее образование оползневых трещин, обеспечение продольного водоотвода, устройство у подошвы низового откоса упора из набивных свай.

Упрочнение и армирование слабых грунтов в основании насыпи осуществляется методом напорных инъекций под давлением, превышающим структурную прочность грунта. Уплотнению подлежат заторфованные и глинистые грунты с низкими механическими характеристиками. Параллельно тампонируются существующие оползневые трещины. Нагнетаемый под давлением раствор специального состава разрывает грунт, уплотняя и армируя его.

Устройство упорной призмы из набивных уплотняющих свай выполняется раскатчиком скважин, используемым в качестве навесного оборудования к трактору МТЗ 82. Раскатка выполняется в несколько проходок. Обеспечение водоотвода с верховой части насыпи выполняется путем нарезки продольного лотка с одновременным устройством противофильтрационной завесы. Возведение противофильтрационной завесы предполагается выполнить путем устройства ряда уплотняющих грунтовых свай в скважинах, вытрамбованных пневмопробойником (рис. 1).

Достоинствами применяемых технологий являются малая энергоемкость, высокая степень механизации, использование дешевых материалов, возможность выполнять работы практически на всех участках земляного полотна без какого-либо ограничения движения.

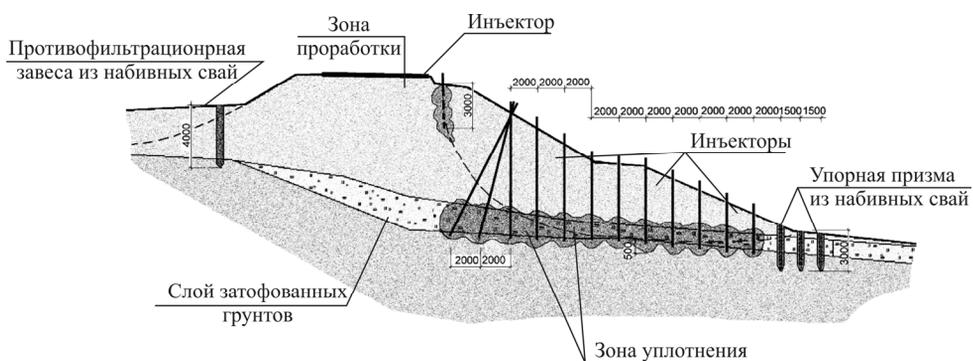


Рис. 1. Мероприятия по стабилизации деформаций насыпи на 109-м км автомобильной дороги «Байкал»

Использование метода напорной ињекции при усилении земляного полотна позволяет предотвратить причину возникновения указанных деформаций, в то же время не позволяет эффективно бороться с деформациями откосов в поздней стадии их развития. В связи с этим в Сибирском государственном университете путей сообщения выполнена научно-исследовательская работа в рамках плана научно-технического развития ОАО «РЖД» по разработке методики закрепления земляного полотна железных дорог для проектирования мероприятий по усилению грунтов сползающих откосов.

Предлагаемый метод закрепления земляного полотна обеспечивает устойчивость откосов эксплуатируемых насыпей и выемок путем усиления слабых зон либо сползающих массивов грунта. Сущность метода – создание системы перекрестно расположенных армирующих элементов (сеток) в разных уровнях (создание объемного арматурного каркаса) и последующая ињекция в узлы их пересечения связующего раствора. Арматурный каркас связывает грунтовый массив в пределах занимаемого им объема, а после заполнения его твердеющим раствором образуется жесткая ячеистая монолитная несущая прослойка грунта, обладающая высокими значениями физико-механических характеристик (армирующий каркас) (рис. 2).

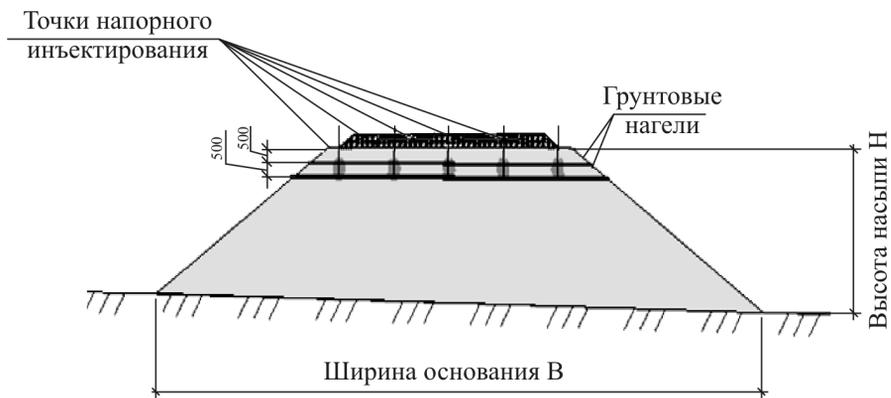


Рис. 2. Сплошное закрепление основной площадки армирующим каркасом

Выполненные экспериментальные и теоретические исследования показали, что использование армирующих сеток до 18 раз эффективнее применения армирующих стержней, а формирование армирующего каркаса приводит к значительному снижению сжимаемости армируемого слоя.

Закрепление земляного полотна армирующим каркасом допускается применять в слабых пылевато-глинистых связных грунтах (супеси, суглинки, глины) тугопластичной и мягкопластичной консистенции (показатель текучести $I_L \leq 0,60$). Возможность и целесообразность применения метода в грунтах других типов следует определять по результатам устройства и испытаний фрагментов конструкции на опытных участках.

Технология закрепления земляного полотна армирующим каркасом универсальна и позволят производить сплошное и локальное закрепление ослабленных, обводненных и разуплотненных зон.

Проблема коррозионной устойчивости материалов, как правило, решается увеличением диаметра армирующих элементов, из расчета обеспечения требуемой толщины на период планируемого срока эксплуатации, либо нанесением защитного покрытия.

Для объектов капитального строительства с длительным сроком эксплуатации в качестве основного решения проблемы коррозионной устойчивости рекомендуется рассматривать вариант применения композитной арматуры при соответствующем технико-экономическом обосновании. В качестве армирующих инъекторов или иглофильтров взамен металлических возможно применение стеклопластиковых труб.

Ниже представлен пример использования предложенного метода при проектировании усиления грунтов земляного полотна опытного участка железнодорожной линии Междуреченск – Тайшет на 961-м километре Красноярской железной дороги. Необходимость усиления возникла в связи с развитием дефектов земляного полотна, выраженных образованием оползневого массива грунта в откосной части насыпи. Развитию деформаций откоса способствовали низкие прочностные и деформационные характеристики грунта, обусловленные содержанием органических веществ, карбонатов, а также значительным переувлажнением.

Основной целью проектирования являлась разработка решений по закреплению грунтов откосов земляного полотна и восстановлению его эксплуатационной надежности, при этом укрепление откосов необходимо произвести на ширину и глубину, при которых будет обеспечен достаточный запас общей устойчивости.

В ходе проведения экспериментально-теоретических исследований разработана схема закрепления сползающего откоса. Сущность предложенной схемы закрепления состоит в формировании в теле земляного полотна нескольких ярусов армирующих решеток, образованных взаимным пересечением арматурных стержней, погруженных с откоса земляного полотна (рис. 3). Для обеспечения совместной работы арматурных стержней, решетки объединены между собой массивами закрепленного грунта, образованными инъекцией твердеющего рас-

твора через инъекционные трубы. На рис. 4 показана схема забивки стержней в плане. Стержни забиваются в тело насыпи с помощью пневмоударного механизма. Все эти работы выполняются без остановки движения транспорта.

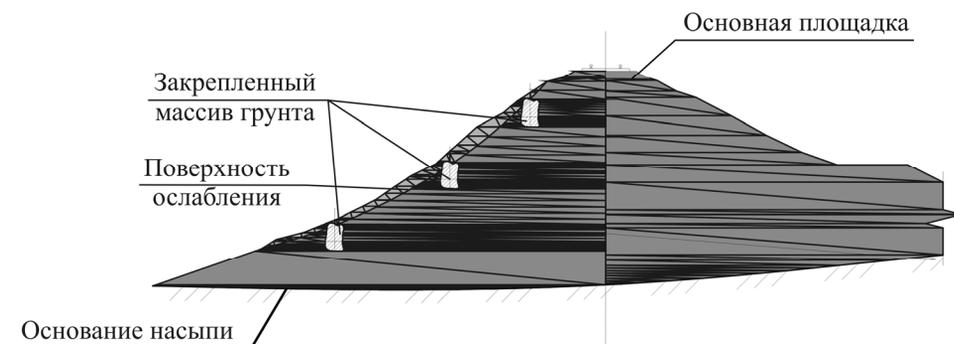


Рис. 3. Локальное закрепление откоса насыпи армирующим каркасом

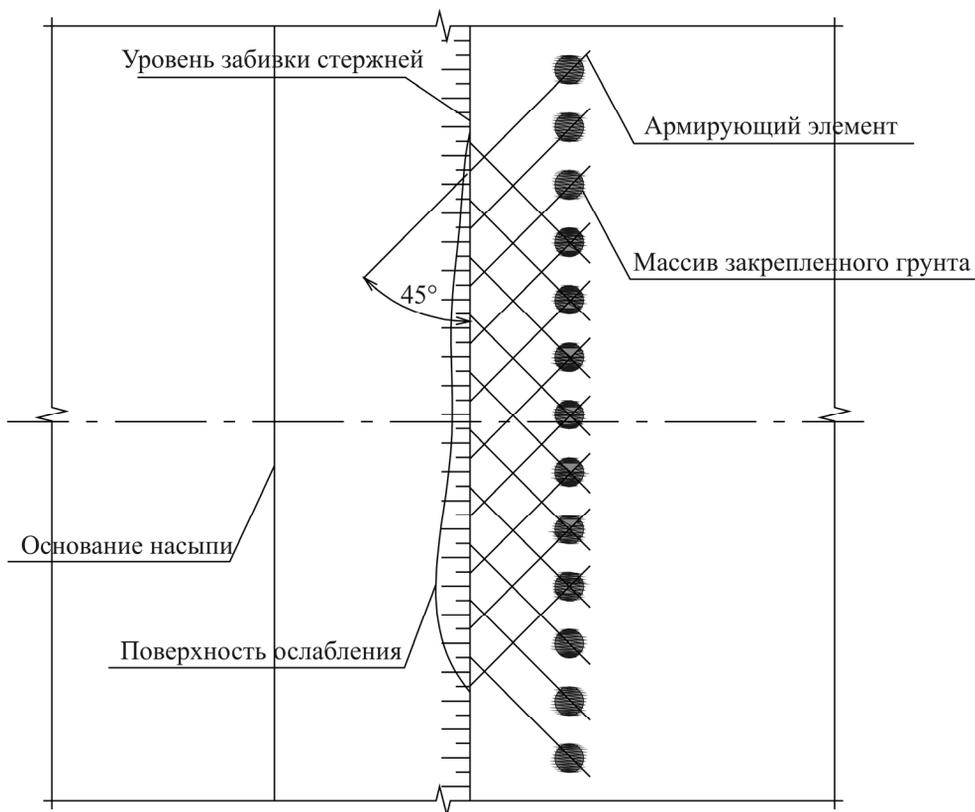


Рис. 4. Схема забивки стержней арматуры (в плане)

Достоинствами предложенной конструкции являются малая ресурсо- и энергоёмкость, высокая мобильность, возможность выполнять работы практически на всех участках земляного полотна без ограничения движения.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ ПОДТОПЛЕННОЙ НАСЫПИ НА 39-М КИЛОМЕТРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ОМСК – КОРМИЛОВКА

К.В. Семашкин, В.Н. Шестаков, В.И. Сологаев

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия

Предложено конструктивно-технологическое решение по обеспечению устойчивости эксплуатируемой подтопленной насыпи автомобильной дороги с использованием технологии управляемого зацелачивания грунта.

***Ключевые слова:** земляная насыпь, противофильтрационный экран, управляемое зацелачивание.*

Земляное полотно автомобильной дороги является геотехнической (техноприродой) системой, которая, находясь во взаимодействии с геологической средой, воспринимает природные воздействия и транспортные нагрузки. В процессе жизненного цикла земляного полотна в нем возникают различные повреждения, снижающие его эксплуатационную надежность. Повреждение земляного полотна – это неисправность отдельных частей земляного полотна, полученная в процессе эксплуатации, к ним относятся местные нарушения в его элементах [1].

Краткая характеристика участка дороги Омск – Кормиловка (39-й километр). Автомобильная дорога общего пользования, III технической категории, с асфальтобетонным покрытием. Насыпь возведена из недоуплотненных глины легкой пылеватой и суглинка тяжелого пылеватого. Высота насыпи 4,4–10,0 м, ширина земляного полотна 17,5–20,0 м.

Дорога пересекает овраг: справа с верховой стороны насыпь дороги подпирает водоем, верховой откос находится в замоченном состоянии; слева с низовой стороны на откосе образовался участок высачивания, откос оползает (рис. 1).

Из искусственного озера через насыпь дороги происходит фильтрация воды. Откос со стороны озера обводнен и подвержен оползнию; на откосе, противоположному озеру, образовался участок высачивания воды, что приводит к оползанию откосной части земляного массива.

Для обеспечения устойчивости оползающего откоса и предотвращения выпирания из-под него слабых грунтов основания устроен в основании насыпи слева контрбанкет.

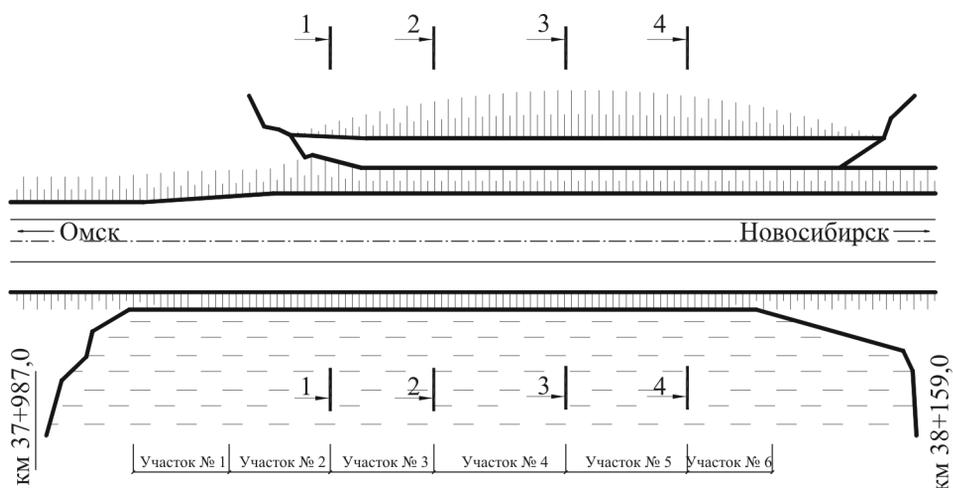


Рис. 1. План расположения поврежденного участка насыпи

Обследование дорожной конструкции в 2009 г., после выполнения мероприятий по обеспечению устойчивости, показало, что с левой стороны имеются повреждения, обусловленные размывом откосной части земляного полотна, так как она не укреплена дерновым покровом. Со стороны водоема, прислоненной части земляного полотна, наметились трещины сползания. Результаты инженерно-геологических изысканий показали, что состояние грунтов ухудшилось: на глубине 4 м от поверхности дорожного покрытия грунты перешли из полутвердого состояния в мягкопластичное. На момент обследования земляной насыпи категория ее технического состояния была определена как «ограниченно работоспособное, переходящее в недопустимое». Это означает, что повреждения земляного полотна привели к некоторому снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного обрушения. В том случае, если не будут выполнены все мероприятия по «лечению» земляного полотна, категория технического состояния может перейти в «недопустимое», когда повреждение земляного полотна приводит к снижению эксплуатационных характеристик, при этом существует опасность его внезапного обрушения.

Учитывая характер повреждения земляного полотна, в откосной части со стороны водоема следует устроить экран.

Предпосылки возведения экрана с управляемой проницаемостью защелачиванием глинистого грунта. В ходе защелачивания грунта синтез вяжущих происходит непосредственно в породе за счет его собственных ресурсов, извлекаемых из минеральных составляющих грунта в условиях сильнощелочной среды. Результатом такой обработки является частичная цеолитизация алюмосиликатной составляющей грунта. В результате щелочного гидролиза, прежде всего глинистой составляющей грунтов через 7–8 дней в поровом пространстве наблюдается осаждение аморфного алюмосиликатного геля цеолитового состава, который в дальнейшем способен перекристаллизовываться с образованием низкокремнеземистых цеолитов за счет разложения глинистых минералов [2, 3].

На основании лабораторных исследований установлена зависимость снижения коэффициента фильтрации суглинка, обработанного рабочим раствором NaOH, от концентрации раствора. При приготовлении рабочего раствора необходима добавка негашеной извести (CaO) в количестве 1–2 % от массы рабочего раствора. Катионы кальция в системе грунт – раствор NaOH приводят к созданию дополнительных соединений типа гидрогранатов, гидросиликатов кальция, кальцита, способных цементировать песчаные и пылеватые частицы грунтов и принимать участие в создании жесткой конденсационно-кристаллизованной структуры в глинистых грунтах. При обработке легкого суглинка раствором NaOH с добавлением 2 % CaO от массы рабочего раствора концентрацией 2,5 н., коэффициент фильтрации понизился в 50 раз, при концентрации раствора 5,0 н. – в 110 раз, при концентрации 7,5 н. – в 200 раз соответственно.

Экологическая безопасность устройства противofильтрационного экрана в дорожной насыпи. Устройство противofильтрационного экрана в подтопляемой земляной насыпи способом управляемого защелачивания глинистого грунта не представляет опасности загрязнения окружающей среды, поскольку такие грунты являются естественным геохимическим барьером. На основании исследований Ф.Е. Волкова, после закрепления опытной площадки раствором щелочи с концентрацией 8 н. через год в массиве грунта на расстоянии от закрепленной зоны 0,2 м содержание щелочи уменьшилось до 0,002 н., причем наиболее интенсивное его уменьшение произошло в первые 3–4 месяца. На расстоянии свыше 1 м от границы закрепленной зоны за год наблюдений не было обнаружено следов щелочи. В процессе проведения работ по защелачиванию глинистых грунтов был учтен и экологический аспект: совместно со специалистами надзорных служб велись наблюдения за распространением в породе щелочных растворов. Контроль показал, что щелочь локализуется вблизи укрепленной зоны. За 5 лет мониторинга миграция щелочи ($pH = 8 \dots 9$) прослеживалась на расстояниях 0,3–1,0 м от укрепляемой зоны, однако за это время щелочность порового раствора уменьшилась на три порядка [4].

На основании исследований Е.Н. Самарина и В.Г. Коваленко о распространении растворов щелочи в глинистых грунтах были проведены анализы, которые показали, что через два месяца после проведения опытных инъекционных работ по созданию массива защелоченного грунта на расстоянии 2 м от инъекции значение pH водных вытяжек (при соотношении «грунт – раствор 1:10») не превышали 7,9. На расстоянии 1,85 м от инъектора щелочь обнаружена только в интервале глубины 3,0–3,4 м, где концентрации NaOH в поровом пространстве составили 0,04–0,24 моль/л (1,6–9,6 г/л). Непосредственно в зоне закрепления концентрация щелочи в поровом пространстве не превышала 0,61 моль/л (25 г/л), что свидетельствует о значительном поглощении вводимого реагента исследованным грунтом: концентрация щелочи уменьшилась в 10–100 раз. Образцы защелоченных суглинков, отобранных через 1 год после инъектирования, свидетельствовали о поглощении щелочи грунтом. Необходимо отметить, что уже через 2 месяца взаимодействия поровый раствор является практически неагрессивным по отношению к железобетонным конструкциям [4].

Изменение фильтрационного расхода в теле насыпи и повышение устойчивости ее откосов. Оценим эффективность устройства противофильтрационного экрана в теле грунтовой насыпи автомобильной дороги методом управляемого зашелачивания грунта.

При уменьшении фильтрационного расхода через насыпь дороги путем устройства противофильтрационного экрана в насыпи уменьшится участок высачивания и вероятность оползня снизится, повысится устойчивость подтопленного откоса. Для сравнения выполним расчет устойчивости откосов подтопленной насыпи с устройством экрана и без него.

Ввиду сложной конфигурации насыпи, пересекающей лог, выполним расчет устойчивости в характерных сечениях: 1–1, 2–2, 3–3, 4–4. Первым этапом расчета будет определения положения кривой депрессии в теле насыпи. Для расчета используем численный метод МКР-Excel. Зная положения кривой депрессии, выполним расчет устойчивости откосов подтопленной насыпи методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения К. Терцаги. При расчете учитываем влияние гидродинамического давления на устойчивость смоченной поверхности насыпи, различие в сцеплении сухого и водонасыщенного грунта и взвешивающий эффект воды. В местах неоднородности грунта величины угла внутреннего трения ϕ и сцепления C принимаем в расчет их средневзвешенные значения. На рис. 2 показано изменение положения кривой депрессии до и после устройства противофильтрационного экрана [5].

Требуемый коэффициент устойчивости $K_{тр}$ для автомобильной дороги III технической категории составляет 1,46.

По результатам расчетов устойчивости откосов дорожной насыпи можно сделать вывод, что устойчивость откосов на всей протяженности подтопленного участка не обеспечена (табл. 1). После устройства противофильтрационного экрана расход через тело насыпи понизится, участок высачивания сократится, устойчивость низового откоса повысится. Со стороны верхового откоса в работу по устойчивости откоса включился противофильтрационный экран, который выполняет роль шпунтового ограждения. Результаты расчетов по устойчивости откосов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета устойчивости откосов подтопленной насыпи

Без экрана			С экраном		
Коэффициенты устойчивости откосов $K_{уст}$		$K_{тр}$	Коэффициенты устойчивости откосов $K_{уст}$		$K_{тр}$
низового	верхового		низового	верхового	
Сечение 1–1					
1,50	1,27	1,46	2,11	2,0	1,46
Сечение 2–2					
1,08	1,02	1,46	1,92	1,85	1,46
Сечение 3–3					
1,21	1,36	1,46	1,96	1,70	1,46
Сечение 4–4					
1,41	1,55	1,46	2,15	2,20	1,46

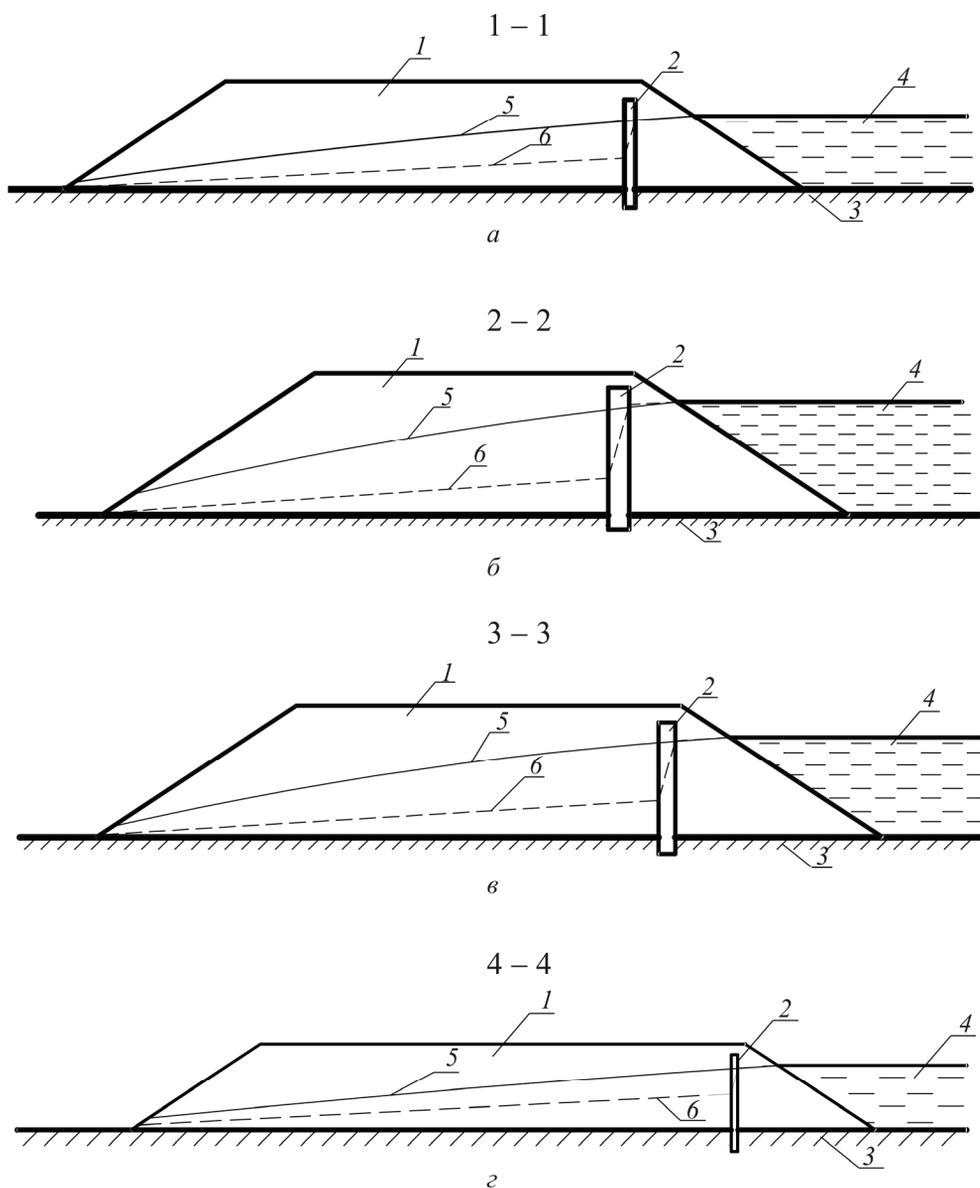


Рис. 2. Изменение положения кривой депрессии в сечениях 1–1, 2–2, 3–3, 4–4: 1 – земляная насыпь; 2 – противодиффузионный экран с переменной проницаемостью; 3 – основание; 4 – водоем; 5 – кривая депрессии (без экрана); 6 – кривая депрессии (после устройства экрана)

Оптимизация параметров противодиффузионного экрана. В зависимости от геометрических размеров земляной насыпи и водоема, фильтрационных характеристик грунта насыпи и основания, физико-механических характеристик грунта земляной насыпи и основания, стоимости материалов и работ по устройству противодиффузионного экрана необходимо найти

оптимальное решение устройства противofильтрационного экрана, которое бы удовлетворяло условиям прочности и устойчивости подтопленной земляной насыпи и при этом имело минимальную стоимость. Варьируемыми параметрами при устройстве противofильтрационного экрана являются: n – концентрация рабочего раствора NaOH, l_p – шаг забивки инъекторов, r – радиус закрепления грунта. Автомобильная дорога пересекает лог, поэтому на всем протяжении подтопленного участка противofильтрационный экран имеет переменную высоту экрана, коэффициент фильтрации, радиус закрепления и шаг забивки инъекторов.

Математическая модель оптимизации технологических параметров является задачей нелинейного программирования. Для решения таких задач в рамках наиболее распространенной системы электронных таблиц Excel используется пакет программ поиска решения (Solver). Этот пакет основан на использовании алгоритмов и методов математического программирования.

Экран в земляных плотинах в фильтрационном отношении представляет собой область с переменной проницаемостью. Аналогично и для дорожной насыпи противofильтрационный экран можно рассмотреть как область с переменным коэффициентом фильтрации как по высоте, так и по длине экрана. Исходя из условия, что расход и длина фильтрации во всех точках экрана должны оставаться постоянным, а напор к основанию экрана увеличивается, можно рассчитать коэффициент фильтрации в каждой точке экрана (рис. 3). Коэффициент фильтрации экрана изменяется от $1,8 \cdot 10^{-4}$ до $1,68 \cdot 10^{-5}$ м/сут.

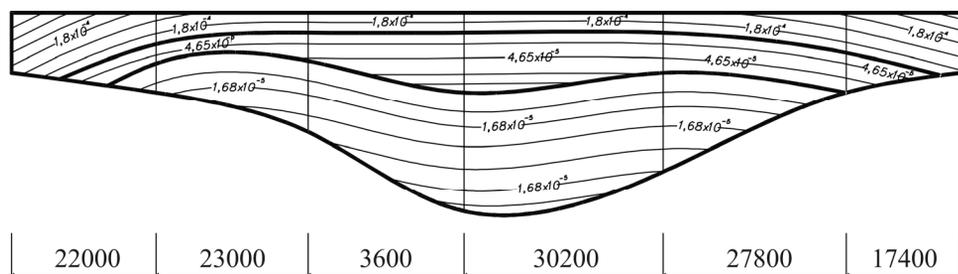


Рис. 3. Противofильтрационный экран с переменным коэффициентом фильтрации по площади экрана

В результате оптимизации данных при расчете устойчивости откосов во всех сечениях насыпи получили экран с переменным фильтрационным сопротивлением (рис. 4):

Номер участка (см. рис. 1)	Ширина экрана, м
Участок № 1	0,6
Участок № 2	0,6
Участок № 3	0,6–1,5
Участок № 4	1,5–1,0
Участок № 5	1,0–0,3
Участок № 6	0,3

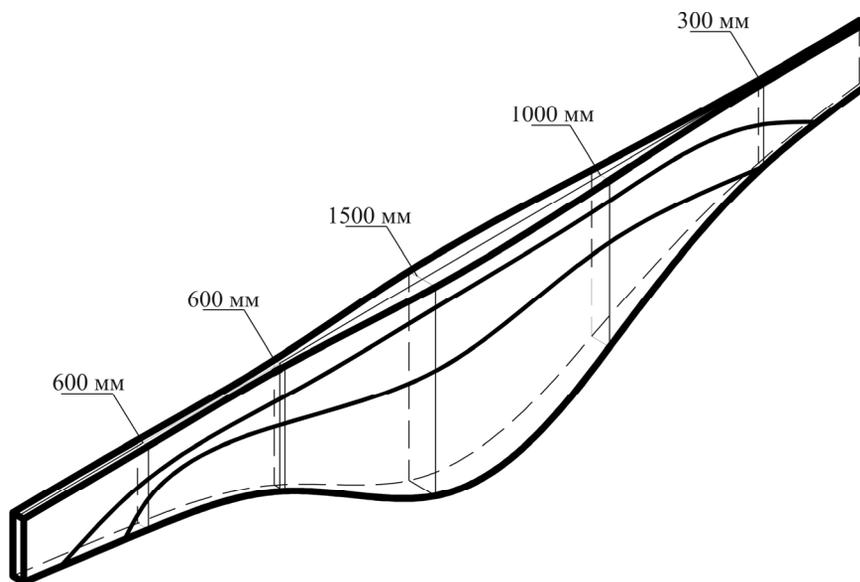


Рис. 4. Противофильтрационный экран с переменной фильтрационной мощностью

Введем понятие ψ – фильтрационное сопротивление экрана, характеризующееся водопроницаемостью экрана в конкретном сечении.

$$\psi = \frac{b}{k_{\phi}},$$

где b – ширина экрана, м; k_{ϕ} – коэффициент фильтрации экрана м/сут.

По результатам расчета можно сделать вывод о том, что с увеличением глубины водоема фильтрационное сопротивление экрана увеличивается.

Технологические параметры устройства противофильтрационного экрана. Противофильтрационный экран представляет собой область с переменным коэффициентом фильтрации и переменной шириной, соответственно необходимо, варьировать концентрацию раствора, радиус закрепления грунта и шаг забивки инъекторов. По результатам оптимизации параметров противофильтрационного экрана (рис. 5) определены его технологические параметры (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Технологические параметры противофильтрационного экрана

Номер участка (см. рис. 3)	Радиус укрепления грунта, м	Шаг забивки инъекторов, м	Глубина забивки инъекторов, м
1	0,5	0,8	7
2	0,5	0,8	7
3	0,9	1,4	7–11
4	0,9	1,4	11–8
5	0,7	0,95	8–4
6	0,2	0,25	4

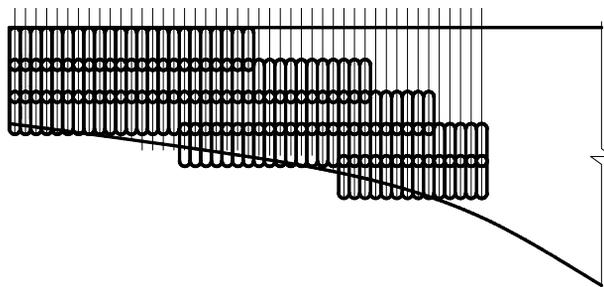


Рис. 5. Фрагмент устройства противофильтрационного экрана с переменной высотой по длине экрана

Также необходимо учесть инъекцию раствора различной концентрации по глубине и длине экрана (см. рис. 5).

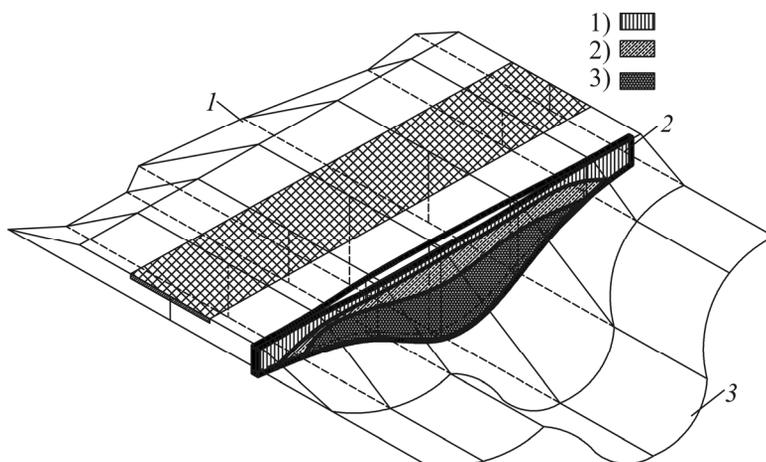


Рис. 6. Фрагмент противофильтрационного экрана, укрепленного растворами NaOH различной концентрации: 1 – участок укрепленный раствором с концентрацией 2,5 н.; 2 – 7,5 н.; 3 – 10,0 н.

Сделаем следующие выводы:

1. Устройство противофильтрационного экрана в теле эксплуатируемой подтопленной насыпи автомобильной дороги снижает расход фильтрующейся воды через тело насыпи и тем самым повышает устойчивость насыпи.

2. Данное конструктивно-технологическое решение можно применять в подтопленных насыпях в период их эксплуатации, без остановки движения автомобильного транспорта.

3. Устройство противофильтрационного экрана в подтопленной земляной насыпи способом управляемого защелачивания глинистого грунта не представляет опасности загрязнения окружающей среды, поскольку такие грунты являются естественным геохимическим барьером.

Список литературы

1. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. – М., Транспорт, 1975. – 288 с.
2. Рекомендации по укреплению глинистых грунтов оснований зданий и сооружений зашелачиванием / БашНИИстрой. – Уфа, 2005. – 36 с.
3. Волков Ф.Е. Роль растворов едкой щелочи в процессе формирования микроструктуры грунтобетона // Строительные материалы. – 2003. – № 10. – С. 44–46.
4. Самарин Е.Н., Коваленко Е.Г., Балыкова С.Д. Инженерно-геологические методы управления динамической неустойчивостью массивов дисперсных грунтов (на примере Нижневартовского нефтегазоносного района) // Инженерная геология. – 2007. – Сентябрь. – С. 36–42.
5. Семашкин К.В. Устройство противofильтрационного экрана в эксплуатируемых подтопленных земляных насыпях управляемым зашелачиванием грунта // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4. – С. 137–144.

СООРУЖЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ

А.В. Лизунов

Курганский государственный университет, Россия

Рассматриваются существующие технологии устройства земляного полотна в условиях Крайнего Севера и зоны распространения вечномёрзлых грунтов. Дается краткое описание состояния мохорастительного слоя и его связь с дальнейшей работой насыпи. Предлагается вариант по устройству земляного полотна, с целью скорейшей его стабилизации и уменьшения осадки на вечномёрзлых грунтах.

Ключевые слова: мохорастительный слой, вечная мерзлота, грунто-укладчик.

Даже после распада СССР Российская Федерация занимает первое место в мире по площади территории. Но при этом из 17075,4 тыс. км² территории РФ более 5000 тыс. км² относятся к территориям Крайнего Севера, который простирается от Кольского полуострова до берегов Охотского моря и Тихого океана. Граница Крайнего Севера в Сибири примерно совпадает с Северным полярным кругом, а на Дальнем Востоке опускается до 60-й параллели. Но именно на этих необжитых и трудно-доступных территориях находятся месторождения нефти и газа, а также других полезных ископаемых, необходимых для развития экономики нашей страны.

Особенностями природы Крайнего Севера являются низкие значения радиационного баланса, близкие к нулю градусов средние температуры воздуха в летний период при отрицательных среднегодовых температурах, существование ледников, многолетней мерзлоты на материковой суше, преобладание арктических пустынь и тундр (при этом на широте поселка Новый Порт, на полуострове Ямал, в июле температура воздуха может подниматься до 25–30 °С).

Природа Севера, особенно Заполярья, очень уязвима и легко разрушается при воздействии на нее. Нарушение функций экосистемы и неспособность к самоочищению даже от малых выбросов загрязняющих веществ являются следствием ее низкой биологической продуктивности: ежегодный прирост фитомассы и ее общие запасы на единицу площади на Севере в 5–15 раз меньше, чем в более южных зонах (тайге, лесостепи), поэтому велико воздействие таких антропогенных факторов, как выбросы различных стационарных и передвижных

источников, сжигание попутного нефтяного газа, аварии на газопроводах и УКПГ, использование транспортных средств, прежде всего гусеничной техники. Именно транспорт разрушает наиболее трудно восстанавливаемые мхи и лишайники, в частности ягель (олений мох), который в год вырастает на несколько миллиметров, достигая размеров 10–15 см (рис. 1).



Рис. 1. Мхи и лишайники

Большое влияние на освоение территорий Крайнего Севера оказывает наличие вечномёрзлых грунтов, они занимают до 65 % территории России. В Заполярье, на севере Сибири, где в настоящее время производится основная разведка и добыча нефти и газа, толщина вечномёрзлых грунтов превышает сотни метров. Это накладывает отпечаток на особенности строительства, прежде всего земляного полотна, автомобильных и железных дорог.

Особенности состояния мохорастительного слоя в районах Крайнего Севера. Зона тундры охватывает около 10 % территории Российской Федерации и находится в пределах арктического и субарктического климатических поясов. Тундра практически безлесна; вечная мерзлота залегает близко к поверхности и задерживает влагу, образующуюся при оттаивании верхнего слоя почвы (рис. 2). Типичная тундровая почва включает тонкий слой гумуса, под которым находится глеевый горизонт; еще глубже – вечная мерзлота. Размещение растительности имеет дискретный характер; многочисленны лишайники (в том числе ягель), мхи, кустарнички (морозика, голубика, брусника) и кустарники (в основном карликовая береза).

Главным фактором, с экологической и технологической точек зрения, является то, что мохорастительный слой – хороший теплоизолятор. В летний период мощность деятельного слоя не превышает 1–1,5 м. Но это только в том случае, если он сохранен в первозданном виде. Обычно в процессе освоения территорий мохорастительный слой сильно разрушается. Он теряет свои теплоизоляционные качества даже после одного прохода по нему гусеничной

техники. Следы от прохода данной техники остаются практически навсегда. При сооружении земляного полотна, особенно в зимний период, возникает необходимость расчистки основания (полосы отвода) от снега, и именно при этих работах производится разрушение целостности гумусного слоя.



Рис. 2. Природа полуострова Ямал

Кроме того, растительный слой очень сильно разрушается под движением технологического и построчного транспорта, который обычно движется вдоль строящихся коммуникаций, так как в тундре, как и в степи, отсутствуют ориентиры. Восстанавливаются же лишайники и мхи десятки лет, а та разрушенная поверхность земли, которая будет находиться под земляным полотном, скорее всего, не восстановится вообще.

Этот факт особенно хорошо видно на строительстве и эксплуатации железных дорог Сургут – Новый Уренгой и Новый Уренгой – Надым – Ямбург. Участок железной дороги Сургут – Новый Уренгой был сдан в рабочую эксплуатацию в конце 70-х, а открыто регулярное пассажирское сообщение лишь в 2003 г. Вполне вероятно, это связано с большими осадками и просадками насыпи.

Примерно то же самое происходит с участком Новый Уренгой – Ямбург, где земляное полотно было отсыпано в 1987–1989 гг. и на данный момент открыто только рабочее движение поездов. Несмотря на то что автомобильные дороги с покрытием из сборных железобетонных плит начинают функционировать уже в процессе строительства, проблемы просадок земляного полотна их также касаются.

Технология сохранения мохорастительного слоя при сооружении насыпей. Исходя из опыта строительства автомобильных и железных дорог в условиях Крайнего Севера становится ясно, как важно сохранить в целостности мохорастительный слой, чтобы не нарушить его теплоизоляционные свойства, так как их нарушение вызывает дополнительную осадку земляного полотна больших размеров, вследствие неоднородности состава вечномёрзлых грунтов. Были случаи, когда тяжелая техника тонула в мерзлоте за несколько минут, а в течение двух-трех лет погружалась ниже поверхности земли на глубину 3–4 м.

По современной технологии при отсыпке нижнего слоя земляного полотна производится расчистка от снега бульдозером полосы отвода, а также зимника. Кроме того, в отряд входит бульдозер для разравнивания и грубой планировки отсыпанного грунта, пневматические, вибрационные или кулачковые катки для уплотнения тела насыпи, планировщик для придания откосам нужного заложения и автогрейдер для окончательной планировки верха насыпи и придания верху земляного полотна достаточной ровности для удобства движения построечного автомобильного транспорта.

В летний период производится отсыпка насыпи методом «от себя», когда вся техника находится на земляном полотне. Для удобства разворота автомобильных самосвалов у насыпи отсыпаются дополнительные карманы. Остальная технология работ остается без изменений.

Следовательно, для отсыпки насыпи в условиях Заполярья необходимо создать дорожно-строительную машину, назовем ее грунтоукладчик, по аналогии с асфальтоукладчиком, имеющую следующие характеристики:

- минимальное давление на поверхность земли, равное (или меньшее) давлению человека. Вероятнее всего, это должен быть движитель в виде гусениц, вращающихся с помощью гидромоторов (как на гусеничных экскаваторах или у машин комплекта ДС-110). При этом эта машина должна выдерживать не только собственный вес, но нагрузку от 1–2 грузовых автосамосвала, с учетом перспективы роста их грузоподъемности;

- собственное распределяющее, уплотняющее и выравнивающее оборудование, а также откосные крылья, для придания откосам заложения 1:1 или 1:2. Для укладки в земляное полотно мерзлых грунтов на машине должно стоять сменное оборудование для их измельчения и дробления с целью более быстрого таяния этого грунта в теле насыпи.

- способность отсыпать слой грунта толщиной не менее 1 м. Это связано с тем, что в летний период построечный транспорт будет продавливать слой толщиной 0,5 м (как предусматривается современной технологией по СНиП 3.03.03–85), так как фактическая толщина отсыпаемого слоя будет меньше требуемой из-за неровности поверхности тундры (кочкарник, карликовый лес);

- данная ДСМ должна иметь вращающийся на 180° круг с направляющей колеей для заезда на нее автосамосвала. Данная платформа должна подниматься на угол 10–20° для облегчения и быстроты разгрузки автосамосвала.

Время поворота платформы должно быть не более 4–5 мин. В передней и задней части колеи должны быть поднимающиеся и опускающиеся аппарели, чтобы автомобиль заезжал на платформу передом и после поворота и разгрузки съезжал передним ходом;

– для отсыпки верхних слоев (в условиях Севера высота насыпи колеблется в пределах 2,0–2,5 м для автомобильных дорог, а для железных дорог еще выше) необходимо установка оборудования для соблюдения проектной линии. Оно должно работать по принципу высотомеров на самолетах или барометров-анероидов, так как в условиях вечной мерзлоты грунтовые репера не выполняют своих функций. Точность измерений этого оборудования должна быть 1 мм;

– предполагаемая дорожно-строительная машина должна состоять из нескольких частей для удобства транспортировки, также необходимо предусмотреть возможность увеличения ее размеров по ширине, так как ширина земляного полотна меняется не только снизу вверх, но и в зависимости от предназначения дорог и проектных решений.

Применение подобной технологии позволит не только уменьшить осадку насыпи, но и ускорить стабилизацию земляного полотна.

Таким образом, сохранение мохорастительного слоя в условиях арктической и субарктической тундры даст возможность уменьшить объемы отсыпаемых насыпей при сохранении необходимых рабочих отметок, что позволит снизить себестоимость дорожно-строительных работ. Уменьшение осадок насыпи позволит снизить эксплуатационные расходы по содержанию как автомобильных, так и железных дорог. Кроме того, подобную технологию можно применять в местах, где нет возможности оборудовать временные полосы отвода для складирования грунта и движения технологического транспорта, что, в конечном итоге, также даст снижение стоимости строительства объекта транспорта.

Список литературы

1. СНиП 3.06.03–85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 83 с.
2. Эколого-экономические проблемы России и ее регионов: учеб. пособие для студентов экономических вузов / под общей ред. проф., д-ра геогр. наук В.Г. Глушковой, доц., канд. геогр. наук. А.Т. Шевченко. – М.: Московский лицей, 2002. – С. 244–245.
3. Федотов Г.А., Пospelов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог: учебник в 2 кн. Кн. 2. – М.: Высшая школа, 2010. – С. 330–350.
4. Каменев С.Н. Строительство автомобильных дорог и аэродромов: учебное пособие для СПО. – Волгоград: Ин-Фолио, 2010. – 384 с.

О ПРОБЛЕМАХ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОМ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Л.М. Тимофеева, М.Р. Тимофеев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

Рассмотрены проблемы применения геосинтетических материалов в современном дорожном строительстве. Приведены примеры разрушения дорожного полотна, армированного сеткой из стекловолокна. Предложено применение иглопробивных материалов совместно с георешетками, а также в качестве геооболочек для увеличения несущей способности грунтов земполотна.

Ключевые слова: сваи, струйная технология, слабые основания, автомобильные дороги.

Современные геосинтетические материалы открывают широкие возможности в решении многих проблем дорожной отрасли:

- в разработке экономичных конструктивных слоев дорожной одежды с использованием местных материалов и отходов промышленности;
- в повышении долговечности и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий с учетом климатических условий Урала;
- в создании армогрунтовых креплений откосов земполотна и слабых оснований;
- в разработке современных методов усиления слабых оснований с помощью различных армирующих геосинтетических конструкций.

Для обеспечения дорожной отрасли геосинтетическими материалами существует международное некоммерческое профессиональное общественное объединение специалистов различного профиля – International geosynthetic society (IGS), созданное в 1983 г. в Париже. На базе Парижского института дорог и мостов была создана первая экспертная международная лаборатория по сертификации геоматериалов, которая много сделала для внедрения геосинтетиков в СССР. Совместно с сотрудниками СоюздорНИИ под руководством проф. В.Д. Казарновского были разработаны основные требования к геоматериалам и методам их испытаний, осуществлено внедрение геоматериалов при строительстве автодорог на болотах и слабых грунтах, при укреплении оползневых откосов (работы проф. К.Ш. Шадунца и его учеников, г. Краснодар). Положительный опыт применения геосинтетиков при строительстве дорог на проса-

дочных, слабых и вечномёрзлых грунтах, при устройстве асфальтобетонных покрытий на дорогах с интенсивным движением транспорта, при укреплении откосов насыпей и выемок привел к появлению широкого рынка различных видов геосинтетиков: иглоприобивных и тканых материалов, геосеток, плоских и объемных георешеток, теплоизоляционных материалов, геосинтетических волокон. Были разработаны ГОСТы, специальные разделы строительных норм, отраслевые рекомендации и пособия по их применению. Но в связи с широким ассортиментом синтетических геоматериалов строители и проектировщики вынуждены руководствоваться в своем выборе, в основном, стоимостью материалов и сертификационными показателями их свойств.

Наряду с качественными материалами современный рынок предлагает множество продукции, непригодной к применению, но имеющей сертификаты. Поскольку качество и стоимость геоматериалов тесно взаимосвязаны, дешевые геоматериалы по своим техническим параметрам не соответствуют требованиям ГОСТ, а в имеющихся на них сертификатах часто приводятся завышенные показатели их свойств. При этом пользователи не имеют возможности проверить их качество, так как отсутствует независимая экспертиза, состоящая из профессионалов, работающих в области транспортного строительства. Фирмы-производители для привлечения покупателей обычно предлагают на бесплатной основе техническое сопровождение как при проектировании объектов, так и при их строительстве, однако никаким образом не отвечают за эксплуатационные качества построенных сооружений (существуют многочисленные примеры неудачного армирования асфальтобетонных покрытий сетками из стекловолокна, армирования слабых оснований, разрушенных подпорных стен с использованием геосинтетических анкерных оболочек, находящихся в аварийном состоянии, образования отраженных трещин при реконструкции дорог).

В условиях произошедшего за последние годы практически полного развала отраслевой науки выходом из сложившейся ситуации является создание отраслевых научно-производственных лабораторий при службах заказчиков, таких как управления дорогами, либо при крупных отраслевых научных центрах. Что касается разработки проектных решений, необходимо создание региональных нормативных документов, в которых бы четко были прописаны конкретные условия применения того или иного геосинтетика, а также доступные для проектировщиков методики расчета армирования элементов дорожных конструкций в сочетании с современными геотехнологиями (примеры армирования слабых оснований в сочетании с интенсивной технологией дренирования грунтов, комбинированные свайно-армогрунтовые конструкции на Южном обходе и участке дороги Пермь – Кунгур, применение пеноплекса в дорожных конструкциях в качестве термозащиты в сочетании с геооболочками).

Относительно новое направление – дисперсное армирование асфальтобетонных базальтовым волокном, создание цементобетонных конструкций, армированных синтетическими короткими волокнами, гибких бетонных плит, структурированных на основе нанотехнологий.

Для армирования асфальтобетонных покрытий при капитальных ремонтах автомобильных дорог разработаны отраслевые методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток ОДМ 218.5.001–2009, в которых геосинтетические материалы, применяемые для армирования асфальтобетонных покрытий, должны отвечать рекомендациям по наличию технической документации, показателям свойств и методам их определения и контроля. Эффективность применения геосинтетических материалов определяется их прочностью, деформативностью, технологичностью, повреждаемостью и долговечностью. В специальной таблице приведены в минимальном объеме показатели свойств геосеток и георешеток, поскольку выбор эффективного армирующего материала определяется в каждом конкретном проектом решении. При этом разрешается использовать геосетки и плоские георешетки, имеющие прочность ниже, чем указано в таблице, и обладающие повышенной деформативностью, но отвечающие рекомендациям для остальных показателей свойств, в качестве трещинопрерывающих прослоек, а также для уменьшения колееобразования на асфальтобетонных покрытиях.

Опыт показывает, что использование низкокачественных материалов даже при небольших ремонтах при интенсивном движении автотранспорта и значительной грузонапряженности с учетом климатических воздействий малоэффективно. Требования к свойствам геосеток и георешеток должны регламентироваться в зависимости от дорожно-климатических зон, в которых планируется их использовать, что требует разработки региональных норм. Следует отметить, что научные исследования в этой области после развала основных разработчиков норм (СоюздорНИИ, ГипродорНИИ, РосдорНИИ) практически прекращены и ведутся на уровне небольших научных центров при университетах при очень небольшом финансировании за счет выделяемых грантов на исследования. Считается, что дорожная отрасль должна сама финансировать транспортную науку, однако исследования, не дающие сиюминутных результатов, никем не оплачиваются и ведутся аспирантами и докторантами в свободное от основной работы время.

Ниже приведены фотографии разрушенного асфальтобетонного покрытия, армированного сеткой из стекловолокна (рис. 1). Как видно, при разрушении защитного слоя синтетическая сетка почти полностью рвется и распадается на отдельные волокна.

Нетканые иглопробивные материалы нашли широкое применение при защите поверхности откосов от эрозии, укреплении откосов, армировании земполотна и слабых оснований.

Наиболее перспективное направление их использования – в комбинации с плоскими и пространственными георешетками, а также в качестве геоболочек для увеличения несущей способности грунтов земполотна. Существенным недостатком этих материалов является их низко модульность и большие деформации при растяжении. В комбинации с жесткими решетками их деформативные и прочностные свойства значительно возрастают, что позволяет использовать их в качестве разделяющих и дренирующих прослоек и одновременно как арми-

рующие гибкие прослойки. Кроме того, в комбинации с пространственными георешетками они образуют гибкие ростверки армированных свайных оснований, гибкие армирующие элементы при возведении земполотна на слабых грунтах.

Ниже приведены фотографии применения геосот в комбинации с иглопробивным материалом при возведении земполотна на мягкопластичных суглинках (рис. 2).



Рис. 1. Разрушение асфальтобетонного покрытия и армирующей геосетки из стекловолокна



Рис. 2. Армирование верхнего слоя слабого основания геосотами с разделяющей прослойкой из иглопробивного материала и анкерровкой в подстилающем выравнивающем слое из ПГС

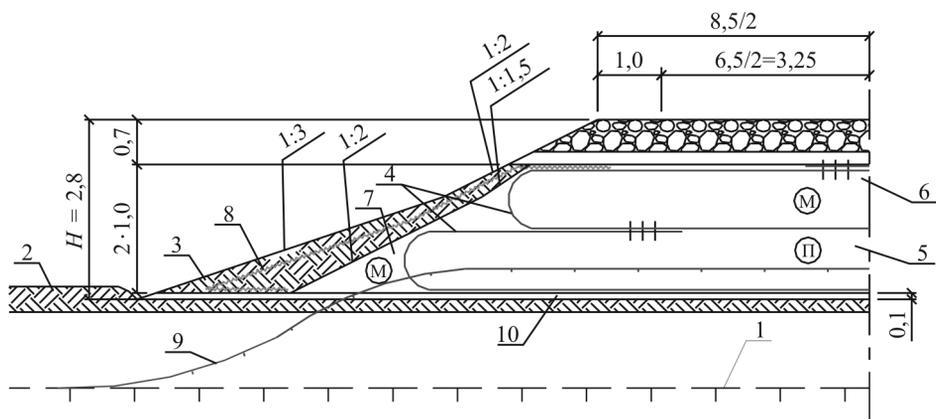


Рис. 3. Конструкция земполотна на участке сливающейся мерзлоты с СТС без теплоизолирующей прослойки: 1 – граница вечной мерзлоты (нижняя граница СТС) на момент возведения насыпи; 2 – мохорастительный слой; 3 – торфопесчаная смесь; 4 – геотекстиль («Дорнит Ф-1»); 5 – мерзлый пылеватый песок в геотекстильной оболочке; 6 – мелкозернистый песок в геотекстильной оболочке; 7 – мелкозернистый песок насыпи; 8 – «Энкамат»; 9 – новообразованная поверхность мерзлоты; 10 – выравнивающий слой из мелкозернистого песка

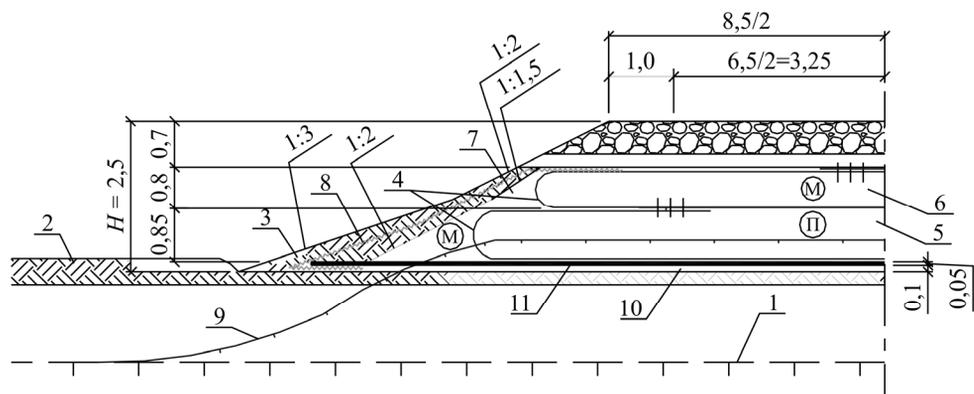


Рис. 4. Конструкция земполотна на участке сливающейся мерзлоты с СТС с теплоизолирующей прослойкой: 1 – граница вечной мерзлоты (нижняя граница СТС) на момент возведения насыпи; 2 – мохорастительный слой; 3 – торфопесчаная смесь; 4 – геотекстиль («Дорнит Ф-2»); 5 – мерзлый пылеватый песок в геотекстильной оболочке; 6 – мелкозернистый песок в геотекстильной оболочке; 7 – мелкозернистый песок насыпи; 8 – «Энкамат»; 9 – новообразованная поверхность мерзлоты; 10 – выравнивающий слой из мелкозернистого песка; 11 – пеноплекс

В случае возведения земполотна на слабых, пучинистых, просадочных, вечномерзлых грунтах, когда следует ожидать больших неравномерных осадков, при использовании для тела насыпей структурно-неустойчивых грунтов (аргиллитов, опоковых глин, лессовидных суглинков, промерзших грунтов из карьеров), для устройства грунтовых подушек в стесненных условиях нами были разработаны конструкции земполотна в геотекстильных оболочках из иглопробивных высокопрочных геоматериалов.

Приведены примеры таких конструкций на вечномерзлых грунтах (рис. 3, 4).

СОВРЕМЕННЫЕ СЕЛЬСКИЕ ДОРОГИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОЯЧЕЕК «ПРУДОН-494»

В.В. Бубновский

ОАО «494 УНР», г. Бронницы, Россия

Ю.А. Аливер

ОАО «26 ЦНИИ», г. Москва, Россия

Опыт строительства и эксплуатации автомобильных дорог общего пользования показал, что применение объемных геоячеек производства ОАО «494 УНР» значительно снижает риск недостижения требуемого срока службы дорожных конструкций. Рекомендуются их применение в конструкции сельских автомобильных дорог.

Ключевые слова: геоячейки, сельские автомобильные дороги, «ПРУДОН-494», прочность, риск, срок службы.

Состояние дорожно-транспортной сети сельской местности является сегодня одной из проблем социально-экономического развития села. Из-за отсутствия благоустроенных автомобильных дорог и подъездов к населенным пунктам и сельскохозяйственным объектам при неблагоприятных погодных условиях жители села не могут добраться до районных центров, а сельхозпредприятия – вывезти продукцию, в результате чего гибнет от 5 до 10 % урожая.

В соответствии с соглашением о сотрудничестве между министерствами сельского хозяйства и транспорта Российской Федерации от 30 ноября 2010 г. № 1000/10/10-38-8 к категории «Сельские автомобильные дороги» отнесены автомобильные дороги общего пользования регионального (или межмуниципального) и местного значения, предназначенные для обеспечения сельских населенных пунктов (на территории которых и (или) в пределах производственной зоны которых расположены или будут располагаться объекты агропромышленного комплекса) постоянной круглогодичной связью с сетью автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием.

Оптимальная потребность во внутрихозяйственных автомобильных дорогах с твердым покрытием для нормальной работы сельскохозяйственных предприятий в России составляет около 500 тыс. км. Протяженность существующих внутрихозяйственных дорог – около 100 тыс. км, т.е. всего 20 % от

потребности. Средняя насыщенность нашей страны внутрихозяйственными дорогами на 1000 га сельскохозяйственных угодий составляет 0,3 км. В других развитых странах этот показатель на порядок больше.

Значительную долю в структуре сельских дорог составляют внутриплощадочные дороги животноводческих, свиноводческих комплексов и ферм, птицефабрик, производственных баз сельхозпредприятий, а также дороги, проходящие по сельским населенным пунктам и соединяющие их. К сельским дорогам относятся также внутриплощадочные и подъездные дороги подсобных сельских хозяйств и промышленных предприятий.

Проектирование и строительство сельских дорог имеет существенные отличия от проектирования автомобильных дорог общего пользования вследствие ряда особенностей. Они связаны с технологией и организацией сельскохозяйственных работ, сравнительно небольшими объемами перевозок и их неравномерностью, сезонностью сельскохозяйственного производства, влиянием на социальные факторы развития современного села. Однако использование при разработке сетей сельских дорог критерия «минимум затрат на дорожно-транспортную составляющую села» не всегда отвечает реальным условиям работы и назначению сельской дороги.

Строительство сельских дорог регулируется СНиП 2.05.11–83 «Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях», который применяется с 1985 г. Многолетняя практика проектирования сельских автомобильных дорог по нормам этого СНиПа показала, что некоторые его положения разработаны недостаточно полно. Имеются также расхождения с другими нормативными документами, не учтен наработанный с тех пор передовой опыт строительства и проектирования автомобильных дорог, в том числе с применением современных геосинтетических материалов и местных дорожно-строительных материалов. Согласно СНиП 2.05.11–83, в основу проектирования конкретных дорог в хозяйствах должны быть положены генеральные схемы их развития. Такие схемы развития сельских дорог, например Нечерноземной зоны России, разработаны еще в 1980–1982 годах всероссийским объединением «Росземпроект» при участии республиканского проектно-технологического центра «Росагропромдортехцентр».

При этом ввиду отсутствия научно обоснованной методики проектирования сельских дорог целесообразность решений определялась в основном лишь опытом проектировщиков. Основным результатом этой работы явились сведения о протяженности перспективной сети сельских дорог, которые могут быть использованы на уровне районов, областей при перспективном планировании дорожного строительства.

Увеличение объемов строительства сельских автомобильных дорог, а также стремление к максимальному снижению стоимости строительства с особой остротой выдвигают необходимость шире использовать в дорожном

строительстве новые современные геосинтетические материалы и технологии строительства, а также дешевые местные материалы, вторичные ресурсы и отходы промышленности (рис. 1).



Рис. 1. Применение геоячеек «ПРУДОН-494» в сельской местности [1]

Местными дорожно-строительными материалами принято считать такие материалы естественного или искусственного происхождения, месторождения которых находятся вблизи трассы автомобильной дороги и можно обеспечить их доставку на место работы автомобильным транспортом с минимальными затратами. При этом предполагается, что указанные материалы по своим физико-механическим свойствам, хотя и не в полной мере, но удовлетворяют требованиям, предъявляемым к дорожно-строительным материалам.

Выбор между местными и привозными материалами в большой степени зависит от их свойств и возможности технического использования. Во всех случаях необходимо приспособлять конструкцию автомобильной дороги к свойствам местных материалов, используя их для несущих слоев и оснований. Применение местных низкокондиционных материалов обосновывается невысокой интенсивностью движения и позволяет снизить стоимость строительства сельских дорог.

Наиболее рациональный путь при строительстве сельских дорог – доставлять издалека только вяжущие (битум, цемент), средства для обеспыливания (например, хлористый кальций) и геосинтетические материалы, при помощи которых можно обеспечивать несущую способность дорожной конструкции даже из местных материалов.

В настоящее время для строительства сельских автомобильных дорог наиболее часто применяют следующие местные материалы:

- песчаные и связные грунты: супеси, суглинки, глина;
- каменные материалы: щебень, гравий, гравийно-песчаные смеси и др.;

- сплошные горные породы на месте их залегания: известняки, песчаники;
- отходы горнорудной и металлургической промышленности: отходы каменных карьеров, горелые угольные породы, металлургические и топочные шлаки и шламы (отходы алюминиевого производства);
- золы и золошлаки тепловых электростанций;
- отходы производства минеральных удобрений (фосфогипс) и др.

С начала 1990-х гг. при строительстве дорог общего пользования нашли широкое применение различные геосинтетические материалы, причем в подавляющем большинстве – объемные геоячейки с товарной маркой «ПРУДОН-494», разработчиком и производителем которых является ОАО «494 УНР».

Эти объемные геоячейки представляют собой конструкцию, получаемую путем соединения между собой полимерных лент посредством линейных сварных швов, расположенных в шахматном порядке (патент РФ на изобретение № 2129189 «Решетка с ячеистой структурой и способ ее изготовления», приоритет от 04.06.1998). В сложенном (транспортном) положении секция геоячеек представляет собой легкий компактный модуль, а в растянутом (рабочем) положении – образует пространственную ячеистую конструкцию (рис. 2, 3).

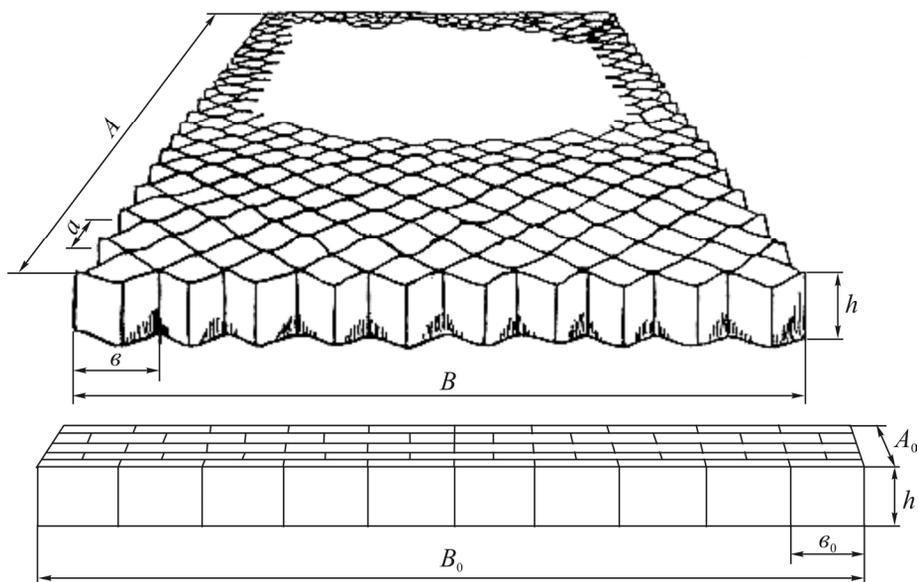


Рис. 2. Общий вид геоячеек «ПРУДОН-494» в растянутом (рабочем) и в сложенном (транспортном) положениях

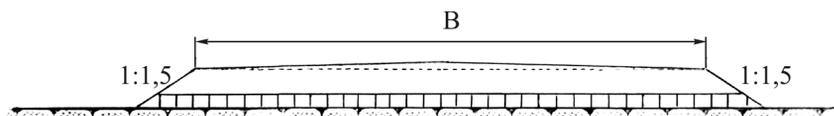


Рис. 3. Поперечный профиль насыпи, возводимой из местных грунтов с основанием, армированным геоячейками «ПРУДОН-494»

Основное назначение объемных геоячеек – это укрепление (армирование) грунтовых и дорожно-строительных материалов (рис. 3). При монтаже секции геоячеек растягивают в рабочее положение в размер $A \times B$ и устанавливают на поверхность вплотную друг к другу. Фиксация геоячеек в растянутом положении производится с помощью стальных Г-образных или прямых анкеров. Допускается применение деревянных кольшков. Между собой геоячейки могут быть соединены степлером посредством стальных скрепок. Для обеспечения безлюфтовой работы проводится преднапряжение конструкции по технологии ОАО «494 УНР».

После укладки материала заполнителя в ячейки на земляном полотне образуется сплошное высокопрочное композитное покрытие толщиной 10–20 см из геоячеек и материала-заполнителя. В зависимости от решаемых задач, могут применяться грунт и местные дорожно-строительные материалы, щебень, ЩГПС, бетон и др.

Показатели свойств геоячеек «ПРУДОН-494» представлены в табл. 1, размеры и масса секции геоячеек – в табл. 2.

Таблица 1

Показатели свойств геоячеек

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Разрывная нагрузка ленты 50×100 мм, Н, не менее: по длине	1300
	по ширине	1300
2	Прочность ленты по ГОСТ 11262–80, Н/мм ² , не менее:	18,5
3	Разрывная нагрузка шва на отрыв, Н, не менее: $H = 50$ мм	450
	$H = 75$ мм	700
	$H = 100$ мм	925
	$H = 150$ мм	1420
	$H = 200$ мм	2000
4	Удлинение при максимальной нагрузке, %, не менее по длине	30
	по ширине	30
5	Удлинение при разрыве ленты, %, не менее:	180
6	Жесткость ленты, сН, не менее:	600
7	Температуростойкость, °С	–60 до +55
8	Химическая стойкость, рН	4–11

В соответствии со СНиП 2.05.11–83 конструкции сельских автомобильных дорог необходимо проектировать с учетом многих факторов: технической категории дороги, состава и интенсивности движения, природных грунтовых и гидрологических условий, наличия и свойств местных дорожно-строительных материалов, опыта службы эксплуатируемых дорог в районе пролегания трассы и др.

Решение этой сложной задачи существенно упрощается с применением конструкции и технологии, основанных на использовании геоячеек «ПРУ-ДОН-494». Проведенные исследования, опыт строительства и эксплуатации автомобильных дорог общего пользования показали, что применение объемных геоячеек значительно снижает риск недостижения требуемого срока службы дорожных конструкций.

Данный показатель определяется требованиями федеральных законов «О техническом регулировании», «Об энергосбережении», «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений».

Таблица 2

Размеры и масса секции геоячеек «ПРУДОН-494»

Тип геоячеек «ПРУДОН-494»	Размеры секции геоячеек, мм			Ширина ячейки, мм, сложена/растянута (a/b)	Толщина ребер (Δ), мм	Масса, кг
	Высота секции (H)	Длина, сложена/растянута (A/A_0)	Ширина, сложена/растянута (B/B_0)			
ОР1	50	81 6120	3400 2430	330 200	1,35	13
ОР2	75	81 6120	3400 2430	330 200	1,35	18,5
ОР3	100	81 6120	3400 2430	680 400	1,35	15
АР1	100	81 6120	3400 2430	330 200	1,35	26
АР2	150	81 6120	3400 2430	330 200	1 35	39
АР3	200	81 6120	3400 2430	330 200	1,35	52

Коэффициент вариации прочностных характеристик соединительных швов геоячеек для массового производства ОАО «494 УНР» гарантированно не превосходит 0,2, что совершенно достаточно для применения на сельских автомобильных дорогах и дорогах более высоких категорий. При этом снижается объем использования естественных зернистых материалов, появляется возможность разработки новых проектных решений, компенсируются недостатки грунтов и местных дорожно-строительных материалов, повышаются их механические свойства. Существенно увеличиваются межремонтные сроки эксплуатации дорог, построенных с применением геоячеек [2, 3].

Проведенные исследования показали также, что применение объемных геоячеек «ПРУДОН-494» наиболее эффективно на участках автомобильных дорог, расположенных на слабых грунтовых основаниях (переувлажненных, заторфованных, сыпучих и т.д.). При использовании геоячеек улучшаются условия консолидации насыпи, обеспечивается прочность и устойчивость

слоев дорожной одежды из несвязных строительных материалов, а также повышается эксплуатационная надежность и сроки службы дорожных конструкций [4].

Применение геоячеек «ПРУДОН-494» в конструкциях укрепления откосов земляного полотна позволяет обеспечить высокоэффективную защиту от эрозии откосов, в том числе еще до образования дернового покрова (патент РФ на изобретение № 2081234 «Способ укрепления откосов дорог и устройство для его осуществления», приоритет от 06.12.1995).

Типовая конструкция укрепления откоса представляет собой сплошной ковер из геоячеек, заполненных растительным грунтом или торфо-песчаной смесью (ТПС), покрывающих верхнюю и нижнюю части откосов, берму, русло водоотводного ручья. В общем случае она включает в себя: объемные пластиковые геоячейки; разделительную прослойку (согласно проекту); монтажные и несущие анкера; наполнитель ячеек из растительного грунта, ТПС, щебня или ЩГПС.

Крепление геоячеек на откосе и соединение их между собой осуществляют с помощью Г-образных анкеров, параметры и схема установки которых определяется проектом путем монтажного преднапряжения по силам или приращениям перемещений соединительных швов. При этом обеспечивается эффективная модель работы элементов геоячейки как гибки с растяжением через центральную точечную опору. Разделительную прослойку из нетканого геотекстиля устраивают только на подтапливаемой части откоса. В такой зоне применяют геоячейки преимущественно с перфорированными стенками, которые могут заполняться щебнем или ЩГПС (в соответствии с гидравлическим расчетом).

Упоры и водоотводные лотки могут выполняться в виде упрощенной конструкции, учитывая важное свойство геоячеек – гибкость. При выборе параметров конструкции укрепления откоса следует учитывать физико-механические свойства грунтов, слагающих откос; погодные-климатические факторы региона строительства; гидрологический режим подтопления откоса, а также гидрогеологический режим; высоту и крутизну откоса.

Исходя из того, что проблема строительства сельских автомобильных дорог в настоящее время остается весьма актуальной, решать ее рекомендуется на современном уровне, максимально используя новые конструкции и технологии на базе геоячеек «ПРУДОН-494».

Первоочередным и важнейшим шагом в решении задачи строительства современных, надежных и экономичных сельских дорог является совершенствование для них нормативно-методической базы, особенно в области монтажа и эксплуатации геосинтетических материалов, устраиваемых в дорожных конструкциях. Для этого необходимо максимально привлекать научно-исследовательские и проектные организации с большим опытом проектирования автомобильных дорог, в том числе с применением геосинтетических материалов.

Одновременно при строительстве различных объектов сельских дорог (земляное полотно, откосы, дорожная одежда) целесообразно шире внедрять имеющийся опыт по сооружению дорожных конструкций и технологий на базе геоячеек «ПРУДОН-494» с заполнением местными строительными материалами [5].

Список литературы

1. Бубновский В.В. Классификация геосинтетических материалов // Красная линия. Дороги. – 2009. – № 41. – С. 79–81.
2. Бубновский В.В. Современные сельские дороги с применением геоячеек «ПРУДОН-494» // Дорожная держава. – 2011. – № 37. – С. 84–87.
3. Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве / Н.Е. Кокодева [и др.] // Вестник ПГТУ. Урбанистика. – Пермь, 2011. – №3. – С. 38–49.
4. Москалев О.Ю., Кокодева Н.Е., Янковский Л.В. Применение геосинтетических материалов в дорожных одеждах нежесткого типа // Вестник ПГТУ. Охрана окружающей среды. Транспорт. Безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2011. – № 2. – С. 69–78.
5. ОАО «494 УНР». Стандарт организации СТО 07859300-003–2011 «Методические рекомендации по применению геоячеек «ПРУДОН-494» при строительстве сельских (местных) автомобильных дорог в композиции с местными материалами и отходами промышленности».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ГРУНТОВ ПРИ РАСШИРЕНИИ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МЕСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Д.А. Разуваев, А.Л. Ланис

Сибирский государственный университет
путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

Подтверждена технико-экономическая эффективность технологии стабилизации грунтов, результаты исследований нашли практическое применение в стандарте и стали основополагающими данными для дальнейших исследований.

Ключевые слова: стабилизатор, земляное полотно, дорожная одежда.

Одной из задач Постановления правительства Российской Федерации от 03.12.2002 г. № 858 (с изменениями от 28.04.2011 г.) «О федеральной целевой программе «Социальное развитие села до 2013 года» является расширение сети автомобильных дорог с твердым покрытием в сельской местности и их благоустройство. Недостаточный уровень развития транспортной сети Сибири приводит к значительным различиям в уровне жизни городского и сельского населения, снижению численности жителей в сельской местности, спаду сельскохозяйственного производства, высоким транспортным затратам и низкой работоспособности товаропроизводителей. В связи с этим развитие сети автомобильных дорог местного значения становится одним из решающих факторов социально-экономического развития региона и транспортной доступности населения.

Строительство и реконструкция автодорог в условиях ограниченных финансовых ресурсов требует эффективно использовать капиталовложения с максимальной отдачей. Одним из методов снижения стоимости строительства автомобильной дороги, а следовательно, и увеличения километража вводимых в эксплуатацию автомобильных дорог местного значения, является применение технологии стабилизации грунтов.

Суть метода заключается в обработке верхней части рабочего слоя земляного полотна, своеобразного «фундамента» дорожной одежды, синтетическими полимерными композициями, получившими общее название «стабилизаторы грунтов». При этом за счет действия стабилизатора повышаются прочностные и деформационные характеристики грунта, что позволяет снизить

потребность в дорогостоящих каменных материалах основания дорожной одежды, а также увеличивается морозоустойчивость земляного полотна, что позволяет минимизировать разрушение дорожной одежды силами морозного пучения.

Между тем широкому применению стабилизаторов в Сибирском регионе препятствует отсутствие методик и способов укрепления грунтов, учитывающих местные факторы, обусловленные резкоконтинентальным климатом и геологическим строением региона (экстремально низкие температуры зимой, знакопеременные температуры в течение суток, чрезмерная увлажненность земляного полотна, содержание органических включений в грунтах). Возникает острая необходимость в разработке способа стабилизации дорожных одежд и рабочего слоя земляного полотна синтетическими материалами в климатических и геологических условиях Сибири.

На начальном этапе исследований потребовалась оценка принципиальной возможности, а также технической и экономической эффективности применения стабилизации грунтов на автомобильных дорогах местного значения в условиях Сибири (Новосибирской области). Для этого, при взаимодействии территориального управления автомобильных дорог Новосибирской области (ГКУ НСО ТУАД), подрядных организаций (ООО «Новосибирскагропромдорстрой», ОАО «Новосибирскавтодор») и научно-исследовательской лаборатории «Геология, основания, фундаменты и земляное полотно» СГУПС, проводились экспериментальные исследования:

1. Свойств грунтов, отобранных с земляного полотна различных автомобильных дорог Новосибирской области и обработанных стабилизирующими добавками (Perma-Zyme 11X, Underbold и «Никофлок» – далее просто «добавками») в лабораторных условиях. Образцы грунтов с характерных для региона и деформирующихся участков земляного полотна доставлялись в геотехническую лабораторию, где моделировались процессы внесения стабилизатора в грунт и его послыйного уплотнения, с последующим исследованием основных прочностных и деформационных характеристик стабилизированных грунтов.

2. Свойств грунтов, отобранных с экспериментальных участков земляного полотна автомобильных дорог Новосибирской области, устроенных по технологии стабилизации грунтов в соответствии с рекомендациями и инструкциями производителей стабилизирующих добавок.

Экспериментальные участки устраивались в южных, западных и центральных районах Новосибирской области (НСО) с различными геологическими и гидрогеологическими условиями. С каждого участка отбирались стабилизированные и нестабилизированные грунты рабочего слоя земляного полотна (рис. 1) для дальнейших испытаний в геотехнической лаборатории СГУПС.

Основные технические параметры, по которым производилось сравнение стабилизированных и нестабилизированных грунтов, следующие:

- физические характеристики (плотность, влажность, пределы текучести и раскатывания и др.);
- характеристики прочности (угол внутреннего трения ϕ и удельное сцепление c);
- деформационные характеристики (модуль деформации E и модуль упругости E_y);
- относительные величины морозного пучения и набухания.

Для подтверждения результатов лабораторных исследований, проведены полевые испытания штампом по ГОСТ 20276–99 (рис. 2).



Рис. 1. Экспериментальные участки земляного полотна: *а, б* – общий вид и отбор пробы стабилизированного грунта с а/д Карасук – Калиновка (южная часть НСО); *в, з* – общий вид и отбор пробы стабилизированного грунта с а/д Межовка – Северное (западная часть НСО); *д, е* – общий вид и отбор пробы стабилизированного грунта с а/д в с. Убинское (центральная часть НСО)

Результаты лабораторных испытаний наглядно указывают на положительное действие стабилизаторов. Качественная картина эффективности использования стабилизаторов, на примере стабилизатора Perma-Zyme 11X, по основным техническим параметрам представлена на диаграмме (рис. 3). При стабилизации глинистых грунтов добавкой Perma-Zyme 11X удельное сцепление увеличилось в среднем на 70–75 %, угол внутреннего трения – на 15 % (наибольший эффект наблюдался при стабилизации суглинков). Модуль упругости увеличился в среднем на 40 %. Характеристики относительного морозного пучения и набухания снизились в среднем на 45 и 55 % соответственно.

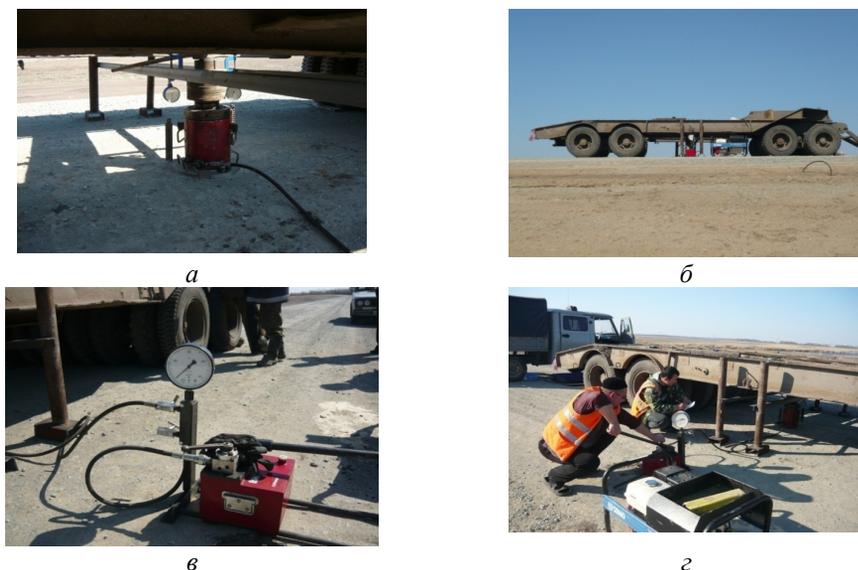


Рис. 2. Проведение полевых испытаний штампом: *а* – штамп, домкрат, прогибомеры и реперная система; *б* – общий вид установки; *в* – маслостанция с манометром; *г* – передача следующей ступени нагрузки

Следует отметить, что остальные добавки (Underbold и «Никофлок») показали менее выдающийся результат, но эффект применения также наблюдался.

С точки зрения экономической эффективности, при сравнении двух равнопрочных вариантов оснований (вариант 1 – щебеночное основание на нестабилизированном грунте и вариант 2 – щебеночное основание на стабилизированном грунте) при применении технологии стабилизации грунтов (на примере стабилизатора Perma-Zyme 11X) общая стоимость и технологическая себестоимость 1 км основания ниже приблизительно на 5 % (рис. 4). При этом трудоемкость, энергоемкость и выработка на одного работника снизились на 15–20 %, что позволит снизить сроки строительства основания.

Однако экономическая эффективность во многом зависит от дальности транспортировки каменных материалов. Расчет производился для дальности транспортировки 100 км, при снижении дальности эффект будет также снижаться.

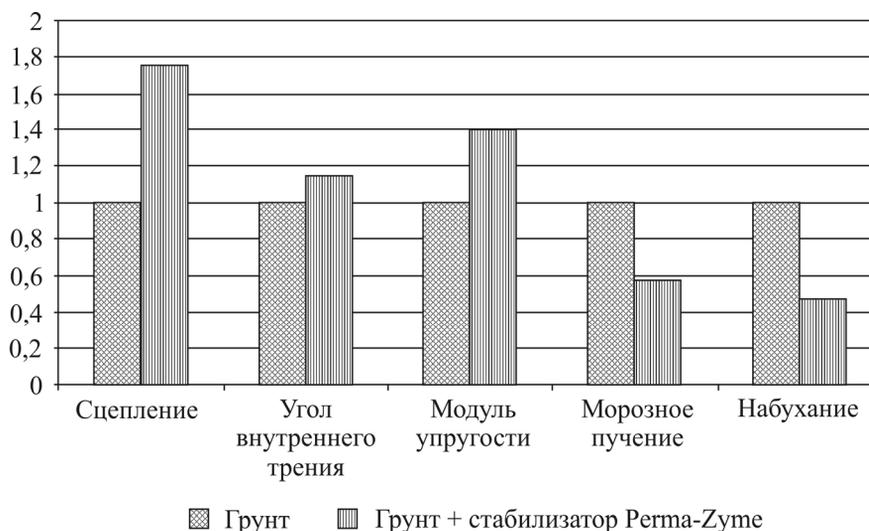


Рис. 3. Эффективность применения стабилизатора Perma-Zyme 11X по основным техническим параметрам

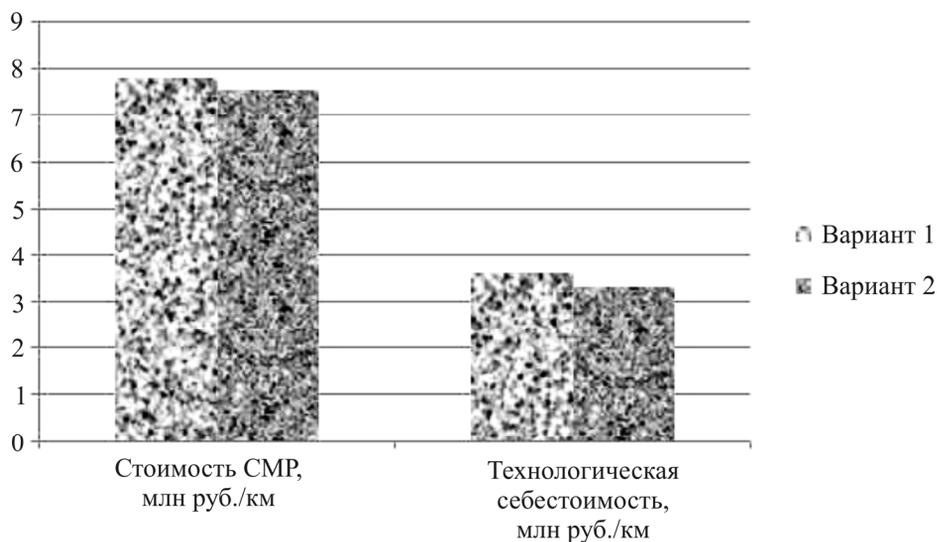


Рис. 4. Некоторые результаты оценки экономической эффективности

В результате проведенных экспериментально-исследовательских работ подтверждена возможность, а также техническая и экономическая эффективность применения технологии стабилизации грунтов на автомобильных дорогах местного значения в условиях Сибирского региона, основанной на рекомендациях и инструкциях производителей стабилизирующих добавок. Результаты исследований нашли практическое применение, и по поручению Территориального управления автомобильных дорог Новосибирской области специалистами СГУПС выпущен стандарт предприятия под общим названием

«Проектирование и строительство оснований дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна с применением стабилизаторов грунтов». Документ разработан с учетом требований действующей нормативной документации, в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» и распространяется на технологию применения стабилизирующих веществ Perma-Zyme 11X, Underbold и «Никофлок» в Новосибирской области.

Разработанный стандарт предприятия позволяет проектировать и устраивать дорожную одежду и земляное полотно автомобильных дорог местного значения с применением технологии стабилизации грунтов, а также производить операционный и приемочный контроль качества строительства.

Проделанная работа послужит основой для дальнейших исследований и разработки способа стабилизации дорожных одежд и рабочего слоя земляного полотна синтетическими материалами в климатических и геологических условиях Сибири. Несмотря на указанную технико-экономическую эффективность, применение стабилизаторов грунтов на основании методик, разработанных производителями реагентов, не соответствует реальным климатическим и геологическим условиям.

Дальнейшая работа в данном направлении, на основе наших данных, позволит получить больший эффект от применения стабилизирующих добавок и расширить перечень применяемых стабилизаторов, что будет способствовать развитию сети автомобильных дорог местного значения.

Список литературы

1. СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги / Госстрой России. – М., 2002. – 55 с.
2. СТО ТУАД 09–2010. Проектирование и строительство оснований дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна с применением стабилизаторов грунтов / СГУПС. – Новосибирск, 2010. – 74 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ

В.И. Чернякевич

Марийский государственный технический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

Рассматриваются и анализируются проблемы строительства лесных дорог в России, отечественные и зарубежные технологические процессы их строительства. В работе предлагается малозатратная технология создания лесной дорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: лесная дорога, технология, строительство, железобетонная плита.

В стратегии развития лесного хозяйства РФ на период до 2020 г. важное место уделено лесному дорожному строительству. Так, за указанный период планируется построить 10 тыс. км лесных дорог и выделить на эти цели из федерального бюджета 50 млрд руб. При этом за счет бюджета планируется строить основные (магистральные) дороги, а возведение подъездных путей к ним выполнять силами и средствами арендаторов лесных массивов. Рассматривается и дискутируется в печати создание специальной государственной корпорации по строительству лесных дорог.

Проблема строительства лесных дорог является комплексной и многогранной. Лесными дорогами пользуются не только лесозаготовители, часто они обеспечивают развитие региона в целом, важны для решения социальных и других задач. К примеру, из-за отсутствия дорог круглогодочного действия около 15 млн россиян (а это и жители лесных поселков) осенью и весной остаются буквально отрезанными от цивилизации. Поэтому в строительстве, содержании и ремонте магистральных лесных дорог должны принимать участие и местные муниципалитеты. Известно, что чем лучше развита лесотранспортная сеть, тем больше плата за лесфонд, передаваемый государством арендаторам. И соответственно, больше средств может быть выделено из бюджета на лесное хозяйство, в том числе и на транспортную инфраструктуру. Таким образом, дорожная сеть в лесу – это богатство, приносящее постоянный доход, которое нужно развивать и сохранять.

Научные исследования и мировая практика показывают, что лесные ресурсы становятся доступными, а ведение лесного хозяйства успешным, если густота дорожной сети в лесном массиве составляет не менее 10 м погонной

длины на 1 га лесной площади. Это означает, что в каждом лесном квартале с размерами 1000×1000 м по одной из его сторон должна быть построена лесная дорога протяженностью 1,0 км. Отметим, что в большинстве лесных регионов РФ средняя плотность дорожной сети составляет 0,12 метров погонной длины и далека от приведенных выше показателей. Такое положение ограничивает как доступность лесных ресурсов, так и возможность проведения операций по их воспроизводству, контролю и охране. Опыт борьбы с лесными пожарами в 2010 году убедительно свидетельствует о том, что из-за бездорожья России лесным массивам, экобиосистемам и населению был нанесен трудновосполнимый многомиллиардный ущерб.

При строительстве лесных дорог используются два метода организации работ: поточный и непоточный [1, 2]. Лесная дорога является инженерным сооружением, создаваемым для движения транспорта, перевозящего грузы и пассажиров. Ее основными элементами являются земляное полотно, дорожная одежда с проезжей частью и обочинами, инженерные сооружения (мосты, трубы, водоотводящие каналы и т.п.), обстановка дороги (знаки, разметка и др.). При поточном методе, который признается основным, наиболее прогрессивным и теоретически разработанным, организуется комплексный поток, объединяющий специализированные потоки (звенья, бригады), оснащенные дорожными машинами и механизмами для выполнения отдельных видов работ. Только при небольших объемах работ, на которых нельзя организовать комплексный поток, рекомендуется применять непоточные методы: цикличный или участковый.

Для постройки дороги необходимо выполнить взаимосвязанный комплекс подготовительных, основных и заключительных работ. Эти работы выполняются в полосе отвода земель. Ширина полосы отвода земель регулируется Земельным кодексом РФ, СНиП 2.05.02–85 и составляет для магистральных лесовозных дорог не менее 30 м. В ряде случаев общая ширина дорожной полосы может достигать 40 м и более [1]. Установлено, что, занимая большую территорию (4–6 га на 1 км), лесная дорога снижает ежегодный прирост древесины на 16–20 м³ на 1 км пути, ухудшает экологическую обстановку в целом [2]. Поэтому необходимо принимать все меры по снижению ущерба от изъятия земель, уменьшая ширину полосы отвода.

После разрубki просеки и вывозки леса продолжают подготовку дорожной полосы: корчуют или срезают пни, снимают растительный слой, убирают кустарник, подрост, валежник и валуны, неоднократно производят детальную разбивку земляных работ. При этом пни и растительный слой перемещают к границам полосы. В результате выполнения подготовительных работ дорожная полоса представляет собой замкнутую со всех сторон площадку, на которой может собираться и застаиваться вода. Для ее осушения в соответствии с рекомендациями норм [3] устраиваются по бокам полосы каналы или дренаж за 10–15 дней до начала возведения земляного полотна. Таким образом, на выполнение подготовительных работ кроме лесозаготовительной тех-

ники потребуется комплект машин в составе корчевателя, бульдозера и канавокопателя. Известно, что на 1 км лесовозной дороги возводится в среднем 1–2 водопропускных сооружения. Для их строительства рекомендуются железобетонные круглые блоки (кольца) и блоки оголовков заводского изготовления [3], укладываемые на бетонные фундаменты или гравийно-щебеночные подушки – основания. Строительство труб по существующей технологии состоит из комплекса операций: подготовительных работ, связанных с доставкой материалов и оборудования, подготовкой площадки, на которой впоследствии будет осуществлено устройство основания, монтаж блоков труб, устройство гидроизоляции и другие работы. Такая технология является материалоемкой, трудоемкой и высокочувствительной, по стоимости искусственные сооружения могут составлять от 10 до 25 % сметной стоимости строительства дороги [2]. Отметим, что в настоящее время получают распространение полипропиленовые трубы. Такие трубы производятся и в России, обладают повышенной устойчивостью к механическим воздействиям, надежностью в условиях температурных колебаний нашего климата, имеют сравнительно небольшую массу, выпускаются диаметром до 1137 мм. Эти трубы находят широкое применение на объектах строительства, например в мелиорации.

Дорожное строительство в лесу осложняется тем, что оно ведется вдали от центров строительной индустрии, в малоосвоенных и малонаселенных районах, связано с малопрочными, переувлажненными грунтами, дефицитом или полным отсутствием каменных материалов. Согласно действующему Лесному кодексу, дорожное обустройство лесных массивов является обязанностью арендаторов. Отметим, что рыночные отношения, конкуренция на товарном рынке, стремление к увеличению прибыли вынуждают арендаторов минимизировать затраты на строительство, содержание и ремонт лесных дорог, снижая тем самым транспортную составляющую в себестоимости продукции.

Снижение затрат может быть достигнуто на базе внедрения зарубежного опыта. Для российских арендаторов может быть интересен и полезен опыт Финляндии, где реализовано наибольшее приближение к модели неистощительного оптимального лесопользования. Строительство лесных дорог в этой стране выполняется в полосе, ширина которой всего 12–14 м. После валки леса в полосе и вывозки древесины никакие дополнительные подготовительные работы не ведутся и уже на этом этапе достигают значительного снижения себестоимости строительства. После уборки древесины производятся работы по возведению земляного полотна. Их наиболее существенным отличием от российских технологий является то, что они выполняются не комплектом машин, а только одной машиной – одноковшовым экскаватором на гусеничном ходу. Он разрабатывает и перемещает грунт из боковых канав в земляное полотно. Глубина канав составляет около 1,0 м, а высота насыпи достигает 0,5–0,6 м в соответствии с принципом: воду вниз – дорогу вверх. Поперечный профиль такого земляного полотна представлен на рис. 1.

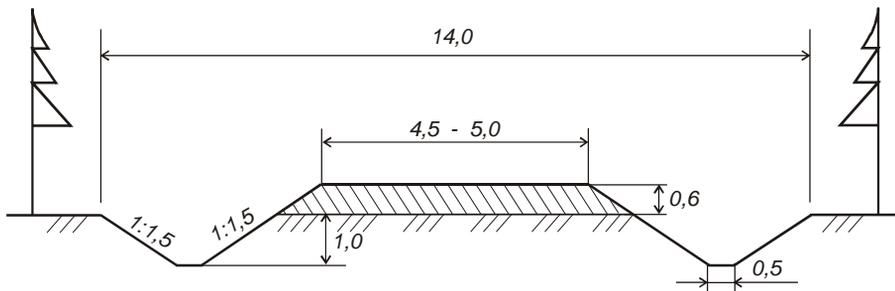


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи, сооружаемой экскаватором из боковых канав

Экскаватор оборудуется ковшом со сплошной режущей кромкой и производит грубую планировку верха земляного полотна, канав, откосов насыпи, а также предварительное уплотнение грунта собственной массой, достигающей в зависимости от марки экскаватора 15–20 т. Этот же экскаватор, являясь универсальной машиной и имея грузозахватные приспособления (например, комплект строп), используется при устройстве водопропускных сооружений из цельных металлических или иных труб. Необходимо заметить, что применение экскаватора, отсутствие ограничений по влажности и плотности грунтов позволяет существенно увеличить продолжительность дорожно-строительного сезона, составляющего при существующей технологии всего 78–108 рабочих дней. Это позволит более эффективно использовать строительную технику, увеличить годовую выработку и сократить сроки строительства.

В дальнейшем в течение нескольких лет происходит естественная стабилизация и уплотнение земляного грунта, по которому в летний период не допускается движение транспорта. Затем на просохшем полотне устраивается, как правило, однослойное гравийное покрытие шириной 4,0 м толщиной около 0,3 м из гравия местных карьеров без оптимизации его состава. В зависимости от грунтово-гидрологических условий местности могут использоваться фильтрующие, изолирующие и другие прослойки.

В большинстве лесных регионов нашей страны отсутствуют или остродефицитны природные каменные дорожно-строительные материалы (гравий, щебень). По нашему мнению, для таких регионов в качестве дорожных покрытий целесообразно использовать сборные железобетонные плиты. Их можно изготавливать на заводах ЖБИ круглый год с высоким качеством и заблаговременно (например, зимой) доставлять к месту укладки. Более чем полувековая практика применения сборных конструкций показала, что такие покрытия, по сравнению с другими, позволяют быстро нарастить как объем строительства лесных дорог, так и объемы лесозаготовки. Однако применяемым до настоящего времени плитам и конструкциям покрытия из них присущи серьезные недостатки, сдерживающие их применение. Основными из них являются следующие:

- применение дорогостоящего (привозного) крупнозернистого заполнителя, щебня или гравия, значительно увеличивающего стоимость самих плит;
- несовершенство стыков плит в колесоприводе, влекущее разрушение целостности как самих плит, так и дороги и приводящее к выходу плит из строя, потере эксплуатационных качеств покрытием, дополнительным затратам на ремонт и содержание.

В МарГТУ разработана и всесторонне исследована новая двухслойная конструкция сборного покрытия [4] из плит мелкозернистого (песчаного) железобетона, в которой устранены указанные недостатки (рис. 2).

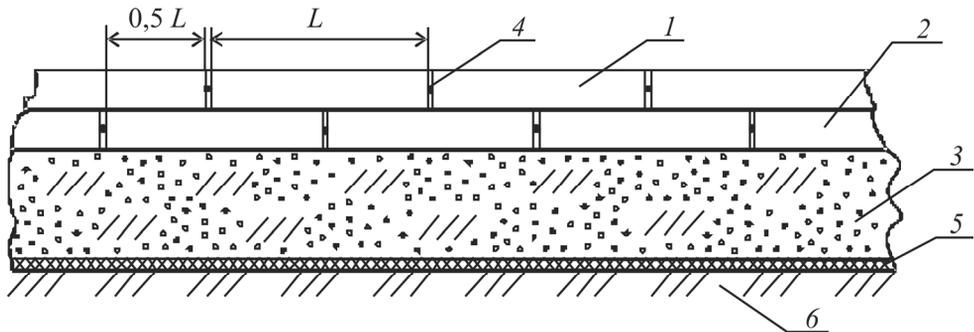


Рис. 2. Двухслойное дорожное покрытие из железобетонных плит: 1 – плиты верхнего слоя; 2 – плиты нижнего слоя; 3 – песчаное основание плит; 4 – стыковые соединения; 5 – «Теплонит»; 6 – земляное полотно; L – длина плиты

В таком двухслойном покрытии, усиленном сварными стыками, нагрузка от колес транспорта передается верхней плитой как минимум на две плиты нижнего слоя. В результате значительно уменьшаются контактные напряжения в зоне взаимодействия плит с песчаным основанием, происходит выравнивание их по длине плиты. Это исключает появление опасных пластических деформаций в песчаном основании, подстилающем плиты, и в нижележащем грунте земляного полотна, значительно повышает эксплуатационную надежность как покрытия, так и дороги в целом. При неблагоприятных условиях местности (сырые, мокрые места с признаками заболачиваемости и т.п.) может быть выполнено дополнительное усиление дорожной конструкции за счет применения синтетического нетканого материала – теплонита, укладываемого на земляное полотно. Наиболее используемый теплонит имеет толщину 0,006 м и выпускается в виде полотна шириной до 2,2 м в рулонах до 40 м. Он имеет внутренний пленочный слой, который выполняет роль изоляционной и соединяющей прослойки. Пленочный слой также распределяет нагрузки по всей поверхности нижнего слоя, препятствует продавливанию, увеличивает механическую прочность материала. Одним из недостатков обычных нетканых материалов из синтетических волокон является пропуск материалом вла-

ги, что ухудшает его эксплуатационные свойства. Материал «Теплонит» имеет гидроизоляционный пленочный слой, который препятствует проникновению влаги. Кроме того, он состоит из полипропиленовых волокон – негигроскопичных, экологически чистых, легких. У «Теплонита» высокая теплоустойчивость, порядка 130 °С. Он удобен в эксплуатации и при монтаже, легко раскраивается, крепится к поверхности, наращивается по ширине. Этот материал предназначен для гидро- и теплоизоляции, способен защитить дорожную конструкцию и от морозного пучения грунта, что важно для эксплуатации дорог в российских условиях. Доказано, что «Теплонит» является экологически безопасным материалом, отличается высокой химической стойкостью, не подвержен гниению, значительно легче и прочнее геотекстильных материалов из других химволокен и их смесей. «Теплонит» предотвращает перемешивание песка подстилающего слоя с грунтом земляного полотна, защищает земляное полотно от переувлажнения при выпадении обильных атмосферных осадков и весеннего таяния снежного покрова.

Сравнительный анализ технологических различий выполняемых работ, используемой техники при существующей и разрабатываемой технологиях строительства лесной дороги выполнен в сводной таблице.

Сводная технологическая таблица выполняемых работ
и используемой техники при существующей и разрабатываемой
технологиях строительства лесной дороги

№ п/п	Технологическая операция	Существующая технология и машины	Проектируемая технология и машины
1	2	3	4
Подготовительные работы			
1	Валка и трелевка деревьев, обрубка сучьев, вывозка	Ширина просеки не менее 30 м (лесозаготовительная техника)	Ширина просеки до 14 м (сокращение объема работ используемой лесозаготовительной техники в два раза)
2	Выкрчевывание пней, уборка валунов, валежника, кустарника и т.п.	Бульдозер, корчеватель (работа выполняется в резервах и в основании насыпей высотой до 0,5 м)	Экскаватор в местах прохождения канав, выкорчеванные пни укладываются в земляное полотно
3	Снятие растительного слоя	Бульдозер (работа выполняется в резервах в основании насыпи высотой до 0,5 м)	Не производится
Земляные работы			
4	Послойная разработка грунта в резервах и перемещение его в насыпь	Звено из 2–3 бульдозеров	Выполняется разработка грунта в боковых канавах экскаватором
5	Послойное разравнивание грунта в насыпи	Бульдозер	Не производится

Окончание таблицы

1	2	3	4
6	Послойное уплотнение насыпи многократным проходом катков с контролем влажности и плотности	Каток, лаборатория	Не производится
7	Планировка верха, земполотна, откосов, резервов	Откосопланировщики, автогрейдер	Экскаватор
Строительство водопропускных труб			
8	Подготовка площадки	Бульдозер, землекопы	Не производится
9	Подготовка основания трубы	Бульдозер, землекопы	Экскаватор
10	Устройство гравийно-щебеночной подушки	Самосвал, бульдозер, землекопы	Не производится
11	Монтаж трубы	Кран на гусеничном ходу или автомобильный	Экскаватор со сменным оборудованием (стропы) для укладки цельной металлической или пропиленовой трубы
12	Гидроизоляция трубы	Рабочие	Не производится
Строительство дорожной одежды			
13	Укладка гидро- и термоизоляционного слоя теплонита	Не производится	Рабочие, проведение работ возможно в зимний период
14	Доставка песка и устройство подстилающего слоя (дополнительного основания)	Автосамосвалы, автогрейдер, каток	Автосамосвалы, автогрейдер (возможно в зимний период для предотвращения колееобразования)
15	Доставка гравийного материала	Автосамосвалы	Не производится
16	Доставка плит		Автопоезда, автокран (сезон выполнения работ – зима), рабочие
17	Устройство гравийного покрытия	Автогрейдер, легкий и тяжелый катки	Не производится
18	Монтаж покрытия	Не производится	Кран, сварочный аппарат, рабочие
Заключительные работы			
19	Рекультивация дорожной полосы (уборка снятого растительного слоя, выкорчеванных пней)	Экскаватор, автосамосвалы	Не производится
20	Обустройство дороги (установка знаков, обустройство развязок, разметка)	Транспортные автомобили, рабочие	Транспортные автомобили, рабочие

Анализируя данные таблицы можно констатировать следующее:

1. Разрабатываемая технология строительства лесных дорог позволяет арендаторам минимизировать капитальные вложения на приобретение, лизинг или аренду дорожно-строительных машин, а также текущие затраты на их обслуживание.

2. Существенно снизить потребность в специалистах, рабочих, уменьшить фонд оплаты труда и другие выплаты.

Необходимо отметить, что предлагаемая малозатратная технология строительства лесных дорог должна пройти широкую опытно-производственную апробацию с целью необходимых уточнений и дополнений.

В заключении отметим, что нами были изготовлены и испытаны опытные партии дорожных плит из мелкозернистого песчаного бетона, которые успешно прошли заводскую (ОАО «КПД», г. Йошкар-Ола) и производственную проверку на действующей лесовозной автомобильной дороге Майского ЛПХ Кировской области.

Сделаем следующие выводы:

1. Развитая лесотранспортная инфраструктура – один из главных факторов, определяющих успех в развитии лесопромышленного комплекса.

2. В лесных регионах РФ, не имеющих в достаточном количестве природных каменных материалов, целесообразно использовать для покрытия дорог железобетонные плиты, изготовленные на местных песках с устройством двухслойных покрытий, разработанных в МарГТУ.

Список литературы

1. Ильин Б.А. Теоретические основы проектирования организации строительства лесных дорог: учеб. пособие для студ. спец. 26.01 / отв. ред. Г.Ф. Грехов. – СПб.: ЛТА, 1992. – 192 с.

2. Салминен Э.О. Транспорт леса: в 2 т. Т. 1. Сухопутный транспорт: учебник / под ред. Э.О. Салминена. – 1-е изд. – М.: Академия, 2009. – 368 с.

3. Технологические правила и карты строительства лесовозных автомобильных дорог: в 2 т. Т. 1. Технологические правила. – Л.: Гипролестранс, 1975. – 209 с.

4. Чернякевич В.И., Пушкаренко Н.Н., Чернякевич Л.М. Конструирование и расчет многослойного дорожного покрытия из железобетонных плит: монография / МарГТУ. – Йошкар-Ола, 2007. – 177 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОСНОВАНИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НЕЖЕСТКОГО ТИПА ИЗ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ

И.Н. Кручинин, В.А. Рацектаев

Уральский государственный лесотехнический университет,
г. Екатеринбург, Россия

Предназначена для проведения анализа по повышению качества щебеночных оснований. Содержит описание экспериментальных данных, полученных при уплотнении дискретных каменных материалов.

Ключевые слова: щебеночные основания, накопление деформации, модуль упругих динамических деформаций.

На сегодняшний день при строительстве лесовозных дорог конструктивные слои дорожных одежд закладываются по формальным нормативным признакам без учета особенностей их уплотнения и вида используемого материала. Нормативные документы делят их лишь на легко- и трудноуплотняемые и регламентируют прочностные параметры. При этом упругая деформация слоя зависит от его толщины и прочности и совсем не учитывает связность или раздробленность материала, происхождение и структурные связи его частиц. Целью данной работы является прогнозирование работы дискретных сред с учетом структурных связей ее частиц на примере щебеночных оснований.

Основания из каменных материалов являются наиболее распространенным типом оснований дорожных конструкций. Однако при проведении дорожных работ не всегда учитываются их физико-механические и технологические свойства. Особенно важно при использовании каменных материалов с различного рода примесями, шлаковыми или другими техногенными отходами уделять повышенное внимание структурным связям, за счет которых конструкция приобретает новые качественные показатели. Огромное значение имеет то, что некоторые типы связей легко разрушаются при различных воздействиях в ходе строительства, а затем и эксплуатации автомобильных дорог. Следовательно, одним из важнейших вопросов является вопрос о природе этих связей, способах их сохранения и упрочнения.

Одной из особенностей всех каменных материалов, в том числе щебеночно-песчаных смесей, является их дискретная структура. Составные частицы такого материала не связаны между собой и, в отличие от укрепленных грунтов, для них отсутствуют лабораторные методы определения стандартной плотности,

обеспечивающей требуемую несущую способность конструкции. Информации об уплотнении таких слоев несоизмеримо мало, чем подобной информации для слоев из грунтов и асфальтобетонных смесей, качество уплотнения которых оценивается коэффициентом уплотнения. Использовать такую характеристику в данном случае затруднительно из-за особенностей, связанных с физико-механическими свойствами частиц материала и их поведением в конструкциях дорожных одежд. При уплотнении таких материалов следует обратить внимание также на возникновение остаточной и накапливаемой деформации, которая объясняется нарушением структуры отдельных агрегатов частиц при сжатии.

Самой известной физической моделью дискретной среды является модель, предполагающая перераспределение давлений как следствие наличия распределяющей способности материала. В такой среде значение угла рассеивания напряжений выражается долей угла внутреннего трения [1].

Исследования А.В. Смирнова [2] показывают, что способность слоя перераспределять давления зависит только от диаметра площадки, передающей нагрузку, а также от толщины этого слоя и не зависит от его жесткости.

Ряд исследователей во главе с И.Т. Сергеевым [3] считают, что в таких средах имеют место микронапряжения или напряжения второго рода. Эти напряжения представляют собой отклонения от средних значений, которые можно получить осреднением по некоторому объему. Микронапряжения являются случайной величиной и их можно рассматривать как случайное тензорное поле. Предполагается зависимость напряжений от плотности материала, от которой зависит количество контактов между частицами среды, а следовательно, и показателей механических свойств.

Все рассмотренные выше подходы не включают в свое решение учет структуры связей частиц материала и вытекающей отсюда накопленной деформации в конструкции при циклических нагрузках. Для получения достоверной картины поведения дискретных сред в слоях дорожных одежд необходимо учитывать эти связи и их природу. При высокой прочности частиц, что характерно для каменных материалов, деформируемость и прочность во многом определяется этими характеристиками.

Для качественной же оценки способности материала к созданию высокоплотных слоев нами предлагается использовать характеристику материала, которая связана с динамическим модулем упругости [4]. Даже учитывая, что она имеет лишь статистическую связь с модулем упругости, этого может быть достаточно.

В качестве объекта исследования нами были рассмотрены щебеночные основания автомобильных дорог, построенные из следующих каменных материалов: щебеночно-песчаная смесь С-4 из малопрочной осадочной породы (участок № 1); щебень фракции 40-70 с расклиновкой из малопрочной осадочной породы (участок № 2); щебень фракции 40-70 с расклиновкой из изверженной породы (гранодиориты) (участок № 3); щебень фракции 40-70 с расклиновкой из отходов горной промышленности (участок № 4).

Для оценки накапливаемых деформаций в слоях оснований введем индекс средней интенсивности накопления модуля упругих динамических деформаций.

$$\bar{E}'_{vd,i} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{E}_{vd,i}}{n_{ц}},$$

где $\bar{E}'_{vd,i}$ – индекс средней интенсивности накопления модуля упругих динамических деформаций, МПа; $\bar{E}_{vd,i}$ – динамический модуль упругости, МПа; $n_{ц}$ – количество приложенных к материалу циклов нагружения.

Анализ изменения прочностных свойств конструктивных слоев щебеночных оснований показал, что накопление деформаций у различных каменных материалов имеет схожую тенденцию. Особенно интенсивно индекс изменяется в начальный период приложения внешней нагрузки. Но для получения сопоставимой прочности на различных материалах требуется трудно реализуемое на практике количество циклов нагружения.

В проведенных испытаниях лидером по показателям фактического модуля упругости (со значением 497 МПа) и среднего арифметического значения динамического модуля упругости (91,4 МПа) является участок № 1. Этот конструктивный слой из щебеночно-песчаной смеси С-4, содержащий осадочные породы, показывает лучшие результаты по прочностным показателям [4].

Для более полной оценки поведения щебеночных оснований в дорожной конструкции было принято решение дополнительно проверить у них наличие цементирующей способности (таблица). Испытания показали, что рассмотренные каменные материалы обладают интересным свойством возникновения и формирования структурных связей, которые не учитывались ранее. Наличие цементирующей способности, а также свойств, ведущих к высокой степени консолидации конструктивных слоев, позволяют повысить прочность и обеспечить высокие эксплуатационные показатели свойств оснований автомобильных дорог. Таким образом, учитывая происхождение материала и структурные связи его частиц, можно выгодно использовать, например, такое свойство материала, как упрочнение.

В ходе исследования основание из щебеночно-песчаной смеси из осадочной породы также показало лучший результат по интенсивности роста прочности слоя конструкции. Для достижения нормативных показателей прочности на таком основании требуется, как правило, меньшее количество циклов нагружения при уплотнении слоев дорожных одежд. Было установлено, что при использовании малопрочных каменных пород можно применять менее дорогостоящую уплотняющую технику и получать при этом высокоплотные слои, соответствующие всем нормативным показателям качества, что особенно актуально для лесовозных автомобильных дорог.

Определение цементирующей способности каменных материалов

Показателя	Щебеночно-песчаная смесь С-4 из осадочной породы, участок № 1	Щебень фракции 40–70 с расклинковкой из осадочной породы, участок № 2	Щебень фракции 40–70 с расклинкой из изверженной породы (гранодиориты), участок № 3	Щебень фракции 40–70 с расклинкой из отходов горной промышленности, участок № 4
Время прохождения образцов через сито с квадратными отверстиями 15 мм, с	441	437	11	478
Цементирующая способность	Хорошая	Хорошая	Низкая	Хорошая

Примечание: Цементирующая способность считается хорошей, если показатель выше 180 с, средней, если показатель 60–180 с, низкой, если показатель до 60 с.

По нашим наблюдениям, для получения наиболее достоверной структурно-прочностной картины поведения слоя в конструкции рекомендуется назначать повышенные значения модулей упругости, относительно тех, что предлагаются расчетом по нынешней нормативной документации. Руководствуясь критерием прочности по динамической характеристике, при прогнозировании поведения материала можно увеличить межремонтный срок службы и повысить транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог.

Список литературы

1. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пособие / С.Б. Ухов [и др.]. – М.: АСВ, 2005. – 245 с.
2. Смирнов А.В. Колебания и волны в дорожных конструкциях / СибАДИ. – Омск, 2006. – 107 с.
3. Салль А.О. Возможности и пути повышения качества щебеночных оснований [Электронный ресурс]. – URL: <http://library.stroit.ru/articles/sheben>.
4. Кручинин И.Н., Дедюхин А.Ю. Исследования применения местных каменных материалов для создания щебеночных оснований автомобильных дорог // Транспорт Урала. Научно-технический журнал. – Екатеринбург, 2011. – № 1 (28). – С. 39–41.

ВЫСОТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАССЫ ПО СУММАРНЫМ ЗАТРАТАМ ТОПЛИВА НА БАЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПР АД CREDO

И.В. Мусиенко, А.И. Горбатий

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
Украина

Рассматривается вопрос определения экономического уклона при обхождении рельефного препятствия для разных категорий транспортных средств при автоматизированном проектировании автомобильных дорог.

Ключевые слова: *экономичных уклон, рельеф местности, суммарные затраты топлива*

На местоположение трассы автомобильной дороги влияют не только ситуационные и геологические факторы, но и рельефные. Традиционная схема трассирования автомобильной дороги следующая:

1) трассирование автомобильной дороги в плане с увязкой геометрических элементов кривых (в процессе принятия окончательного проектного решения трасса n и количество раз меняется в плоскости $X-Y$);

2) проектирование продольного профиля автомобильной дороги с перетрассированием при необходимости в плане (рациональный подбор положения оси дороги в плоскости Z с прохождением через контрольные точки, с соблюдением нормативов по радиусам выпуклых, вогнутых кривых, максимальным уклонам, максимальным высотам насыпей и глубинам выемок).

На первом этапе трасса прокладывается с учетом ситуационных, гидрологических и геологических условий, частично проектировщик может учесть и изменение рельефа, провести трассу по допустимому уклону, но целостно представить дорогу в плоскости Z можно только при проектировании продольного профиля. На втором этапе проектировщик в процессе проектирования продольного профиля может вернуться к перепроектированию трассы автомобильной дороги, если изменения рельефа местности не были учтены должным образом на первом этапе. В данной схеме учет рельефа при трассировании сводится в основном к недопущению высоких насыпей и глубоких выемок, но есть еще ряд факторов, которые необходимо учесть в процессе проектирования. Прежде всего, это расход топлива. Расход топлива как экономический фактор – очень весомый, но еще более он весом в качестве фактора экологического.

При проектировании автомобильной дороги на равнинной местности закон расхода топлива простой: чем длиннее дорога, тем больше суммарный расход топлива. При проектировании автомобильной дороги в пересеченной местности закон расхода топлива неоднозначен и требует исследования.

Возьмем самый простой случай – обход симметричного рельефного препятствия (холма). Холм можно обходить с разным продольным уклоном: $0^{\circ}/_{00}$; $5^{\circ}/_{00}$; $10^{\circ}/_{00}$; $20^{\circ}/_{00}$; $30^{\circ}/_{00}$; $40^{\circ}/_{00}$; $50^{\circ}/_{00}$ и т.д. В первичной постановке задачи пренебрегаем удлинением трассы, расстояние между исходным и конечным пунктом берем 2 км.

Автомобиль поднимается на гору, затем спускается с горы под разными уклонами (рис. 1). Попикетный расход топлива целесообразно рассчитывать в САПР АД CREDO. Для этого необходимо проектировать дорогу в плане и продольном профиле с построением красной линии продольного профиля. Также целесообразно рассмотреть расход с разным подвижным составом.

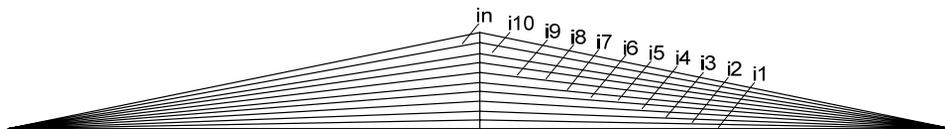


Рис. 1. Схема исследования динамики расхода топлива при преодолении рельефного препятствия под разным уклоном

Результаты расчетов приведены на рис. 2. При аппроксимации рядов данных полиномами 2-й степени для всех категорий транспортных средств можно рассчитать минимальные экстремумы, которые могут являться критериями для классической схемы оптимизации*.

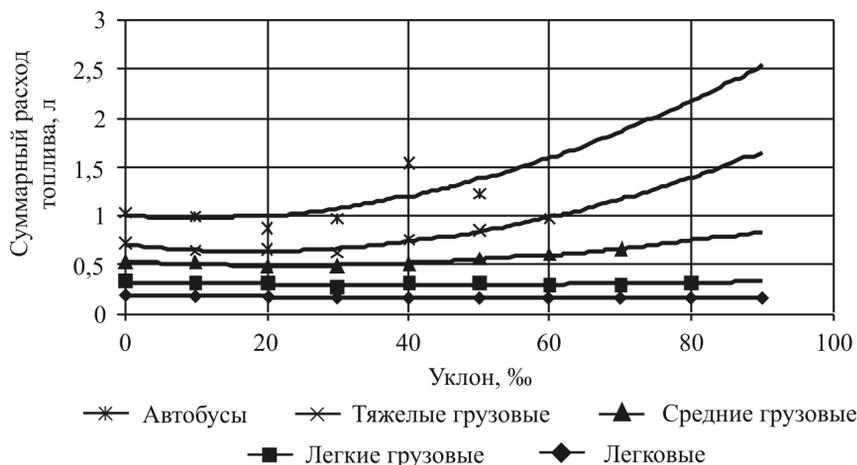


Рис. 2. Зависимость суммарного расхода от уклона для разных категорий подвижных средств

* Бельков В.Н., Ланшаков В.Л. Автоматизированное проектирование технических систем: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rae.ru/monographs/57>.

Согласно результатам исследований, при вышеприведенной постановке задачи для легковых автомобилей экономичный уклон будет 63 ‰ ; для легких грузовых – 41 ‰ ; для средних грузовых – 22 ‰ ; для тяжелых грузовых – 18 ‰ ; для автобусов – 9 ‰ (рис. 3).

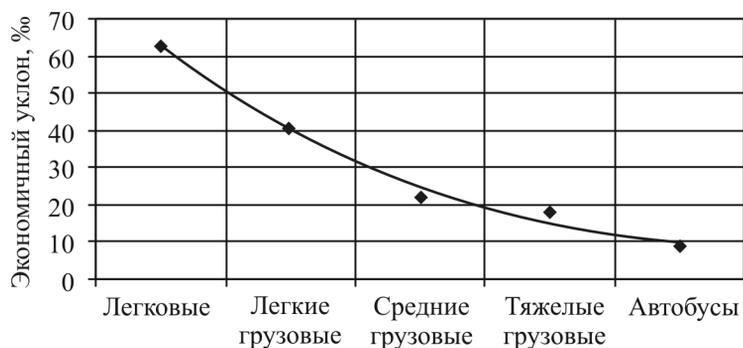


Рис. 3. Зависимость экономичного уклона от категорий транспортных средств

Следствием данных результатов является постулат: при автоматизированном проектировании экономичный уклон зависит от состава транспортного потока.

ПРОДЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОНОЛИТНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДОРОГ И АЭРОДРОМОВ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ГЕРМЕТИЗАЦИИ

С.А. Черников, М.Г. Горячев

Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ), Россия

Приведено описание усовершенствованного технологического регламента герметизации деформационных швов монолитных цементобетонных покрытий битумно-полимерными мастиками, разработанного по результатам многолетних теоретических и экспериментальных исследований. Основное внимание в новой технологии уделено контролю параметров температуры и влажности стенок паза деформационного шва, времени формирования грунтовочного слоя на стенках паза, а также температуре и длительности разогрева самого герметизирующего материала.

Ключевые слова: деформационный шов монолитных цементобетонных покрытий, битумно-полимерный герметик, герметизация деформационных швов, технология герметизации.

Технологический процесс герметизации деформационных швов в значительной степени определяется герметизирующим составом. Длительное время при использовании герметиков прежнего образца порядок производства работ регламентировался несколькими документами, например [1, 2].

В настоящее время многие крупные дорожные и аэродромные предприятия используют технологические регламенты (указания по производству работ), предлагаемые фирмой-поставщиком, такие как [3, 4]. Однако, несмотря на постоянное совершенствование как материалов, так и технологий и средств механизации, до сих пор на эксплуатируемых объектах наблюдается высокий процент преждевременной разгерметизации (частного отказа) деформационных швов – более 10 % (по наблюдениям авторов на искусственных покрытиях аэропорта «Шереметьево» и дороги А114 «Вологда – Новая Ладога» в период 2007–2011 гг.).

О необходимости совершенствования технологии по герметизации деформационных швов даже с учетом ее некоторого удорожания может свидетельствовать тот факт, что сокращение межремонтных сроков швов значительно увеличивает интегральное время ремонтно-восстановительных процедур. Это при-

водит к ощутимому сокращению свободного времени операций взлета-посадки воздушных судов в аэропорту и впоследствии ведет к финансовым потерям (не говоря уже о снижении безопасности полетов), а на автомобильных дорогах – к заметному ущербу, причиненному в результате стесненных условий организации движения в зоне производства ремонтных работ.

Очевидна задача по улучшению технологического регламента на основе уже разработанных и применяемых длительное время методов герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий.

В целом технологическая процедура по герметизации деформационных швов монолитных цементобетонных покрытий и автомобильных дорог, и аэродромов, т.е. создание устойчивой и долговечной системы «герметик – праймер – бетон» в пазах шва может быть разделена на четыре основных этапа: подготовка паза шва, грунтовка (праймеровка) стенок паза шва, подготовка (разогрев) герметизирующего материала и герметизация (заливка) деформационного шва.

Технологически этап герметизации в настоящее время достаточно хорошо изучен и отработан. При этом наблюдения, проведенные нами, выявили одно важное обстоятельство: в подавляющем большинстве случаев этап герметизации следует неразрывно за этапом праймеровки. При такой организации работ праймер не успевает сформироваться на стенках паза деформационного шва и проявить свойство липкости, являющееся ведущей составляющей высокой адгезии герметика к праймеру. В первые минуты после нанесения грунтовочного состава липкость практически отсутствует, и в результате вместо требуемого «мостика» образуется необъединяющая герметик и бетон прослойка.

Отметим, что значение допустимой остаточной влажности на поверхности бетона перед началом праймеровки стенок паза шва встречается лишь в одном из известных технологических регламентов. Ни в одном из регламентов нет указаний на величину температуры бетона перед началом праймеровки стенок паза шва и самого процесса герметизации, а присутствуют только рекомендации по температуре воздуха, виду праймера и способу его нанесения.

Основная возможная трудность, вытекающая из обобщения технологических регламентов, а также паспортов на мастики, может быть сформулирована следующим образом. При четком указании однократного разогрева мастики для сохранения ее технологических и эксплуатационных показателей отсутствуют упоминания о максимально допустимой длительности такого однократного разогрева. Такая задача решалась коллективом ЗАО «Монолит-М», в результате чего было рекомендовано ограничить длительность разогрева герметика 4 ч во избежание резкого ухудшения его технологической текучести и эксплуатационной деформативности.

Кроме того, действующие документы ограничивают температуру окружающей среды при производстве работ по нижнему пределу. Очевидно, что значительно более важным был бы учет температуры самого бетона в зоне деформационного шва.

На основании исследований и анализа технологий предлагаются рекомендации по совершенствованию технологии герметизации деформационных швов при строительстве монолитных цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов и устройстве компенсационных швов, а также восстановления герметизации деформационных швов битумно-полимерными герметиками (таких, как Biguma, Crafcro, Deery, «БПАГ», «БИОМ-АГ», «НОВОМАСТ», «Ижора» и др.), соответствующих требованиям ГОСТ 30740–2000 [5].

Прежде всего, в рекомендуемой технологии, позволяющей обеспечить требуемые сроки службы деформационных швов монолитных цементобетонных покрытий, обязательное внимание должно уделяться контролю за лимитированными параметрами температуры и влажности стенок паза деформационного шва, времени формирования грунтовочного слоя на стенках паза деформационного шва, а также температуре и длительности разогрева самого герметизирующего материала.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, предложены технологии герметизации деформационных швов при строительстве монолитных цементобетонных покрытий и устройстве компенсационных швов, а также восстановления деформационных швов на автомобильных дорогах и аэродромах с использованием битумно-полимерных герметизирующих материалов (табл. 1 и 2).

Т а б л и ц а 1

Рекомендуемая технология герметизации деформационных швов при строительстве монолитных цементобетонных покрытий и устройстве компенсационных швов на автомобильных дорогах и аэродромах битумно-полимерными герметиками

№ п/п	Наименование операций	Оборудование
1	2	3
1	Нарезка паза (рабочей камеры) деформационного (компенсационного) шва	Шов-нарезчик с алмазным диском CF-15D, FD-42D
2	Снятие фасок 2 мм под углом 45°	Щеточная машина BM 100D со специальной насадкой для снятия фасок
3	Промывка водой под высоким давлением	Аппарат высокого давления Karcher, Lavor, Portotecnica
4	Продувка (просушка) теплым воздухом (+40...+50 °С) под высоким давлением	Установка горячего воздуха типа HOT-DOG, LS
5	Заполнение нижней части паза шва пенополиуретаном (в случае его отсутствия)	Пеногенератор Graco Reactor, УЗК-20
6	Запрессовка уплотнителя диаметром на 30–50 % больше ширины паза на глубину, равную 2–3 величинам ширины паза шва (с целью экономии мастики и формирования оптимального сечения герметика в шве)	Устройство для укладки уплотнительного шнура

Продолжение табл. 1

1	2	3
7	Наклеивание защитной клейкой ленты во избежание попадания на покрытие грунтовки (праймера) и герметизирующего материала	Вручную
8	Просушка и прогрев бетона в области шва до влажности не более 5 % и температуры от +20 до +60 °С на ширину 5–7 см с каждой стороны паза шва	Инфракрасный излучатель, контроль температуры бетона электронным термометром с точностью измерения не более 0,5 °С, контроль влажности бетона электронным влагомером с погрешностью измерения не более 0,5 %
9	Нанесение грунтовочного слоя на стенки паза шва на всю глубину заливки	Шприц-распылитель
10	Обеспечение временного задела в 45 мин для формирования грунтовочного слоя на поверхности стенок паза шва	–
11	Прогрев бетона в области шва до температуры от +20 до +60 °С на ширину 5–7 см с каждой стороны паза шва	Инфракрасный излучатель, контроль температуры бетона электронным термометром с точностью измерения не более 0,5 °С
12	Разогрев герметизирующего материала до рабочей температуры, указанной в документации	Котел-заливщик с принудительным перемешиванием и подогревом термомасла LS 250/200, контроль температуры герметика электронным термометром с точностью измерения не более 1 °С
13	Заполнение швов в 2–3 приема (в зависимости от величины оседания мастики) с обеспечением уровня заливки шва (на глубину 25–30 мм), при температуре бетона не ниже +20 и не выше +60 °С	Котел-заливщик с принудительным перемешиванием и подогревом термомасла LS 250/200, MONO 250/500, контроль температуры бетона электронным термометром с точностью измерения не более 0,5 °С
14	Срезание излишков герметика над швом (после остывания)	Вручную горячим скребком-ножом
15	Удаление защитной клейкой ленты	Вручную
16	Создание защитного «пластыря» (присыпка тонкомолотым каменным материалом) во избежание прилипания герметика к пневматикам колес транспортных средств	Вручную

Таблица 2

Рекомендуемая технология восстановления герметизации деформационных швов монолитных цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов битумно-полимерными герметиками

№ п/п	Наименование операций	Оборудование
1	2	3
1	Извлечение из шва старого герметика	Трактор, оборудованный специальным шовным плугом с зубом для выемки мастики в зависимости от ширины шва
2	Очистка паза шва с помощью вращающейся щетки с металлическим ворсом от остатков старого герметика, грязи и продуктов разрушения бетона	Щеточная машина с металлическим ворсом типа FB-16, HP-16, BM 100D, НШР-613Х
3	Обработка боковых граней (краев) паза шва с целью удаления ослабленного сечения старого бетона и остатков старого герметика	Шов-нарезчик с алмазным диском CF-15D, FD-42D
4	Снятие фасок 2 мм под углом 45 °(при необходимости)	Щеточная машина BM 100D со специальной насадкой для снятия фасок
5	Промывка водой под высоким давлением	Аппарат высокого давления Karcher, Lavor, Portotecnica
6	Продувка (просушка) теплым воздухом (+40...+50 °С) под высоким давлением	Установка горячего воздуха типа HOT-DOG, LS
7	Заполнение нижней части паза шва пенополиуретаном (в случае его отсутствия)	Пеногенератор Graco Reactor, УЗК-20
8	Запрессовка уплотнителя диаметром на 30–50 % больше ширины паза на глубину, равную 2–3 величинам ширины паза шва (с целью экономии мастики и формирования оптимального сечения герметика в шве)	Устройство для укладки уплотнительного шнура
9	Наклеивание защитной клейкой ленты во избежание попадания на покрытие грунтовки праймера и герметизирующего материала	Вручную
10	Просушка и прогрев бетона в области шва до влажности не более 5 % и температуры от +20 до +60 °С на ширину 5–7 см с каждой стороны паза шва	Инфракрасный излучатель, контроль температуры бетона электронным термометром с точностью измерения не более 0,5 °С, контроль влажности бетона электронным влагомером с погрешностью измерения не более 0,5 %
11	Нанесение грунтовочного слоя на стенки паза шва на всю глубину заливки	Шприц-распылитель
12	Обеспечение временного задела в 45 мин для обеспечения формирования грунтовочного слоя на поверхности стенок паза шва	–

1	2	3
13	Прогрев бетона в области шва до температуры от +20 до +60 °С на ширину 5–7 см с каждой стороны паза шва	Инфракрасный излучатель, контроль температуры бетона электронным термометром с точностью измерения не более 0,5 °С
14	Разогрев герметизирующего материала до рабочей температуры, указанной в документации	Котел-заливщик с принудительным перемешиванием и подогревом термомасла LS 250/200, контроль температуры герметика электронным термометром с точностью измерения не более 1 °С
15	Заполнение швов в 2–3 приема (в зависимости от величины оседания мастики) с обеспечением уровня заливки шва (на глубину 25–30 мм), при температуре бетона не ниже +20 и не выше +60 °С	Котел-заливщик с принудительным перемешиванием и подогревом термомасла LS 250/200, MONO 250/500, контроль температуры бетона электронным термометром с точностью измерения не более 0,5 °С
16	Срезание излишков герметика над швом (после остывания)	Вручную горячим скребком-ножом
17	Удаление защитной клейкой ленты	Вручную
18	Создание защитного «пластыря» (присыпка тонко-молотым каменным материалом) во избежание прилипания герметика к пневматикам колес транспортных средств	Вручную

Технологии производства работ по герметизации деформационных швов монолитных цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов как при первой герметизации на недавно уложенном цементобетонном покрытии, так и при ремонте эксплуатируемого практически идентичны. Исключение составляют первые операции подготовительного этапа.

Список литературы

1. Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог: ВСН 139–80 / Минтрансстрой СССР. – М., 1980. – 106 с.
2. Методические рекомендации по ремонту цементобетонных покрытий автомобильных дорог / РОСАВТОДОР. – М., 2003. – 24с.
3. Технологическая карта. Заполнение температурных швов новыми видами мастик и герметиков / ОРГТРАНССТРОЙ. – М., 1970. – 15 с.
4. Указания по производству работ (Технологический регламент). Текущий ремонт покрытия ИВПИ-2 аэропорта «Шереметьево» / ФГУП ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект». – М., 2000. – 27 с.
5. ГОСТ 30740–2000. Материалы герметизирующие для швов аэродромных покрытий. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 19 с.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ТРАДИЦИОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ

А.В. Веселов, И.С. Трубкин

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, Россия

Проводится критический анализ функциональной целесообразности элементов автомобильной дороги традиционного исполнения.

Ключевые слова: *автомобильные дороги традиционного конструктивного исполнения, автомобильные дороги эстакадного типа, критический анализ, функциональная целесообразность.*

Одной из важнейших задач народного хозяйства нашей страны в настоящее время является совершенствование единой транспортной системы за счет реконструкции старых и строительства новых автомобильных дорог. Дальнейшее совершенствование автомобильных дорог в связи с постоянно возрастающими к ним требованиями невозможно без их всестороннего критического анализа, в том числе:

- соответствия конструктивного решения элементов дорог их функциональному назначению;
- влияния свойств используемых материалов на конструктивное решение элементов дорог;
- влияния природных факторов на свойства материалов, применяемых для дорожного строительства.

Любое инженерное сооружение должно проектироваться таким образом, чтобы в максимальной степени соответствовать своему функциональному назначению и в полной мере удовлетворять всем требованиям условий эксплуатации. Свойства материалов, из которых возводится данное сооружение, также должны обеспечивать возможность наилучшего выполнения каждым конструктивным элементом сооружения своего функционального назначения. Рассмотрим, насколько справедлива данная аксиома в отношении конструктивного решения автомобильной дороги традиционного исполнения, проведя его сравнение с функционально-идеальной абстрактной моделью автомобильной дороги.

Абстрактную идеальную модель автомобильной дороги можно представить как некую горизонтальную плоскость, способную без изменения своего положения в пространстве, без деформаций и разрушений неограниченно

долгое время обеспечивать максимально быстрый и комфортный проезд по ней автомобилей. Исходя из этих условий, конструктивное решение дороги должно обеспечить неизменность ее положения в пространстве, а материал дорожных конструкций обладать способностью в течение всего нормативного периода эксплуатации дороги противостоять без деформаций и разрушений совокупному воздействию природных факторов и нагрузок от автомобилей.

Идеальной абстрактной модели соответствует конструктивное выполнение автомобильной дороги в виде ровной жесткой плиты, опирающейся на стойки, воспринимающие и передающие всю нагрузку через фундаменты на грунтовое основание (рис. 1). Для обеспечения неизменности пространственного положения плиты в условия переменного уровня поверхности земли стойки должны иметь возможность адекватного изменения своей длины. Материал дорожной плиты и стоек должен иметь соответствующие нагрузкам и климатическим условиям эксплуатации этих конструкций показатели прочности и долговечности.

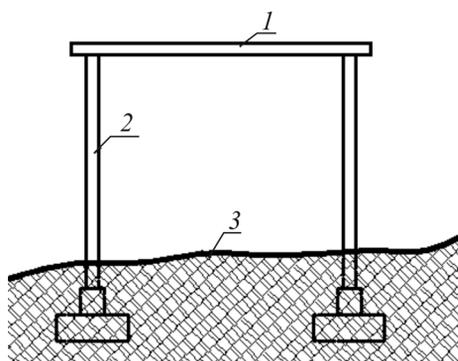


Рис. 1. Поперечный профиль идеальной функционально целесообразной конструкции автомобильной дороги:
1 – дорожная плита; 2 – стойки; 3 – поверхность земли

Конструктивное решение автомобильной дороги традиционного исполнения (рис. 2) отличается от идеальной абстрактной ее модели и содержит, как правило, обязательный набор основных элементов: земляное полотно, дорожную одежду, водоотводные сооружения и др., каждый из которых имеет собственное функциональное назначение. При этом некоторые конструктивные элементы дорог одновременно выполняют несколько разнородных функций. В функции земляного полотна, например, входит:

- придание поверхности дороги заданных продольных уклонов;
- восприятие и передача на грунтовое основание нагрузок от дорожной одежды и автомобильного транспорта;
- удаление рабочего слоя земляного полотна от нижерасположенных источников увлажнения;
- возвышение проезжей части дороги над снеговым покровом с целью недопущения ее заносов в зимнее время.

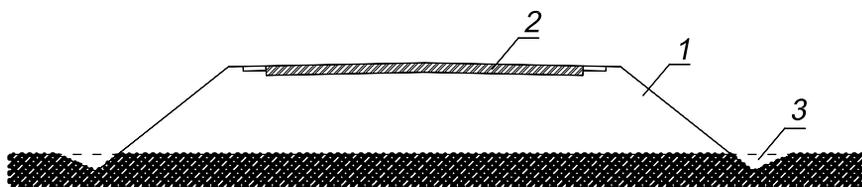


Рис. 2. Поперечный профиль автомобильной дороги традиционного конструктивного исполнения: 1 – насыпь земляного полотна; 2 – дорожная одежда; 3 – водоотводная боковая канава

Проводя анализ конструктивного соответствия земляного полотна автомобильной дороги своему функциональному назначению, легко заметить крайне малую его пригодность для выполнения требуемых функций. Так, для выполнения функции выдерживания постоянной отметки верха земляного полотна в условиях переменного рельефа земной поверхности теоретически необходимо изменение только одного параметра конструктивного элемента, а именно, его высоты. Но традиционное конструктивное решение данного элемента автомобильной дороги таково, что увеличение высоты насыпи (при неизменных размерах ее верхнего основания) одновременно приводит к функционально ненужному увеличению размеров нижнего основания и, в конечном итоге, к многократному, по сравнению с теоретически необходимым, увеличению ее объема.

Традиционное конструктивное решение автомобильной дороги предусматривает выполнение ее проезжей части и обочин по верху насыпи земляного полотна. При этом ширина проезжей части, обеспечивающей фактическое активное и постоянное автомобильное движение, составляет лишь 50–60 % ширины поверхности насыпи, так как остальные 50–40 % занимают обочины. Роль обочин в обеспечении автомобильного движения пассивна и непостоянна, поскольку она сводится лишь к эпизодическому кратковременному размещению на них неисправных или поврежденных в ДТП отдельных автомобилей. Следовательно, традиционное конструктивное решение автомобильной дороги изначально предполагает крайне неэффективное использование площади полосы постоянного земельного отвода под дорожное строительство (таблица).

Земляное полотно традиционного конструктивного исполнения также не вполне совершенно и для решения функциональной задачи передачи на грунтовое основание напряжений от внешней нагрузки, создаваемой дорожной одеждой и автотранспортом. Максимальные значения напряжений от внешней нагрузки, возникающие в верхней части земляного полотна, затухают на небольшой глубине от поверхности. С позиций функциональной целесообразности увеличение высоты земляного полотна свыше необходимой неоправданно. Но в реальных условиях высоту земляного полотна определяют, как правило, другие его функции – обеспечение заданных продольных уклонов авто-

мобильной дороги, удаление рабочего слоя земляного полотна от уровня грунтовых вод и т.д. В этом случае на грунтовое основание передаются возрастающие с увеличением высоты насыпи суммарные напряжения, складывающиеся от внешней нагрузки и собственного веса насыпи, которые при достижении определенных значений могут вызвать ее просадку.

Эффективность использования полосы постоянного землеотвода
под строительство автодороги II категории традиционного
конструктивного исполнения

Высота насыпи земляного полотна, м	Ширина нижнего основания насыпи земляного полотна, м	Ширина проезжей части автодороги, м	КПД использования ширины полосы постоянного землеотвода, %
1,0	23,0	7,5	32,61
2,0	31,0	7,5	24,19
3,0	24,0	7,5	31,25
4,0	27,0	7,5	27,80
5,0	30,0	7,5	25,00
6,0	33,0	7,5	22,73

Многолетняя практика эксплуатации автомобильных дорог свидетельствует, что водонасыщение материала земляного полотна чаще всего происходит через его нижнее основание, имеющее непосредственный контакт с влагосодержащим природным грунтом. В наибольшей степени это характерно для осеннего и весеннего периодов года, когда подъем уровня грунтовых вод достигает наивысших отметок. При этом количество воды, проникающей в материал земляного полотна и снижающей его прочностные характеристики, прямо пропорционально площади нижнего основания насыпи земляного полотна. Следовательно, с точки зрения функциональной целесообразности, для снижения степени водонасыщения земляного полотна необходимо максимально уменьшать площадь его контакта с влагосодержащим природным грунтом, то есть уменьшать площадь нижнего основания. Однако традиционное конструктивное выполнение земляного полотна в виде насыпи трапецидального сечения полностью исключает такой способ решения проблемы, что вновь позволяет говорить о несоответствии конструктивного решения земляного полотна его функциональному назначению.

Проводя сравнение идеальной абстрактной модели автомобильной дороги и автомобильной дороги традиционного исполнения, отмечаем прямо противоположный подход к решению вопроса конструктивного выполнения дорожных элементов. У идеальной модели дороги конструктивное решение ее элементов и свойства материалов для их изготовления определяются только их функциональной целесообразностью. У автомобильной дороги традиционного исполнения конструктивное решение ее элементов подгоняется под свойства материалов, используемых для их изготовления. В то же время сами

материалы выбираются не в зависимости от соответствия их свойств функциональному назначению элемента, а из соображений их дешевизны, наличия в достаточном количестве в районе строительства и др. Так, для изготовления земляного полотна – важнейшего многофункционального элемента автомобильной дороги, используется природный грунт, разрабатываемый чаще всего в пределах полосы отвода трассы дороги. С точки зрения функциональной пригодности выбор природных грунтов в качестве материала для дорожного строительства является крайне неудачным. В естественном состоянии большинство природных грунтов имеет весьма низкие строительные характеристики (малую прочность, высокую деформативность и способность изменять свои свойства под влиянием многочисленных природных факторов).

С целью повышения строительных свойств грунтов и снижения степени влияния на них природных факторов были теоретически разработаны и используются на практике различные технологические приемы. Они включают в себя многочисленные способы доведения содержания воды в грунтах до оптимального, увеличения прочностных характеристик грунтов, предохранения их от воздействия природных факторов и др. Это приводит к необходимости выполнения в технологическом процессе строительства земляного полотна дополнительных рабочих операций с привлечением механизмов и материалов, что значительно усложняет технологический процесс, удорожает стоимость строительства и увеличивает объемы работ и сроки их выполнения. Вместе с тем все известные технологические приемы, используемые дорожными строителями, лишь в некоторой степени способствуют повышению отдельных свойств грунтов, не решая кардинально существующую проблему.

Несоответствие свойств природных грунтов требованиям, предъявляемым к материалам для строительства автомобильных дорог, также приводит к необходимости выполнения в конструкции дорог функционально необязательных элементов. Так, функциональное назначение верхнего основания (рабочего слоя) земляного полотна автомобильной дороги традиционного исполнения – восприятие и передача нагрузок от автомобильного транспорта. Но вследствие недостаточности для восприятия прилагаемых нагрузок прочностных и деформативных характеристик грунтов, служащих материалом земляного полотна, возникает необходимость устройства дополнительного элемента автомобильной дороги – дорожной одежды, выполняемой из более прочных материалов. Стоимость дорожной одежды зачастую превышает стоимость самого земляного полотна. Общемировая тенденция к росту грузоподъемности автомобилей неизбежно приведет к дальнейшему увеличению толщины дорожных одежд и возрастанию требований к их прочностным и деформативным характеристикам, а следовательно, росту их стоимости.

Негативная способность природных грунтов к ухудшению своих строительных свойств при водонасыщении также является причиной обязательного выполнения в конструкции автомобильной дороги традиционного исполнения

функционально ненужных дополнительных элементов. К ним относятся все водоотводные инженерные сооружения, гидроизоляционные, капиллярпрерывающие слои и другие элементы дорог, основное назначение которых – предотвращение насыщения водой грунта земляного полотна. Их выполнение также увеличивает трудоемкость и стоимость дорожного строительства, сводя на нет экономическую целесообразность использования природных грунтов как материала для возведения дорог.

Сделаем следующие выводы:

1. Конструктивное решение автомобильных дорог традиционного исполнения продиктовано свойствами природных грунтов, используемых в качестве дорожно-строительных материалов.

2. Свойства природных грунтов, используемых для дорожного строительства, не обеспечивают без проведения дополнительных мероприятий бездефектного функционирования выполненных из них конструкций в условиях постоянного увеличения нагрузок от автотранспорта и круглогодичного влияния различных природных факторов.

3. Функциональное назначение большинства конструктивных элементов автомобильной дороги традиционного исполнения состоит в компенсации недостатков свойств природных грунтов, используемых в качестве дорожно-строительных материалов.

4. Конструктивное решение элементов автомобильных дорог традиционного исполнения функционально неоправданно и поэтому нерационально.

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ ЭСТАКАДНОГО ТИПА КАК ВОЗМОЖНОСТЬ РЕШЕНИЯ ДОРОЖНОЙ ПРОБЛЕМЫ РОССИИ

А.В. Веселов, И.С. Трубкин

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, Россия

Рассматривается возможность решения дорожной проблемы Российской Федерации путем строительства автомобильных дорог эстакадного типа из сборных железобетонных элементов заводского изготовления. Приводится конструктивное решение автомобильной дороги эстакадного типа, а также сравнительный анализ трудоемкости строительства дорог различного типа.

Ключевые слова: автомобильные дороги традиционного конструктивного исполнения, автомобильные дороги эстакадного типа, трудоемкость строительства.

Российская Федерация – великая страна, по площади занимающая первое место среди всех стран мира. Согласно положениям Транспортной стратегии Российской Федерации развитие дорожной сети должно соответствовать темпам социально-экономического развития и обеспечивать потребности в перевозках. В реальности в настоящее время в России наблюдается кризисное состояние дорожных сетей (рис. 1). Темпы и объемы строительства новых автомобильных дорог, а также реконструкции и ремонта существующих недостаточны для обеспечения постоянно растущих потребностей экономики и населения страны.



Рис. 1. Плохие дороги – тормозящий фактор развития экономики России

Рост автомобилизации и возрастание нагрузок от автотранспорта предопределили сокращение нормативной долговечности российских дорог и преждевременное их разрушение. Ежегодно увеличивающаяся потребность в ремонтах и реконструкции существующих автодорог отвлекает силы и средства дорожников от строительства новых дорог, делая проблематичной перспективу соответствия развития отечественной дорожной сети темпам развития экономики страны. Рассмотрим зависимость срока службы асфальтобетонных дорожных покрытий от интенсивности движения:

Интервал интенсивности на полосе движения, авт./сут	Срок службы покрытия, лет
До 200	8
200–2500	6
2500–4500	4
4500–6500	3
Более 6500	2

Прошедший 2011 год был объявлен в России годом начала дорожной революции, т.е. этот год, по замыслу ее организаторов, должен стать началом коренного переворота, резкого скачкообразного перехода от одного качественного состояния автомобильных дорог страны к другому. В связи с этим появляется необходимость ответить на ряд вопросов. Насколько реально в короткие сроки модернизировать огромное дорожное хозяйство страны, доведя его параметры с существующих до соответствующих потребностям экономики? Возможно ли при фактическом состоянии дорожно-строительной базы России, а также при используемых сегодня нашими строителями материалах и технологиях дорожного строительства многократно увеличить темпы и повысить качество строительства автомобильных дорог? Проведенный автором данной статьи анализ возможностей ускорения темпов дорожного строительства в России* показал, что необходимой предпосылкой резкого увеличения темпов строительства автомобильных дорог является одновременное выполнение следующих условий:

1. Решение проблемы сезонности дорожного строительства.
2. Увеличение сроков службы дорог и повышение их качества.
3. Использование для дорожного строительства повсеместно доступных, не подверженных влиянию природно-климатических факторов материалов и конструкций, а также распространенных строительных технологий.

Последующее изучение возможностей одновременной реализации этих условий дорожно-строительными организациями страны позволило установить, что широко применяемые в настоящее время дорожно-строительные

* Веселов А.В., Камышина Н.А., Березкина Ю.В. Анализ возможностей ускорения темпов дорожного строительства в России. Проблемы строительного и дорожного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / БГИТА. – Брянск: 2008. – Вып. 5. – С. 15–19.

материалы и технологии строительства, не обеспечивая тем или иным образом комплексного выполнения перечисленных необходимых условий, не позволяют кардинально решать все более усугубляющуюся проблему нехватки отечественных автомобильных дорог. При отсутствии принципиально нового подхода, новой идеологии дорожного строительства нельзя осуществить мощного наращивания его темпов и качества. Механическое увеличение числа дорожно-строительных организаций лишь на некоторое время создаст иллюзию решения проблемы, а затем динамично возрастающая автомобилизация все вернет к исходному состоянию, но на более высоком уровне.

Альтернативным традиционному направлением, позволяющим осуществлять круглогодичное строительство капитальных автомобильных дорог промышленными методами, могло бы стать строительство дорог эстакадного типа из сборных железобетонных элементов заводского изготовления, которые по своему конструктивному решению являются разновидностью дорожных эстакад. Основное отличие этого конструктивного решения от традиционных дорожных эстакадных сооружений заключается в следующем. Дорожные эстакадные сооружения представляют собой многопролетные (более 5–6 пролетов) мостовые сооружения или их части, возводимые взамен насыпей земляного полотна. Наиболее распространенные пролеты эстакад колеблются в пределах от 15–20 до 50–60 м. Стоимость возведения эстакад на равнинной местности, как правило, многократно превышает стоимость автомобильных дорог традиционного исполнения. На пересеченной местности, характеризующейся значительным перепадом высот, строительство эстакад может быть экономически целесообразным, поскольку их использование позволяет сократить длину трассы.

Стоимость строительства эстакад напрямую зависит от длины пролетных строений, увеличение которой влечет за собой увеличение высоты конструкций и, следовательно, количества бетона и арматуры. Увеличение длины пролетных строений также способствует возрастанию трудоемкости их изготовления, транспортирования и монтажа. С увеличением длины пролетов эстакадных сооружений возрастает нагрузка на опоры и фундаменты, что в конечном итоге также способствует росту их стоимости и всего сооружения в целом.

Технологическая составляющая изготовления, доставки и монтажа конструктивных элементов эстакадных сооружений также усложняется с увеличением длины пролетов. Транспортирование тяжелых длинномерных конструкций к месту их установки возможно осуществить только с использованием специальных транспортных средств. Для монтажа таких конструкций, вес которых может достигать нескольких десятков тонн, также потребуется специальное крановое оборудование повышенной грузоподъемности. Далекое не каждая дорожно-строительная организация располагает возможностями, необходимыми для возведения большепролетных эстакад, что отрицательно сказывается на их строительстве.

При проектировании автомобильных дорог эстакадного типа были учтены все достоинства эстакад и сделана попытка устранения имеющихся у них недостатков. Оптимизация конструктивного решения автомобильных дорог эстакадного типа осуществлялась по нескольким направлениям:

- минимальное количество конструктивных элементов;
- габаритные размеры и вес конструктивных элементов назначались с учетом возможности их изготовления на стандартном оборудовании заводов ЖБИ, транспортирования обычными транспортными средствами и монтажа с использованием кранового оборудования, применяемого в промышленном и гражданском строительстве;
- выполнение автомобильных дорог различных категорий по единой технологии с использованием одних и тех же конструктивных элементов;
- более равномерное распределение нагрузок от транспортных средств на конструктивные элементы автомобильной дороги;
- избежание осадок фундаментов при передаче нагрузок на грунтовое основание, представленное любым типом грунтов;
- возможности выдерживания заданного продольного уклона автомобильной дороги в условиях переменного рельефа местности.

Результатом последующей работы стала разработка универсального конструктивного решения автомобильной дороги эстакадного типа из сборных железобетонных элементов заводского изготовления. Конструктивная схема такой дороги, представленная на рис. 2, включает в свой состав ограниченный стандартный набор типовых элементов: бетонные фундаменты в вытрамбованных котлованах, стойки, дорожные балки и дорожные плиты. В процессе эксплуатации дороги каждый из этих элементов выполняет определенные функции:

– *дорожные плиты* – образуют плоскость проезжей части, воспринимают нагрузку от транспортных средств и передают ее на дорожные балки. Железобетонные ребристые дорожные плиты (рис. 3) изготавливаются из бетона класса В60 и армируются напрягаемой стержневой арматурой класса Ат-V. Ребра жесткости дорожных плит выполняются как в продольном, так и в поперечном направлениях. Плиты монтируются на дорожные балки, закрепляются в проектном положении сваркой закладных деталей, после чего производится заделка стыковых швов между плитами эластичным шнуровым герметизирующим наполнителем и резинобитумной мастикой;

– *дорожные балки* служат основанием для дорожных плит, обеспечивая ровность плоскости проезжей части, воспринимают нагрузку от дорожных плит и передают ее на стойки. На основании предварительно выполненных расчетов была выбрана балка с двутавровой формой поперечного сечения (рис. 4). Развитая верхняя полка повышает жесткость балки в горизонтальном направлении, уменьшает перемещения при поперечных тормозных усилиях. Нижняя полка дает возможность удобно разместить напрягаемую арматуру и обеспечить прочность балки при отпуске напряжения. Балка изготавливается из бетона класса

В60 с арматурой из термически упрочненной арматурной стали класса Ат-V. При строительстве дороги балки монтируются либо вдоль, либо поперек пролета на дорожные стойки, закрепляются в проектном положении сваркой закладных деталей, затем на них укладываются дорожные плиты;

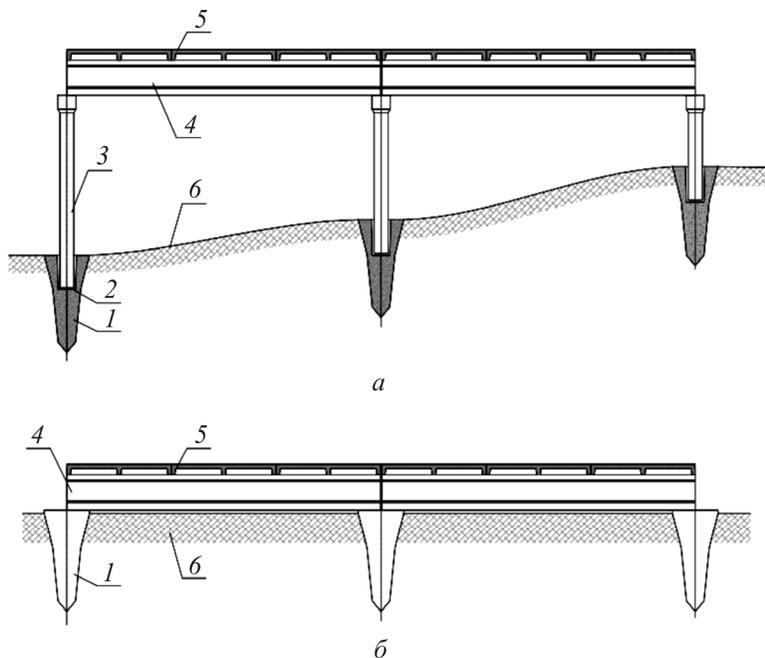


Рис. 2. Принципиальная конструктивная схема автомобильной дороги эстакадного типа: *а* – на холмистой местности; *б* – на равнинной местности; 1 – фундаменты в вытрамбованных котлованах; 2 – подливка из мелкозернистого бетона; 3 – дорожная стойка; 4 – дорожная балка; 5 – дорожные ребристые плиты; 6 – поверхность земли

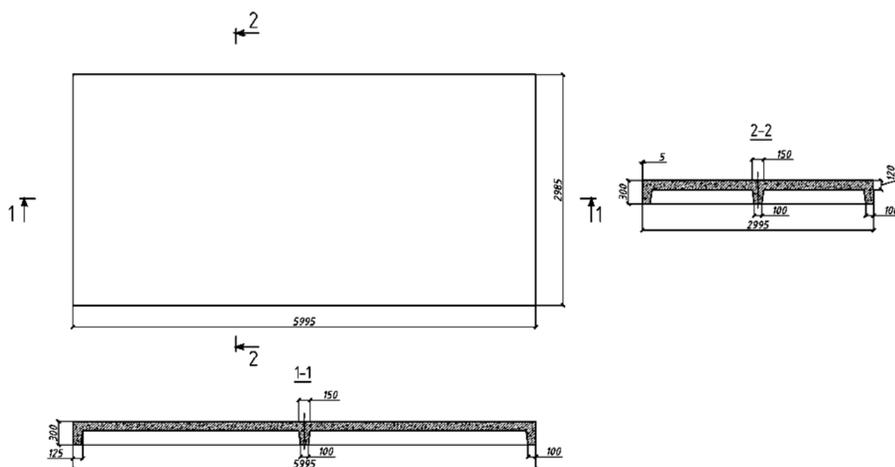


Рис. 3. Дорожная плита

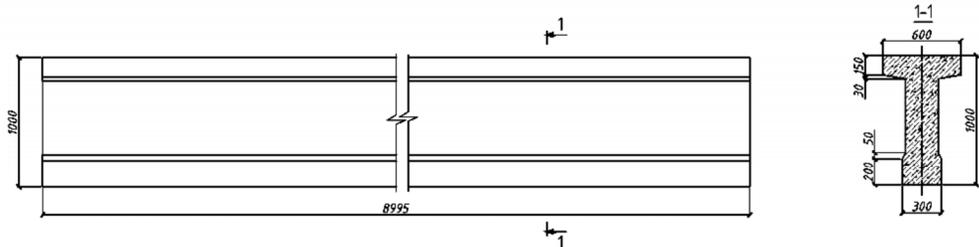


Рис. 4. Дорожная балка

– *дорожные стойки* обеспечивают за счет использования элементов разной длины проектные отметки плоскости проезжей части автомобильной дороги в условиях значительного перепада высотных отметок поверхности земли в пределах полосы отвода, передают нагрузку от дорожных балок на фундаменты. Такие стойки (рис. 5) изготавливаются из бетона класса В30 с использованием продольной арматуры класса А-III. Стойки необходимой высоты устанавливают в стаканы монолитных фундаментов на подливку из мелкозернистого бетона толщиной до 200 мм и фиксируют в заданном положении заливкой пазух стаканов фундаментов мелкозернистой бетонной смесью. После набора бетонной смесью необходимой прочности на стойки устанавливаются дорожные балки;

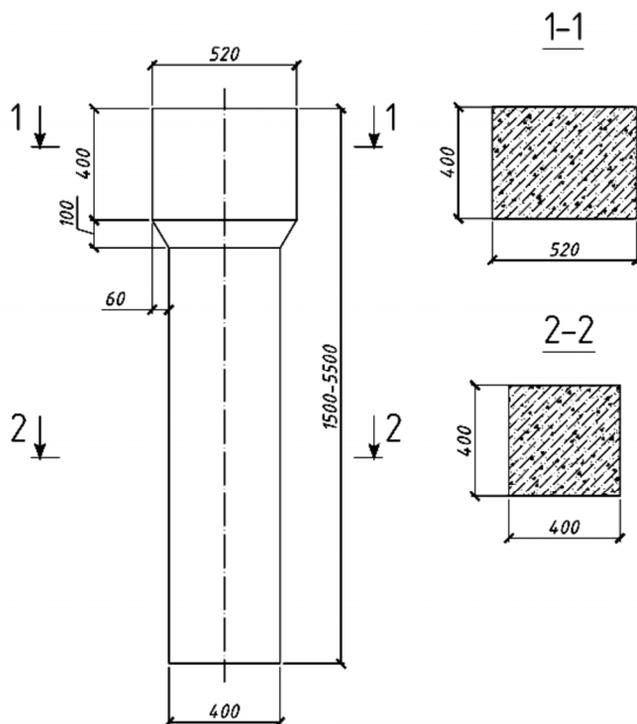


Рис. 5. Дорожная стойка

– *фундаменты в вытрамбованных котлованах* воспринимают нагрузку от стоек и передают ее на грунтовое основание. Монолитные бетонные фундаменты с уширенными основаниями (рис. 6) выполняются с использованием удлиненных трамбовок шестигранной, квадратной или иной формы в плане с диаметром поверху 0,6–1,2 м, понизу 0,4–1,0 м, высотой 1,5–3,5 м, с заостренным под углом 60–90° нижним концом и часто с уширениями в верхней части.

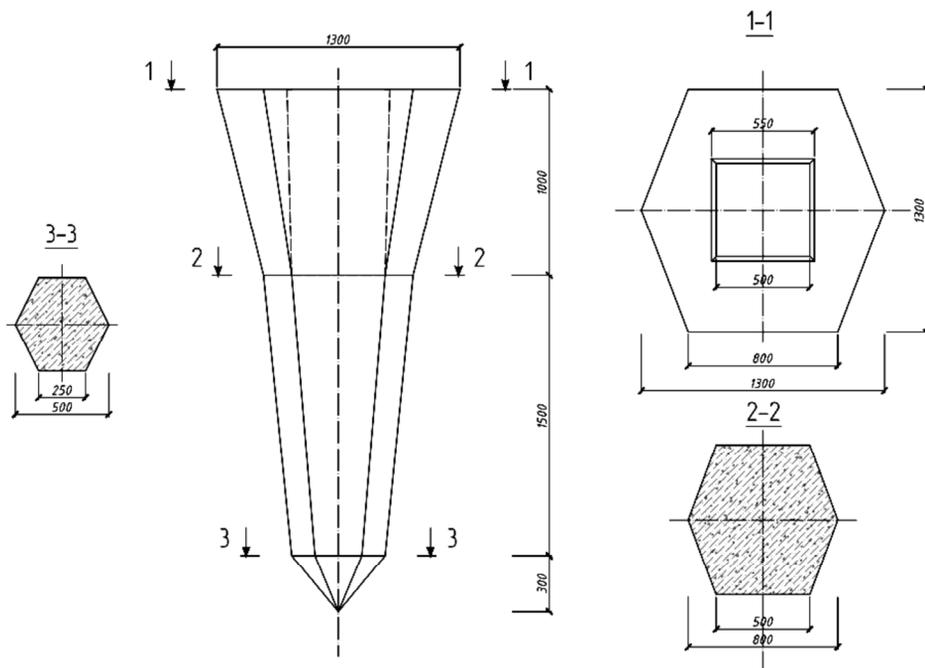


Рис. 6. Монолитный бетонный фундамент в вытрамбованном котловане

Такие фундаменты применяются при нагрузках на них от 500 до 3500 кН практически для всех сооружений и для всех видов грунтов. Они наиболее эффективны в водонасыщенных, глинистых, просадочных и насыпных грунтах. Однако наибольшая несущая способность таких фундаментов достигается при устройстве их в плотных малоподвижных глинистых грунтах с частичным выбуриванием грунта до вытрамбовывания котлованов. В необходимых случаях в монолитном фундаменте при его изготовлении устраивают стакан для установки в него стойки.

Необходимое количество материалов для изготовления конструктивных элементов автомобильной дороги эстакадного типа приведено в табл. 1.

Разработанное конструктивное решение автомобильной дороги эстакадного типа позволяет:

- перейти на круглогодичное строительство дорог;
- значительно упростить технологию строительства дорог, сведя ее в основном к устройству монолитных бетонных фундаментов и монтажу конструкций;
- свести к минимуму выполнение трудоемких земляных работ;

- уменьшить ширину полосы отвода под дорожное строительство;
- повысить качество дорожных конструкций и выполняемых работ, увеличить продолжительность межремонтных периодов;
- значительно сократить при строительстве автомобильных дорог воздействие на окружающую природную среду, уменьшить объемы работ и финансовые затраты на рекультивацию земель;
- использовать при строительстве автомобильных дорог возможности неспециализированных строительно-монтажных организаций.

Таблица 1

Расход материалов на изготовление конструктивных элементов дороги эстакадного типа

№ п/п	Наименование конструктивного элемента	Расход бетона, м ³	Расход арматуры, т
1	Монолитный фундамент в вытрамбованном котловане	1,193	0,051
2	Стойка дорожная:		
2.1	$H = 1500$ мм	0,274	0,078
2.2	$H = 2000$ мм	0,354	0,085
2.3	$H = 2500$ мм	0,434	0,092
2.4	$H = 3000$ мм	0,514	0,099
2.5	$H = 3500$ мм	0,594	0,107
2.6	$H = 4000$ мм	0,674	0,114
2.7	$H = 4500$ мм	0,754	0,121
2.8	$H = 5000$ мм	0,834	0,128
2.9	$H = 5500$ мм	0,914	0,135
3	Балка дорожная	2,237	0,997
4	Плита дорожная	2,548	0,300

И наконец, переход на строительство автомобильных дорог эстакадного типа за счет уменьшения трудоемкости выполняемых работ обеспечивает многократное увеличение темпов дорожного строительства по сравнению с теми, которые допускают традиционные дорожно-строительные технологии.

Для доказательства этого утверждения было произведено сравнение трудоемкости строительства загородных автомобильных дорог II категории с техническими параметрами, определяемыми ГОСТ Р 52398–2005 для двух и четырех полос движения, и автомобильной дороги эстакадного типа, имеющей 4 полосы движения. Для сравнения принимались участки дорог протяженностью 1 км. На сравниваемых участках дорог, выполняемых по традиционным технологиям, предполагалось устройство дорожных одежд с асфальтобетонными и монолитными цементобетонными покрытиями, а также строительство одноочковой железобетонной водопропускной трубы $\varnothing 1,0$ м. Результаты сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Трудоемкость строительства участков автомобильных дорог

Автомобильная дорога традиционного исполнения					Автомобильная дорога эстакадного типа	
Высота насыпи, м	Асфальтобетонное покрытие		Цементобетонное покрытие		Высота стойки, м	Из сборных ЖБК 4-полосная, маш./ч
	2-полосная, маш./ч	4-полосная, маш./ч	2-полосная, маш./ч	4-полосная, маш./ч		
1,3	13991	23819	53456	62914	–	2358
1,5	14551	23871	54016	62966	1,5	2779
2,0	15957	25401	55422	64496	2,0	2779
3,0	13588	23510	53053	62605	3,0	2779
4,0	14909	25144	54374	64239	4,0	2779
5,0	16287	26837	55752	65932	5,0	2779
6,0	17728	28591	57193	67685	6,0	2779

Анализ полученных данных показал следующее:

– трудоемкость строительства автомобильных дорог эстакадного типа с увеличением высоты подъема проезжей части над уровнем земли с 1,5 до 6,0 м в отличие от дорог традиционного конструктивного исполнения не изменяется;

– превышение трудозатрат на строительство дороги традиционного исполнения с асфальтобетонным покрытием по сравнению с трудозатратами на строительство дороги эстакадного типа составило:

– при 2-полосном движении – 5,9–6,4 раза;

– при 4-полосном движении – 10,1–10,3 раза;

– превышение трудозатрат на строительство дороги традиционного исполнения с цементобетонным монолитным покрытием по сравнению с трудозатратами на строительство дороги эстакадного типа составило:

– при 2-полосном движении – 22,7–20,6 раза;

– при 4-полосном движении – 26,7–24,4 раза.

Можно сделать следующий вывод: строительство дорог эстакадного типа позволяет обеспечить многократное увеличение темпов дорожного строительства за счет:

– круглогодичного выполнения дорог, т.е. ликвидации сезонности строительства;

– снижения трудозатрат на строительство дорог;

– привлечения к строительству дорог любых строительно-монтажных организаций, имеющих возможности для выполнения работ по монтажу сборных железобетонных конструкций.

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЭСТАКАДНОГО ТИПА ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.В. Веселов

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, Россия

Рассматриваются результаты сравнения экономических показателей строительства автомобильных дорог различного конструктивного исполнения, проводимого с целью доказательства экономической обоснованности строительства дорог эстакадного типа из сборных железобетонных элементов заводского изготовления.

Ключевые слова: *автодорога традиционного исполнения, автодорога эстакадного типа, экономическая эффективность, сметная стоимость строительства, прямые затраты на строительство.*

Российский транспорт в силу естественных географических факторов является одной из системообразующих отраслей экономики, обеспечивающих территориальную целостность государства и единство экономического пространства страны. В единой транспортной системе России, включающей в себя различные виды транспорта, автомобильный транспорт играет ведущую роль.

В структуре автомобильного транспорта основными составляющими являются транспортные средства и автомобильные дороги. Залогом успешного развития автомобильного транспорта является пропорциональное развитие его составляющих, когда увеличение количества транспортных средств сопровождается непрерывным возрастанием протяженности качественных автомобильных дорог. К сожалению, в настоящее время в автомобильном транспорте России обозначилась явная диспропорция и темпы роста автомобилизации значительно опережают прирост новых дорог.

Кардинальным решением проблемы сезонности дорожного строительства, повышением его индустриализации и сокращением эксплуатационных (в том числе связанных с ремонтом дорог) затрат могло бы стать строительство автомобильных дорог эстакадного типа, выполняемых из ограниченной номенклатуры сборных железобетонных элементов заводского изготовления*.

* Веселов А.В., Камышина Н.А., Молдаванова Е.А. Автомобильные дороги эстакадного типа как возможное перспективное направление в дорожном строительстве. Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Охрана окружающей среды: материалы 3-й Всерос. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 21–22 апреля 2005 г., Перм. гос. техн. ун-та. – Пермь, 2005. – С. 201–205.

Способ строительства дорог эстакадного типа из сборных железобетонных элементов заводского изготовления разрабатывался его авторами как альтернативный традиционному способу строительства автомобильных дорог. Одним из препятствий для успешного внедрения данного способа в практику строительства дорог являлось отсутствие убедительного обоснования его экономической эффективности.

С целью установления истинного положения по данному вопросу были проведены упрощенные сравнительные исследования по определению сметной стоимости строительства дорог эстакадного типа и дорог традиционного исполнения, имеющих дорожные одежды с монолитными цементобетонными и асфальтобетонными покрытиями. Сметная стоимость строительства автомобильных дорог традиционного исполнения последовательно определялась по мере увеличения высоты бровки земляного полотна над поверхностью земли от 1,3 до 6,0 м. Шаг увеличения принимался равным 1,0 м. Для сравнения с дорогой эстакадного типа были приняты участки загородных автомобильных дорог традиционного исполнения II категории с техническими параметрами, определяемыми ГОСТ Р 52398–2005 для двух и четырех полос движения. Предполагалось, что длина каждого из сравниваемых участков 1000 м, что эти участки дорог расположены в III дорожно-климатической зоне в окрестностях г. Магнитогорска и проходят по землям сельскохозяйственного назначения, стоимость которых условно принималась равной 100 тыс. руб./га. Ширина полос отвода земель под строительство этих участков дорог с учетом изменения высоты насыпи земляного полотна принималась в соответствии с СН 467–74 «Нормы отвода земель для автомобильных дорог».

Сметная стоимость строительства сравниваемых участков дорог определялась суммированием сметных стоимостей отдельных этапов работ и стоимости земли, отводимой под строительство дорог. Этапы строительства дорог включали в себя выполнение подготовительных работ, сооружение земляного полотна и дорожной одежды, обустройство дороги, строительство одноочковой водопропускной трубы диаметром 1,0 м, рекультивацию земель временного отвода под дорожное строительство. При этом предполагалось, что отсыпка насыпей земляного полотна выполнялась из металлургических шлаков, доставляемых со шлаковых отвалов ОАО «ММК». Дорожная одежда как с асфальтобетонными, так и с монолитными цементобетонными покрытиями конструировалась с учетом воздействия нагрузки 120 кН. На дорогах с высотой насыпей земляного полотна свыше 3 м в соответствии с указаниями СНиП 2.05.02–85 «Нормы проектирования автомобильных дорог» по бровкам насыпей предусматривалось устройство металлических дорожных ограждений. При подсчете объемов работ и определении сметной стоимости строительства участков автодорог учитывалось изменение конфигурации сечения поперечного профиля насыпей и длины водопропускной трубы в зависимости

от изменения высоты земляного полотна. Также учитывалось, что дальность транспортировки материалов, используемых для строительства всех сравниваемых участков автомобильных дорог, не превышала 30 км.

Принимаемый для сравнения участок автомобильной дороги эстакадного типа представлял собой инженерное сооружение длиной 1 км, выполненное из сборных железобетонных конструкций заводского изготовления, за исключением монолитных бетонных фундаментов, устраиваемых в вытрамбованных в грунтовом основании котлованах. Фундаменты воспринимали нагрузку от стоек-колонн сечением 400 × 400 мм, на которые опирались балки двутаврового сечения с уложенными на них дорожными плитами. Пролет железобетонных балок в осях 9000 мм, высота балок по расчету 1000 мм, направление осей балок принималось перпендикулярным оси дороги. Шаг балок в осях 6000 мм, по ним укладывались ребристые дорожные плиты с размерами 5950 × 2950 × 300 мм, толщина полки которых составляла 120 мм. Армирование дорожных конструкций принималось в соответствии со значениями расчетных нагрузок от транспортных средств и схемами загрузки, приведенными в СНиП 3.06.04–91 «Мосты и трубы». Предусматривалось заполнение швов между плитами, выполняемое с использованием эластичного шнура-заполнителя и полимерно-битумной мастики, а также устройство по обеим сторонам дороги и краям центральной разделительной полосы, ширина которой равнялась 2,0 м, металлических защитных ограждений.

Результаты сравнения сметных стоимостей (в ценах 2001 г.) выполнения работ по строительству участков дорог представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сметная стоимость строительства 1 км автомобильных дорог
(в ценах 2001 г.)

Автомобильная дорога традиционного типа					Автомобильная дорога эстакадного типа	
Высота насыпи, м	Асфальтобетонное покрытие		Цементобетонное покрытие		Высота стойки, м	Сборные ЖБК
	2-полосная, маш./ч	4-полосная, маш./ч	2-полосная, маш./ч	4-полосная, маш./ч		4-полосная, маш./ч
1,3	8475078	12585153	29501915	35189683	–	18414985
1,5	9141053	13414265	30167890	36018795	1,5	19384210
2,0	10850551	15839962	31900530	38444492	2,0	19509983
3,0	12093777	18750434	33120614	41354964	3,0	19761529
4,0	14672346	22957539	35699183	45562069	4,0	20017775
5,0	17552678	27343576	38549515	49948106	5,0	20269321
6,0	20655919	32020760	41682756	54625290	6,0	20395094

Расчетные значения сметных стоимостей строительства участков автомобильных дорог различного конструктивного исполнения показывают, что строительство дороги эстакадного типа из сборных железобетонных элемен-

тов не является чрезмерно затратным по сравнению с автомобильными дорогами традиционного конструктивного исполнения. Уже при 4-метровой высоте насыпи земляного полотна строительство 4-полосной автодороги традиционного исполнения с асфальтобетонным покрытием экономически проигрывает строительству автодороги эстакадного типа с теми же высотными отметками, а при дальнейшем росте высоты насыпи вообще становится неконкурентоспособным. Это относится и автодорогам традиционного исполнения с цементобетонным монолитным покрытием, как с двумя полосами, так и с четырьмя полосами движения, сметная стоимость строительства которых при любой высоте насыпи земляного полотна значительно больше аналогичного показателя автодорог эстакадного типа с четырьмя полосами движения.

Одновременно со сравнением значений сметной стоимости строительства участков дорог различного конструктивного исполнения было проведено сравнение и анализ их статей прямых затрат, а именно стоимости материалов и стоимости эксплуатации машин и механизмов. Сравнение полученных показателей, представленных в табл. 2–4 позволило сделать следующие выводы:

– с увеличением высоты насыпи земляного полотна автомобильных дорог традиционного конструктивного исполнения происходит изменение доли затрат на материалы и эксплуатацию машин и механизмов в противоположном направлении: затраты на материалы возрастают, в то время как затраты на эксплуатацию машин и механизмов уменьшаются;

Таблица 2

Сравнение затрат на строительство автодорог традиционного исполнения с различными типами покрытий с двумя полосами движения

	Высота насыпи, м	Совокупные затраты, руб. (%)		
		Прямые затраты	Материалы	Машины и механизмы
С асфальтобетонным покрытием	1,3	6008195(100)	4371445(72,76)	1547467(25,76)
	1,5	6477956(100)	4776884(73,74)	1608759(24,83)
	2,0	7760533(100)	5897713(76,00)	1762997(22,72)
	3,0	8338704(100)	6795461(81,49)	1460510(17,51)
	4,0	10376374(100)	8688776(83,74)	1598838(15,41)
	5,0	12634463(100)	10797483(85,46)	1742518(13,79)
	6,0	15113575(100)	13121581(86,82)	1891792(12,52)
С цементобетонным монолитным покрытием	1,3	18455409(100)	5940184(32,19)	11039945(59,82)
	1,5	18925170(100)	6345625(33,53)	11101237(58,66)
	2,0	20207747(100)	7466452(36,95)	11255475(55,70)
	3,0	20794582(100)	8367794(40,24)	10956889(52,69)
	4,0	22832367(100)	10261111(44,94)	11095309(48,59)
	5,0	25090573(100)	12369818(49,30)	11239107(44,79)
	6,0	27569827(100)	14693917(53,30)	11388520(41,31)

– доли затрат на материалы и эксплуатацию машин и механизмов при изменении отметки верха проезжей части автомобильной дороги эстакадного типа изменяются лишь на доли процентов, т.е. могут рассматриваться как постоянные;

Таблица 3

Сравнение затрат на строительство автодорог традиционного исполнения с различными типами покрытий с четырьмя полосами движения

	Высота насыпи, м	Совокупные затраты, руб. (%)		
		Прямые затраты	Материалы	Машины и механизмы
С асфальтобетонным покрытием	1,3	8995070(100)	6240279(69,37)	2614126(29,06)
	1,5	9649451(100)	6889668(71,40)	2616301(27,11)
	2,0	11552108(100)	8620545(74,62)	2780843(24,07)
	3,0	13326195(100)	10670464(80,07)	2519927(18,91)
	4,0	16685042(100)	13856643(83,05)	2686849(16,10)
	5,0	20180354(100)	17173883(85,10)	2859181(14,17)
	6,0	23919851(100)	20730390(86,67)	3036468(12,69)
С цементобетонным монолитным покрытием	1,3	22734570(100)	9131146(40,16)	12072306(53,10)
	1,5	23388951(100)	9780535(41,82)	12074481(51,62)
	2,0	25291608(100)	11511412(45,51)	12239023(48,39)
	3,0	27065693(100)	13561331(50,11)	11978107(44,26)
	4,0	30424542(100)	16747510(55,05)	12145029(39,92)
	5,0	33919854(100)	20064750(59,15)	12317361(36,31)
	6,0	37659351(100)	23621257(62,72)	12494648(33,18)

Таблица 4

Сравнение затрат на строительство дороги эстакадного типа из сборных железобетонных элементов с четырьмя полосами движения

Высота стойки, м	Совокупные затраты, руб. (%)		
	Прямые затраты	Материалы	Машины и механизмы
–	14324655(100)	13653531(95,31)	437690(3,05)
1,5	15014197(100)	14246331(94,89)	494924(3,30)
2,0	15116847(100)	14348980(94,92)	494924(3,27)
3,0	15322147(100)	14554280(94,99)	494924(3,23)
4,0	15531281(100)	14763415(95,06)	494924(3,19)
5,0	15736581(100)	14968714(95,12)	494924(3,14)
6,0	15839230(100)	15071364(95,15)	494924(3,12)

– наименьшая доля затрат на эксплуатацию машин и механизмов выявлена при строительстве участка автодороги эстакадного типа (около 3,2 %), наибольшая доля аналогичных затрат выявлена у дорог традиционного исполнения с двумя и четырьмя полосами движения, имеющих монолитное цементобетонное покрытие (59,82 и 53,10 % соответственно). Доля затрат на эксплуатацию машин и механизмов у дорог с асфальтобетонным покрытием по сравнению с рассмотренными ранее занимает промежуточное значение;

– наибольшая доля затрат на материалы в прямых затратах приходится на дороги эстакадного типа, где она составляет около 95,0 %. У дорог традиционного исполнения этот показатель колеблется в пределах от 69,37 до 86,82 при строительстве дорог с асфальтобетонным покрытием и от 32,19 до 62,72 % при строительстве дорог с цементобетонным покрытиями.

Проведенные исследования определили дальнейшее направление изысканий, которые могли бы быть направлены на совершенствование конструктивных решений элементов автомобильной дороги эстакадного типа с целью снижения доли затрат на материалы, используемые при их изготовлении. Выполненные исследования, несмотря на то, что были проведены не в полной мере и коснулись только строительных затрат, не затронув эксплуатационных затрат, доказали, что экономическая целесообразность строительства автомобильных дорог эстакадного типа из сборных железобетонных элементов вполне оправданна. Что же касается эксплуатации такого вида дорог, то экономичность очевидна, поскольку продолжительность межремонтных периодов автомобильной дороги эстакадного типа сопоставима с продолжительностью межремонтных периодов ж/б мостов, которые составляют 50 лет. Кроме того, строительство таких дорог позволяет отказаться от выполнения и эксплуатации различных инженерных сооружений, предназначенных предотвращать избыточное увлажнение земляного полотна, а также разумно и рационально использовать полосу земляного отвода. Дороги эстакадного типа могут эффективно эксплуатироваться в любое время года в отличие от дорог традиционного исполнения, многие из которых в весенний период закрываются для движения по ним грузового транспорта до полного просыхания земляного полотна.

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕРОЯТНОСТИ СПРОСА ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДОРОЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

В.Н. Иванов, Л.С. Трофимова

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия, г. Омск, Россия

Представлен подход к определению вероятности спроса на выполнение технологического процесса машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества. Данный подход предполагает учитывать рациональность экономического поведения заказчика при выборе подрядчика, которая является вероятностным показателем.

Ключевые слова: технологический процесс, дорожные машины, вероятность, качество.

Заклучая договор с дорожной организацией, заказчик исходит из степени полезности услуги и предъявляет спрос на определенный технологический процесс строительства дорожной конструкции с требуемыми параметрами качества [2]. Предполагаемая рациональность экономического поведения является естественным отправным пунктом – точкой отсчета, с которой можно соизмерять рациональное поведение заказчика при выборе подрядчика, которое является вероятностным показателем. При определении величины спроса в условиях неопределенности подрядчик сталкивается с проблемой планирования величины работ, выполняемых машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества технологического процесса строительства дорожной организации. В условиях неопределенности в теории строительства дорожных конструкций большое распространение получили методы теории вероятностей и математической статистики.

В теории используются методы, основанные на «классическом» подходе, связанном с именами известных статистиков Дж. Неймана и Е.С. Пирсона и их последователей. А также применяется байесовский подход к определению вероятности возникновения событий.

Байесовские методы отличаются от классических подходом к интерпретации истинных параметров модели. Классический исходит из того, что истинные параметры не случайны, а аппроксимирующие их оценки случайны, поскольку они являются функциями наблюдений, содержащих случайный элемент. Байесовский подход позволяет получить более широкую трактовку

истинных параметров вероятностной модели определения спроса, исходя из того, что параметры случайны. Применение байесовского метода позволяет рассматривать случайное поведения заказчика как имманентное свойство реального физического мира.

В работе [1] установлено, что выполнение технологического процесса в соответствии с требованиями заказчиков возможно при использовании машин, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества. В таком случае заказчик получит результат, который соответствует его потребностям, влияющим на величину цены, а дорожная организация – сумму денежных средств за выполненный технологический процесс (доход). Представленная в работе [4] модель взаимосвязи параметров машин и контролируемых параметров качества технологических процессов в практической деятельности дорожной организации даст возможность определить в соответствии с критерием эффективности: величины параметров машин; возможность использования конкретной машины с существующими параметрами для обеспечения требуемых параметров качества технологического процесса; учитывать в цене качество выполнения технологического процесса.

Применительно к выполнению технологических процессов машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества, следует учитывать, что спрос подвержен случайным непрерывным изменениям. Поэтому для решения задач определяются неслучайные оценки, достаточно близко аппроксимирующие статистику случайного параметра, например его среднее значение.

Идея байесовского подхода заключается в том, что, объединяя априорную функцию плотности распределения вероятностей спроса на выполнение технологического процесса, машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества, с информацией выборки при помощи теоремы Байеса, получают апостериорную функцию плотности распределения вероятностей спроса на выполнение технологического процесса. Для рассмотрения истинных параметров в качестве случайных величин вводится априорная функция плотности распределения вероятностей спроса.

Классическая теория вероятностей рассматривает вероятность появления некоторого события при осуществлении некоторого принципиально воспроизводимого неограниченного количества раз комплекса условий. В условиях экономического поведения заказчика вероятность эксперимента ограничена и трудновоспроизводима, тем более в неизменных условиях неограниченное число раз. В этом случае априорную функцию плотности распределения вероятностей спроса на выполнение технологического процесса, машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества, используемую в теореме Байеса, затруднительно интерпретировать в терминах классической теории вероятностей. В то же время она отражает информацию об объективном поведении заказчика, но такую, которая получена в от-

личающихся условиях и опирается на неформализованный индивидуальный опыт исследователя. Субъективные вероятности являются количественными оценками возможности появления спроса на конкретный технологический процесс, выполняемый машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества. Эти вероятности исследователь задает на основе своего индивидуального опыта или априорной информации, полученной в ситуациях аналогичных, но отличающихся от нее в том смысле, что комплекс внешних условий нельзя считать неизменным. Эта информация проходит предварительное обобщение в индивидуальном опыте исследователя и затем получает количественную оценку.

Выбирая априорную функцию плотности распределения вероятностей спроса на выполнение технологического процесса машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества, можно при анализе проблемы использовать больше или меньше априорной информации. Вследствие того, что функция правдоподобия включает в себя всю выборочную информацию, апостериорная функция плотности распределения вероятностей включает всю доступную информацию – как априорную, так и выборочную.

Априорные вероятности, связанные с некоторым спросом на применение технологического процесса, базируются на первоначальной информации о конкретных объемах работ. Функция распределения плотности вероятностей спроса для новых наблюдений, которая является функцией правдоподобия, базируется на первоначальной информации об объемах работ.

Объединяя априорную вероятность с функцией правдоподобия с помощью теоремы Байеса, получаем апостериорную вероятность спроса.

Используя подход Байеса [3], можно записать:

$$p(C_{s_i}, \Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})) = p(C_{s_i} | \Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))) \times \\ \times p(\Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))) = p(\Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))) | C_{s_i} \cdot p(C_{s_i}), \\ s = \overline{1, S}; i = \overline{1, I}; n = \overline{1, N}; j = \overline{1, J}; a = \overline{1, A}; l = \overline{1, L}; p(C_{s_i}) \neq 0,$$

где $p(C_{s_i}, \Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})))$ – совместная функция плотности распределения вероятностей спроса на выполнение i -го технологического процесса машинами j -го функционального назначения и a -го типоразмера, параметры которых соответствуют требуемым параметрам качества; C_{s_i} – спрос на i -й технологический процесс; s – индекс наблюдаемого события; S – количество наблюдаемых событий; $\Pi_{i_n}^{\text{треб}}$ – требуемое значение контролируемого параметра качества при выполнении i -го технологического процесса; i – индекс технологического процесса; I – количество технологических процессов; n –

индекс контролируемого параметра качества; N – количество контролируемых параметров качества; f – зависимость требуемого значения контролируемого параметра качества от параметра воздействия машины; g – зависимость параметра воздействия машины от параметра машины; r – параметр машины; j – индекс функционального назначения машины, J – количество групп конкретного функционального назначения машин; a – индекс типоразмера машины; A – количество типоразмеров машин; l – индекс параметра машины, функционально влияющего на параметр воздействия этой машины; L – количество параметров машины функционально влияющих на параметр воздействия этой машины; $p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})) | C_{s_i})$ – апостериорная функция плотности распределения вероятностей спроса на выполнение i -го технологического процесса машинами j -го функционального назначения и a -го типоразмера, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества при условии заданного спроса; $p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))$ – априорная функция плотности распределения вероятностей спроса на выполнение i -го технологического процесса машинами j -го функционального назначения и a -го типоразмера, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества.

Апостериорная функция плотности распределения вероятностей спроса на выполнение технологического процесса машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества при условии заданного спроса:

$$p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})) | C_{s_i}) = \frac{p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})) \cdot p(C_{s_i} | \Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})))}{p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))}.$$

Апостериорная функция плотности распределения вероятностей спроса на выполнение технологического процесса машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества при условии заданного спроса, пропорциональна произведению априорной функции плотности распределения вероятностей спроса, на функцию правдоподобия:

$$p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})) | C_{s_i}) \sim p(\Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l})) \times p(C_{s_i} | \Pi_n^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))). \quad (1)$$

Апостериорная совместная функция плотности распределения вероятностей содержит в себе всю априорную и выборочную информацию. Априорная информация входит в апостериорную функцию плотности распределения ве-

роятностей через априорную функцию плотности распределения вероятностей, в то время как вся выборочная информация входит через функцию подобия. Апостериорная функция плотности распределения вероятностей используется в байесовском подходе для получения выводов относительно параметров вероятностной модели определения спроса.

Величина объема планируемых работ Q_i – это предложение, которое дорожная организация должна формировать исходя из спроса на выполнение i -го технологического процесса с учетом требуемых параметров качества. Для дорожной организации предложение – это производство установленных сроков работ и темпов работ машин, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества технологических процессов:

$$Q_i = \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (D_{j,a} \cdot T_{j,a}),$$

где $D_{j,a}$ – срок выполнения работ машинами j -го функционального назначения и a -го типоразмера; $T_{j,a}$ – темп выполнения работ машинами j -го функционального назначения и a -го типоразмера.

Предложение дорожной организации с учетом формулы (1):

$$Q_i = p(\Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))) \cdot p(C_{s_i} | \Pi_{i_n}^{\text{треб}} = f(g(r_{i,j,a,l}))).$$

Полученная таким образом апостериорная функция плотности распределения вероятностей является точной функцией для случая выборки конечного объема, и с ее помощью могут быть получены соответствующие апостериорные вероятностные утверждения о параметрах вероятностной модели определения спроса.

Байесовский подход обеспечивает учет индивидуального опыта и включение человека, принимающего решение, в логико-математическую процедуру выбора решения.

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Байесовский подход к определению вероятности позволяет учитывать рациональность экономического поведения заказчика при выборе подрядчика, которая является вероятностным показателем.

2. Использование математического аппарата теории вероятностей с учетом байесовского подхода позволило установить взаимосвязь между спросом на выполнение технологического процесса машинами, параметры которых соответствуют требуемым параметрам качества, и предложением дорожной организации.

3. Предложенный авторами подход позволит определить вероятность спроса на технологический процесс в планируемом периоде; объемы планируемых работ конкретного технологического процесса при строительстве до-

рожной конструкции; необходимое количество машин в практической деятельности дорожной организации.

4. Для использования байесовского подхода необходимо выявить факторы, определяющие вероятностную природу спроса на технологический процесс строительства дорожной конструкции машинами, параметры которых соответствуют контролируемым параметрам качества.

Список литературы

1. Иванов В.Н., Трофимова Л.С. Вопросы ценообразования при моделировании взаимосвязи параметров дорожных машин и контролируемых показателей качества технологических процессов // Строительные и дорожные машины. – 2011. – № 6. – С. 45–48.

2. Иванов В.Н., Трофимова Л.С. Взаимосвязь параметров машин для уплотнения дорожно-строительных материалов с показателями качества технологического процесса // Строительные и дорожные машины. – 2010. – № 11. – С. 24–28.

3. Иванов В.Н., Трофимова Л.С. Модель взаимосвязи параметров машин и контролируемых параметров качества в дорожном строительстве // Механизация строительства. – 2011. – № 5. – С. 21–24.

4. Зельнер А. Байесовские методы в эконометрии: пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 560 с.

Раздел 3.3

МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПО НОВЫМ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В.Г. Пастушков

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Одним из перспективных направлений развития и совершенствования железобетонных конструкций пролетных строений является повышение их несущей способности, жесткости и трещиностойкости за счет объединения сборных элементов при монтаже в статически неопределимые конструкции. В Республике Беларусь разработан и введен в действие новый нормативный документ ТКП 45-5.03-97-2009 «Железобетонные сборно-монолитные конструкции. Правила проектирования».

Ключевые слова: *автодорожные мосты, балочные пролетные строения, сборно-монолитные конструкции.*

Сборно-монолитные конструкции, собираемые из сборных элементов, объединяются в единую систему после замоноличивания бетоном, причем сборные элементы одновременно выполняют роль опалубки. Сборно-монолитные конструкции не только обладают всеми положительными свойствами сборных и монолитных, но и имеют некоторые преимущества. Они позволяют более эффективно использовать материалы, особенно высокопрочные, и в широких пределах выполнять регулирование усилий. В настоящее время в зависимости от положения монолитного бетона в составном сечении в ТКП 45-5.03-97-2009 [1] принято выделять следующие основные группы сборно-монолитных конструкций (рис. 1):

– группа А – конструкции, в которых монолитный бетон располагается в виде набетонки на всей поверхности сборных элементов;

– группа В – конструкции, в которых монолитный бетон располагается в пазах или стыках (вертикальных или горизонтальных) по контуру сборных элементов;

– группа С – конструкции, в которых монолитный бетон обволакивает сборные элементы, выполняющие функцию армирования (например, армирование предварительно напряженными брусками);

– группа D – конструкции, представляющие собой комбинации вышеперечисленных конструктивных решений.

В качестве сборных элементов сборно-монолитных конструкций применяют как специально запроектированные, так и типовые железобетонные или предварительно напряженные элементы сборных конструкций (балки, плиты, ригели, доски, бруски и т.п.).

Сборные элементы рекомендуется проектировать так, чтобы они отвечали условиям механизированного изготовления их на специализированных предприятиях и по возможности использовались в качестве опалубки во время возведения сборно-монолитных конструкций.

Размеры сборных элементов назначают из условий простоты их изготовления, эффективного расположения в конструкции и обеспечения требуемой поверхности контакта с бетоном, уложенным на месте использования.

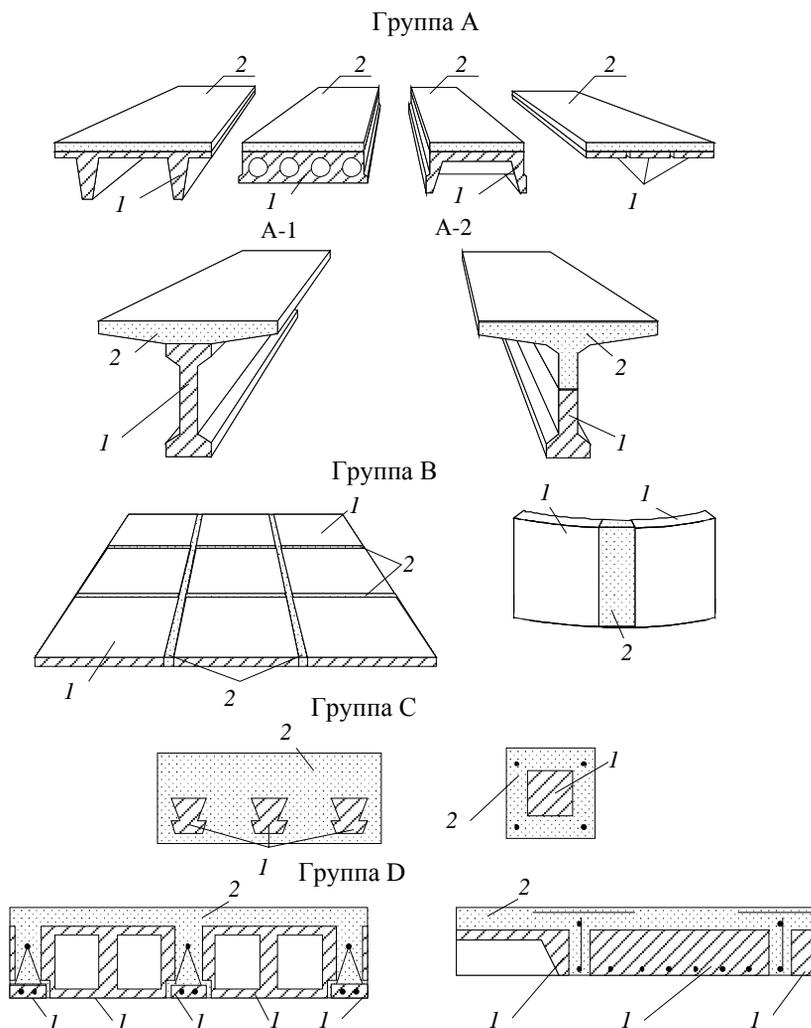


Рис. 1. Классификация сборно-монолитных конструкций в зависимости от положения монолитного бетона в составном сечении (сборный бетон заштрихован): 1 – сборный элемент; 2 – монолитный бетон

Сборные элементы рекомендуется проектировать прямоугольного, таврового, двутаврового и коробчатого сечений. Рекомендуется применять в качестве сборных частей сборно-монолитных конструкций тонкостенные плоские, складчатые и другие элементы, которые выполняют функции оставляемой опалубки (рис. 2).

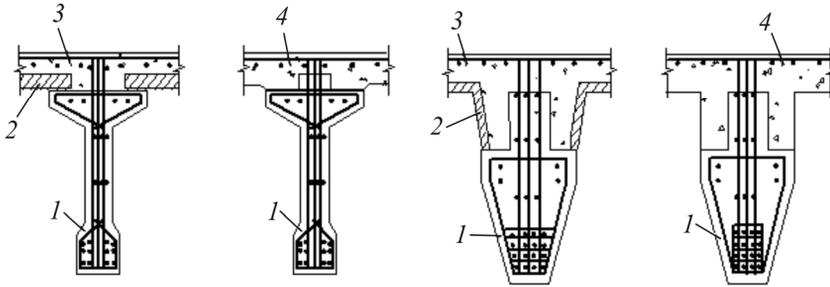


Рис. 2. Возможные сечения сборно-монолитных балок: 1 – сборные преднапряженные балки неполного сечения; 2 – сборные плиты плоского и коробчатого профиля; 3 – монолитный бетон; 4 – монолитный бетон по подвесной опалубке

На автомобильных дорогах Республики Беларусь эксплуатируются железобетонные балочные мосты различных лет постройки. Они проектировались по действующим в прошлые годы нормативам и обладают различной грузоподъемностью и пропускной способностью. В настоящее время наиболее актуальным для Республики Беларусь является не строительство новых, а обновление путем реконструкции эксплуатируемых мостов.

Главная проблема обеспечения современным требованиям старых эксплуатируемых мостов заключается в изменении двух главных параметров мостов – габарита проезда по мосту и его грузоподъемности.

Успешное решение этой проблемы состоит в разработке, теоретическом и экспериментальном обосновании и внедрении в практику строительства новых эффективных конструктивно-технологических систем реконструкции мостовых сооружений с максимальным использованием существующих конструктивных элементов сооружений и их несущей способности.

Целесообразность такого решения подтверждается и экономически, так как стоимость реконструкции, хотя и требует значительных капитальных вложений, но, как правило, в 4–5 раз меньше стоимости строительства нового мостового сооружения.

В Республике Беларусь применяются различные виды реконструкции:

- уширение пролетных строений при достаточной несущей способности существующих конструкций;
- уширение проезжей части с одновременным усилением существующих конструкций;
- усиление несущих конструкций без расширения проезжей части;

– частичная или полная замена пролетных строений или полная замена мостового сооружения.

Очевидна эффективность применения достаточно простого конструктивного решения усиления и расширения балочных пролетных строений путем устройства накладной монолитной железобетонной плиты без изменения конструкции существующей опоры [2]. Как правило, опоры эксплуатируемых железобетонных балочных мостов обладают необходимым резервом несущей способности и не требуют усиления.

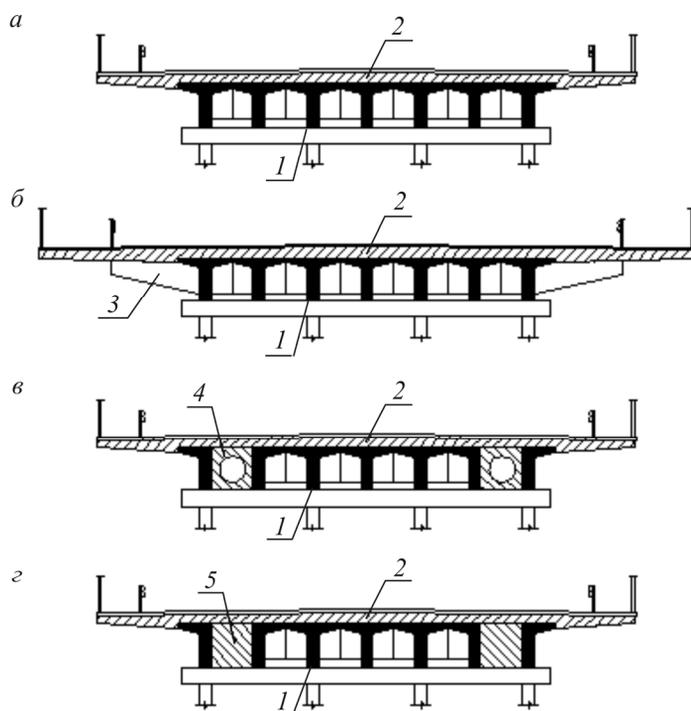


Рис. 3. Возможные схемы уширения балочных пролетных строений монолитной накладной плитой без изменения конструкции опор: *а* – плоской плитой с консолями; *б* – плоской плитой с консолями, усиленными ребрами; *в* и *г* – усилением двух крайних балок; *1* – существующее пролетное строение; *2* – монолитная железобетонная накладная плита; *3* – поперечное ребро; *4* – новый монолитный конструктивный элемент коробчатого сечения с предварительным напряжением в построечных условиях; *5* – новый конструктивный элемент сплошного сечения с предварительным напряжением в построечных условиях

Такое решение позволяет не только существенно повысить грузоподъемность пролетных строений за счет постановки дополнительного армированного монолитного слоя бетона, провести в необходимых случаях усиление наиболее уязвимых крайних несущих элементов пролетного строения, но и провести уширение пролетных строений с вылетом консолей до 4–6 м.

При реконструкции широко используют и приставные элементы, при этом отмечается, что такое решение позволяет вести реконструкцию без приостановки движения.

Возможно уширение пролетных строений плоской монолитной накладной плитой толщиной 100–120 мм с консолями шириной до 2–2,5 м в каждую сторону (рис. 3, *а*). При большем вылете консолей требуется их усиление поперечными ребрами (рис. 3, *б*) или кронштейнами, которые устраивают как продолжение диафрагм балочного пролетного строения.

Накладную плиту объединяют для совместной работы с существующими балками известными способами объединения. Однако основным недостатком усиления элементов пролетного строения с помощью плоской накладной монолитной плиты является небольшое увеличение рабочей высоты балок и малое повышение их несущей способности. В связи с этим одним из направлений усиления пролетных строений является устройство монолитной накладной плиты с частичной перестройкой эксплуатируемого пролетного строения. Эффективно создание крайних балок более мощного сборно-монолитного коробчатого или сплошного сечения с постановкой дополнительного рабочего армирования (рис. 3 *в*, *г*). Они должны быть надежно объединены с накладной монолитной плитой.

Возможно усиление и уширение пролетного строения путем устройства монолитной плиты с превращением разрезных балочных пролетных строений в неразрезные предварительно напряженные пролетные строения.

Сборно-монолитные конструкции следует рассчитывать по прочности, раскрытию нормальных и наклонных трещин, по деформациям для следующих стадий работы конструкций:

- до приобретения бетоном омоноличивания, уложенным на месте использования конструкции, заданной прочности – на усилия от воздействий, действующих на этапе возведения конструкции (далее – монтажные нагрузки);

- после приобретения бетоном омоноличивания, уложенным на месте использования конструкции, заданной прочности – на усилия от воздействий, действующих на этом этапе возведения и при эксплуатации конструкции.

Конструкцию следует считать сборно-монолитной, если выполнены следующие условия:

- обеспечена прочность контактного соединения монолитного бетона и сборного элемента на всех этапах работы составного сечения;

- сохраняется неразрезность (сплошность) сечения в передаче нормальных усилий в пределах составного сечения взаимодействующими элементами и между ними.

Эффективность сборных и сборно-монолитных конструкций в значительной степени зависят от применяемых стыков, их технологичности и индустриальности.

В общем случае стыки статически неопределимых железобетонных конструкций, воспринимающие изгибающие моменты, поперечные и нормальные силы, обеспечивают полную неразрезность, а их размещение по длине определяется в основном удобствами монтажа. Наиболее удобно их выполнять на опорах неразрезных конструкций.

В зависимости от способа выполнения различают три основных вида стыков:

- а) сварные стыки, образуемые путем сварки закладных деталей;
- б) стыки с замоноличиванием выпущенной или дополнительно уложенной арматуры в виде стержней;
- в) предварительно напряженные стыки.

Достоинством сварных стыков является максимальная сборность, отсутствие мокрых процессов, что очень важно при выполнении работ в зимних условиях.

Однако сварные стыки требуют повышенного расхода металла и выполнения большого объема сварочных работ. Вследствие развития больших местных деформаций такие стыки обладают меньшей трещиностойкостью и повышенной деформативностью.

Предварительное напряжение арматуры предопределяет конструктивное решение стыка. Оно может быть выполнено несколькими способами; механическим, электротермомеханическим, электротермическим и самонатяжением арматуры.

Наиболее просто, с конструктивной и технологической точки зрения создаются предварительно напряженные стыки с применением самонапряжения арматуры. В конструктивном отношении такие стыки ничем не отличаются от замоноличенных стыков. В процессе твердения бетон омоноличивания таких стыков вызывает уменьшение опорного изгибающего момента и соответственное увеличение пролетного, что эквивалентно уменьшению доли нагрузки, работающей по неразрезной схеме.

Напрягающий цемент, являясь расширяющим вяжущим, отличается от традиционных цементов способностью увеличиваться в объеме после приобретения начальной прочности равной 10–15 МПа. Применение такого бетона позволяет создать предварительно напряжение арматуры без специальных операций по натяжению. Важными свойствами напрягающих бетонов являются низкая водопроницаемость, а также высокая морозостойкость, что является следствием уплотнения структуры цементного камня в условиях всестороннего сжатия, возникающего в результате самонапряжения.

При расчете прочности железобетонных сборно-монолитных конструкций по деформационной расчетной модели действуют следующие допущения:

- напряжения и деформации бетонов монолитной и сборной частей сечения, связанные соответствующими диаграммами деформирования « $\sigma_c - \epsilon_c$ »;
- напряжения и деформации арматуры связаны диаграммами деформирования « $\sigma_s - \epsilon_s$ »;

– для средних деформаций бетона и арматуры (при принятой предпосылке о неразрывности в передаче продольных усилий в пределах составного сечения) считается справедливой гипотеза плоского сечения;

В расчетах прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента, используют:

– уравнения равновесия моментов и продольных сил;

– уравнения, распределения относительных продольных деформаций в пределах составного сечения.

Для общего случая расчета должно соблюдаться условие равновесие в матричной форме

$$\begin{Bmatrix} N_{Sd,z} \\ M_{Sd,x} \\ M_{Sd,y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & R_{1,3} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & R_{2,3} \\ R_{3,1} & R_{3,2} & R_{3,3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_z \\ k_x \\ k_y \end{Bmatrix}$$

или

$$\{F\} = [R(\{F\},S)] \times \{U(\{F\},S)\},$$

где $\{F\} = \{N_{Sd,z}, M_{Sd,x}, M_{Sd,y}\}^T$ – вектор-столбец внутренних усилий, вызванных внешними воздействиями, действующих по направлению соответствующих осей в сечении, нормальном к продольной оси элемента; $\{U(\{F\},S)\} = \{\varepsilon_z, k_x, k_y\}^T$ – вектор-столбец относительных деформаций, являющихся функцией внутренних усилий $\{F\}$ и геометрических параметров сечения S , в котором: ε_z – продольная относительная деформация на уровне выбранной продольной оси z ; k_x, k_y – кривизны оси элемента в плоскостях, совпадающих с осями x и y ; $[R(\{F\},S)]$ – матрица мгновенных жесткостей для составного сечения, элементы которой рекомендуется определять по формулам:

$$\begin{cases} R_{1,1} = \sum_n E'_{ct,1} \cdot A_{cp} + \sum_n E'_{ct,2} \cdot A_{ct} + \sum_n E'_s \cdot A_{sk}; \\ R_{1,2} = R_{2,1} = -\sum_n E'_{ct,1} \cdot A_{cp} \cdot x_n - \sum_n E'_{ct,2} \cdot A_{ct} \cdot x_m - \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot x_k; \\ R_{1,3} = R_{3,1} = -\sum_n E'_{ct,1} \cdot A_{cp} \cdot y_n - \sum_n E'_{ct,2} \cdot A_{ct} \cdot y_m - \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot y_k; \\ R_{2,3} = R_{3,2} = \sum_n E'_{ct,1} \cdot A_{cp} \cdot x_n \cdot y_n + \sum_n E'_{ct,2} \cdot A_{ct} \cdot x_m \cdot y_m + \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot x_k \cdot y_k; \\ R_{2,3} = \sum_n E'_{ct,1} \cdot A_{cp} \cdot y_n^2 + \sum_n E'_{ct,2} \cdot A_{ct} \cdot y_m^2 + \sum_n E'_s \cdot A_{sk} \cdot y_k^2, \end{cases}$$

где $E'_{ct,1}$, $E'_{ct,2}$, E'_s – текущие значения модулей упругости соответственно для сборного и монолитного бетонов и арматуры, определяемые из диаграмм деформирования в зависимости от уровня нагружения; A_{cp} , A_{ct} – площадь бетона в пределах элементарных площадок соответственно сборной и монолитной частей сечения; $x_n, x_m, x_k, y_n, y_m, y_k$ – расстояния от центра тяжести элементарных участков бетона и арматуры до выбранных осей X и Y в поперечном сечении.

Распределение средних относительных деформаций бетона и арматуры в пределах сечения определяют по формулам

$$\begin{cases} \varepsilon_{c,n(m)} = \varepsilon_z - k_x \cdot x_n - k_x \cdot x_m - k_y \cdot y_n - k_y \cdot y_m, \\ \varepsilon_{s,k} = \varepsilon_z - k_x \cdot x_k - k_y \cdot y_k. \end{cases}$$

Расчет сборно-монолитных железобетонных элементов на действие поперечных сил допускается производить на основе упрощенных идеализированных моделей:

– модели наклонных сечений, включающей уравнения равновесия внешних и внутренних сил в расчетном наклонном сечении;

– стержневой модели, состоящей из сжатых и растянутых поясов, соединенных между собой сжатыми и растянутыми раскосами, и использующей уравнения равновесия внешних и внутренних сил в расчетном сечении.

Требуемую прочность стыкового соединения следует обеспечивать за счет арматуры, выпускаемой из сборных элементов, путем устройства бетонных шпонок или шероховатостей поверхности, продольных выступов, или с помощью других надежных апробированных способов.

Прочность стыкового соединения при продольном сдвиге следует проверять из условия

$$\tau_{Sd,j} \leq \tau_{Rd,j},$$

где $\tau_{Sd,j}$ – продольное сдвигающее напряжение в плоскости стыкового соединения (контакта) сборно-монолитных элементов от расчетных воздействий; $\tau_{Rd,j}$ – расчетное сопротивление сдвигу стыкового соединения (контакта).

Расчетное сопротивление сдвигу на единице площади контакта следует определять по формуле

$$\tau_{Rd,j} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_N + \rho_j \cdot f_{yd} (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha),$$

где c – коэффициент, значения которого принимают в зависимости от вида контактной поверхности сборного элемента; f_{ctd} – расчетное сопротивление бетона растяжению, принимаемое для бетона более низкого класса; μ – коэффициент трения; σ_N – нормальные напряжения, действующие на единицу площади контакта от минимальной внешней силы, перпендикулярной к его плоскости, $\rho_j = A_{sj} / A_j$ – коэффициент армирования контакта; A_{sj} – площадь сечения поперечной арматуры в стыке; A_j – площадь поверхности контакта; α – угол наклона арматуры в стыке.

Разработка метода расчета железобетонных конструкций с учетом фактора времени является дальнейшим развитием метода расчета конструкций по предельным состояниям. В общем случае функции сопротивления $R(t)$ и усилия $S(t)$ для конструктивных элементов описывают случайные процессы и изменяются во времени [3]. Ресурс вычисляется с учетом изменения прочност-

ных характеристик элементов составного сечения, деформационных свойств бетона и арматуры, образования поперечных трещин, нарушения связей между элементами пролетного строения и др.

Сделаем следующие выводы:

1. За счет объединения сборных элементов с монолитным бетоном в сборно-монолитных конструкциях обеспечивается их совместная работа, а расход металла и бетона во многих случаях не превышает расхода для аналогичных монолитных конструкций.

2. В настоящее время наиболее актуальным для Республики Беларусь является обновление путем реконструкции эксплуатируемых мостов.

3. Для усиления и уширения эксплуатируемых балочных пролетных строений рекомендуются наиболее простые конструктивные решения с плоской накладной монолитной плитой, выполненной из бетонов нового поколения.

4. Опыт эксплуатации железобетонных конструкций мостовых сооружений показывает, что их надежность и долговечность зависят от большого количества случайных факторов, изменяющихся во времени.

Список литературы

1. ТКП 45-5.03-97–2009. Железобетонные сборно-монолитные конструкции. Правила проектирования / Минстройархитектуры. – Минск, 2009. – 80 с.

2. Кваша В.Г. Уширение пролетных строений балочных мостов монолитной накладной плитой: учеб. пособие. – Киев: Вища школа, 1990. – С. 102–165.

3. Pastushkov G., Pastushkov V. Durability of reinforced concrete bridges – the major problem of road branch: Proceedings of the International Conference “Construction and Architecture” / ed. by B.M. Khroustaliyev and S.N. Leonovich. – Minsk, 2003. – P. 322–332.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕМПЕРАТУРНО-НЕРАЗРЕЗНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ

А.Г. Кислов, С.А. Бугаевский, С.Н. Краснов

Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет, Украина

Приводится опыт использования температурно-неразрезных пролетных строений, состояние и результаты статического испытания моста в г. Харькове.

***Ключевые слова:** температурно-неразрезные пролетные строения, плита объединения, тяги, индикаторы, перемещения главных балок*

Коллектив кафедры мостов, конструкций и строительной механики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета по заданию Департамента строительства и дорожного хозяйства г. Харькова разработали концепцию сохранения и развития мостового хозяйства города. Разработка концепции была выполнена на основании большого опыта работы кафедральной отраслевой научно-исследовательской лаборатории по обследованию и испытанию мостов с применением базы данных по всем мостам города. Учитывая, что городские мостовые сооружения являются элементами городской транспортно-коммуникационной инфраструктуры и собирают транспорт и коммуникации с большого количества улиц целого района в одно узкое линейное пространство, необходимо их постоянно содержать.

Анализ состояния мостовых сооружений города позволил сделать вывод о больших недостатках в их эксплуатации и содержании. Замеченные повреждения деформационных швов являются причиной коррозионных процессов в торцевых сечениях пролетных строений и верхних частей опор вследствие проникновения через них атмосферных осадков, что снижает долговечность мостовых сооружений. Как известно, минимальное количество деформационных швов имеют неразрезные пролетные строения. Как показал анализ литературных источников, температурно-неразрезные пролетные строения мостов начали применять с целью сокращения количества деформационных швов и повышения комфорта движения [1]. Начиная с 1966 г. в мировом мостостроении имеет место распространение конструкций пролетных строений, которые монтируются из разрезных балок, с объединением их в сечениях над опорами в уровне проезжей части в цепи разной длины различными способами [2]. Такие «бесшовные мосты» [3] строились с целью обеспечить повышение срока службы, снижение эксплуатационных расходов, экономичность конструкции.

Температурно-неразрезными называются разрезные пролетные строения, объединенные между собой в уровне плиты проезжей части или центра тяжести сечения балок, в результате чего при температурных влияниях они работают как неразрезные, а при вертикальных нагрузках – как разрезные. Конструкция узла объединения должна обеспечивать непрерывность дорожной одежды и воспринимать усилия, которые возникают в цепи пролетных строений, не препятствуя их поворотам. На практике встречается большое разнообразие объединения элементов температурно-неразрезных пролетных строений [4].

Существующие способы объединения балок в температурно-неразрезную конструкцию свидетельствует, что наиболее рациональным для эксплуатируемых железобетонных мостов может быть сочетание двух способов – за счет укладки по всей поверхности конструкции новой монолитной плиты проезжей части и установки металлических тяг в над опорной зоне. Комбинирование этих двух способов позволит получить надежный способ объединения. Применение металлических тяг обеспечит уменьшение толщины плиты объединения до 10 см и ее более простое армирование, а за счет укладки монолитной плиты отпадет необходимость устройства деформационных швов в месте расположения тяг.

Для анализа работы таких пролетных строений большое значение имеют данные реальных испытаний существующих конструкций. Были проведены статические испытания моста через р. Харьков по ул. Героев Труда в г. Харькове.

Характеристика моста: тип пролетного строения – температурно-неразрезная, балочная, сборная, пятипролетная (рис. 1–2); полная длина моста 122,94 м; схема моста $21 \times 2 + 33 + 21 \times 2$ м с разделительной полосой под трамвайные пути; габарит проезжей части 26,4 м; габарит трамвайных путей 9,8 м; тротуары $1 \times 3,75$ м + $1 \times 0,75$ м; проектная нагрузка Н-30, НК-80; год строительства 1980. Температурные швы размещаются на береговых опорах.

Конструкция деформационных швов разная по проезжей части и по участку трамвайных путей. По покрытию проезжей части это деформационный шов с механическим креплением резинового компенсатора К-8, а по трамвайным путям – простая выгнутая пластина, заполненная жгутом из синтетической ткани. Деформационные швы К-8 не имеют необходимых зазоров, а швы под трамвайными путями полностью разрушены.

Асфальтобетонное покрытие во всех пролетах выполнено некачественно. Воронки для приема воды с поверхности проезжей части частично забиты грязью, частично заасфальтированы. Скопление мусора и грязи возле повышенного тротуара препятствует стоку воды, вследствие этого вода проникает через асфальтобетонное покрытие и попадает на железобетонные конструкции пролетных строений и опор. Значительное выщелачивание бетона по стыкам, по телу балок и ригелей, а также сталактиты свидетельствуют о том, что гидроизоляция частично разрушена (срок ее службы 26 лет).

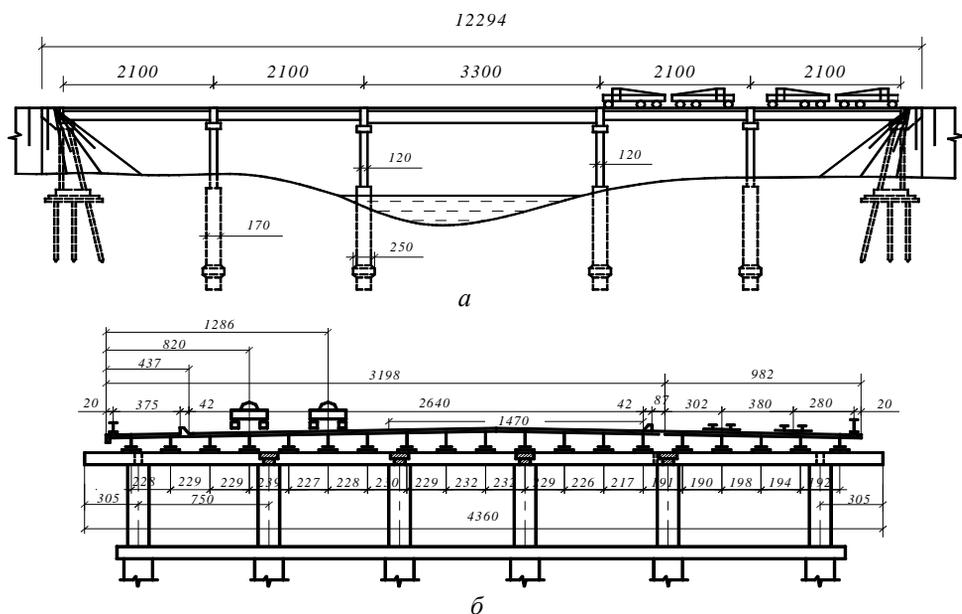


Рис. 1. Схема моста: *a* – продольный вид; *б* – поперечное сечение



Рис. 2. Общий вид моста (*a*) и пролетного строения (*б*)

Пролетные строения выполнены из разрезных сборных железобетонных балок таврового сечения без диафрагм по типовому проекту 384/46 ($L = 33$ м и $L = 21$ м) института «Союздорпроект». В каждом пролете расположено по 19 балок длиной $L = 33$ м или $L = 21$ м с расстоянием между балками 226–228 см.

Между балками автомобильного движения (14 балок) и балками под трамвай (5 балок) объединение отсутствует, следовательно, эти две части работают независимо. Балки объединены в температурно-неразрезную систему по плите проезжей части в пределах всей ширины пролетного строения, продольный стык между балками имеет ширину около 50 см. Опорные части выполнены в виде составных (из двух частей) резиновых армированных элементов.

Испытание моста было выполнено с целью проверки действительной работы температурно-неразрезных пролетных строений моста. Загрузка пролетного строения выполнялась автомобилями «КамАЗ», которые были нагруже-

ны грунтом общим весом 21–22 т. Взвешивание автомобилей выполнялось до начала испытания. Перекрытие движения по мосту во время проведения испытания осуществлялось работниками ГАИ г. Харькова. Схемы загрузки пролетного строения моста были рассчитаны таким образом, чтобы получить максимальные прогибы в середине пролета № 4 и углы поворота между балками над опорой № 5 (рис. 3).

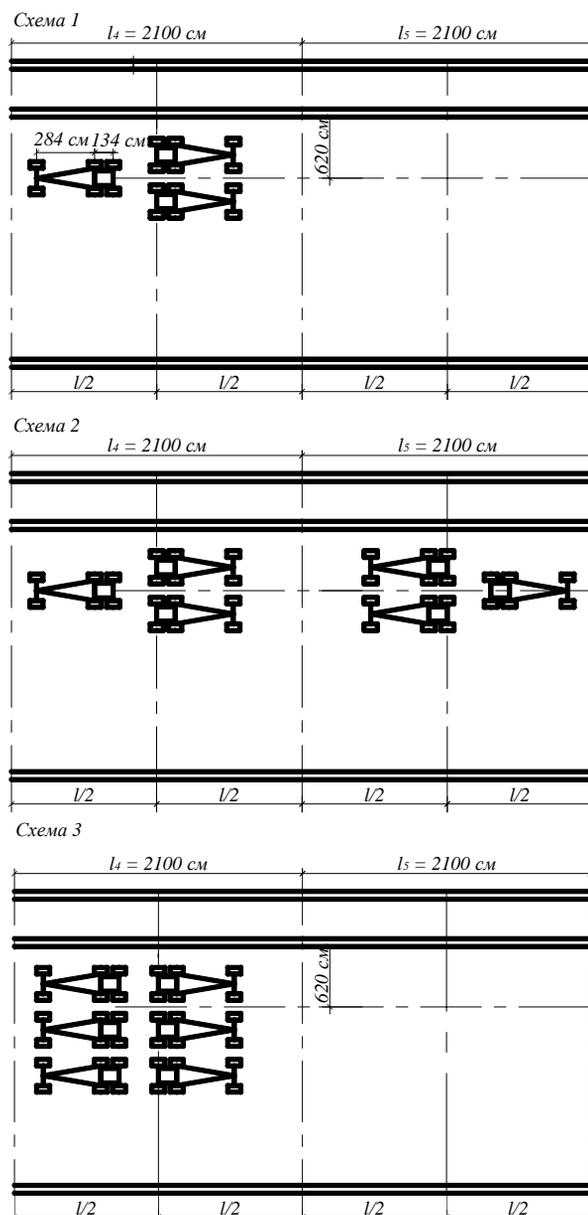


Рис. 3. Расположение автомобилей при разных схемах загрузки моста

В процессе испытания моста определялись вертикальные перемещения главных балок пролетного строения № 4 (см. общий вид моста, рис. 1) посредством прогибомеров Максимова в середине пролета и горизонтальные перемещения торцов балок № 4 и № 5 в пролетах № 4 и № 5 посредством индикаторов часового типа точностью 0,01мм (рис. 4).

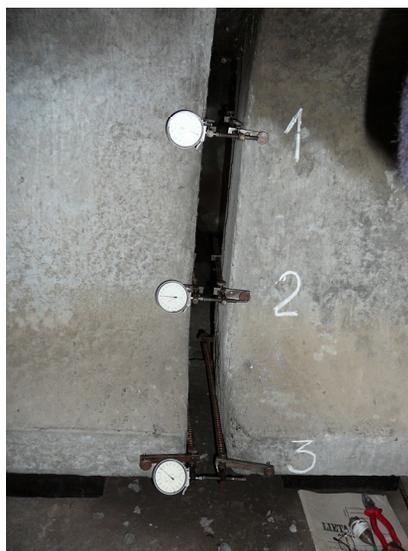


Рис. 4. Расположение индикаторов по торцам балок

Схемы установки приборов (индикаторов) приведены на рис. 5. Результаты испытаний приведены в табл. 1–3 и на рис. 6–9.

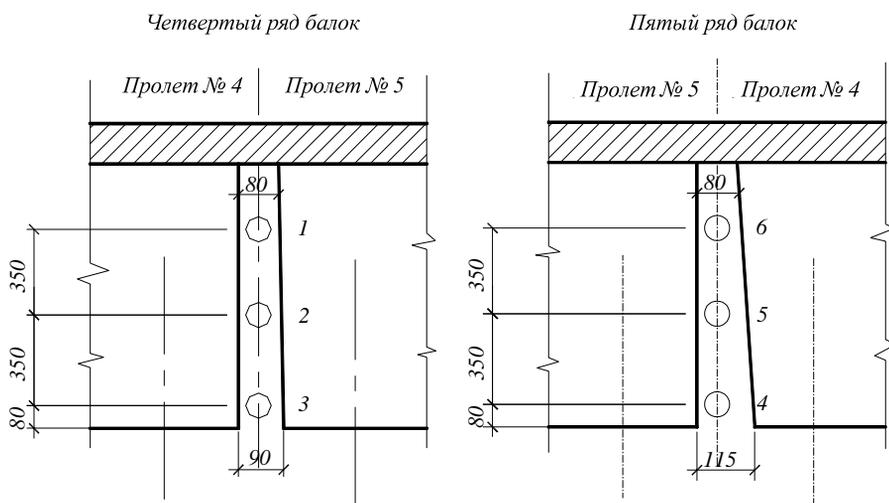


Рис. 5. Схема размещения индикаторов

В процессе обследования склерометром Шмидта была определена прочность бетона стенок и нижних полок балок. Прочность составила 40–52 МПа (среднее значение 44,0 МПа), что отвечает классу бетона В37. Это выше проектной прочности для балок длиной $L = 21$ м В30 и $L = 33$ м В35.

Таблица 1

Обработка результатов показаний индикаторов в опорном сечении балок

Номер балки	Номер установки индикаторов	Показания индикаторов					Деформации			
		без нагрузки	схема 1	схема 2	схема 3	без нагрузки	схема 1	схема 2	схема 3	без нагрузки
4	1	0495	0648	0787	0716	0501	0,153	0,292	0,221	0,006
4	2	0510	0790	5000	4860	4470	0,280	–	–	–
4	3	5010	5460	5790	5610	5090	0,450	0,780	0,600	0,080
5	4	4920	5440	5980	5760	4960	0,520	1,060	0,840	0,040
5	5	4990	5330	5690	5530	5020	0,340	0,700	0,540	0,030
5	6	4990	5180	5360	5280	5000	0,190	0,370	0,290	0,010

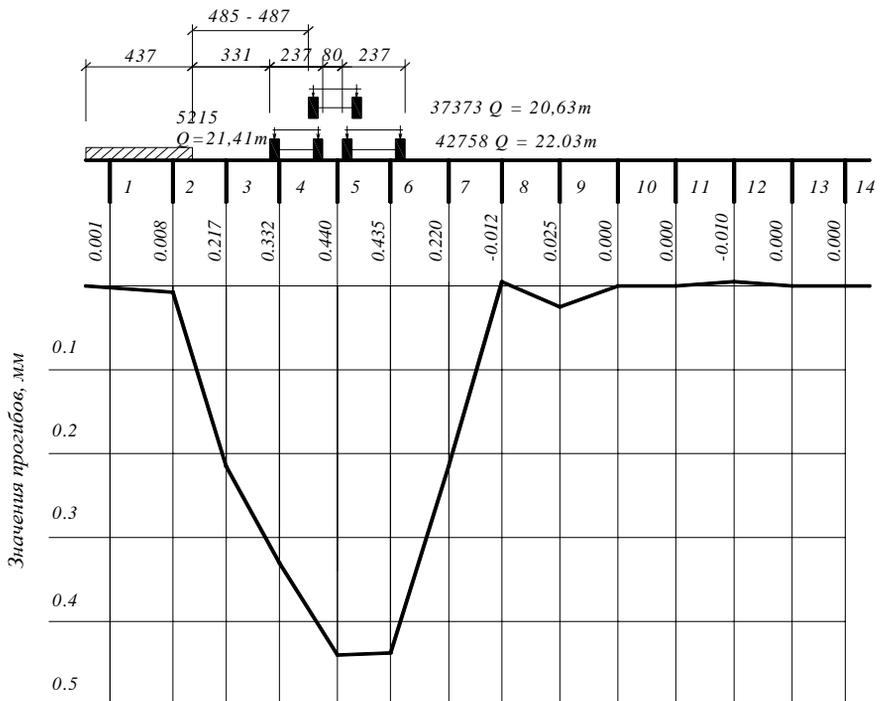


Рис. 6. Прогобы балок пролета № 4 при загрузении по схеме № 1

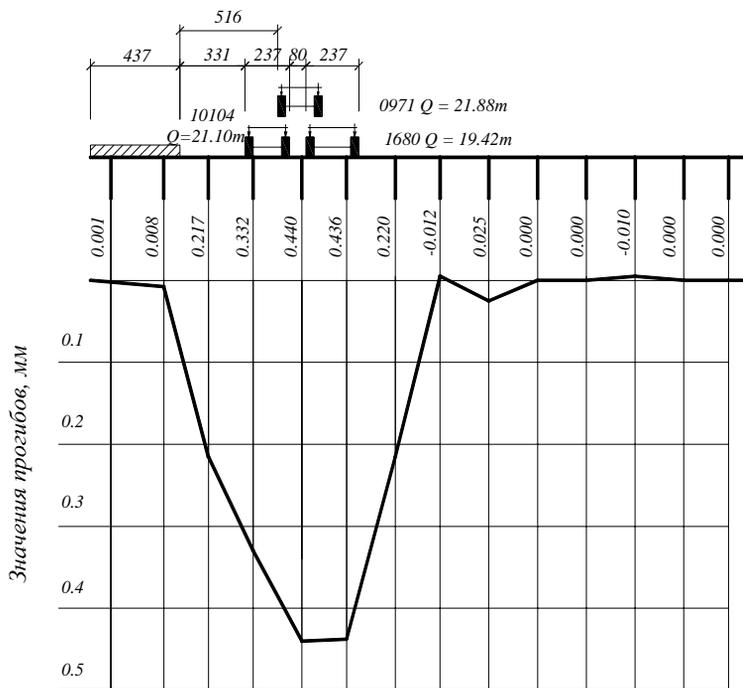


Рис. 7. Прогибы балок пролета № 4 при загрузении по схеме № 2

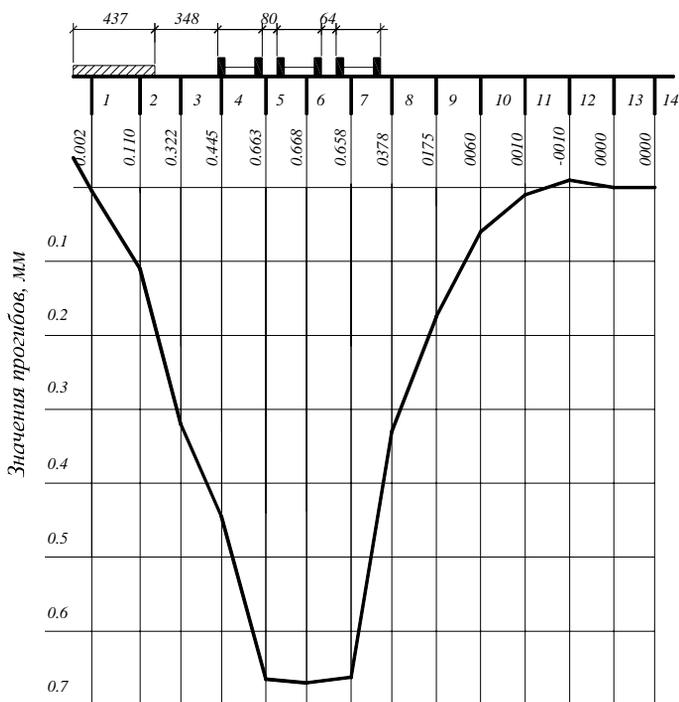


Рис. 8. Прогибы балок пролета № 4 при загрузении по схеме № 3

Таблица 2

Экспериментальные и теоретические значения углов поворота
главных балок пролетного строения

Номер схемы загрузки	Угол поворота α							
	Балка № 4				Балка № 5			
	экспериментальный		теоретический		экспериментальный		теоретический	
	рад	град	рад	град	рад	град	рад	град
1	$4,286 \cdot 10^{-4}$	$0,0246^0$	$4,26 \cdot 10^{-4}$	$0,02445^0$	$4,962 \cdot 10^{-4}$	$0,0284^0$	$5,633 \cdot 10^{-4}$	$0,03227^0$
2	$7,43 \cdot 10^{-4}$	$0,0426^0$	$8,66 \cdot 10^{-4}$	$0,0496^0$	$1,0095 \cdot 10^{-4}$	$0,0578^0$	$11,387 \cdot 10^{-4}$	$0,0652^0$
3	$5,714 \cdot 10^{-4}$	$0,0327^0$	$5,387 \cdot 10^{-4}$	$0,0309^0$	$8,00 \cdot 10^{-4}$	$0,0458^0$	$8,027 \cdot 10^{-4}$	$0,0459^0$

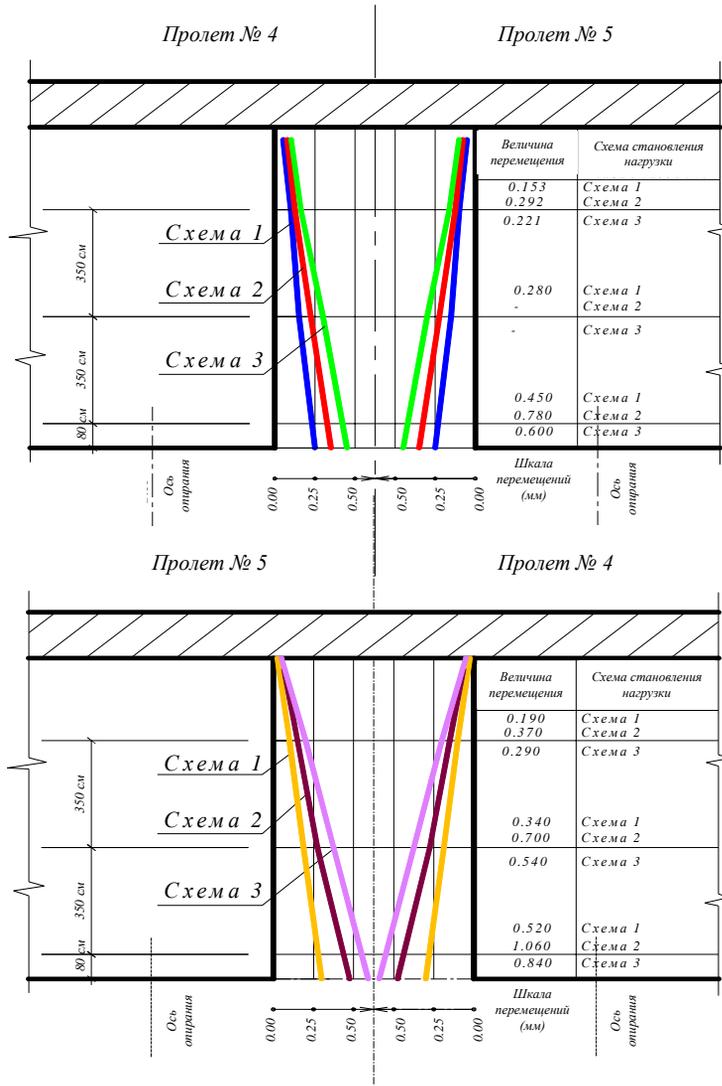


Рис. 9. Повороты торцов балок при разных схемах загрузки

На основании проведенных испытаний температурно-неразрезных пролетных строений сделаны следующие выводы:

– пролетное строение № 4 находится в удовлетворительном состоянии и его работа отвечает пространственной схеме распределения усилий между элементами пролетного строения (главными балками), о чем свидетельствуют кривые прогиба главных балок в середине пролета № 4;

– торцевые перемещения (углы поворота) главных балок № 4 и № 5 свидетельствуют о том, что температурный шов объединения балок по плите в поперечном и продольном направлении находится в удовлетворительном состоянии (перемещения на уровне низа плиты равняются нулю). Угол поворота осуществляется за счет деформаций резиново-металлических опорных частей, и его величина прямо пропорциональна прикладываемым нагрузкам (рис. 9). Сравнения экспериментальных и теоретических значений углов поворота приведены в табл. 2. Анализ данных табл. 2 свидетельствует о хорошей сходимости экспериментальных и теоретических значений углов поворота.

В заключение следует отметить, что конструктивное решение по объединению разрезных пролетных строений в температурно-неразрезные применяют в проектах ремонта и реконструкции существующих мостовых сооружений.

Большое разнообразие объединения элементов температурно-неразрезных пролетных строений позволяет с точки зрения системного подхода принять такую конструкцию, которая больше отвечает как конструктивным, так и эксплуатационным требованиям.

Коллективом кафедры были разработаны методические рекомендации по проектированию и использованию конструкций температурно-неразрезных пролетных строений, которые предназначены для использования при разработке проектно-сметной документации на строительство, реконструкцию и для капитального ремонта мостов на автомобильных дорогах общего пользования в пределах территории Украины.

Список литературы

1. Захаров Л.В., Колоколов Н.М., Цейтлин А.Л. Сборные неразрезные железобетонные пролетные строения мостов. – М.: Транспорт, 1983. – 232 с.
2. Методические рекомендации по применению конструкций температурно-неразрезных пролетных строений / РОСАВТОДОР. – М., 2003. – 60 с.
3. Bridge Decks Going Jointless. Cementitious Composites Improve Durability of Link Slabs // Research Record. – August 2005. – № 100.
4. Durable Link Slabs for Jointless Bridge Decks Based on Strain-Hardening Cementitious Composites: Final Report By Victor C. Li (Principal Investigator), G. Fischer, Y. Kim, M. Lepech, S. Qian, M. Weimann and S. Wang / The Advanced Civil Engineering Material Research Laboratory Department of Civil and Environmental Engineering. – University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125, U. S. A. – November 16, 2003.

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВ

И.И. Овчинников, С.В. Козлачков

Сочинский государственный университет, Россия

Исследование и техническое решение посвящено конструкциям деформационных швов, используемых в мостостроении, для компенсации средних и значительных эксплуатационных линейных, а также объемных перемещений между смежными пролетными строениями или между пролетным строением и устоем моста.

Ключевые слова: деформационные швы, модульный деформационный шов, гребенчатый деформационный шов, инновационная модель, консольные гребенчатые пальцы.

Автодорожные мостовые сооружения призваны служить для преодоления транспортом и пешеходами различных препятствий: водных преград, участков со сложным рельефом, других транспортных путей. Однако сами мостовые сооружения в настоящее время редко могут быть построены без устройства разрывов основных несущих конструкций по длине. Эти устройства были названы деформационными швами (ДШ).

Исследованием [1] было установлено, что неисправности ДШ могут приводить к существенным повреждениям конструкций моста: пролетных строений, опор, опорных частей, подферменников, фундаментов опор, мостового полотна – словом, всех основных элементов мостового сооружения. Кроме того, от состояния ДШ непосредственно зависит степень безопасности движения по мосту как транспорта, так и пешеходов. Все это привело к тому, что за рубежом достаточно давно ДШ стали проектироваться на основании тщательно проработанных и научно обоснованных методов расчета, а изготавливаться с жесткими допусками из качественных и долговечных материалов, отвечающих самым высоким требованиям по прочности и выносливости. Неслучайно выпуск наиболее совершенных в техническом плане ДШ был освоен зарубежными фирмами, основной специализацией которых было производство машиностроительной продукции, а не строительных конструкций и изделий. По сложности конструкции, характеру работы и специфике изготовления современные ДШ мостовых сооружений (особенно средних и больших перемещений) относятся больше к механизмам, нежели к известным строительным конструкциям.

Анализ отечественных и зарубежных конструкций ДШ, используемых на средние и большие перемещения, с точки зрения опыта их применения и предъявляемых к ним современных требований по обеспечению необходимого уровня безопасности и комфорта позволил сделать вывод о том, что исследуемые конструкции не обеспечивают выполнение этих требований в полной мере. В определенной степени эту проблему некоторые зарубежные производители ДШ пытаются решить при помощи комбинации в одной конструкции ДШ элементов различного типа ДШ, одни из которых в большей степени обеспечивают требования по уровню безопасности (модульные конструкции), а другие – по уровню комфорта (шумопоглощающие, зубчатые пластины). В то же время пластины не имеют достаточной величины сопротивления транспортной нагрузке, их длина ограничена, следовательно, количество поперечных разрывов поверхности ДШ остается прежней, что незначительно снижает шумовую эмиссию из-за высоких импульсных силовых воздействий и вибрации от колес автомобиля, вызванных сегментным устройством конструкции проезжей поверхности модульного ДШ.

Целью исследования является установление и устранение причин недостатков, свойственных конструкциям ДШ, применяемых на средних и больших перемещениях.

Практически любая конструкция ДШ не свободна от недостатков, которые проявляются при эксплуатации. Чем больше продольное перемещение, тем сложнее обеспечить восприятие и других, возрастающих, пространственных перемещений. Зачем же тогда проектировать средние и большие разрывы между пролетными строениями (устоем), не проще ли изменить схему моста на разрезную, увеличив количество разрывов (ДШ), но уменьшив длину отдельного перемещения? Во-первых, это не всегда оправданно, прежде всего, из соображений экономической целесообразности и эффективности ведения строительных работ. Во-вторых, это не всегда оправданно исходя из предъявляемых современных требований по уровню комфорта и безопасности к мосту в целом: желательно, чтобы один ДШ собирал и воспринимал все перемещения моста, независимо от его длины, удовлетворяя, в то же время, предъявляемым современным требованиям по уровню комфорта и безопасности. Таким образом, приоритет современных требований к мосту в целом является определяющим по отношению к ДШ. Тенденция к схеме моста очевидна, а ее реализация обеспечивается лишь наличием (или отсутствием) конструкции ДШ, которая должна удовлетворять предъявляемым современным требованиям по уровню комфорта и безопасности для определенного мостового сооружения. Следовательно, задачей удовлетворения предъявляемых современных требований к мостовому сооружению в целом, и к ДШ в частности, является разработка такой конструкции ДШ, которая была бы способна обеспечить положительный результат по предъявляемым требованиям для мостового сооружения любой длины.

Противоречие решений одной задачи для моста и его ДШ наводит на мысль о создании комбинации различных типов конструкций ДШ, применяемых в схожих обстоятельствах, конкурирующих между собой и обладающих различными достоинствами и недостатками. Имеются в виду ДШ модульного и гребенчатого типа. К тому же любопытно, что в данном случае различие проявляется в полной противоположности их достоинств и недостатков: достоинства одних являются недостатками других, и наоборот. Можно предположить, что единство противоположностей в комбинированной конструкции ДШ позволит устранить недостатки, свойственные конструкции каждого из этих типов ДШ в отдельности, и интегрировать их достоинства.

Известны конструкции модульных ДШ, например Swivel-Joist (Maurer-Söhne), которые способны воспринимать значительные линейные и угловые перемещения в плане. Так, при линейных продольных перемещениях ДШ стандартного исполнения 1200 мм поперечные перемещения достигают ± 600 мм. ДШ может воспринимать также вертикальные перемещения пролетных строений относительно друг друга до ± 45 мм. В случае необходимости ДШ такой конструкции могут создаваться и на большие перемещения. Верхний предел линейных продольных перемещений для модульных ДШ в настоящее время ограничен лишь максимальной величиной перемещений пролетных строений существующих мостов. Таким образом, конструкциями модульных ДШ предельные перемещения пока не ограничиваются, и для построенных по такому принципу ДШ предельные перемещения достигают 2500 мм и более.

Существенными недостатками этих конструкций является высокая шумовая эмиссия, высокие импульсные силовые воздействия и вибрация, передающиеся на конструкцию пролетных строений и устоев в окрестностях ДШ, в особенности в места примыкания к ДШ дорожного покрытия, что часто приводит к разрушению обоих, делая небезопасным проезд, а также на подвеску автотранспорта, преждевременно изнашивая ее и создавая некомфортные условия для пассажиров (воздействие ударной нагрузки от передачи вертикального ускорения шине автомобиля при его проезде через значительно раскрытый ДШ, поперечные к направлению движения неровности, обусловленные конструкцией сегментного устройства проезжей поверхности модульного ДШ).

Известны конструкции модульных ДШ, в которых эти недостатки частично устранены (патент WO 02068760 (A1), 06.09.2002), например благодаря приваренным сверху ромбовидным пластинкам (система GOMaurerSöhne), а также повернутым в плане прямоугольным (и других конфигураций – зубчатых (гребенчатых) и синусоидальных) пластинкам (патент WO 0227102 (A1), 04.04.2002). Особенность зубчатых (гребенчатых) пластинок заключается в длине консоли, незначительно превышающей ширину промежуточной несущей балки и тем самым незначительно снижающей величину расхождения шва между пластинками. Недостатком этих конструкций является физическое

ограничение длины консоли пределом жесткости зубчатой (гребенчатой) пластины (горизонтально расположенной), находящихся между собой в прямо пропорциональной зависимости.

Известен также ДШ гребенчатого типа, перекрываемый с противоположных сторон консольными односторонне направленными пальцами гребенчатых плит (патент EP1359254(A2), 05.11.2003, REISNER & WOLFF ENGINEERING). Продольный профиль гребенчатого пальца этого ДШ представляет собой консольную балку в миниатюре, обычно с увеличением сечения к основанию, способную сопротивляться значительным вертикальным нагрузкам. Благодаря таким прочностным свойствам и своей конструкции, позволяющей практически исключить продольные разрывы поверхности ДШ, при эксплуатации гребенчатых ДШ было выявлено, что при соблюдении всех эксплуатационных процедур они обеспечивают комфортные условия проезда, так как характеризуются высокой жесткостью плит и непрерывной, ровной поверхностью проезда (при малых вертикальных перемещениях), поэтому и шумовая эмиссия в уровне проезжей части у них самая низкая (ниже, чем у асфальтового или бетонного дорожного покрытия).

Недостатком ДШ гребенчатого типа, с консольными гребенчатыми плитами в частности, является то, что они плохо воспринимают любые перемещения, кроме горизонтально продольных, проявляя чувствительность к перекосам консольных гребенчатых пальцев в горизонтальной плоскости (свыше 10°), что нередко приводит к их заклиниванию, а также к вертикальным смещениям друг относительно друга, что нарушает условия проезда и ограничивает перекрываемую ими длину ДШ.

Достоинства этого типа ДШ и отсутствие равноценной альтернативы этим конструкциям, несмотря на их недостатки, предопределили то, что ДШ гребенчатого типа до сих пор широко используются на эксплуатируемых и вновь строящихся мостах во всем мире.

Целью технического решения [2–4] является увеличение длины ДШ гребенчатого типа за счет устранения перекосов гребенчатых пальцев в горизонтальной плоскости и их вертикальных смещений.

Технический результат достигается за счет того, что крайние несущие балки, жестко соединенные с односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами), упруго соединены модульными компенсаторами, как минимум, с одной промежуточной несущей балкой, жестко соединенной с двусторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатой плитой с двусторонне направленными пальцами).

На рисунках представлены примеры вариантов реализации ДШ модульно-гребенчатого типа с консольными гребенчатыми пальцами. На рис. 1 схематично показан продольный профиль фрагмента ДШ в разрезе, перекрываемого с противоположных сторон односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гре-

бенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами) 1, жестко соединенных с крайними несущими балками 2, упруго соединенных модульными компенсаторами 3, как минимум, с одной промежуточной несущей балкой 4, жестко соединенной с двусторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатой плитой с двусторонне направленными пальцами) 5.

На рис. 2–4 изображены фрагменты ДШ в плане, перекрываемого с противоположных сторон гребенчатыми плитами с консольными односторонне направленными пальцами 1, жестко соединенных с крайними несущими балками 2, включающего одну промежуточную несущую балку 4, жестко соединенную с консольными двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 5, рис. 2, (с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами 5, рис. 3).

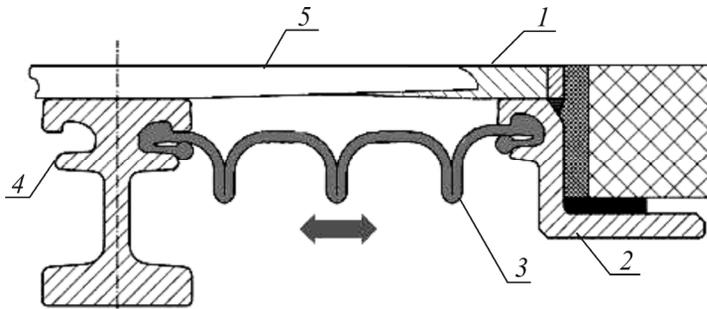


Рис. 1. Продольный профиль фрагмента ДШ в разрезе

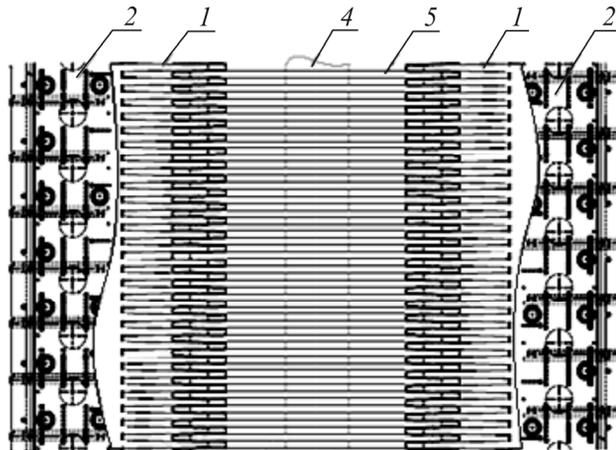


Рис. 2. Фрагмент ДШ в плане с консольными двусторонне направленными гребенчатыми пальцами

Опорная балка (траверса) и другие, сопряженные с ней, детали и узлы не показаны, так как ДШ может быть выполнен по различным схемам: по балочно-решетчатой, или с поворотными траверсами, или другим.

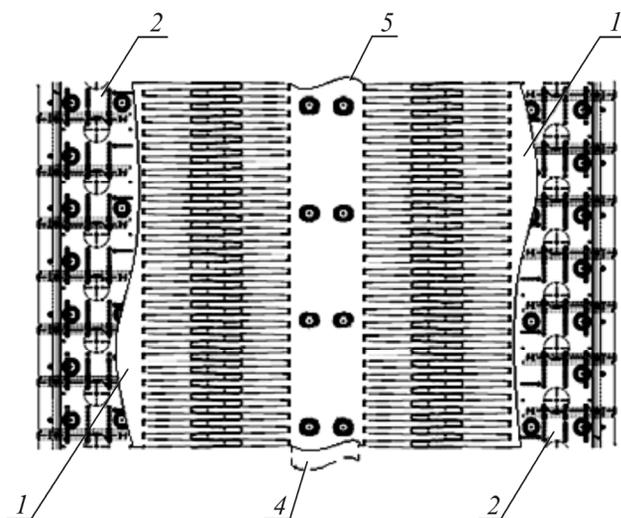


Рис. 3. Фрагмент ДШ в плане с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами



Рис. 4. ДШ с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами

Количество промежуточных несущих балок – 4, определяется максимальным раскрытием ДШ, необходимого для обеспечения оптимальной величины межбалочного зазора и нормальной работы ДШ, без заклинивания гребенчатых пальцев и их вертикальных смещений относительно друг друга, при объемной деформации зоны ДШ.

Жесткое соединение промежуточной несущей балки 4 с консольными двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 5, рис. 1, 2, или с гребенчатой плитой с консольными двусторонне направленными пальцами 5, рис. 1, 3, 4 (которое может быть как сварным, рис. 1, 2, так и болтовым, рис. 1, 3, 4), позволяет достичь более широкого, в сравнении с ДШ модульного типа, раскрытия зазоров шва, между соседними промежуточными несущими балками 4, или между промежуточными и крайними несущими балками 2 и 4, соединенных модульными компенсаторами 3.

В сравнении с ДШ гребенчатого типа:

1) достигается основной технический результат – увеличение длины ДШ, за счет устранения перекосов гребенчатых пальцев в горизонтальной плоскости и вертикальных смещений, в результате их объединения, как минимум, с одной с промежуточной несущей балкой модульного ДШ, допускающего эти перекосы, угол (до 50° , для горизонтальных углов) которых будет делиться на количество установленных промежуточных несущих балок, плюс одну, и равномерно распределяться между всеми пальцами перекрывающими ДШ. Таким образом, при изменении отметок пролетных строений (устоя), из-за просадки мостовых опор, износа опорных частей, неравномерной усадки бетона в пролетных строениях и устое, из-за тектонических и геофизических изменений и проявлений других воздействий в несколько раз снижается риск заклинивания гребенчатых пальцев и их вертикальных смещений относительно друг друга, что даст возможность дальнейшей эксплуатации ДШ и всего мостового сооружения, без остановки движения транспорта;

2) отсутствует необходимость в установке на ДШ отдельного водоотводного устройства, в случае применения в модуле упругого ленточного компенсатора, изготовленного из материала, стойкого к воздействию окружающей среды (ультрафиолетовое излучение, озон) и агрессивных соединений, встречающихся на автомобильных дорогах (соли, минеральные масла и нефтепродукты), герметично связанного с несущими балками, надежно защищающего от мусора, песка, мелкого щебня и влаги нижерасположенные детали и элементы мостового строения;

3) практически исключается шумовая эмиссия под пролетным строением, в случае применения в модуле упругого ленточного компенсатора, выполненного из материала, как правило, хорошо поглощающего или рассеивающего звук и герметично связанного с несущими балками;

4) обеспечивается возможность интеграции швов со всех пролетных строений моста, независимо от его протяженности, в одном, максимум, в двух местах (у его устоев), для более безопасного и комфортного движения транспорта по мосту и снижения на него временной нагрузки.

В сравнении с ДШ модульного типа:

1) существенно снижается шумовая эмиссия от транспорта при проезде ДШ ввиду почти полного отсутствия продольных разрывов поверхности сочленения гребенчатых пальцев, при любой эксплуатационной величине раскрытия ДШ;

2) значительно уменьшается количество промежуточных несущих балок (посредством увеличения, максимально допустимой величины зазора между ними до 700 мм и более, ограниченного лишь длиной двустороннего гребенчатого пальца и допустимыми поперечным горизонтальным и вертикальным углами поворота пролетных строений), опорных и других частей и деталей, с ними связанных, что существенно снижает шумовую эмиссию и импульсные динамические нагрузки на ДШ, пролетные строения и движущийся транспорт;

3) упрощается конструкция, чем достигается снижение затрат на производство, установку, обслуживание и ремонт, а также повышается надежность и, следовательно, безопасность ДШ и мостового сооружения в целом.

Список литературы

1. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов: монография / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, А.В. Ефанов [и др.]. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. – 214 с.
2. Пат. 105309 Российская Федерация, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель и патентообладатель Козлачков С.В. – № 2011103384; приоритет 31.01.2011; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 16 – 11 с.
3. Заявка 2011111460 Российская Федерация, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 25.03.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 22. – 12 с.
4. Межд. заявка PCT/RU2011/000269, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 31.01.2011; опубл. 13.10.2011 в Бюл. МБ ВОИС, публ. № WO 2011126413. – 21 с.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА МОСТАХ

В.В. Мозговой, А.Н. Онищенко, А.С. Ризниченко

Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

Показана разработанная методика проверки условий сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на мостах

***Ключевые слова:** сдвигоустойчивость, асфальтобетонное покрытие на мостах, критерий предельного состояния*

Опыт эксплуатации мостов показывает, для того чтобы обеспечить устойчивую работу защитно-цепной системы дорожной одежды мостов – асфальтобетонного покрытия, – необходимым условием выступает обеспечение совместной работы материалов дорожной конструкции, которая имеет различные деформативные свойства. Обследование и анализ конструкций дорожной одежды мостов свидетельствует, что применяемые традиционные составы защитных слоев асфальтобетонного покрытия не в полной мере соответствуют условиям эксплуатации мостов. При этом отсутствует сцепление асфальтобетона с эпоксидно-гудронным слоем гидроизоляции, что, соответственно, приводит к появлению различных видов деформаций: сдвигов, колея, трещин, а также к тому, что срок службы дорожной одежды не превышает двух лет [1].

Для проверки качества устройства, а также будущей эксплуатации асфальтобетонного покрытия на мостах нужно выполнить оценку условий сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия. Оценка сдвигоустойчивости заключается в определении прочности сцепления асфальтобетонных слоев покрытия при действии горизонтальных и вертикальных усилий, моделируя воздействие внешней нагрузки на асфальтобетонные слои при торможении транспортных средств.

По условию сдвига на контакте асфальтобетонного покрытия и железобетонного основания принимается такое состояние их связи, когда предельное сопротивление сдвигу теряет свой ресурс в результате постепенной поврежденности структурных связей, что выражается степенью поврежденности M :

$$M(t) = M_{\tau} - M_{\text{вос}} \leq [M] \cdot m_1 \cdot m_2,$$

где M_{τ} – степень поврежденности от действия касательных усилий; $M_{\text{вос}}$ – мера восстановления структурных связей; $[M]$ – предельное значение степени поврежденности ($[M] = 1$), m_1 – коэффициент, учитывающий снижение проч-

ности во времени от воздействия погодно-климатических условий; m_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности материала в конструкции в результате температурно-усадочных воздействий.

Степень поврежденности M_t определяется как сумма поврежденности от влияния действия произвольных касательных усилий $\tau(t)$ при произвольном изменении температуры $T(t)$, на основе применения критерия Бейли аналогично работам [2–5] в виде

$$M_\tau = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^\tau(\tau(t), T(t))}, \quad (1)$$

где $t^\tau(\tau(t), T(t))$ – функция длительной долговечности от действия касательных усилий $\tau(t)$.

Функция долговечности применяется в виде степенной зависимости

$$t^\tau = C_\tau \cdot \tau^{-D\tau}.$$

Степень восстановления $M_{\text{вос}}$ определяется экспериментально.

Для расчета на сдвигоустойчивость асфальтобетонного покрытия на мостах при длительных статических и циклических нагрузках, был разработан метод прогнозирования времени до полного сдвига с использованием различных параметров и характеристик в зависимости от уровня действующих напряжений и уровня температуры, т.е. для этого необходимо построить кривые длительной прочности или параметрические кривые. Успешное решение задач прогнозирования может быть достигнуто при проверке теоретических решений результатов экспериментального исследования длительной прочности материалов, содержащих соответствующую информацию о материале. Так, надежное прогнозирование сдвигоустойчивости возможно только для тех материалов, для которых проведены необходимые исследования, позволяющие судить о принципиальной возможности проводить корректные расчеты в пределах областей однотипных сдвигов. При этом предельные значения сдвигоустойчивости, для которых можно выполнять прогнозирование с использованием адекватных методов, определяются протяженностью областей с известными механизмами деформации и разрушения связей при сдвиге.

Для оценки сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия используем следующее степенное выражение, которое описывает связь между напряжением и временем до полного сдвига:

$$t_p = C_\tau(T) \tau^{-D\tau(T)} \quad (2)$$

и степенное выражение, которое описывает связь между напряжением и временем до восстановления структуры асфальтобетона

$$t_{\text{вос}} = E(T) \tau^{\text{вос}F(T)}, \quad (3)$$

а также условие прочности материала при сдвиге, учитывающее кинетический характер его разрушения при деформировании или нагрузке при определенных температурах, изменяющихся во времени, в виде критерия Бейли аналогично работам [2–5] по выражению (1) и

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t^\tau(\tau(t), T(t))} \leq 1. \quad (4)$$

При торможении транспортных средств возникают сдвигающие касательные напряжения на контакте асфальтобетонного покрытия и основания, также можно предположить, что происходит частичное восстановление структуры. Рассмотрим случай многоступенчатой нагрузки (рис. 1) получим аналитические зависимости для определения предельного состояния после воздействия каждой ступени нагрузки и проверим предположение о восстановлении асфальтобетонного покрытия на мостах.

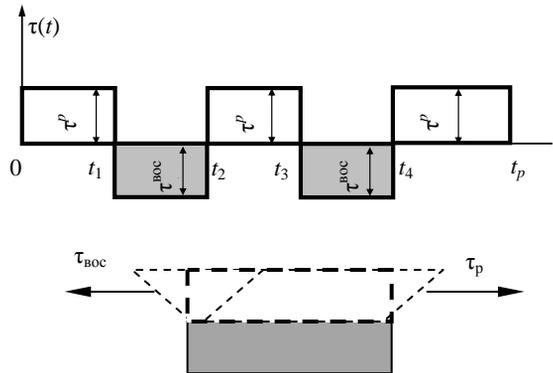


Рис. 1. Схема нагрузки асфальтобетона

Теоретически, согласно принятой гипотезе, сдвиг и восстановление структуры асфальтобетонного покрытия на мостах, в соответствии с принятой нагрузкой, должны происходить по схеме, приведенной на рис. 2.

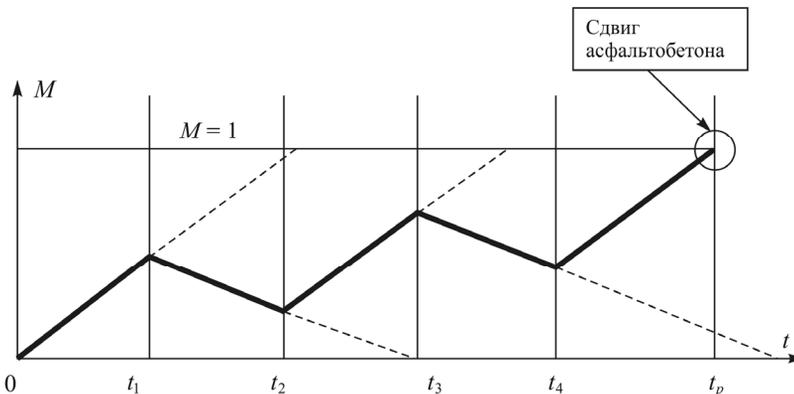


Рис. 2. Схема сдвига и восстановления асфальтобетонного покрытия на мостах

Опишем процесс сдвига и восстановления теоретически и проверим экспериментально.

При

$$\tau(t) = \begin{cases} \tau^p & \text{при } 0 < t < t_1 \\ \tau^{\text{вос}} & \text{при } t_1 < t < t_2 \\ \tau^p & \text{при } t_2 < t < t_3 \\ \tau^{\text{вос}} & \text{при } t_3 < t < t_4 \\ \tau^p & \text{при } t_4 < t < t_p \end{cases}, \quad (5)$$

$$T(t) = \text{const.}$$

Перепишем (4) для первой ступени нагрузки

$$\int_0^{t_1} (\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot dt = C_\tau(T).$$

Степень поврежденности на контакте асфальтобетонного покрытия и железобетонного основания при сдвиге после первого цикла нагрузки в течение времени t_1 можно определить по следующей зависимости

$$M(t_1) = \frac{(\tau^p(t))^{C_\tau(T)} \cdot t_1}{D_\tau(T)}.$$

После приложения второго цикла нагрузки, зависимость (4) с учетом (5) будет иметь вид

$$\int_0^{t_1} \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)}}{C_\tau(T)} dt - \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} = M.$$

Степень поврежденности на контакте асфальтобетонного покрытия и железобетонного основания за время t_1 сдвига и за время t_2 восстановления можно определить по следующей зависимости:

$$M(t_1, t_2) = \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot t_1}{C_\tau(T)} - \frac{t_2 - t_1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)}.$$

Используя такой подход, установим степень повреждения после третьего цикла нагрузки:

$$M(t_1, t_2, t_3) = \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot t_1}{C_\tau(T)} - \frac{t_2 - t_1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} + \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_3 - t_2)}{C_\tau(T)},$$

после четвертого цикла нагрузок

$$\begin{aligned} M(t_1, t_2, t_3, t_4) &= \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot t_1}{C_\tau(T)} - \frac{t_2 - t_1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} + \\ &+ \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_3 - t_2)}{C_\tau(T)} - \frac{t_4 - t_3}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)}, \end{aligned}$$

после пятого цикла нагрузок

$$M(t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) = \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot t_1}{C_\tau(T)} - \frac{t_2 - t_1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} + \\ + \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_3 - t_2)}{C_\tau(T)} - \frac{t_4 - t_3}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} + \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_p - t_4)}{C_\tau(T)}$$

или

$$\frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot t_1}{C_\tau(T)} - \frac{t_2 - t_1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} + \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_3 - t_2)}{C_\tau(T)} - \\ - \frac{t_4 - t_3}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} + \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_p - t_4)}{C_\tau(T)} = 1.$$

Поскольку $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$ можно переписать

$$2 \cdot t_1 \left(\frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)}}{C_\tau(T)} - \frac{1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} \right) + \frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)} \cdot (t_p - t_1)}{C_\tau(T)} = 1.$$

Отсюда

$$t_p = \frac{\left[1 - 2 \cdot t_1 \left(\frac{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)}}{C_\tau(T)} - \frac{1}{(\tau^{\text{вос}}(t))^{F(T)} \cdot E(T)} \right) \right] C_\tau(T)}{(\tau^p(t))^{D_\tau(T)}} + t_1.$$

Проверку адекватности теоретических решений экспериментальными исследованиями исполняли на традиционных составах асфальтобетона, соответствующих ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный. Технические условия», и на новых видах асфальтобетона – асфальтобетон на битуме модифицированном полимером (ПАБ), щебеночно-мастичный асфальтобетон на битуме модифицированном полимером (ЩМПА).

Результаты исследования сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на жесткой основе

Количество циклов	Параметры функции долговечности D_τ/C_τ	Параметры функции восстановления F/E	Время до полного смещения эксп. $t_p^{\text{эксп}}$, с	Время до полного смещения теор. t_p^m , с	δ , %
$T = +50$ °C, полимерасфальтобетон А-1					
3	2,29/0,152	-0,35/31,32	852	913	6,8
5	2,29/0,152	-0,35/31,32	1271	1390	8,6
7	2,29/0,152	-0,35/31,32	1753	1867	6,1
$T = +50$ °C, асфальтобетон А-2					
3	3,24/0,061	-0,31/28,28	693	823	7,9
5	3,24/0,061	-0,31/28,28	975	1059	15,8
7	3,24/0,061	-0,31/28,28	1198	1295	7,5

В этом случае были изготовлены соответствующие составы асфальтобетонных смесей, определены параметры функции длительной прочности при сдвиге (2) и функции восстановления (3). Результаты лабораторных исследований и теоретических расчетов приведены в таблице.

Результаты свидетельствуют, что теоретические расчеты удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Это указывает на возможность применения зависимостей, на основе положений кинетической теории прочности твердых тел для расчета на сдвигоустойчивость асфальтобетонного покрытия на мостах.

Список литературы

1. Коваль П.М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України // Дороги і мости: зб. наук. ст. – Київ, 2003. – Вип. 1. – С. 15–22.
2. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожной одежды. – Киев: Полиграфкоксалтинг, 2003. – 260 с.
3. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 1996. – 406 с.
4. Волков М.И., Золотарев В.А. О температурно-временной зависимости прочности асфальтобетона // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1970. – № 3. – С. 144–147.
5. Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст: дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 2005. – 173 с.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВ

С.В. Козлачков

Сочинский государственный университет, Россия

Рассмотрено техническое решение конструкции деформационных швов гребенчатого и модульно-гребенчатого типов, используемых в мостостроении, исследовано обеспечение безопасности проезда велосипедного транспорта по деформационному шву, его защита от снега, льда, мусора, гравия и щебня.

***Ключевые слова:** деформационные швы, модульный деформационный шов, гребенчатый деформационный шов, консольные гребенчатые пальцы, упругие гребенчатые пластины.*

Все конструкции гребенчатых деформационных швов (ДШ) [3, 4] имеют существенный недостаток: открытие продольного и поперечного зазора между гребенчатыми пальцами при раскрытии ДШ, – что может быть препятствием для движения велосипедного транспорта. В связи с этим для гребенчатых ДШ существуют жесткие требования, ограничивающие максимальное расстояние между гребенчатыми пальцами. Это ограничение в какой-то степени позволяет повысить безопасность гребенчатого ДШ для проезда велосипедистов, но одновременно ограничивает его возможность воспринимать поперечные смещения и повороты в плане пролетных строений, существенно снижая функциональность ДШ.

Известна конструкция устройства для гребенчатого ДШ (патент EP1033442(A2), 06.09.2000, REISNER & WOLFF ENGINEERING), в которой этот недостаток устранен благодаря установке между гребенчатыми пальцами упругой гребенчатой пластины, соединенной одной стороной болтовым соединением с верхней частью гребенчатой плиты. Недостатком этой конструкции является наличие дополнительных болтовых соединений (как минимум, два болта на каждую упругую гребенчатую пластину), увеличивающих вероятность их самопроизвольного раскручивания в процессе эксплуатации, под действием переменных нагрузок и, следовательно, снижающих уровень безопасности при проезде ДШ велосипедным и другими видами транспорта. Также вероятность самопроизвольного раскручивания этих болтовых соединений

возрастает из-за невозможности обеспечения необходимого момента затяжки резьбового соединения, из-за применения болтов малого диаметра, ввиду малой ширины упругой гребенчатой пластины.

Целью технического решения [5], [6] является повышение безопасности при движении транспорта по велосипедной части (защитному устройству) ДШ, за счет максимально возможного снижения количества болтовых соединений и обеспечения необходимого момента затяжки их резьбовых соединений, для предотвращения самопроизвольного раскручивания при эксплуатации ДШ.

Технический результат достигается за счет того, что продольный профиль упругих гребенчатых пластин имеет ступенчатую или двусторонне симметрично-ступенчатую единую (составную) форму, что обеспечивает жесткое закрепление их нижних частей с крайними или промежуточными несущими балками без дополнительных, а при помощи уже установленных болтовых соединений, – между этими несущими балками и гребенчатыми пальцами (гребенчатой плитой). В этом болтовом соединении, как правило, применяются высокопрочные болты, имеющие необходимый диаметр для создания требуемой величины силового момента затяжки, для предотвращения их самопроизвольного раскручивания при эксплуатации.

Упругие гребенчатые пластины целесообразно объединять при помощи одной плоской пластины в секции, по длине соответствующей закрепленной над ней секции гребенчатой плиты, для более плотного прилегания поверхностей соединения между собой и для удобства монтажа и демонтажа.

На рисунках представлены варианты исполнения конструкции ДШ и упругих гребенчатых пластин: на рис. 1 – план, на рис. 2 и 3 – продольный профиль, в разрезе, фрагмента секции ДШ с гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами 1, и с гребенчатыми плитами с двусторонне направленными пальцами 2, рис. 3, упругие гребенчатые пластины 3, нижние части 4, упругих гребенчатых пластин 3, фрагменты крайних несущих балок 5 и промежуточной несущей балки 6, рис. 3, болтовое соединение 7, плоская пластина 8; на рис. 4 – план, на рис. 5 – продольный профиль рис. 4, в разрезе, на рис. 6 – фрагмент поперечного профиля рис. 4, нижние части 4 и плоская пластина 8, фрагмента секции упругих гребенчатых пластин 3, со ступенчатой формой; на рис. 7 – план, на рис. 8 – продольный профиль рис. 7, в разрезе, на рис. 6 – фрагмент поперечного профиля рис. 7, нижние части 4 и плоская пластина 8, фрагмента секции упругих гребенчатых пластин 3, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой. Для наглядности на рис. 9 и 10 приведены объемные изображения гребенчатого ДШ.

ДШ гребенчатого или модульно-гребенчатого типа, перекрываемый с противоположных сторон односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами) 1, или включающий еще и двусторонне направленные гребенчатые пальцы (как минимум, одну гребенчатую плиту с двусторонне направленными пальцами) 2,

между которыми расположены упругие гребенчатые пластины 3, имеющие ступенчатую (в устройстве ДШ с односторонне направленными гребенчатыми пальцами 1) или двусторонне симметрично-ступенчатую (в устройстве ДШ с двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 2) форму, с целью жесткого закрепления нижних частей 4, упругих гребенчатых пластин 3, между крайней несущей балкой 5 и односторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с односторонне направленными пальцами) 1, или между промежуточной несущей балкой 6 и двусторонне направленными гребенчатыми пальцами (гребенчатыми плитами с двусторонне направленными пальцами) 2, при помощи уже установленного болтового соединения 7.

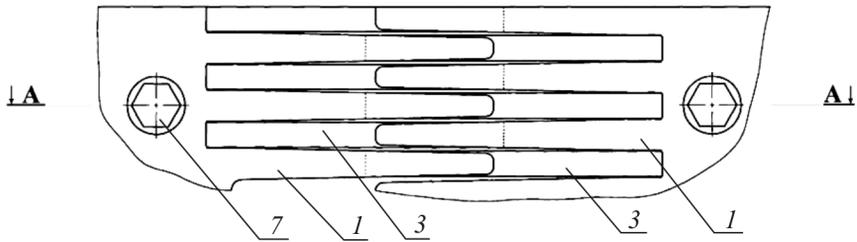


Рис. 1. Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (план)

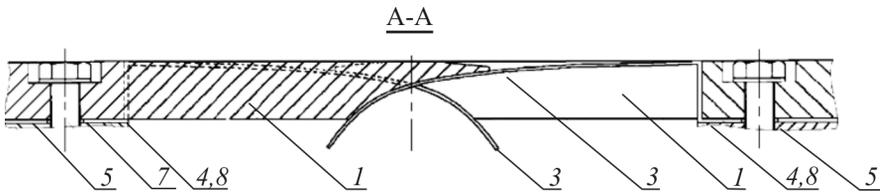


Рис. 2. Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (продольный профиль, в разрезе)

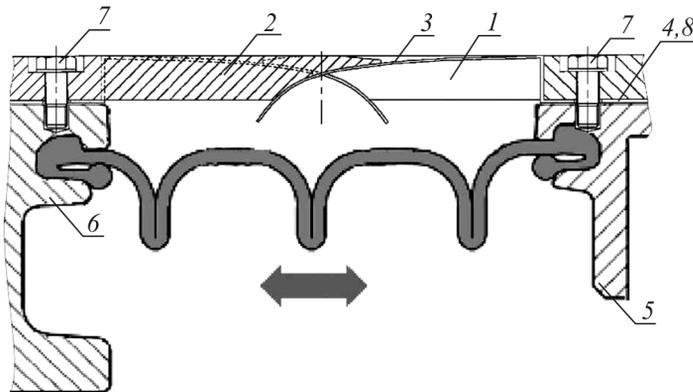


Рис. 3. Фрагмент секции модульно-гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (продольный профиль, в разрезе)

Упругие гребенчатые пластины 3 объединены в секции, при помощи плоской пластины 8, включающей нижние части 4, упругих гребенчатых пластин 3.

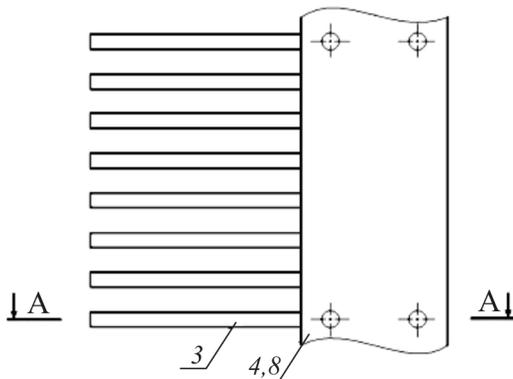


Рис. 4. Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, со ступенчатой формой (план)

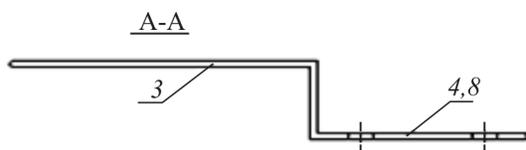


Рис. 5. Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, со ступенчатой формой (продольный профиль, в разрезе)

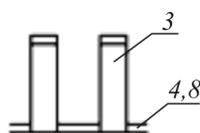


Рис. 6. Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин (поперечный профиль)

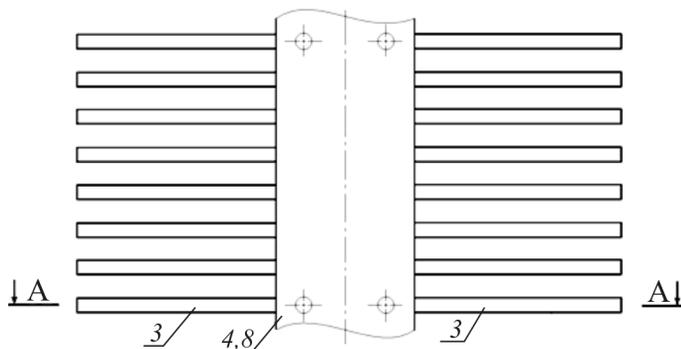


Рис. 7. Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой (план)

При любом эксплуатационном раскрытии ДШ незакрепленная часть упругих гребенчатых пластин 3 всегда перекрывается противоположно лежащими, тем самым закрывая щели между противоположно лежащими и сосед-

ними односторонне направленными гребенчатыми пальцами 1 и (или) двусторонне направленными гребенчатыми пальцами 2.

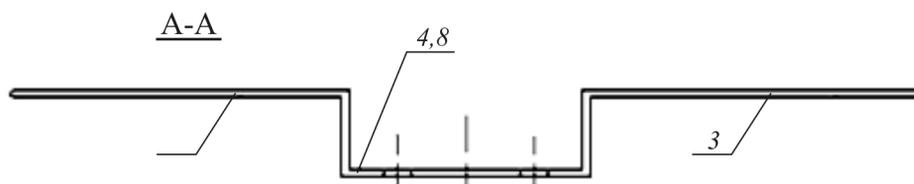


Рис. 8. Фрагмент секции упругих гребенчатых пластин, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой (продольный профиль, в разрезе)

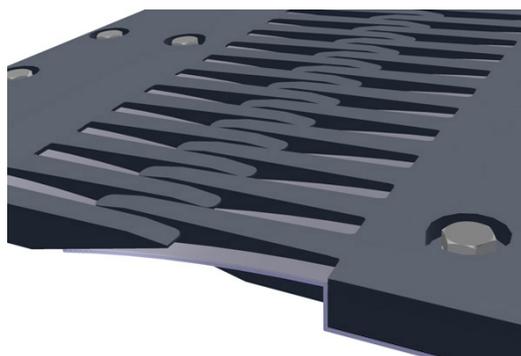


Рис. 9. Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (3D)

Упругие гребенчатые пластины 3, с двусторонне симметрично-ступенчатой формой, могут иметь единую или составную форму относительно центральной оси симметрии в зависимости от конкретных условий применения.



Рис. 10. Фрагмент секции гребенчатого ДШ, с упругими гребенчатыми пластинами (3D)

Ширина упругих гребенчатых пластин 3 должна быть равна ширине между соседними односторонне направленными пальцами 1 или между соседними двусторонне направленными пальцами 2, в самом узком месте – в местах их соединения с крайней несущей балкой 5, или с промежуточной несущей

щей балкой 6, или у основания гребенчатой плиты с односторонне направленными пальцами 1, или с двусторонне направленными пальцами 2. Длина упругих гребенчатых пластин 3 должна незначительно превышать длину односторонне направленного гребенчатого пальца 1 (двусторонне направленного гребенчатого пальца 2), с целью их зацепления при максимальном раскрытии ДШ. Толщина упругих гребенчатых пластин 3 определяется упругими свойствами материала и расчетными нагрузками, которые они должны выдерживать в течение расчетного срока эксплуатации.

Для увеличения жесткости упругих гребенчатых пластин 3 их толщина может быть увеличена и за счет увеличения количества слоев, при помощи установки секций упругих гребенчатых пластин 3 одной на другую. Изготавливаться секция упругих гребенчатых пластин 3 из пружинной стали может методом гильотинного разрезания и холодного профилирования, или холодной штамповки, с вырезом и изгибом, по проекту.

Научная новизна технического решения заключается в том, что впервые помимо основной функции обеспечения безопасного движения велосипедного транспорта, конструкция обеспечивает защиту от проникновения под ДШ снега, льда, мусора, гравия и щебня, с проезжей части моста, тем самым предотвращая смерзание и повреждение гребенчатых пальцев, неравномерное раскрытие модулей, возможные разрывы ленточного компенсатора или его выдавливание из пазов несущих балок. Предотвращение смерзания и повреждения гребенчатых пальцев ДШ обусловлено еще и тем, что мостовое сооружение всегда находится под действием изменяющихся временных динамических нагрузок, температурных изменений и других воздействий, вызывающих деформацию пролетных строений, изменение их размеров, смещения и повороты в различных направлениях, которые в совокупности передаются и на упругие гребенчатые пластины, вызывая их колебания (вибрацию), что будет препятствовать кристаллизации влаги при отрицательных температурах и вызывать разрушение льда, попавшего на ДШ с проезжей части.

В связи с этим целесообразно применение конструкции по всей длине ДШ, под основной поток транспортных средств, без снижения безопасности проезда, так как болтовая схема при этом не изменяется. К тому же это обеспечивает требования по безопасности для проезда велосипедистов (с помощью упругих гребенчатых пластин, по всей длине гребенчатого ДШ).

Также целесообразно пересмотреть нормы по ограничению максимального расстояния между гребенчатыми пальцами, обеспечивая необходимую жесткость развитием их вертикального сечения, чем существенно повысится функциональность ДШ по восприятию поперечных смещений и поворотов в плане пролетных строений.

Благодаря увеличенному зазору, между соседними гребенчатыми пальцами, можно полностью исключить возможность их смерзания и повреждения, проектируя необходимый зазор между ними не только для предельно допустимых, но и критических перемещений и поворотов пролетных строений.

Список литературы

1. Dornsife R.J. Bridge Engineering Handbook. Chapter 25. Expansion Joints; ed. by W.-F. Chen, L. Duan. – USA, Florida, Boca Raton: CRC Press, 2000. – P. 25-1–25-14.
2. Шестериков В.И. Определение перемещений концов пролетных строений при проектировании автодорожных мостов // Тр. ГП Росдорнии, НИЦ «Мосты», ОАО ЦНИИС. – М.: Информавтодор, 2002. – Вып. 12. – С. 25-55.
3. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов: монография / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, А.В. Ефанов [и др.]. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. – 214 с.
4. Заявка 2011108903 Российская Федерация, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 09.03.2011; опубл. 20.07.2011, Бюл. № 20. – 11 с.
5. Межд. заявка PCT/RU2011/000269, МПК⁷Е01 D 19/06. Деформационный шов / Козлачков С.В.; заявитель Козлачков С.В. – приоритет 31.01.2011; опубл. 13.10.2011 в Бюл. МБ ВОИС, публ. № WO 2011126413. – 21 с.

МОСТЫ. ЦЕНА ОШИБОК

К.А. Дараган, К.В. Коновалов

Кубанский государственный
технологический университет, г. Краснодар, Россия

На примере конкретного моста рассмотрены проблемы, возникающие вследствие принятия недостаточно обоснованных решений при проектировании и строительстве сооружений, а также неправильной их эксплуатации.

Ключевые слова: мосты, проектирование, эксплуатация, долговечность.

Мосты, представляющие собой сложные инженерные сооружения, являются наиболее ответственными и дорогими элементами в структуре автомобильных дорог, от надежности и долговечности которых зависит экономическая и социальная эффективность транспортного процесса. Преждевременный выход моста из работы ведет к необходимости изменения транспортных маршрутов, что приводит к перепробегу автомобилей, временным затратам, наносит ощутимый материальный, финансовый и моральный ущерб народному хозяйству и населению.

Сохранность мостов в рабочем состоянии в течение проектного срока службы является первоочередной задачей дорожно-мостовых организаций, ответственных за содержание этих сооружений. Следует отметить, что на ухудшение транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений существенное влияние оказывают ошибки, допущенные на стадии проектирования.

Анализ данных, полученных в процессе многолетней работы по паспортизации, обследованию и испытаниям мостовых сооружений на дорогах Краснодарского края, позволяет определить самые характерные из этих ошибок. В настоящей статье приведен анализ ошибок, допущенных при проектировании, строительстве и капитальном ремонте (после аварии) моста через р. Кубань у с. Успенское Краснодарского края.

В июле 1997 г. произошло разрушение моста в результате размыва дна у фундамента промежуточной опоры № 2, которая потеряла устойчивость и обрушилась, увлекая за собой два примыкающих к ней пролетных строения (рис. 1).

Мост, общий вид которого до аварии представлен на рис. 2, а, был построен в 1977 г. мостостроительным управлением № 8 (г. Ростов-на-Дону) по проекту, разработанному Тбилиским филиалом ГПИ «Союздорпроект». Мост представлял собой 5-пролетное балочное сооружение разрезной системы общей длиной

169,9 м, выполненное по схеме $5 \times 32,36$ м и рассчитанное под временные нагрузки Н-30 и НК-80. Габарит по ширине составлял $\Gamma-8+2 \times 0,9$ м. Мост имел продольный уклон от левого берега к правому, равный 1,5 %.



Рис. 1. Обрушение конструкций моста. Вид с левого берега

Пролетные строения, перекрывающие пролеты № 1–4, собраны из сборных предварительно напряженных составных по длине железобетонных балок длиной 32,96 м (типовой проект «Союздорпроекта», вып. 122, инв. № 172). В поперечном сечении моста установлено 6 балок на взаимном расстоянии 1,65 м, объединенных между собой с помощью диафрагм.

Пролетное строение № 5, перекрывающее крайний правобережный пролет, представляет собой бездиафрагменную конструкцию, собранную из составных по длине предварительно напряженных железобетонных балок (типовой проект «Союздорпроекта», вып. 149, инв. № 173/1). В поперечном сечении моста установлено 5 балок на взаимном расстоянии 2,0 м. Объединение балок между собой выполнено по плите, с устройством продольных монолитных стыков.

Геологический разрез по оси мостового перехода в пределах участка расположения промежуточных опор характеризуется следующей структурой:

1. Слой крупного галечника с включением валунов до 15 %, с песчаным заполнителем, мощностью от 0,9 м до 2,5 м.
2. Слой крупнозернистого песка с включением гальки до 15 %, мощностью 1,9 м под пролетом №4, с выклиниванием в районе опоры № 5.
3. Слой крупного галечника с включением валунов до 15 % с суглинистым заполнителем, мощностью 0,6 м.
4. Слой майкопской глины сланцеватой темно-серого цвета (выветрелая), мощностью от 3,0 м до 4,0 м.
5. Майкопская глина, сланцеватая темно-серого цвета в коренном залегании.

Береговые опоры № 1 и № 6 – сборные, козлового типа, выполнены применительно к типовому проекту инв. № 443/2. Фундаменты опор были приняты в виде монолитных опускных колодцев высотой 5,6 м с размерами в плане 10,8×5,3 м. Фундаменты погружены в коренные майкопские глины.

Промежуточные опоры № 2, 3, 4 и 5 сборные облегченного типа, выполненные из железобетонных блоков, с двухконсольным ригелем длиной 10,2 м. Фундаменты промежуточных опор были приняты в виде монолитных опускных колодцев высотой 6,6 м (опора № 2) и 7,7 м (опоры № 3, 4 и 5). Размеры колодцев в плане 5,5×4,5 м.

В процессе работы по устройству фундаментов обнаружилось сложности в разработке майкопских глин, что послужило поводом для обращения МСУ-8 в проектную организацию и к заказчику с просьбой разрешить изменить отметку заложения подошвы фундаментов промежуточных опор.

В окончательном варианте, предложенном МСУ-8, согласованном с главным инженером проекта и заказчиком и принятом к исполнению, отметки заложения подошвы фундаментов всех промежуточных опор в майкопские глины были изменены согласно таблице.

Отметки заложения подошвы фундаментов промежуточных опор

Отметки подошвы фундаментов	Номер опоры			
	2	3	4	5
Проектные отметки заложения подошвы фундаментов, м	196,20	195,10	195,10	195,10
Фактические отметки заложения подошвы фундаментов, м	197,87	197,40	198,11	198,20
Разность отметок, м	1,67	2,30	3,01	3,10

Следует обратить внимание на то, что проектная отметка подошвы фундамента опоры № 2, расположенной в русле с максимальной глубиной воды в створе потока, принята на 1,1 м выше по сравнению с другими опорами, находящимися в более благоприятных условиях.

Проектная отметка максимального размыва, полученная расчетами согласно указаниям «Наставления по изысканию и проектированию мостовых переходов» Главтранспроекта (1961 г.) и ВСН 62-69 «Технические указания по расчету местного размыва у опор мостов, струенаправляющих дамб и траверсов» Минстроя СССР, равнялась 197,34 м.

Таким образом, изменение отметок заложения фундаментов промежуточных опор было грубейшей ошибкой, которая в итоге привела к аварии моста. Спрявление русла реки в месте мостового перехода с низовой стороны (рис. 3) привело к увеличению продольного уклона дна, что вызвало повышение скорости течения воды и способствовало более интенсивному процессу размыва дна.

Анализ профиля дна р. Кубань в створе водомерного поста с. Успенское в период с 1970 г. (начало проведения изыскательских работ) до момента аварии в 1997 г. показывает, что после спрямления русла за мостом наблюдается устойчивое понижение минимальной отметки дна в среднем на 0,5 м.

К обстоятельству, которое могло способствовать аварии моста, можно отнести предусмотренное проектом сохранение подхода к разобранному в 1977 г. мосту, располагавшемуся примерно в 150 м выше по течению, в виде дамбы, защищающей правый берег. Это привело к постепенному накоплению наносов грунта, стеснению русла и отжатию основного потока к левому берегу в районе расположения нового мостового перехода (рис. 3).

Надо полагать, что ливневые дожди во второй половине июля вызвали подъем уровня воды в реке с одновременным увеличением скорости потока, что и завершило размыв дна у опоры № 2 до критической отметки, с потерей устойчивости.

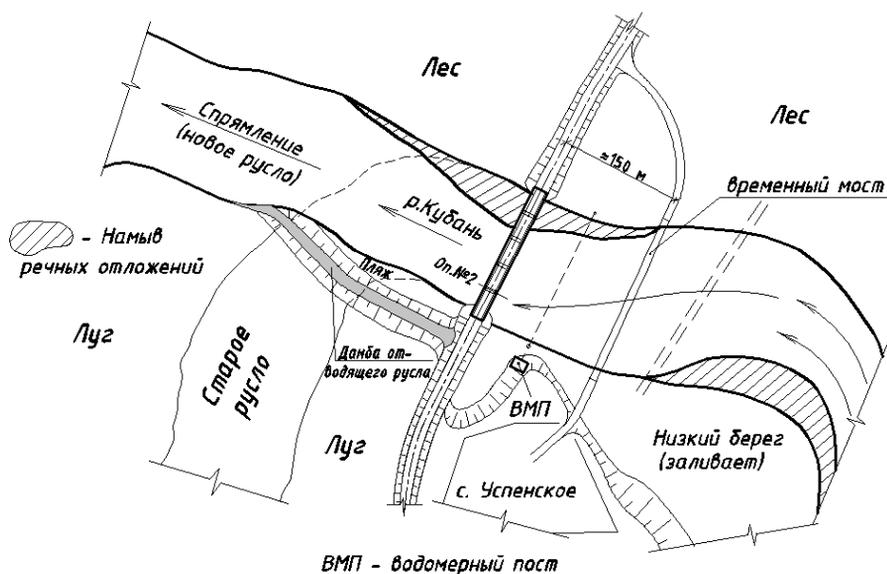


Рис. 3. План русла р. Кубань у моста

Авария моста прервала связь с правобережной территорией р. Кубань, откуда поступало сырье на сахарный завод, расположенный в с. Успенское, поэтому было принято решение срочно построить временный мост, который и был возведен из табельных конструкций совместно воинской частью № 68070 и мостостроительным управлением № 9 (г. Краснодар) с верховой стороны аварийного моста на расстоянии 150 м. В качестве несущих конструкций пролетных строений и опор использовались табельные средства САРМ (средний автомобильный разборный мост) для возведения и восстановления разрушенных мостов на военных автомобильных дорогах.

В 1998 г. по проекту, разработанному ГИПРОДОРНИИ (филиал г. Ростов-на-Дону), был завершен капитальный ремонт постоянного моста с изменением расчетной схемы – 23,4+41,4+32,36×3 м (рис. 2, б). Фотография общего вида моста по фасаду показана на рис. 4.



Рис. 4. Вид моста по фасаду с верховой стороны

Вместо обрушенных пролетных строений № 1 и № 2 были использованы в пролете № 1 унифицированные балки из предварительно напряженного железобетона длиной 24 м по типовому проекту сер. 3.503.1–81 «Союздорпроекта», а в пролете № 2 – типовое металлическое пролетное строение длиной 42,6 м с железобетонной плитой проезжей части. Промежуточная опора № 2 представляет собой 4-столбчатую (в поперечном сечении моста) безростверковую конструкцию из буровых столбов длиной 24 м, погруженных в грунт до отметки 183,35 м. Ригель сохранившейся опоры № 3 был обустроен для опирания металлического пролетного строения, а фундамент был защищен от размыва шпунтовым ограждением, устроенным по периметру опоры, с погружением шпунта до отметки 193,0 м. С учетом возможного подмыва фундамента опоры № 4, он также был защищен шпунтовым ограждением, но только со стороны пролета № 3, т.е. основного русла (рис. 2, б).

Это была вторая грубая ошибка, допущенная при проектировании и основанная на предположении стабильности режима работы водотока, со смещением основного потока к левому берегу, принятом без всестороннего анализа гидрологических процессов русла реки. Последующие годы эксплуатации моста характеризовались смещением русла к пологому правому берегу вследствие русловых процессов с верховой стороны моста и выборки донного грунта ниже по течению.

Интенсивный размыв дна, постепенно смещающийся к правому берегу, вызвал опасность нарушения устойчивости опор № 4 и № 5. С целью исключения наступления аварийного состояния фундаменты опор в 2010 г. были

усилены свайным ростверком на буронабивных сваях диаметром 1,22 м и длиной 15,9 м по проекту, разработанному ОАО «Краснодаравтомост» (рис. 2, в, рис. 5).

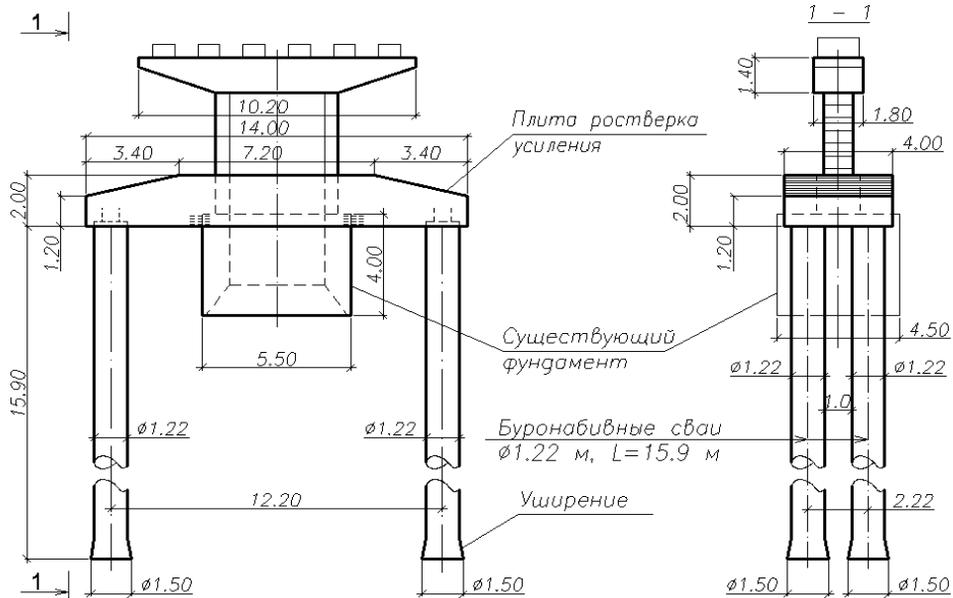


Рис. 5. Конструкция усиления фундаментов опор № 4 и № 5

Наблюдения за состоянием мостового перехода показывают, что процесс смещения русла к правому берегу продолжается с глубоким размывом дна (до 3 м) и с образованием обрыва у уреза воды. Размыв берега за два последних года приблизился к основанию укрепленного конуса насыпи у опоры № 6 на расстояние около 3 м (рис. 6).



Рис. 6. Вид с левой (низовой) стороны от начала моста. Вид усиленной опоры № 5 и береговой опоры № 6. Размыв правого берега у основания конуса опоры № 6

Приведенный в статье пример свидетельствует о том, что принятие ошибочных, необоснованных решений при разработке проектной документации и внесение в нее изменений может привести сооружение в аварийное состояние, требующее больших непредвиденных расходов материальных ресурсов и финансовых средств для восстановления его работоспособности и долговечности. Это не единственный случай, он является характерным для мостов, расположенных на предгорных реках с постоянно меняющимся положением русла.

На отдельных современных мостах отмечаются неравномерные просадки свайных опор вследствие недостаточной изученности геологических условий в месте мостового перехода, что приводит к резкому снижению транспортно-эксплуатационных характеристик сооружений с переходом в предельное состояние. В этом случае в соответствии с требованиями ОДН 218.017–2003 «Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций» предусмотрено ограничение скорости движения и массы грузовых автомобилей (организация движения должна быть пересмотрена вплоть до закрытия движения по мосту или полосе). Для изменения ситуации требуется повышение качества проектной документации и профессиональной подготовке специалистов.

В то же время на V Международной научно-технической конференции «Предотвращение аварий зданий и сооружений», прошедшей в декабре 2010 г. в Москве, отмечалось снижение активности контрольных мероприятий и резкое снижение профессионализма в строительной отрасли, наличие проблем инженерно-технического аудита и экспертизы безопасности инженерных сооружений.

Список литературы

1. ОДН 218.017–2003. Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций / Минтранс России. – М.: Информавтодор, 2004. – 26 с.
2. Технический отчет «Исследование причин аварии и оценка технического состояния сохранившихся конструкций моста через р. Кубань у с. Успенское на подъезде к а/д «Армавир – Николаевское»» / МГУНВУ «ФАКАД», КубГТУ. – Краснодар, 1997. – 49 с.
3. Научно-технический отчет «Техническое (инструментальное) наблюдение титульных мостов (Успенский район)» / КубГТУ. – Краснодар, 2011. – 25 с.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Р.Е. Гейзен

ООО «Научно-исследовательская и проектная лаборатория
транспортных сооружений и мостов», г. Пермь, Россия

Проанализирован ряд негативных последствий проводимого в настоящее время реформирования в области проектирования. Обсуждается предложение по усовершенствованию проектирования искусственных сооружений и проведению экспертизы проектов.

***Ключевые слова:** практика проектирования, негативные последствия реформ, предложения по усовершенствованию*

В предлагаемой статье рассмотрены последствия реформ в области проектирования, начало которых связано с выходом в 2008 г. Постановления Правительства РФ № 87, и предложения по уменьшению их негативного влияния на состояние проектирования, в частности искусственных сооружений на региональных дорогах.

Реформирование отрасли имеет свою предысторию. Напомним о нескольких еще свежих тяжелых травмах, нанесенных отрасли в результате запрета на применение металлических мостов (кроме исключительных случаев, в основном, железнодорожных мостов), практически глобального запрета монолитных бетонных и железобетонных конструкций, чрезмерно широкого применения типовых проектов в ущерб индивидуальному проектированию.

Не развивалась и обветшала техника изготовления металлических мостов. Наряду с определенными преимуществами типового проектирования проявились большие экономические потери. Выделение головных институтов, наделенных правом индивидуального проектирования, крайне негативно повлияло на квалификацию специалистов «неголовных» проектных институтов, в основном региональных, а в итоге породило деградацию в подготовке инженерных кадров.

Чтобы наши последующие предложения не оценивались как призыв к отказу от выполнения требований Постановления № 87, напомним, что в прошлые десятилетия наряду с общегосударственными нормами действовали многочисленные ведомственные (отраслевые) и региональные нормы. В связи с ликвидацией большинства отраслевых научно-исследовательских институ-

тов эти нормативные документы практически исчезли из списка действующих, или органы экспертизы не принимают их в качестве таковых. В то же время можно упомянуть в качестве исключений многочисленные региональные нормативные документы, разработанные в последние десятилетия под эгидой Правительства г. Москвы. Считаем полезным рассмотреть предложения по совершенствованию проектирования в области транспортного строительства, а возможно, и в других областях строительства.

О содержании и составе проектов. Собрана информация о содержании и составе проектной документации на примерах ряда мостов Свердловской области (через реки Туру, Ницу, Сиву и др.), разработанной в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ, и рабочих проектов (РП), выполненных по ранее действовавшим требованиям. Ее анализ показывает следующее:

- отношение объемов документации стадий П и Р к объему РП составляет не менее 3:1; стоимость – не менее (1,5...2):1; сроки подготовки документации – 3:1 и более (последнее связано с тем, что подготовка разделов по охране окружающей среды и оценке урона рыбным запасам выполняется по готовности основных разделов проекта, причем последовательно, так что выпуск проектно-сметной документации затягивается на месяцы;

- сметная стоимость расчета урона рыбным запасам в десятки раз превосходит требуемые компенсационные затраты;

- затраты за выброс отравляющих веществ в атмосферу при работе строительной техники (от нескольких рублей до нескольких сотен рублей) в сотни раз меньше стоимости разработки соответствующих разделов проектов;

- некоторые разделы и содержание отдельных глав в ряде разделов представляют собой прямую компиляцию нормативных документов.

В целом «макулатурная» часть проектной документации остается невостребованной как заказчиком проектов, так и подрядчиками. Единственными читателями (не пользователями) ее являются специалисты-эксперты по соответствующим разделам.

Предлагается, как минимум для объектов на региональных дорогах, разработать минимальный по объему (необходимый и достаточный) состав проектов. При этом следует сократить число обязательных разделов, которые, как правило, выделяются в отдельные тома; допустить перекрестные ссылки на материалы изысканий и проектные решения в различных разделах проекта, не прибегая к повторам (против чего, как правило, возражает госэкспертиза); разрешить ссылки на разделы нормативных документов вместо их изложения.

Считаем необходимым резко сократить требования к разделу по охране окружающей среды в части расчетов вредных выбросов и стоимости компенсационных затрат; вполне достаточно ограничиться расчетами объемов материалов и конструкций от разборки сооружений и отходов при производстве

работ с оценкой затрат на их утилизацию, а также разработкой конструктивных и организационных мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды.

Что касается оценки урона рыбному хозяйству, то было бы значительно дешевле его учитывать по априорным оценкам компенсационных затрат на основе условных нормативов. Такие нормативы могут быть разработаны специализированными организациями на базе ранее выполненных работ.

Следовало бы заменить общую пояснительную записку (раздел 1) перечнем исходно-разрешительных материалов и технических условий, освободив проектировщиков от ненужной беллетристики.

Многочисленные сокращения за счет избавления от повторов и переписывания выборок из различных норм без ущерба для качества проектов достигаются в разделах по организации строительства и организации разборки (сноса) сооружений. Выделение этих разделов в отдельные тома уместно только в случаях проектирования искусственных сооружений, для возведения которых требуются специальные вспомогательные сооружения и устройства. В случаях проектирования небольших сооружений вся необходимая информация, в основном по стройплощадке и технологическим схемам возведения конструкций, может быть изложена в составе общего рабочего проекта.

Разработка раздела по землеотведению в тех случаях, когда реконструкция или капитальный ремонт не нуждаются в новом временном или постоянном отводе земли, также представляется лишней.

Экспертиза проектов. Идея концентрации в органах госэкспертизы крупных специалистов по всем отраслям строительства была изначально нереализуемой на практике. За передачей практически всей проектно-сметной документации в органы экспертизы последовала ликвидация отделов экспертизы в службах большинства крупных региональных заказчиков (дорожных агентств, управлениях автодорогами). В итоге органы экспертизы превратились в региональные технические отделы по проверке и доводке проектных решений. Это развращает недобросовестных и малокомпетентных проектировщиков, которые без внутреннего контроля сдают работы в органы экспертизы.

«Сброс» большого объема проектной документации в органы экспертизы приводит к «пробкам» в продвижении проектов. Срок экспертизы проектов на практике нередко существенно превосходит нормативный (три месяца). В периоды таких «заторов» органы экспертизы прибегают к различным поводам для отказа в приеме документации по «формальным признакам».

При отсутствии или нехватке штатных экспертов привлекаются специалисты из проектных организаций. Ухудшение качества проектирования и деградация в области подготовки специалистов побуждают привлеченных специалистов отказываться от экспертизы проектов, чтобы не обучать потенциальных конкурентов. Проявляется еще одна негативная сторона практики

привлечения к экспертизе работников проектных организаций: при существующей незащищенности авторских прав создаются условия для кражи идей и проектных решений.

В качестве возможной меры по улучшению ситуации с экспертизой проектов предлагается разграничить процедуру ее проведения. Экспертизу технических решений следовало бы вернуть в крупные казенные учреждения, являющиеся заказчиками проектов, такие как управления автомобильных дорог и др.. В подобных учреждениях легче сконцентрировать узких специалистов высокой квалификации, не связанных с текущей проектной работой. Что же касается экспертизы сметно-финансовой документации, то ее, как того требуют органы контроля за расходованием бюджетных средств, следует оставить за независимой госэкспертизой.

Настоящие предложения не претендуют на последнее слово в затронутых вопросах. Следует развернуть широкую дискуссию, которая могла бы убедить инициаторов реформ в очередном большом вреде, нанесенном отрасли.

МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ В ПРОЦЕССЕ СООРУЖЕНИЯ

А.Н. Яшнов, П.Ю. Кузьменков

Сибирский государственный университет
путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены вопросы организации мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций в процессе строительства мостов. Проанализированы недостатки реализованных систем мониторинга. Предложено комплексное решение проблемы с учетом всех этапов жизненного цикла конструкции.

Ключевые слова: строительство мостов, мониторинг, риск аварий, напряженно-деформированное состояние конструкций.

Проблемам мониторинга состояния строительных конструкций в последнее время уделяется много внимания в разных странах, в том числе и в России. Учитывая, что понятие «мониторинг» стало очень распространенным, при этом по-разному трактуемым разными авторами, дадим следующее определение. Мониторинг технического состояния – это специально организованное систематическое наблюдение за техническим состоянием с целью его контроля, оценки и прогноза изменений. В результате мониторинга формируется модель управления техническим состоянием, обеспечивающая снижение риска возникновения аварийных ситуаций. Мониторинг должен присутствовать на всех этапах жизненного цикла конструкции, начиная с проекта. Аппаратные системы мониторинга следует разворачивать вместе с началом строительства, устанавливать системы мониторинга в процессе эксплуатации уже поздно – будет утрачена возможность отследить динамику изменения контролируемых параметров от их начального значения. Этап строительства – это базовый этап формирования качественных характеристик сооружения. Ошибки, допущенные в этот период, могут стать причиной изменения параметров конструкции и развития неисправностей в процессе эксплуатации.

Как справедливо отмечено в работе [1], к окончанию строительства объекта за счет ошибок людей фактическая вероятность аварии по сравнению с теоретической (проектной) возрастает в разы. Допущенные на любом этапе жизненного цикла сооружения ошибки в сочетании с появлением внешнего, сверхпроектного воздействия с высокой долей вероятности могут привести к аварийной ситуации.

Если принять за величину риска аварии r отношение вероятности аварии с учетом риска ошибок людей $P_{\text{факт}}$, совершаемых на различных этапах жизненного цикла конструкции, к теоретической вероятности аварии $P_{\text{теор}}$:

$$r = P_{\text{факт}} / P_{\text{теор}},$$

то, используя байесовский подход, можно доказать, что риск – это величина обратно пропорциональная вероятности того, что сооружение построено без ошибок [1]:

$$r = 1/v.$$

Вероятность v появления каких-либо ошибок в процессе создания сооружения изменяется от 0 до 1, тогда математическое ожидание этой случайной величины равно 0,5, соответственно, среднее значение риска аварии равно 2. При этом вероятности появления значений риска аварии $r \leq 1$ равны нулю. Из соображений здравого смысла понятно, что наиболее вероятное значение (мода) случайной величины r при проектировании и строительстве сооружения должно лежать в интервале от 1 до 2, так как существует естественное стремление человека обезопасить себя от аварий. Но в процессе эксплуатации в результате нарушений правил эксплуатации сооружения и его износа закон распределения риска изменяется, и мода случайной величины r смещается вправо по числовой шкале. При этом существенное влияние на увеличение риска оказывает увеличение информационной энтропии, т.е. неопределенности технического состояния объекта.

Мониторинг по своей сути должен уменьшить вероятность появления ошибок и информационную энтропию, а в результате – снизить риски до приемлемых значений.

Примером современного подхода к организации мониторинга может служить сооружение уникального моста на остров Русский в г. Владивостоке. По нескольким параметрам мост является рекордным в мировом масштабе: во-первых, протяженность центрального вантового пролета – 1104 м; во-вторых, рекордная длина вант – 580,5 м; в-третьих, высота пилона – 312 м от уровня ростверка. Проектировщики (ООО «НПО «Мостовик»), учитывая высочайший уровень значимости этого уникального мостового перехода, уже на стадии проекта заложили необходимость создания комплексной системы мониторинга [2]. Проект системы мониторинга моста на о. Русский разрабатывается инженерами ООО «Т.К.М.» [3] параллельно с проектированием самого моста. Работы по вводу в действие системы мониторинга ведет ЗАО «Институт «ИМИДИС» [4] одновременно со строительством моста. Заметим, что специалисты НИЛ «Мосты» СГУПС также принимали участие в работах по мониторингу напряженно-деформированного состояния, обеспечив регулирование усилий во временных распорках пилонов в соответствии с проектом.

Анализ имеющихся в открытой печати публикаций по организации мониторинга моста на о. Русский на настоящий момент позволяет сделать некоторые выводы. Сжатые сроки разработки проекта мониторинга не позволили выделить наиболее информативные параметры для контроля напряженно-деформированного состояния конструкций, поэтому количество узлов мониторинга, на наш взгляд, было завышено, в результате чего может быть достигнут обратный от желаемого эффект – информационная энтропия, а значит, неопределенность технического состояния увеличится. На стадии эксплуатации планируется автоматическая работа системы мониторинга, но было бы целесообразно предусмотреть возможность дублирования контроля основных параметров в ручном режиме (например, даже в такой высокотехнологичной отрасли, как космонавтика, высок процент действий, когда автоматическое управление требует ручной корректировки). Организация мониторинга на стадии строительства не дала желаемых результатов – погрешности измерений нередко превышали значения измеряемых величин, отдельные точки измерения были расположены в местах концентраторов напряжений и резкого изменения измеряемых величин, что существенно снижает качество результатов.

В настоящее время в г. Новосибирске ведется строительство уникального мостового перехода через р. Обь с центральным арочным пролетом длиной 380 м (пролет 5–6), запроектированном ЗАО «Институт «Стройпроект» (визуализация объекта представлена на рис. 1). НИЛ «Мосты» СГУПС ведет работы по мониторингу напряженно-деформированного состояния элементов конструкции арочного пролетного строения при его надвижке. Учитывая опыт работ различных организаций по мониторингу напряженно-деформированного состояния конструкций моста на о. Русский, а также имеющиеся собственные наработки, например [5], реализуется поэтапное развертывание системы контроля напряженно-деформированного состояния.



Рис. 1. Общий вид будущего моста через р. Обь в г. Новосибирске

При надвижке затяжки арочного пролетного строения (рис. 2) по согласованию с проектировщиками осуществляется контроль напряженно-деформированного состояния в четырех поперечных сечениях по длине пролетного строения, в которых возникают наибольшие напряжения в процессе строительства. В поперечном сечении контрольные базы оборудуются по нижнему поясу затяжек и продольных балок (рис. 3). Кроме того, по мере

сборки конструкций контрольными базами оборудуются дополнительные сечения по длине затяжки для обеспечения возможности мониторинга в процессе сооружения арки и натяжения вант и при последующей эксплуатации.



Рис. 2. Надвижка затяжки арочного пролетного строения моста через р. Обь в г. Новосибирске (по состоянию на 01.03.2012 г.)

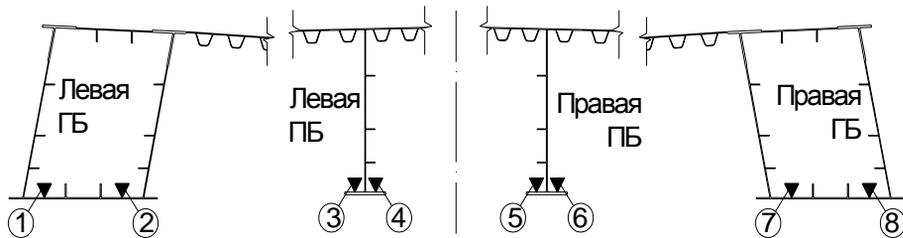


Рис. 3. Схема расположения деформометров и тензометров в поперечном сечении пролетного строения: ГБ – главная балка или затяжка; ПБ – продольная балка; 1–8 – нумерация приборов в поперечном сечении

Методика контроля напряженно-деформированного состояния и применяемое оборудование подробно описаны в работе [5]. Кроме того, для контроля пространственного положения элементов моста применен электронный тахеометр Leica TCR802 Power (контролируемые створы показаны на рис. 4).

В качестве контролируемых параметров приняты напряжения в нижнем поясе главных и продольных балках в поперечных сечениях в точках 1–8 (см. рис. 3) на расстоянии 27,6, 39,6, 54,6 и 66,6 м от торца пролетного строения, а также прогибы носовой части аванбека и перемещения временных опор (см. рис. 4). Ожидаемые значения контролируемых параметров определены конечно-элементным расчетом. Для этого в программном комплексе MIDAS/Civil была составлена конечно-элементная модель (рис. 5) и вычислены значения контролируемых параметров на разных стадиях надвижки (с шагом 3 м).

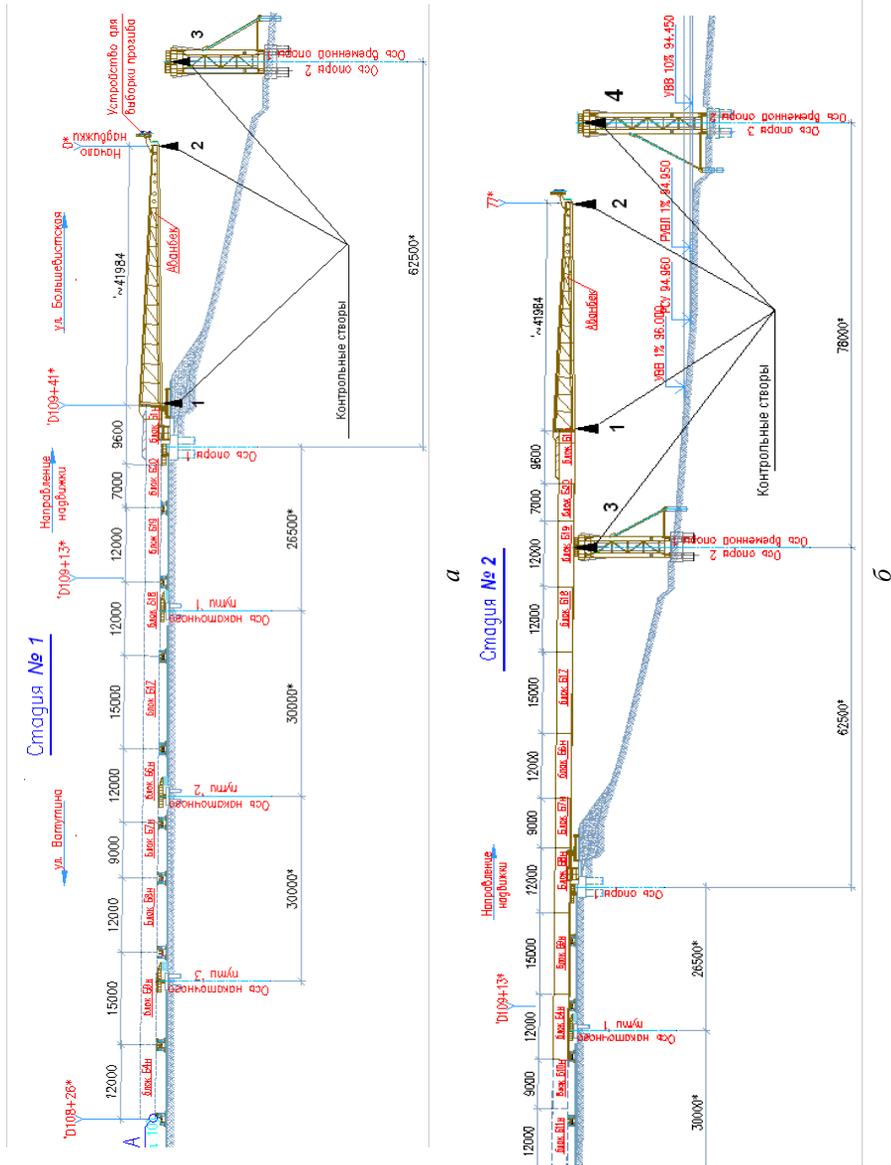


Рис. 4. Первый этап надвижки: а – исходное положение конструкций; б – положение по окончании первого этапа

Соответствие расчетной модели конструкции ее фактической работе было проверено на начальных (1 и 2 на рис. 5) стадиях продвижки. Как показал анализ полученных результатов, разработанная модель хорошо отражает фактическое напряженное состояние конструкций – и прогибы и напряжения соответствуют ожидаемым.

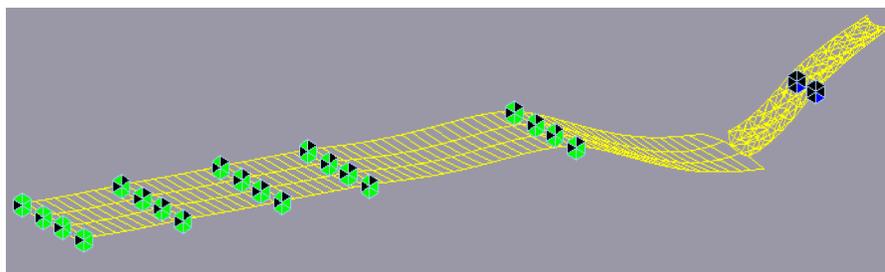


Рис. 5. Расчетная схема (на этапе продвижки по стадиям 1–2)

Таким образом, осуществление запланированного мониторинга на последующих этапах работ обеспечит возможность объективной оценки фактического напряженно-деформированного состояния конструкций и позволит не допустить аварийных ситуаций по причине перенапряжения основных несущих элементов.

Список литературы

1. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006.
2. Сырков А.В., Курепин В.М. Обоснование системы эксплуатации и мониторинга моста на остров Русский // Дороги. Инновации в строительстве. – 2010. – № 6. – С. 81–85.
3. Крутиков О.В., Гершуни И.Ш., Шамров М.И. Система мониторинга состояния конструкций моста на остров Русский // Дороги. Инновации в строительстве. – 2011. – № 11. – С. 62–64.
4. Васильев А.И. Мониторинг моста на стадиях строительства и эксплуатации // Дороги. Инновации в строительстве. – 2011. – № 10. – С. 74–76.
5. Мурованный Ю.Н., Яшнов А.Н. Технологии мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций при монтаже // Состояние и перспективы транспорта. Обеспечение безопасности дорожного движения. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – С. 65–72.

КОММУНАЛЬНЫЙ КАМСКИЙ МОСТ – СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

В.Г. Голенковская, Н.А. Богоявленский

Предложено начать проектирование и строительство нового моста через р. Каму, который будет соответствовать современным требованиям, обеспечивать сообщение между берегами, способствовать развитию системы общественного и личного транспорта.

***Ключевые слова:** коммунальный мост, створ моста, сообщение между берегами, городской центр, транспортные развязки, мастер-план.*

Пермь – один из крупнейших транспортных узлов России. Город занимает особо выгодное географическое положение, так как находится в центре страны на пересечении железнодорожного пути из Европы в Азию (Транссибирская магистраль) с водным путем по направлению к пяти морям.

Река Кама выполняет роль градообразующей оси: город протянулся вдоль нее на 70 км и на 40 км вглубь суши. Городской центр Перми расположен на левом берегу Камы. Сообщение между берегами осуществляется по трем мостам – Коммунальному, Красавинскому и мосту КамГЭС:

- Коммунальный мост соединяет центр города с правобережьем;
- Красавинский автомобильный мост, расположенный за городским центром, обслуживает автомобильное движение из пригородов к городу;
- Мост КамГЭС проходит по плотине и обеспечивает передвижение из пригородов к городу.

Городской центр Перми ежедневно генерирует свыше 400 000 из миллиона поездок по всему городу. Большая часть транспортных средств, пересекающих реку по Коммунальному мосту, направляется в городской центр, и лишь небольшой процент (менее 5 % поездок, достигающих центра) следует дальше.

Проведенные недавно структурные исследования свидетельствуют, что Коммунальный мост можно будет эксплуатировать еще немногим более 10 лет, прежде чем ему потребуются основательная реконструкция, т.е. в связи со строительными работами его придется закрыть на несколько лет.

Разница между пропускной способностью моста и прилегающих к нему улиц приводит к частым пробкам в точках соединения моста с улично-дорожной сетью. Несмотря на то что пропускная способность моста представляется достаточной, может понадобиться еще один мост недалеко от городского центра, для того чтобы снизить загруженность городской улично-дорожной сети в зоне, примыкающей к мосту.

Проблему местоположения моста следует решать с учетом ряда критериев. Среди них можно назвать геологические, топографические, градостроительные, социальные, проектные, политические, а также транспортные критерии. Одним из важных ограничений при выборе места является требование создать эффективную связь с городской улично-дорожной сетью с соответствующей пропускной способностью.

Главную роль в решении вопроса о местоположении нового моста будет играть степень воздействия его возведения на окружающую среду и на существующий ландшафт. Следует также учесть влияние таких факторов, как объем начальных инвестиций, общая стоимость проекта и сложность строительства участков, связывающих улично-дорожную сеть с новым мостом.

При создании проекта мастер-плана города Перми рассматривалось пять вариантов местоположения нового моста. Среди них было отобрано несколько, находящихся к востоку и к западу от Коммунального моста, а также была рассмотрена возможность замены существующего моста. В данном случае основными задачами, которые должен решить новый мост, являются создание альтернативного доступа к городскому центру, а также прокладка маршрута в обход городского центра.

Ниже перечислены возможные варианты расположения нового моста, требующие более тщательного изучения:

- недалеко от железнодорожного моста, к западу от городского центра;
- в долине р. Данилихи, на западной границе городского центра;
- недалеко от Коммунального моста – в пределах городского центра;
- в районе цирка, к востоку от городского центра;
- в долине Мотовилихи, к востоку от городского центра;
- в верхнем течении Мотовилихи, как в предыдущем решении, но севернее.

Изучив и рассмотрев предложенные варианты расположения нового моста, можно сделать один из выводов, что для жителей г. Перми, пересекающих Коммунальный мост в направлении городского центра, самым лучшим вариантом является замена существующего моста.

Преимущества:

1. Эта связь обеспечивает легкий, быстрый, удобный доступ к городскому центру;
2. Мост легко вписывается в окружающий ландшафт;
3. Существует возможность строительства дополнительных развязок:
 - многоуровневый мост;
 - совмещение нескольких видов транспорта (железнодорожный и автомобильный);
 - прокладка подземного тоннеля начиная с перекрестка ул. Попова и Петропавловской с выходом на мост.
4. Есть необходимое пространство для строительства развязок.
5. Большинство жителей города выбирают маршрут в сторону городского центра и обратно по причине удобного въезда в центр и доступа к отдаленным районам города.

6. Улицы Попова, Ленина и Петропавловская – это крупные транспортные магистрали в городском центре, которые пропускают значительное количество автотранспорта в часы пик в обоих направлениях.

7. Большое пространство для строительства развязок по улице Спешилова.

8. Возможно выделить приоритетные полосы, которые будут использоваться только средствами общественного транспорта.

Недостатки:

1. Постройка временного моста с ограниченной пропускной способностью.

2. Большой срок нового строительства.

3. Строительство нового моста может потребовать реконструкции улиц Попова и Спешилова.

4. Поиски новых маршрутов в городской центр на период строительства.

Окончательный вывод о фактическом предназначении существующего Коммунального моста, а также выборе створа для строительства нового искусственного комплекса: мостовой переход, развязки – можно будет сделать после точной и достоверной оценки его технического состояния и прогноза о сроке службе сооружения. В 2012 г. данные работы будут проводиться администрацией г. Перми.

По итогам выполнения диагностических мероприятий необходимо сформировать план дальнейших действий по отношению к Коммунальному мосту для безопасного и комфортного проезда автотранспорта, а также вернуться к рассмотрению вариантов транспортного сообщения, наиболее выгодных, безопасных и комфортных для жителей нашего края через реку Кама в г. Перми на ближайшие 30 лет.

При рассмотрении вариантов необходимо учесть, что строительство нового моста взамен настоящего отражает основные принципы мастер-плана. Новый мост должен улучшить связь между берегами Камы и способствовать развитию первоклассной системы общественного транспорта, служить средством для повышения удобства поездок частных автомобилей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОСТОСТРОЕНИИ

А.Н. Яшнов, А.Н. Иванов, А.П. Суляев, А.В. Диль

Сибирский государственный университет
путей сообщения, г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены вопросы применения современных композиционных материалов в мостостроении. Выделены три основных направления применения композиционных материалов. По каждому направлению изложены актуальные проблемы, выявлены недостатки существующих конструктивных решений и намечены пути их совершенствования с использованием композиционных материалов.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, струнный транспорт, усиление пролетных строений.

Строительные материалы известны человеку с момента осознанного обустройства и изменения окружающего мира. За это долгое время развития человечества удалось открыть множество различных видов строительных материалов. Одними из первых оказались древесина, окружающая нас повсюду, и различные композиции подручных материалов. Как бы это странно ни звучало, но композиционные материалы зародились не в настоящее время, человек использовал их еще в древние времена. Так, даже самые первые кирпичи и гончарные изделия, появившиеся за 5000 лет до н.э., содержали измельченные камни или армирующую солому. С началом промышленной революции появились новые строительные материалы (металл и бетон). В конце XIX – начале XX в. широкое распространение получил такой композиционный материал, как железобетон. Развитие науки в XX в. позволило не только усовершенствовать уже открытые композиционные материалы, но и создать новые, контролируя их состав и свойства на микро-, а в настоящее время – уже и на наноуровне.

Созданные в XX в. для нужд аэрокосмической техники новые полимерные композиционные материалы (ПКМ) оказались весьма конкурентоспособными и в строительстве за счет их высокой коррозионной стойкости, удельной прочности и жесткости [1]. Однако их широкое применение все еще сдерживается отсутствием конструктивных решений и нормативных документов. В научно-исследовательской лаборатории «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (НИЛ «Мосты» СГУПС) в послед-

ние годы ведутся теоретические и экспериментальные исследования современных композиционных материалов. Можно выделить три основных направления исследований:

- 1) применение композитов в качестве материала усиления конструкций;
- 2) в качестве самостоятельного конструкционного материала или в гибридных конструкциях;
- 3) в качестве основных несущих элементов в струнных транспортных системах.

Усиление конструкций. Композиционные материалы, предназначенные для усиления конструкций, могут быть выполнены в виде холстов, ламелей и стержней. Достоинствами холстов принято считать малую толщину наклеиваемого слоя, возможность наложения однонаправленных слоев друг на друга в различных пространственных комбинациях. К достоинствам ламелей относятся их водонепроницаемость, более простая технология постановки на усиливаемый элемент и возможность преднапряжения. Основными достоинствами стержней – возможность внутреннего армирования конструкции, обеспечение лучшего сцепления их с бетоном за счет всесторонней адгезии, а также возможность преднапряжения стержней.

Большой интерес представляет усиление железобетонных конструкций, работающих на изгиб, углеволокнами холстами, выполненными в виде U-образной обоймы. Предпочтение отдано углеволокну ввиду широкого диапазона значений прочности и модуля упругости этого типа волокон и небольшого коэффициента температурного расширения. Весьма важно учитывать разницу температурных коэффициентов расширения разнородных материалов, так как в случае усиления мостов, расположенных в климатической зоне с низкими температурами, существует риск раннего отслоения материала усиления из-за большой разницы между температурными деформациями холста и железобетона. Чтобы учитывать конкретные климатические условия строительной зоны, следует кроме выбора подходящего волокна назначать соответствующую смолу и величину объемного содержания волокна.

В НИЛ «Мосты» СГУПСа были испытаны группы железобетонных образцов прямоугольного сечения как не усиленных, так и усиленных углеволокнистым холстом, нанесенным на нижнюю грань балки. Несущая способность усиленных образцов увеличилась в среднем в полтора раза, при этом часть образцов (около 10 %) не доводилась до разрушения по причине преждевременного отслоения холста из-за плохого соблюдения технологии его приклеивания, в том числе по причине нанесения чрезмерного количества грунтовки на образцы, либо из-за случайных погрешностей различной природы. Также недостатком такого усиления, в случае если не происходило его преждевременное отслоение, оказался внезапный характер разрушения материала усиления в виде разрыва волокна по всей площади холста одновременно при достижении образцом предельного состояния. Такой характер разрушения очень

опасен для постоянно эксплуатируемых мостовых сооружений, так как в случае достижения углекислотом и арматурой предельного состояния произойдет резкое обрушение моста и число жертв будет больше, нежели если бы в подобной аварийной ситуации материал усиления выходил из строя постепенно, позволяя людям покинуть сооружение.

Часть экспериментальных образцов была усилена холстами в виде U-образной обоймы, охватывающей балки не только по нижней грани, но и боковым граням по всей длине образца. Очевидными преимуществами такого варианта усиления перед другими вариантами оказались:

- работа холста как в нормальном сечении при восприятии момента, так и в наклонных сечениях при восприятии перерезывающих сил и моментов;
- незначительная доля образцов, в которых происходило отслоение материала усиления до наступления его разрыва;
- повышение несущей способности образцов более чем в два раза;
- в определенной степени постепенный характер разрушения холста усиления, скорость протекания которого зависит от высоты наклейки углеволокна на боковые грани балк.

Основной проблемой при проектировании усиления мостовых конструкций с использованием композиционных материалов является отсутствие методики расчета, учитывающей все особенности их эксплуатации на дорогах Российской Федерации, будь то конструктивные особенности отечественных мостов разных лет проектировки, климатические особенности района эксплуатации либо особенности действующих нормативов.

В настоящее время проекты усиления железобетонных мостовых конструкций составляются на основании зарубежных методик расчета и российских регламентов и руководств отдельных строительных предприятий. В основу большинства таких методик заложен метод предельных состояний с системой дополнительных коэффициентов, учитывающих особенности работы композиционных материалов в составе железобетонных конструкций в заданных условиях. Также распространен метод расчета прочности железобетонных конструкций усиленных композиционным материалом по деформационной модели для нормальных к продольной оси элемента сечений.

В рамках разработки инженерной методики для расчета усиления железобетонных конструкций композиционными материалами решаются следующие задачи:

- определение коэффициентов надежности по материалам различных производителей, составление соответствующей классификации материалов;
- принятие необходимых расчетных допущений, которые будут справедливы в разрабатываемой методике;
- определение коэффициентов условий работы, учитывающих условия эксплуатации мостовых сооружений и степень агрессивности внешней среды;
- определение коэффициентов, которые будут ограничивать вероятность отслаивания материала усиления от балки;

– определение коэффициентов запаса по сцеплению материала усиления с боковыми гранями элемента при принятии схемы усиления в виде U-образной обоймы;

– учет работы клеевого слоя, объединяющего железобетонную балку с холстом усиления и холстов усиления между собой при многослойном усилении;

– уточнение влияния принятой технологии усиления мостовых железобетонных конструкций на конечный результат.

Материал несущих конструкций. В качестве самостоятельного конструкционного материала наиболее широко в практике мирового мостостроения применяются стеклопластики, за счет хорошего соотношения прочности и стоимости этого материала. Поэтому в мировом и отечественном мостостроении применение ПКМ в качестве элементов основных несущих конструкций началось именно со стеклопластиков [1, 2].

С момента строительства первого моста с использованием ПКМ было испробовано много различных конструктивных решений, характерных как для металлических конструкций, так и для деревянных. Ввиду особенностей структуры однонаправленно армированных стеклопластиков, наиболее часто используемых в строительстве, ближе оказались конструктивные формы, характерные для деревянных конструкций.

В НИЛ «Мосты» СГУПСа летом 2011 г. было собрано и испытано пролетное строение из стеклопластиковых элементов с уложенной поверху железобетонной плитой, запроектированное под пешеходную нагрузку (рис. 1). Полная длина пролетного строения составляет 9,075 м, ширина – 1,5 м, высота – 1,12 м. Расстояние между осями главных ферм 0,85 м, а толщина плиты 0,1 м. Проект конструкции был разработан специалистами ООО «Сибирские проекты» на основании патента на полезную модель «Пролетное строение моста с многораскосными фермами из композитных материалов» (автор Б.В. Пыринов, патентообладатель ООО «Опора», приоритет от 29.04.11 г.).



Рис. 1. Опытное пролетное строение

Проведенные испытания показали, что конструкция работает практически в полном соответствии с расчетной моделью, не считая отдельных особенностей напряженно-деформированного состояния приопорных зон. При испытаниях был выявлен ряд проблем, связанных с особенностями принятого материала (однонаправлено армированный ПКМ) и особенностями конструкции (узловые соединения на обычных болтах). Это, во-первых, малая несущая способность соединений в сравнении с несущей способностью самих элементов, что не позволяет запроектировать оптимальную конструкцию с точки зрения расхода и использования материала; во-вторых, податливость соединений на обычных болтах. В результате после загрузки полной статической нагрузкой изменились динамические параметры конструкции, в частности уменьшился логарифмический декремент затухания колебаний. Кроме того, после снятия нагрузки были отмечены остаточные прогибы. Таким образом, было установлено что местом, требующим более детального изучения и проработки, является узловое соединение элементов. Использование стандартной схемы соединения металлических элементов обычными болтами для стеклопластиковых элементов оказалось крайне неудачным решением, предпочтительнее применять различные клеевые смеси или высокопрочные болты.

Немаловажной особенностью ПКМ является их склонность к ползучести под действием длительной статической нагрузки. Исследования, проведенные в НПП «АпАТЭК» показывают, что у конструкционных стеклопластиков ползучесть отсутствует, если напряжения в элементе не превышают 50 % от временного сопротивления [3]. Для предлагаемых конструкций пешеходных мостов постоянная нагрузка от собственного веса несущих элементов, мостового полотна и различных обустройств существенно меньше временной нагрузки от пешеходов. Однако постоянные напряжения в стеклопластиковых элементах за счет обжатия стыков при использовании в соединениях высокопрочных болтов будут близки к расчетному сопротивлению материала, поэтому возникает необходимость учета ползучести.

С целью изучения ползучести конструкционного слоистого пултрузионного стеклопластика СППС-240 под действием длительной статической нагрузки в НИЛ «Мосты» в настоящее время ведутся испытания образцов стеклопластика на растяжение и исследование соединений стеклопластиковых элементов на высокопрочных болтах на предмет изменения усилий натяжения болтов с течением времени.

В целом проводимые исследования уже сейчас позволяют сделать вывод о перспективности применения ПКМ в качестве конструкционного материала, особенно в гибридных конструкциях, в которых совместное применение строительных материалов с разными свойствами позволяет максимально учитывать их достоинства и сводить к минимуму недостатки.

Струнные транспортные системы. В последние годы во всех современных мегаполисах уделяется много внимания перспективным видам городского транспортного движения. Одним из направлений в будущем может стать струнный транспорт, идея создания которого принадлежит А.Э. Юниц-

кому [4]. По мнению автора, главным преимуществом струнной транспортной системы перед традиционными видами транспорта является новизна применяемых технологий и технических решений, что приводит к снижению материалоемкости при строительстве, повышению долговечности путевой структуры и снижению энергопотребления при эксплуатации. Струнная транспортная система должна обеспечить движение транспортных средств с высокими скоростями (до 300 и более км/ч). При движении с такой скоростью необходимо, чтобы профиль пути был идеально ровным, без переломов, что вызывает определенные трудности.

Основным элементом струнного пролетного строения, обеспечивающим требуемую ровность, является струнный рельс (рис. 2), состоящий из головки рельса, корпуса рельса, силового органа и заполнителя. Несущим элементом такой конструкции является гибкий криволинейный «силовой орган» (по терминологии А.Э. Юницкого) – струна, предварительно натянутая до усилий, составляющих 80 % от предела прочности материала.

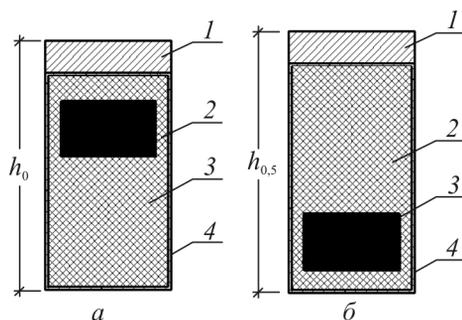


Рис. 2. Конструкция струнного рельса: *a* – в сечении над опиранием; *б* – в сечении в середине пролета; 1 – головка рельса; 2 – «силовой орган» (пучок высокопрочной проволоки); 3 – наполнитель; 4 – корпус рельса

Заметим, что с точки зрения строительной механики струна представляет собой гибкую нить, работающую только на растяжение ввиду своей малой изгибной жесткости. Для обеспечения абсолютно ровной поверхности катания потребуется бесконечно большое усилие натяжения струны. Поэтому практический интерес представляет ограничение провисания нити до величины не более 10–15 см. Элементарные расчеты показывают, что обеспечить такой профиль натяжением стальной высокопрочной проволоки не представляется возможным, особенно с учетом возникновения существенных температурных напряжений при перепадах температур, которые для условий Сибири приближаются к 100 °С. Единственным возможным решением может быть применение в качестве струны ПКМ, обладающих большей прочностью при меньшем удельном весе, а также имеющих меньший, чем сталь, коэффициент температурного расширения. Сравнительные характеристики стальной высокопрочной проволоки и углеволокна, подтверждающие вышесказанное, приведены в таблице.

Характеристики углеволокна и высокопрочной проволоки

Материал	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности, МПа	Коэффициент линейного температурного расширения, 1/град	Удельный вес, кгс/м ³
Углеволокно	390–760	2400–3400	$-1,45 \cdot 10^{-6}$	1850–1900
Высокопрочная проволока	177	1100–1490	$12,0 \cdot 10^{-6}$	7850

При применении высокопрочного углеволокна окажется возможным и целесообразным встраивание несущей нити в коробчатый рельс высотой не более 30 см. Технология сооружения будет предусматривать натяжение несущей нити, а затем монтаж на нее коробчатого рельса с дополнительным строительным подъемом по верхней поверхности за счет изменения высоты рельса (см. рис. 2, $h_0 < h_{0,5}$).

Для оценки возможности реализации струнных пролетных строений была просчитана рельсо-струнная путевая структура протяженностью 1 км в привязке к условиям г. Новосибирска. Были проведены аналитический и численный расчеты, построена математическая модель с пролетами разной величины, которые подтвердили эффективность применения струнных систем на основе композиционных материалов.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о возможности широкого применения композиционных материалов в мостостроении. В ближайшее время следует ожидать увеличения количества проектируемых и сооружаемых конструкций с применением композиционных материалов. Для обеспечения надежности таких конструкций необходимо выполнить большой объем научных исследований.

Список литературы

1. Chakrapan Tuakta. The Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Structures, M. Eng. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2005. – 50 с.
2. Иванов А.Н. Применение полимерных композитных материалов в конструкциях пролетных строений пешеходных мостов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Т. 2. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – С. 48–53.
3. Казак А.Е., Панков А.В. Оценка возможности создания железнодорожного моста из композитных пультрузионных профилей // Прикладные перспективные технологии – АпАТЭК. – 2004. – Вып. 3. – С. 36–41.
4. Юницкий А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в космосе. – Гомель, 1995. – 337 с.

ПРИМЕНЕНИЕ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ МОСТОСТРОЕНИИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРОВ

В.С. Зиновьев

Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина, Россия

Освещены вопросы использования нанокompозитных полимерных материалов в строительной отрасли в сфере мостостроения. Приводится перечень основных наномодифицирующих добавок и полимерных материалов на их основе, а также дается характеристика свойств наномодифицированных полимеров и приводятся примеры объектов, построенных в России с использованием данных материалов.

Ключевые слова: нанодобавки, полимеры, композитные материалы, наночастицы, фибра.

В строительстве применяется огромное количество разнообразного сырья и материалов. В список уже известных строительных материалов (бетон, сталь, древесина и т.д.) можно добавить и инновационные материалы, нашедшие широкое применение и начавшие играть важную роль в формировании архитектуры будущего.

В настоящее время применение инновационных материалов и нанотехнологий в строительстве ограничивается лишь поверхностным эффектом и не направлено на формирование новых структур строительных материалов, тем не менее результаты исследований и разработок в области нанотехнологий находят применение в строительстве.

В современном мостостроении для возведения основных конструкций наиболее часто применяется два вида материалов: железобетон (опоры, пролетные строения, проезжая часть) и металл (пролетные строения, проезжая часть, перильные и барьерные ограждения, в отдельных случаях опоры). С развитием науки и строительных технологий появились новые полимерные композитные материалы, обладающие высокой коррозионной стойкостью, улучшенными прочностными и другими эксплуатационными характеристиками, делающими их конкурентоспособными применяемым строительным материалам. Среди них можно отметить наноструктурированные угле- и стеклопластики, нанопленки для покрытия светопрозрачных конструкций, гибкие и паропроницаемые стекла, самоочищающиеся и износостойкие покрытия.

Полимерные нанокompозитные материалы формируются путем смешивания наполнителей, имеющих наноразмерные частицы, и терморезактивных или термопластических полимеров. Свойства полимерных нанокompозитов выгодно отличаются от свойств обычных материалов. К таким свойствам относятся: повышенные прочность и жесткость, деформационная теплостойкость, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, барьерные характеристики мембран и покрытий, а также тепловая и электрическая проводимость.

Согласно прогнозам, в стадии зарождения подотрасли производства пластмасс главным направлением роста будет выпуск нанокompозитных материалов, в том числе с наполнителями из наноглин и нанотрубок. В этих уникальных композитных материалах сочетаются лучшие свойства термопластов с наполнителями и чистых термопластов.

Ассортимент наполнителей нанокompозитных материалов стал значительно шире, теперь это не только нанотрубки, наноглины и наночастицы. В него входят нановолокна полиэдрального олигомерного силсесквиоксиана (ПОСС) – наночастицы с нанопористой матричной структурой, состоящие из органических и неорганических объектов; фибриллы – многостенные нанотрубки с закрытыми концами; нанопластины – тонкие хлопья толщиной менее 5 нм, нанопроводники и нанонити. Оптические нанопластины обещают революционные изменения систем оптических коммутаторов и датчиков. Раньше многие нанокompозитные материалы формировали с использованием полипропилена и нейлона в качестве полимерной основы. Теперь в нанокompозитных материалах используется широкий ассортимент прочих смол, включая: эпоксидные смолы, полиуретан, полиэфиримид, полибензоксазин, полистирол (ПС), поликарбонат (ПК), полиметилметакрилат (ПММА), поликапролактон, полиакрилонитрил, поливинилпирролидон, полиэтиленгликоль, поливинилиденфторид, полибутадиеи, сополимеры и жидкокристаллические полимеры.

Общепризнано, что появление нанокompозитных материалов с наполнителями из наноглин, позволяющими повысить модуль упругости и предел прочности при растяжении, а также деформационную теплостойкость, в дальнейшем приведет к замене применяемых в настоящее время технических термопластов нанокompозитными модификациями полиолефинов. Нанокompозитные модификации таких усовершенствованных технических термопластов, в свою очередь, займут место металлов и стекла, применяемых сегодня во множестве областей. Некоторые предприниматели называют наноразмерные технологии, способные революционизировать материаловедение, «подрывными технологиями». Они могут привести к изменению одних отраслей промышленности и технологий, а также заменить другие. Наноматериалы могут состоять из совокупности объектов различного строения, включая наночастицы, нанопроводники, нановолокна, нанотрубки, наноточки, сферические фуллерены и различные сочетания дендритных форм. Углеродные нанотрубки, лучше всего изученные среди нанотрубок, состоят из атомов углерода, упоря-

доченных в шестиугольную в сечении форму, и напоминают тонкие цилиндры из проволочной сетки. Они могут быть одностенными или многостенными. Фуллерены представляют собой замкнутые каркасы из атомов углерода, как, например, фуллерен C_{60} , состоящий из 60 атомов углерода, структурная формула этого соединения похожа на футбольный мяч.

Полимеры, армированные наночастицами, составляющими всего лишь 2–5 мас. %, демонстрируют впечатляющее улучшение термомеханических и барьерных свойств, а также имеют большую огнестойкость. Наночастицы могут выгодно отличаться от стандартных наполнителей и волокон благодаря повышению термостойкости, формоустойчивости и электрической проводимости. Хотя технологии диспергирования наноразмерных армирующих компонентов в полимерах проникают на рынок весьма сдержанно и медленнее, чем ожидалось, согласно прогнозам, этот темп значительно вырастет, поскольку многие компании по соображениям конкуренции не афишируют свои исследования нанокомпозитов и большое количество исследований выполняется без публикации результатов. Первыми коммерческое применение нашли композиты с наноглинами и углеродными нанотрубками. Наноглины улучшают механические свойства пластмасс, а углеродные нанотрубки придают электро- и теплопроводность.

К современным мостовым конструкциям применяются довольно жесткие требования – обеспечение высокого качества и надежности, увеличение длины пролетных строений, технологичность и относительно невысокая стоимость изделий, простота и скорость монтажа, недоступность для проникновения влаги и других агрессивных сред в конструкционные элементы, негорючесть и «вандалоустойчивость». Применение в мостостроении стеклопластиковых и углепластиковых композитных материалов в сочетании с новейшими высокопроизводительными технологиями позволяет с успехом удовлетворить эти требования.

Физико-механические свойства композиционных материалов определяются типом и количеством применяемых волокон; их ориентацией и распределением в поперечном сечении ленты, а также объемным соотношением волокон и отверждающего полимера в композите. Механические характеристики применяемых в строительстве волокон композиционных материалов приведены в табл. 1.

Коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) композиционных материалов также зависит от типа волокна, смолы и объемного содержания фибры. КЛТР для армирующих композиционных материалов в продольном и поперечном направлениях представлены в табл. 2.

Все приведенные в таблице типы фибры имеют линейную диаграмму «напряжение – деформация» вплоть до разрушения без какой-либо пластической зоны (рис. 1).

Таблица 1

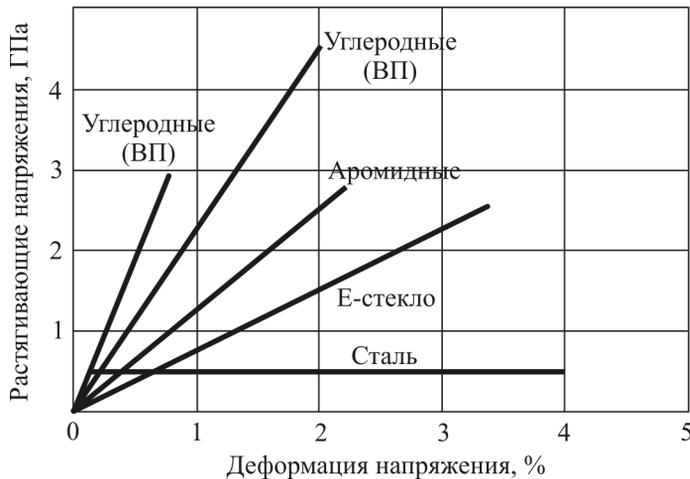
Физико-механические свойства некоторых типов волокон

Тип фибры	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м ³
Углерод высокопрочный	3400–3900	200–250	1,5–2,5	1,75–1,95
Углерод высокомодульный	2900–4000	300–700	0,45–1,2	1,75–1,95
Арамид высокопрочный	3500	75	4,6	1,4
Арамид высокомодульный	2900	110	1,5–2,4	1,4
Стекло (тип А) щелочестойкое	21–74	3000–3500	2,0–4,3	2700
Стекло (тип С) высокопрочное	75–88	4300–4900	4,2–5,4	2500
Стекло (тип Е) универсальное	21–74	3400–3700	3,3–4,8	2600

Таблица 2

Коэффициенты температурного расширения армирующих композиционных материалов

Направление / армирующий материал	Стекловолоконно, КЛТР, 10 ⁻⁶ /°С	Углеродное волокно, КЛТР, 10 ⁻⁶ /°С	Арамидное волокно, КЛТР, 10 ⁻⁶ /°С
Продольное, α_L	6–10	от -1 до 0	от -6 до -2
Поперечное, α_T	19–23	22–50	60–80

Рис. 1. Диаграмма растяжения σ - ϵ

Наибольшее распространение в строительстве на сегодняшний день получили стеклопластики, как наиболее дешевые композиционные материалы. Главный недостаток стеклянных волокон – сравнительно большая плотность и низкий модуль упругости.

Близкие по природе стеклянным базальтовые волокна, сырьем для которых является очень дешевый природный минерал, имеют похожие, но, к сожалению, часто нестабильные свойства.

Следующий тип армирующих волокон – углеродные – был создан для преодоления таких недостатков стеклянных волокон, как низкий модуль упругости и большая плотность. В качестве сырья для получения углеродных волокон обычно используют полимерные полиакрилонитрильные или вискозные волокна. Специальная многостадийная термическая обработка полимерных волокон при высоких температурах (2000 °С и выше) приводит к карбонизации и графитизации волокна, в результате чего конечное волокно состоит только из углерода и имеет различную структуру и свойства в зависимости от режима термообработки и структуры исходного сырья.

Углеродные волокна непрерывно совершенствуются, повышается их прочность и жесткость, увеличивается ассортимент. Один из перспективных путей снижения цены таких волокон – использование нефтяных и других пеков (тяжелых полиароматических соединений) в качестве исходного сырья. Углеродные волокна и композиты из них имеют глубокий черный цвет и хорошо проводят электричество, что определяет и ограничивает области их применения.

К основным преимуществам мостов из композитных профилей, по сравнению со стальными мостовыми конструкциями, следует отнести:

- высокую коррозионную и химическую стойкость композитов, возможность использования в условиях повышенной влажности, сезонных и суточных температурных перепадов, отсутствие коррозии стальных соединительных элементов, находящихся в контакте с композитными профилями;
- сопротивляемость ветровым нагрузкам;
- акустическую прочность и устойчивость к землетрясениям;
- возможность поставки в виде отдельно собранных, легко транспортируемых, заменяемых и наращиваемых модульных конструкций;
- легковесность и возможность использования ручной сборки в труднодоступных для техники местах;
- интегральное снижение монтажных расходов, массы опорных конструкций, снижение эксплуатационных расходов.

Специалистами российской компании «АпАТЭК» спроектировано и изготовлено более 25 мостовых конструкций с применением современных композитных материалов.

Многолетний опыт разработки и эксплуатации композитов в составе силовых конструкций в сочетании с новейшими высокопроизводительными (непрерывными) технологиями переработки материала в изделия позволяет компании «АпАТЭК» с успехом решать задачи, направленные на проектирование и изготовление цельнокомпозитных пешеходных мостов (рис. 2).

Первый российский мост, все элементы которого – несущие балки, перила и настил – изготовлены из стеклопластика, был создан «АпАТЭК» и установлен в районе платформы Чертаново еще в 2004 г.

Огромным потенциалом для поддержки и широкого внедрения цельно-композитных пешеходных мостов обладает компьютерно-управляемая пултрузионная технология изготовления разнообразных силовых, в том числе мостовых длинномерных, профилей из одно- и двухосно-армированных и изотропно-армированных стеклопластиков (рис. 3).

Пултрузия – непрерывная вытяжка профиля постоянного сечения путем протяжки пропитанных связующим армирующих стекломатериалов через нагретую формообразующую фильеру.



Рис. 2. Первый в России мост с цельнокомпозитными пролетными строениями (2004 г.)

Несмотря на то, что стоимость стеклопластикового моста с применением пултрузионных профилей оказывается на 10 % выше стоимости стального моста, стоимость эксплуатации изделия существенно ниже (практически в 10 раз).



Рис. 3. Наноструктурирование КМ, получаемых по технологии пултрузии

Вторым инновационным методом изготовления арочных мостовых конструкций из композитов является вакуумная инфузия. С использованием технологии вакуумной инфузии возможно изготавливать крупногабаритные композитные конструкции. Примерами таких изделий являются корпуса кораблей, лопасти ветряных установок, мостовые конструкции и др.

Вакуумная инфузия – процесс, при котором с применением вакуумной пленки (мешка) создается разрежение в рабочей полости формы и за счет разницы в давлении происходит втягивание смолы и пропитка армирующих материалов. По сравнению с контактными методами формования метод вакуумной инфузии позволяет получать стеклопластики с более высоким коэффициентом армирования и значительно более низким содержанием пор. При этом методе производства стеклопластиков также значительно снижается эмиссия вредных веществ (например, стирола) в воздух рабочей зоны.

Использование антипирена $Al(OH)_3$ приводит к его осаждению на армирующих волокнах и неравномерному распределению в материале, что не позволяет достичь группы горючести Г1.

Использование связующего, структурированного порошкообразной наномедью, не приводит к фильтрации и в полном объеме обеспечивает требование по огнестойкости.

Внедрение новой технологии вакуумной инфузии в серийное производство позволило обеспечить изготовление мостовой конструкции за один технологический переход, тем самым минимизировав работы по сборке и существенно снизив себестоимость. Применение данного технологического процесса для производства мостов и других строительных конструкций снимает ограничения в области дизайна, неизбежно возникающие при проектировании из элементов типовой номенклатуры, и позволяет создавать новые, необычные, радующие глаз архитектурные формы (рис. 4).



Рис. 4. Мост, изготовленный по технологии вакуумной инфузии

Обязательными требованиями к материалу мостовых конструкций являются негорючесть и вандалоустойчивость. Выполнение требований по стойкости к горению обеспечивается путем использования нанопорошков металлов. Так, введение порошка наночастиц меди в количестве менее 1 % практически не влияет на вязкость связующего и обеспечивает эффект по параметрам, характеризующим сопротивляемость горению на уровне композита, содержащего более 100 % тригидрата оксида алюминия.

Проведенные исследования пултрузионных профилей на основе связующего, модифицированного наномедью, показали, что при испытании на горючесть снижаются практически все критические показатели, в частности один из наиболее важных – температура дымовых газов (в 1,5 раза). Такие результаты являются важными показателями для объектов, эксплуатирующихся в подземных переходах, например пандусов для инвалидов.

С применением наномодифицированного связующего изготовлена партия пултрузионных профилей, и с их использованием построен первый мостик, подаренный НПП «АпАТЭК» городу Сочи. При реализации этого проекта были решены различные функциональные задачи путем модификации наноматериалами конструкционных полимерных композитов (рис. 5).

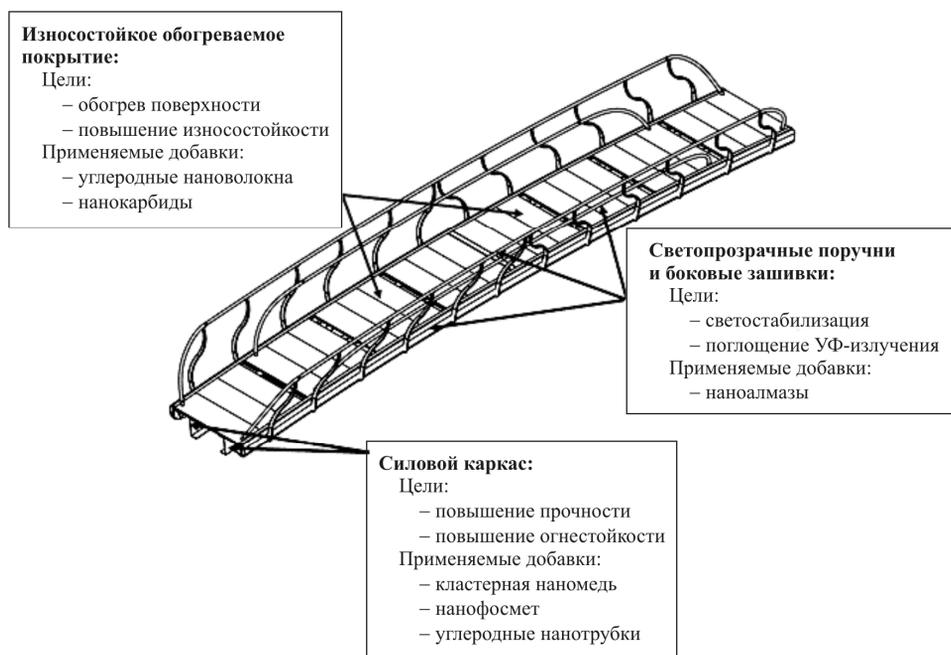


Рис. 5. Конструкция углепластикового моста с подсветкой у художественного музея г. Сочи

Несмотря на актуальность внедрения в область строительства новых материалов и технологий, доля их в общем строительном комплексе очень мала – менее 1 % от общего объема материалов в строительном секторе. Однако пре-

имущества их перед традиционными строительными материалами и технологиями очевидны. Таким образом, возникает необходимость более детального изучения их свойств, прогнозирования поведения материала во времени, создания новых наноструктурированных материалов, совершенствования технологии производства для снижения себестоимости, что позволит использовать их в качестве главных строительных материалов, создавать новые конструкции повышенной прочности и долговечности, проектировать более архитектурно-выразительные сооружения.

Низкий уровень инвестиций в научно-исследовательские работы в области строительства тормозит внедрение новых технологий. Это приводит к тому, что в строительстве скорее используются разработки и изобретения, созданные в других отраслях науки и промышленности, чем создаются внутри самой отрасли, поэтому главными предпосылками развития строительных материалов являются результаты исследовательских работ, проводимых в смежных областях.

Развитие нанотехнологии – это не только прорыв в технике, экономике и безопасности, это еще и путь интеграции в систему промышленной цивилизации.

Список литературы

1. Российская национальная нанотехническая сеть [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rusnanonet.ru>.
2. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов / Д.В. Курлапов [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 3. – С. 22–24.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ОДНОСВОДЧАТОЙ СТАНЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ МЕТОДОМ СКВОЗНОЙ ПРОХОДКИ

А.В. Бильченко, В.А. Голеско, А.С. Холодцова

Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет, Украина

Приводятся результаты анализа статического расчета верхнего свода односводчатой станции метрополитена, выполненной методом сквозной проходки перегонных тоннелей на линиях мелкого заложения.

Ключевые слова: станции метрополитена, расчет свода, тоннели мелкого заложения

Концепция сквозной проходки перегонных тоннелей метрополитенов на пусковом участке станции имеет ряд существенных преимуществ перед традиционным методом. Единая технология проходки перегонных и станционных тоннелей не только исключает непродуктивные затраты труда и времени на периодический монтаж и демонтаж щитовых комплексов, но и разрешает при сооружении станции сократить трудоемкость работ и сроки строительства, вести работы в щадящем режиме, понижающем негативное техногенное влияние строительных работ на условия жизни города [1–3].

Методика сквозной проходки перегонных и станционных тоннелей разрешает реализовать поточную схему организации работ на линии за счет включения в конструкцию элементов обделки, которая была выполнена при проходке перегонных тоннелей.

При проектировании станций метрополитенов всегда насущным является вопрос о выборе той или иной конструктивной схемы. В настоящее время разработано несколько основных принципов, на которые необходимо ориентироваться при выборе и обосновании проектных решений:

1. Комплекс станционных сооружений должен обеспечивать удобную эксплуатацию и функционирование.
2. Сооружение должно иметь рациональную форму конструктивных решений при минимальной материалоемкости и техногенности.
3. Принятое конструктивное и технологическое решение должно иметь наименьшую трудоемкость строительства, непрерывность и наибольшую механизацию работ.

4. Реализация проекта должна предусматривать сокращение трудовых и материальных ресурсов на период строительства и эксплуатации.

Односводчатые станции широко применяют в зависимости от инженерно-геологических условий и архитектурных требований. Они являются более экономичными и более индустриальными по сравнению со станциями колонного типа, полностью механизирована разработка грунта в забое и можно выполнить сквозную щитовую проходку перегонных тоннелей на линии. Такая конструкция станции позволяет разместить под единым сводом все сооружения станционного комплекса. Основное требование – плавное очертание и выпуклая форма при вертикальной нагрузке. Все это определяется расчетом, тем более что необходимо выбрать тип опирания верхнего свода на монолитные опоры. Расчетная схема односводчатой станции приведена на рис. 1.

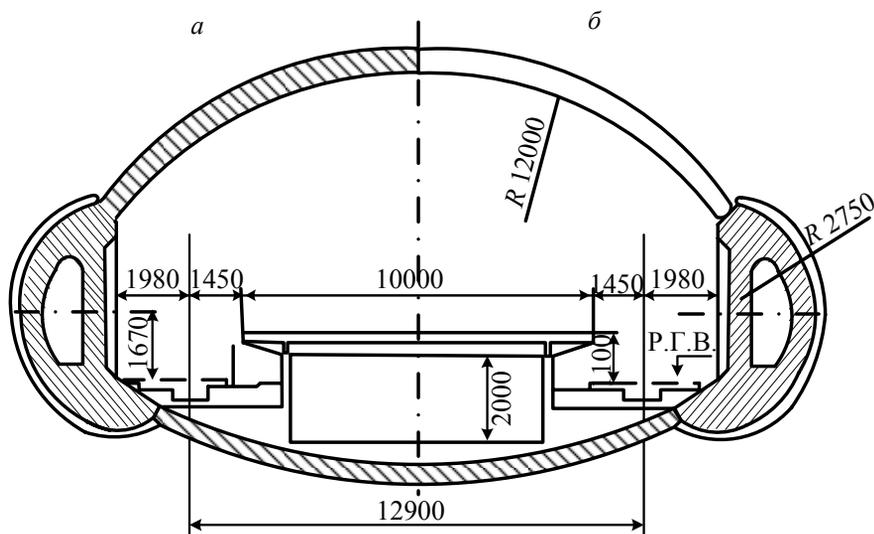


Рис. 1. Односводчатая станция: а – монолитная; б – сборная

Расчет конструкций является основным материалом для обоснования проектирования обделки. Как правило, в расчете принимаются определенная математическая модель статической работы конструкции и модель напряженно-деформированного состояния.

В соответствии с действующими нормами [4] и в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий залегания тоннелей задается внешняя нагрузка и определяются усилия в несущих конструкциях. Расчет производится:

- на вертикальное давление грунта с учетом собственного веса конструкции;
- боковое давление грунта;
- временную подвижную нагрузку НК-100.

Основной задачей расчета является оценка влияния типа закрепления свода на его напряженное состояние. Для этого принята точная методика строительной механики – метод сил. Рассматривается один погонный метр верхнего свода как бесшарнирная арка при жестком закреплении и двухшарнирная арка при шарнирном.

Для расчета бесшарнирной арки (рис. 2) выбрана рациональная основная система удалением трех лишних связей на оси симметрии с введением абсолютно жестких консолей нужной длины (рис. 3).

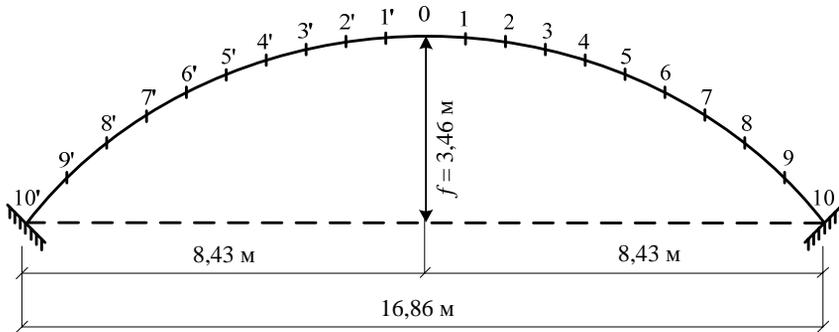


Рис. 2. Бесшарнирная балка

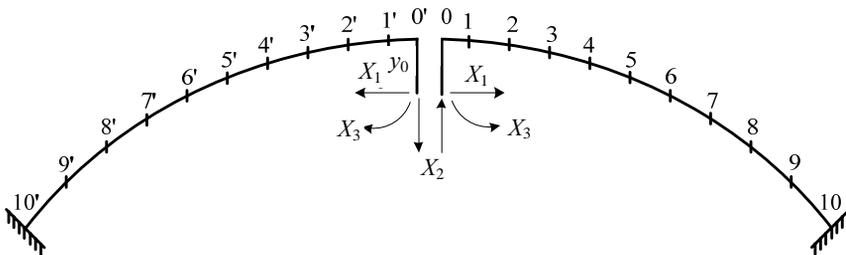


Рис. 3. Основная система

При этом система канонических уравнений распадается на три самостоятельных уравнения за счет равенства нулю всех побочных коэффициентов:

$$\delta_{11}x_1 + \Delta_{1F} = 0, \quad \delta_{22}x_2 + \Delta_{2F} = 0, \quad \delta_{33}x_3 + \Delta_{3F} = 0.$$

Кроме того, при симметричной нагрузке обратно симметричное неизвестное X_2 равняется нулю.

Для упрощения расчета пролет арки разбивается на большое количество малых участков одинаковой длины и криволинейная ось арки заменяется вписанным многоугольником. В пределах каждого участка можно принять ось конструкции прямолинейной, что дает возможность вычислить интегралы Мора умножением эпюр по правилу Верещагина. Коэффициенты и свободные члены уравнений определяются по формулам

$$\delta_{ii} = \sum \int \frac{\bar{M}_i^2}{EI} dx, \quad \Delta_{iF} = \sum \int \frac{\bar{M}_i \cdot M_F^o}{EI} dx.$$

Наибольшие изгибающие моменты возникают в пятах бесшарнирной арки, поэтому закон изменения моментов инерции сечений принят в следующем виде

$$I_x = \frac{I_o}{\cos \gamma_x},$$

где I_o – момент инерции замкового сечения; I_x – момент инерции произвольного сечения.

При любой нагрузке расчетная эпюра моментов в бесшарнирной арке строится по зависимости

$$M_F = M_F^o + \bar{M}_1 \cdot x_1 + \bar{M}_3 \cdot x_3.$$

Для определения поперечных и продольных сил составлены уравнения как суммы проекций всех сил на перпендикуляр к оси и на ось арки.

Двухшарнирная арка (рис. 4) имеет одно основное неизвестное по методу сил, а основная система выбирается удалением одной из опорных горизонтальных связей (рис. 5). Криволинейная ось двухшарнирной арки тоже заменяется вписанным многоугольником.

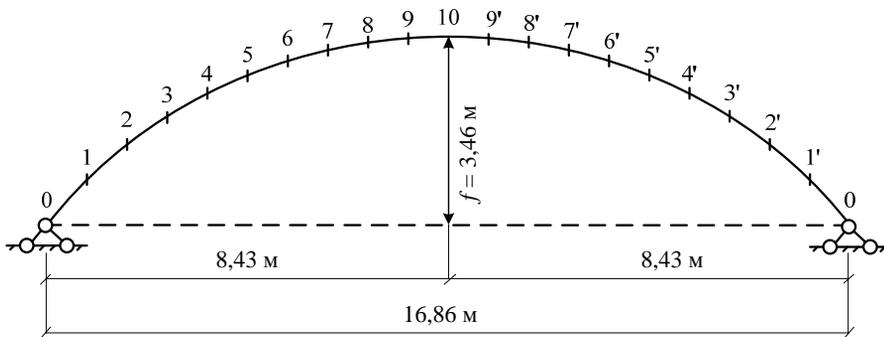


Рис. 4. Двухшарнирная арка

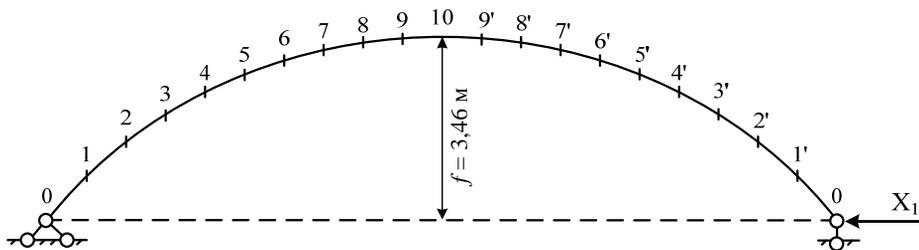


Рис. 5. Основная система

Каноническое уравнение имеет вид

$$\delta_{11}x_1 + \Delta_{1F} = 0.$$

Коэффициент и свободный член уравнения определяются по зависимостям

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{\bar{M}_1^2 dx}{EJ}, \quad \Delta_{1F} = \sum \int \frac{\bar{M}_1 \cdot M_F^o}{EJ} dx.$$

В расчетах принято, что высота сечения арки не меняется по длине, т.е. $I_x = I_o = \text{const}$.

При любой нагрузке расчетная эпюра моментов в двухшарнирной арке строится по зависимости

$$M_F = M_F^o + \bar{M}_1 \cdot x_1.$$

Для определения поперечных и продольных сил составлены соответствующие уравнения.

Бесшарнирная и двухшарнирная арки рассчитаны на трапецевидную неподвижную вертикальную нагрузку от веса грунта и собственного веса конструкции, на боковое давление грунта и на подвижную нагрузку НК100. Для всех расчетных схем построены эпюры внутренних усилий M , Q , N , приведенные на рис. 6–9.

Сравнительный анализ работы арок от каждого воздействия показывает, что в бесшарнирной арке наибольших значений достигают усилия в опорных сечениях (пятах). Однако вертикальная и горизонтальная неподвижные нагрузки вызывают разные по знаку опорные моменты и поперечные силы, что приводит к их уменьшению при совместном действии нагрузок. Момент в ключевом сечении (замке) имеет одинаковый знак и равен сумме моментов от каждого заграждения $M_o = -31,9$ кНм (рис. 6, 7, таблица). Следует отметить, что в некоторых сечениях возникают моменты, большие, чем в ключевом, или близкие к ключевому моменту.

В двухшарнирной арке при суммарном действии неподвижных нагрузок также наблюдается некоторое уменьшение значений моментов и поперечных сил в сравнении с усилиями от каждой неподвижной нагрузки отдельно (см. рис. 8, 9, таблицу).

От подвижной нагрузки НК-100 в арках возникают внутренние усилия в большинстве случаев меньшей величины и другого знака, чем при действии неподвижной нагрузки, что частично приводит к некоторому разгрузению арки.

При всех заграждениях продольные силы в арках в основном сжимающие и достаточно велики, особенно от неподвижной вертикальной нагрузки (см. рис. 6–9, таблицу).

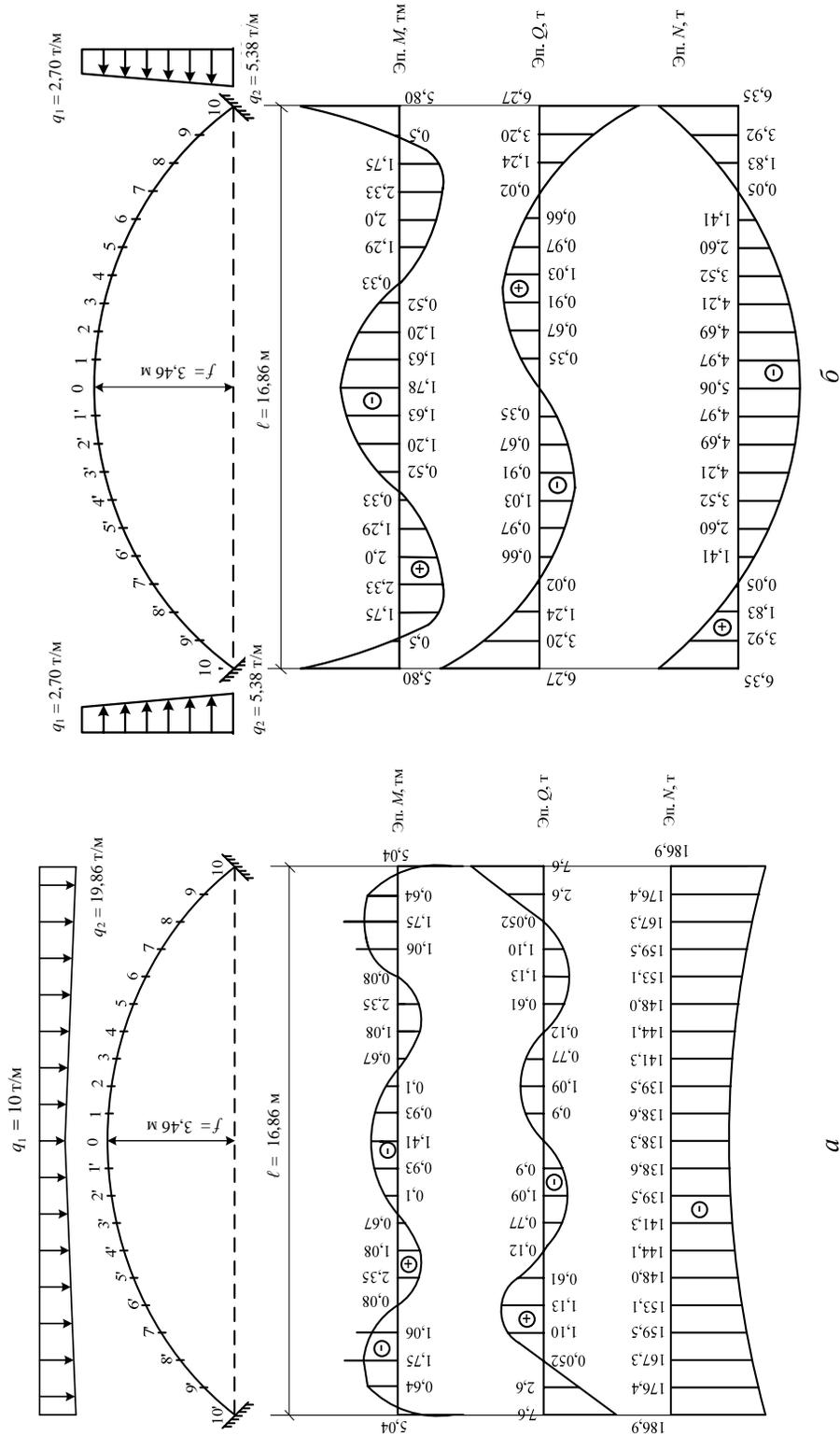


Рис. 6. Эпюры M , Q , N в бесшарнирной арке: a – от вертикальной неподвижной нагрузки; $б$ – от горизонтального давления грунта

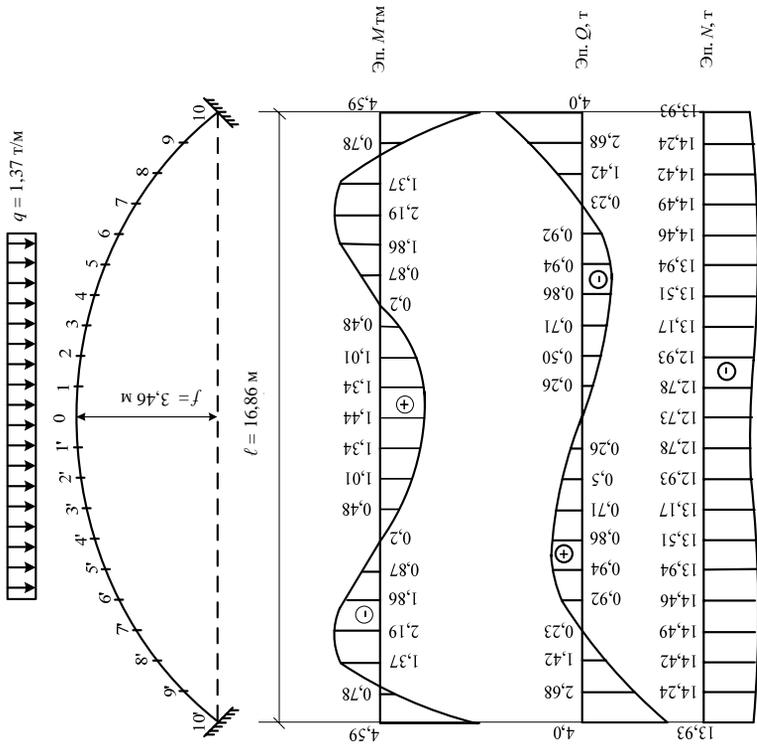


Рис. 7. Эпюры M , Q , N в бесшарнирной арке от подвижной нагрузки НК-100

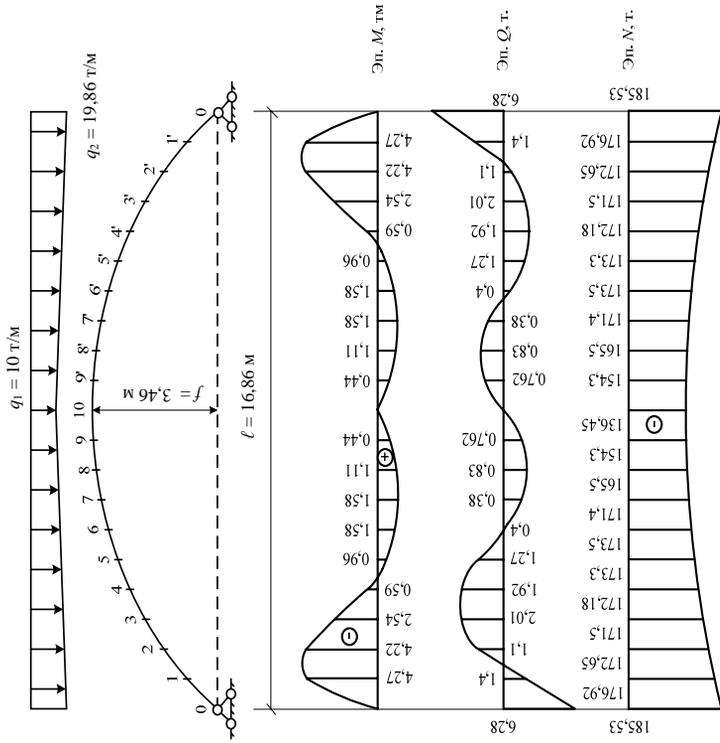


Рис. 8. Эпюры M , Q , N в двухшарнирной арке от вертикальной неподвижной нагрузки

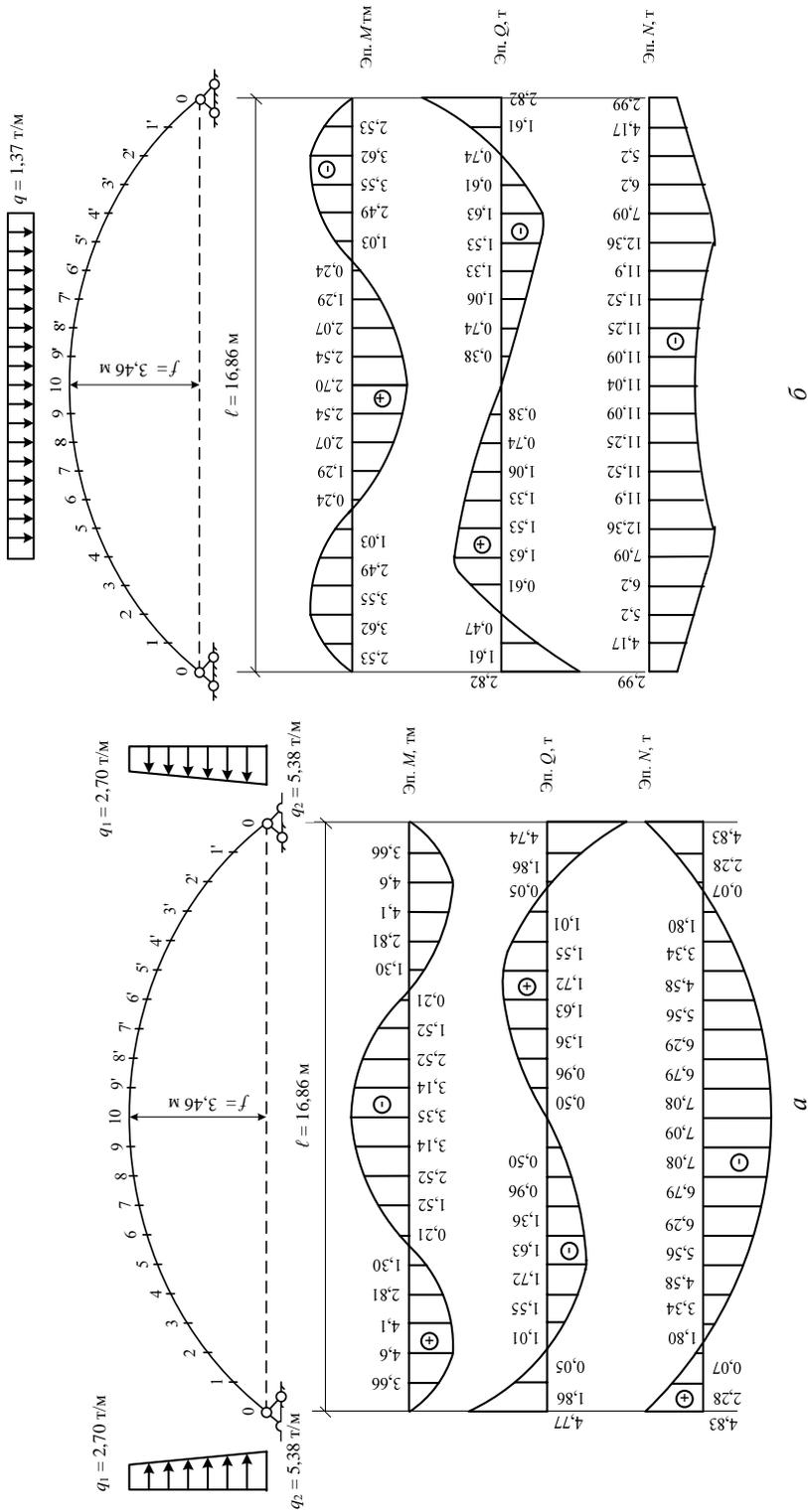


Рис. 9. Эпюры M, Q, N в двухшарнирной арке: a – от горизонтального давления грунта; b – от подвижной нагрузки НК-100

Значения внутренних усилий M , Q , N в замковом сечении
и пятах бесшарнирной и двухшарнирной арок

Внутренние усилия		Вид нагрузки			
		Вертикальная неподвижная нагрузка	Горизонтальная неподвижная нагрузка	Суммарная неподвижная нагрузка	Подвижная нагрузка НК-100
Бесшарнирная арка					
Изгибающие моменты	$M_{\text{замк}}$	-1,41 тм (-14,1 кНм)	-1,8 тм (-18 кНм)	-3,21 тм (-32,1 кНм)	1,5 тм (15 кНм)
	$M_{\text{пяты}}$	5,04 тм (50,4 кНм)	-5,8 тм (-58 кНм)	-0,76 тм (-7,6 кНм)	4,6 тм (46 кНм)
	$ M_{\text{max}} $ в сечениях	5,04 тм (50,4 кНм)	5,8 тм (58 кНм)	3,64 тм (36,4 кНм)	4,6 тм (46 кНм)
Поперечные силы	$Q_{\text{замк}}$	0	0	0	0
	$Q_{\text{пяты}}$	\mp 7,6 т (\mp 76 кН)	\pm 6,27 т (\pm 62,7 кН)	\mp 1,33 т (\mp 13,3кН)	\mp 4 т (\mp 40 кН)
	$ Q_{\text{max}} $ в сечениях	7,6 т (76 кН)	6,27 т (62,7 кН)	1,76 т (17,60 кН)	4 т (40 кН)
Продольные силы	$N_{\text{замк}}$	-138,3 т (-1383 кН)	-5,1 т (-51 кН)	-143,4 т (-1434 кН)	-12,8 т (-128 кН)
	$N_{\text{пяты}}$	-186,9 т (-1869 кН)	6,35 т (63,5 кН)	-180,55 т (-1805,5кН)	-14 т (-140 кН)
	$ N_{\text{max}} $ в сечениях	186,9 т (1869 кН)	5,1 т (51 кН)	180,6 т (1806 кН)	14,5 т (145 кН)
Двухшарнирная арка					
Изгибающие моменты	$M_{\text{замк}}$	0	-3,35 тм (-33,5 кНм)	-3,35 тм (-33,5 кНм)	2,7 тм (27 кНм)
	$M_{\text{пяты}}$	0	0	0	0
	$ M_{\text{max}} $ в сечениях	4,27 тм (42,7 кНм)	4,6 тм (46 кНм)	3,35 тм (33,5 кНм)	3,62 тм (36,2 кНм)
Поперечные силы	$Q_{\text{замк}}$	0	0	0	0
	$Q_{\text{пяты}}$	\mp 6,28 т (\mp 62,8 кН)	\pm 4,77 т (\pm 47,7 кН)	\mp 1,51 т (\mp 15,1кН)	\mp 2,82 т (\mp 28,2 кН)
	$ Q_{\text{max}} $ в сечениях	6,28 т (62,8 кН)	4,77 т (47,7 кН)	1,79 т (17,9 кН)	2,82 т (28,2 кН)
Продольные силы	$N_{\text{замк}}$	-136,5 т (-1365 кН)	-7,09 т (-70,9 кН)	-143,59 т (-1435,9 кН)	-11,04 т (-110,4 кН)
	$N_{\text{пяты}}$	-185,5 т (-1855 кН)	4,83 т (48,3 кН)	-180,7 т (-1807кН)	-2,99 т (-29,9 кН)
	$ N_{\text{max}} $ в сечениях	185,5 т (1855 кН)	7,09 т (70,9 кН)	180,7 т (1807 кН)	12,36 т (123,6 кН)

Сделаем следующие выводы:

Выполнено аналитическое обоснование конструктивного решения опирания свода односводчатой станции при возведении станции метрополитена методом сквозной проходки перегонных тоннелей. Произведен анализ влияния типа опирания свода на распределение внутренних усилий в его сечениях.

Показано, что для расчета узла соединения свода с опорами в монолитном варианте расчетными следует принимать опорные моменты, поперечные и продольные силы от сочетания неподвижных и подвижных нагрузок. При этом для увеличения жесткости и прочности узла необходимо предусмотреть выпуски арматуры, рассчитанные на восприятие внутренних усилий.

В сборном варианте выполнения опорного узла следует считать его шарнирным и обеспечить его прочность на восприятие поперечных и продольных сил.

Расчет свода следует производить по максимальным значениям моментов, рассматривая все варианты загрузки, особенно для рассматриваемой конструкции. В том случае, когда подвижная нагрузка уменьшает момент от неподвижной, расчетным необходимо считать момент от неподвижной нагрузки.

Следует считать недостаточным при статическом расчете свода определение только ключевого и опорного моментов, так как максимальных значений усилия могут достигать в других сечениях.

Список литературы

1. Фролов Ю.С., Крук Ю.Е. Метрополитены на линиях мелкого заложения. – М.: ТИМР, 1994. – 243 с.
2. Анализ мировых тенденций и технико-экономических показателей строительства метрополитенов, горных транспортных и гидротехнических тоннелей // Строительство подземных сооружений. – М.: ТИМР, 1992. – С. 3–79.
3. Антонов О.Ю. Прогрессивные конструкции тоннельной обделки // Метрострой. – 1990. – № 6. – С. 9.
4. ДБНУ Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. ДБН В.1.2–15:2009 Видання офіційне. – К.: Мінірегіонбуд України, 2009. – 66 с.

ФЕНОМЕН ОТКРЫТЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ТРЕЩИН В СОЛЯНОМ МАССИВЕ КАЛИЙНОГО РУДНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ЛИКВИДАЦИИ

А.Б. Кондратов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

Приведены результаты натурных исследований феномена наличия открытых протяженных трещин в соляном массиве калийного рудника. Отмечается угроза этого явления для безопасности подземных работ. Приводятся рекомендации по предотвращению этой угрозы.

Ключевые слова: калийный рудник, телеинспекция трещин, инъекционная технология их ликвидации.

При проходке подготовительных и очистных горных выработок комбайнами на Третьем Соликамском калийном руднике в соляном массиве панелей 1, 2, 3, 4, 6, 8 были обнаружены открытые протяженные трещины. Выделены два типа трещин: внутрипластовые и межпластовые. Причины трещинообразования, а также время появления трещин дискуссионны. В любом случае обнаруженные трещины представляют реальную угрозу руднику.

Для изучения феномена наличия открытых протяженных трещин в соляном массиве вокруг горных выработок и разработки мер по обеспечению безопасности рудника провели анализ имеющейся геологической документации и выполнили натурную телеинспекцию трещин с помощью специальной погружной видеоаппаратуры.

Горными выработками на панели 4 по пласту АБ в блоке 6, а затем блоках 2 и 4 были вскрыты внутрипластовые трещины. Большинство из них приурочено к замкам узких высокоамплитудных синклинальных складок. Трещины сухие и газоносные. В нижней части они распространяются в каменную соль Б–В на 0,3–0,5 м, в верхней – проникают в нижние слои пласта В. Максимальное раскрытие трещин наблюдается в слое В и нижних слоях пласта В – до 20 см. Длина трещин по восстанию не превышает 1 м, по простиранию достигает 18 м. Простирание трещин субмеридиональное и часто совпадает с простиранием осей синклинальных складок. Углы падения трещин изменяются от 70 до 90°.

У восточной границы панели 4 вскрыта зона межпластовой трещиноватости юго-западного простирания, ширина которой достигает 100 м. Данная зона является сопряжением нескольких взаимно пересекающихся систем тре-

щин. Наиболее распространенными на данном участке являются трещины с азимутом простирания 320–335° (С–3), расположенные под углом к осям складок с раскрытием 0,5–5 см, протяженностью 5–15 м. Трещины секут пласты А, Б, Б–В, часто наблюдается смещение блоков пород до 4–6 см. Другая система представлена трещинами вдоль шарниров складок с азимутом простирания 0–5° протяженностью до 10 м и раскрытием от 5 мм до 10 см. Они развиты преимущественно в пласте Б–В. Менее редкой разновидностью являются тонкие трещины с шириной раскрытия 3–4 мм, прерывистые, северо-западного простирания. Они секут пласты АБ, Б–В и В, протяженность таких трещин достигает 60 м.

По результатам подземных электрозондирований, выполненных ПГРП ОАО «Сильвинит» на панели 4 в блоках 4–6, выделена аномальная зона с $\rho_k < 100$ Ом·м и перепадами электросопротивлений на два и более порядков. Причиной аномалии может быть разуплотнение и трещиноватость соляного массива с сопутствующим увлажнением.

В качестве мер охраны ВЗТ на участках выявленных трещин по рекомендациям ОАО ВНИИГ и ГИ УрО РАН оставлены предохранительные целики. Это мера, однако, не обеспечит сохранность рудника в случае начала фильтрации рассола по любой из открытых трещин, сообщающихся с горными выработками.

Выявление и идентификация подобных трещин в соляном массиве является весьма сложной технической задачей. Она может быть решена только применением комплексного контроля, включающим геофизические измерения и прямые наблюдения. Хорошие возможности визуализации трещин в массиве предоставляет комплект телевизионной скважинной аппаратуры. Его основные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики портативной аппаратуры для телеинспекции скважин

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Диаметр исследуемых скважин, мм	36–500
2	Глубина исследуемых скважин, м	до 150
3	Угол обзора телекамеры, тел. град.	160
4	Чувствительность телекамеры, лк	8
5	Разрешение телекамеры, тел. линий	320
6	Напряжение автономного источника питания, В	12
7	Тип исполнения погружной телекамеры	Герметичное взрывобезопасное
8	Продолжительность видеозаписи стандарта HS, ч	3
9	Общая масса комплекта аппаратуры, кг	10

Методика телеинспекции на панели 4 рудника заключалась в следующем: из горных выработок в местах трещинообразования в кровлю бурили восстающие скважины на длину 7–17 м; с помощью составных алюминиевых

штанг в скважину снизу вверх подавали телекамеру; цветное изображение стенок скважины и трещин в соляном массиве отслеживали на выносном жидкокристаллическом дисплее типа Jkegamі; одновременно изображение записывали на стандартную кассету HS. При обратном ходе камеры запись повторяли. Рис. 1 иллюстрирует методику телеинспекции. Оцифрованные изображения обнаруженных в массиве трещин показаны на рис. 2, а, б.

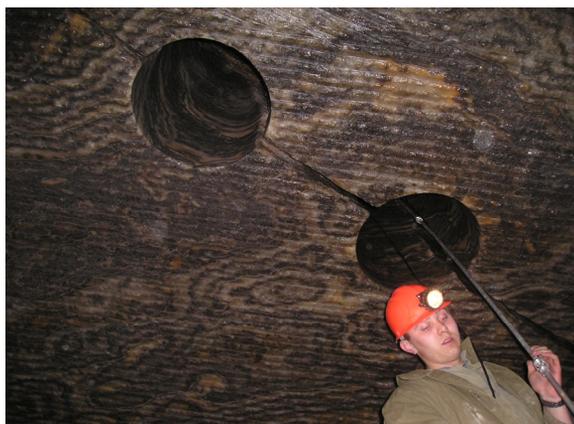


Рис. 1. Методика телеинспекции трещин в соляном массиве

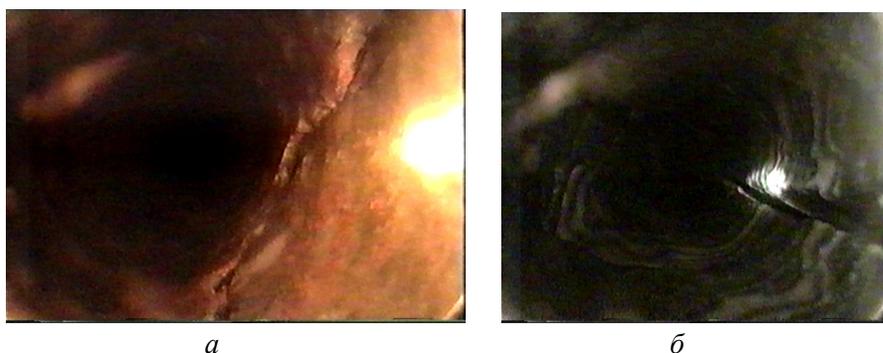


Рис. 2. Выявленные при телеинспекции трещины в соляном массиве

Ситуация на Третьем Соликамском руднике является опасной вследствие неопределенности дислокации фронта развития трещин, больших объемов пустотности массива, а также массового подсечения трещин пройденными горными выработками.

Объемы предполагаемой трещинной пустотности рассчитывали по формуле двояковыпуклого шарового сегмента

$$V = \frac{1}{3} \pi h (h + 3r^2), \quad (1)$$

где h – высота подъема сегмента; r – радиус сегмента.

Полученные значения пустотности при разной длине и раскрытии трещин приведены в табл. 2.

Таблица 2

Пустотность трещин в соляном массиве

№ п/п	Длина трещин, м	Пустотность трещин, м ³ , при максимальной ширине раскрытия, м			
		0,2	0,1	0,05	0,01
1	120	1134	561,6	282,6	56,52
2	100	785	392,5	196,3	39,25
3	80	502,4	251,2	125,6	25,2
4	60	282,6	141,3	70,65	14,13
5	40	41,9	20,9	10,5	2,1
6	20	31,4	15,7	7,85	1,6
7	10	7,9	3,9	1,97	0,39

Анализ горнотехнической ситуации на руднике и имеющийся опыт [1, 2] позволяет рекомендовать для ликвидации трещин инъекционную технологию упрочнения массива.

Сущность предлагаемых технических решений по ликвидации трещин заключается в следующем (рис. 3): из горной выработки в открытую трещину устанавливаются металлические трубки-инъекторы с запорной арматурой; производится набрызг-бетонирование трещины для ее изоляции от выработки и заделки инъекторов; затем выполняется инъектирование трещины цементно-песчаным, цементными или полимерными скрепляющими составами.

Для набрызг-бетонирования могут использоваться отечественные машины типа БМ-60 либо швейцарские машины типа MEYCO-Piccola. Последние имеют дизельный привод.

Для инъекции тяжелых цементных растворов можно использовать диафрагменные растворонасосы типа СО-50А либо растворный агрегат типа Т-103. Для инъекции полимерных скрепляющих составов целесообразно использовать шестеренчатые насосы типа НШ-32.

Для цементации крупных трещин следует применять цементно-песчаные и цементные растворы на основе портландского сульфатостойкого и магнезиального цементов, а также быстросхватывающегося глиноземистого цемента ПЦ-40.

При необходимости инъектирования тонких трещин следует использовать полимерные композиции на основе карбамидных смол губахинского завода «Метафракс» или полиуретановых составов на основе фторполимера ЛТ-70 Пермского НПО им. С.Н. Кирова. Динамическая вязкость этих составов находится в диапазоне между вязкостью глицерина и воды, что обеспечивает их проникновение в мельчайшие трещины.

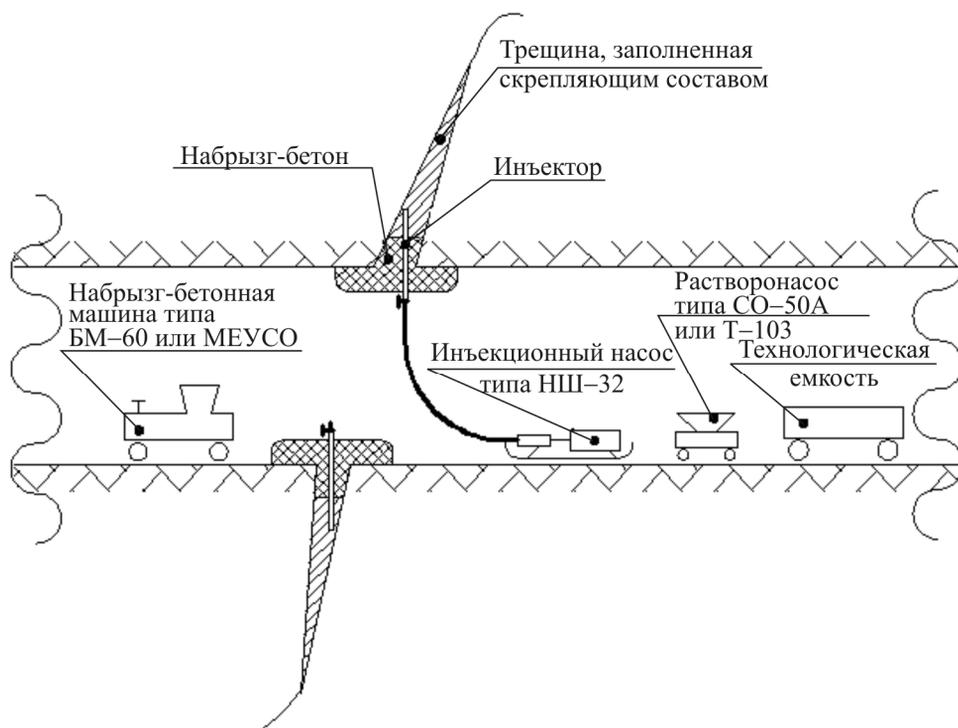


Рис. 3. Схема ликвидации трещин

Исходя из конкретных горно-геологических условий определяются количественные характеристики иньекционного заполнения трещин. Задается число этапов иньекции, поэтапный и суммарный расход скрепляющего состава в каждую иньецируемую трещину. По полученным данным строятся расходограммы иньекции.

В настоящее время выполняются необходимые исследования оптимальных геомеханических параметров упрочнения трещиноватого соляного массива.

Список литературы

1. Кондратов А.Б. Иньекционная технология ликвидации расслоупритоков в калийных рудниках // Шахтное строительство. – 1988. – № 2.
2. А.с. № 1458587 СССР. Способ гидроизоляции горных выработок калийных и соляных рудников / Кондратов А.Б. [и др.]. – Опубл. 15.10.1988.

РАСЧЕТ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАРУШЕНИЙ

И.В. Глушков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

После окончания строительства мостового перехода в исполнительной документации установлен факт отклонений свай в плане от проектного положения до 20 см. Произведена оценка работы фундаментов моста с фактическим расположением свай.

Ключевые слова: мост, фундамент, свая, расчет мостового перехода.

Расчет системы «основание – фундамент – сооружение» после строительства мостового перехода в Кигинском районе Республики Башкортостан» выполнен специалистами кафедры оснований, фундаментов и мостов Пермского национального исследовательского политехнического университета

При составлении расчетной схемы грунтового основания, свайных опор и конструкций мостового перехода использовались материалы инженерных изысканий, проектная и исполнительная документация.

В геоморфологическом отношении район строительства приурочен к низкогорью западных краевых хребтов. Тектонически – складчатая область Урала (уфимский амфитеатр). Рельеф представляет собой холмисто-увалисто-грядовую равнину. В геологическом строении мостового перехода принимают участие аллювиальные и делювиальные отложения четвертичной системы. Коренными являются породы каменноугольной системы (С).

В соответствии с геолого-литологическим строением и лабораторными исследованиями грунтов на мостовом переходе выделено 5 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

- ИГЭ-1. Суглинок темно-коричневый заторфованный тугопластичный;
- ИГЭ-2. Грунт гравийный обводненный;
- ИГЭ-3. Суглинок темно-серый с щебнем, твердый;
- ИГЭ-4. Суглинок темно-коричневый заторфованный, тяжелый пылеватый полутвердый;
- ИГЭ-5. Песчаник серый плитчатый средней прочности (табл. 1).

Абсолютная максимальная температура воздуха 37 °С. Температура воздуха обеспеченностью 0,98 равна 26,4 °С. Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца 12,5 °С. Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца 73 %, барометрическое давление 989 гПа. Количество осадков за апрель – октябрь 373 мм. Суточный максимум осадков 55 мм.

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов

ИГЭ	ρ , т/м ³	I_L	c , кПа	ϕ , град	E_0 , МПа	R_c , МПа	R_0 , кПа
1	1,70	0,33	18	19	11	–	170
2	1,75	–	10	38	30	–	340
3	1,95	< 0	23	21	22	–	300
4	1,75	0,20	23	21	21	–	190
5	2,30	–	–	–	–	38–40	450

Таблица 2

Расчетно-прогнозные характеристики р. Алла-Елга

№ п/п	Наименование	Измеритель	Показатель
1	Категория дороги	СНиП 2.05.02.85	IV
2	Вероятность превышения	%	27
3	Длина реки	км	5,2
4	Площадь бассейна	км ²	152
5	Генезис формирования максимального расхода		Весеннее половодье
6	Генезис формирования наивысшего уровня		Весеннее половодье
7	Расчетный расход воды	м ³ /с	67,0
8	Расчетный уровень высоких вод	м	92,55
9	Уклон водной поверхности при РУВВ	‰	0,6
10	Распределение расчетного расхода воды • левая пойма • русло • правая пойма	м ³ /с м ³ /с м ³ /с	11,8 49,0 6,21
11	Ширина затопления речной долины при РУВВ	м	120
12	Ширина элементов речной долины • левая пойма • русло • правая пойма	м м м	64,3 26,6 28,7
13	Средние глубины при РУВВ • левая пойма • русло • правая пойма	м м м	0,96 2,92 0,10
14	Площади живого сечения при РУВВ • левая пойма • русло • правая пойма	м ² м ² м ²	61,5 77,6 31,4
15	Средние скорости течения при РУВВ • левая пойма • русло • правая пойма • общая по всей длине	м/с м/с м/с м/с	0,19 0,65 0,20 0,40

Окончание табл. 2

№ п/п	Наименование	Измеритель	Показатель
16	Максимальные глубины при РУВВ		
	• левая пойма	м	1,45
	• русло	м	3,27
	• правая пойма	м	1,21
17	Максимальные скорости течения воды при РУВВ		
	• левая пойма	м/с	0,4
	• русло	м/с	1,5
	• правая пойма	м/с	0,4
18	Частота затопления поймы		Ежегодно
19	Длительность заполнения поймы при прохождении половодья		
	при минимальной отметке:		
	• левая пойма		7–8 дней
	• правая пойма		7–8 дней
	при средней отметке:		
• левая пойма		3–4 дня	
	• правая пойма		3–4 дня
20	Максимальная толщина льда при ледоходе	м	1,5
21	Повторяемость ледохода		1 раз в 2 года
22	Ледово-затворные явления		Нет
23	Проявление карчехода		Нет
24	Строительные расходы 10 %		
	• весеннее половодье	м ³ /с	44,2
	• дождевой паводок	м ³ /с	22,6
25	Строительные уровни при расходах 10 %		
	• весеннее половодье	м	92,08
	• дождевой паводок	м	91,43
26	Уклон водной поверхности в межень	‰	0,6
27	Ширина водоохраной зоны в обе стороны от межени уреза	м	100

Абсолютная минимальная температура воздуха -53°C . Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 равна -37°C , обеспеченностью 0,98 составляет -39°C . Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца $10,4^{\circ}\text{C}$. Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца 80 %. Количество осадков за ноябрь – март 93 мм.

Рассматриваемая территория относится к III ветровому (нормативное значение ветрового давления 38 кгс/м^2 , скорость ветра, возможная 1 раз в 5 лет, равна 25 м/с, 1 раз в 25 лет 28 м/с, возможны порывы до 40 м/с), IV гололедному (толщина стенки гололеда 17,5–22,4 мм) и V снеговому району (нормативное значение веса снегового покрова 320 кгс/м^2).

Габарит моста принят Г 8+2×1,5 м. Длина моста по крайним граням шкафных стенок составила 59,20 м. Мост в плане расположен на прямой, про-

дольный уклон 15 %. Русло реки перекрывает 2 пролета по 17,605 м и один пролет 18,05 м.

Береговые опоры запроектированы сборными железобетонными свайными двухрядными. Сваи приняты железобетонными призматическими сечением 35×35 см, марки С12-35Т5 и С14-35Т5. Длина железобетонных свай 12 и 14 м. В верхней части сваи объединялись блоками насадки из бетона. На блоках насадки устраивались дополнительные арматурные выпуски для объединения с монолитной шкафной стенкой и монолитной боковой стенкой. Монолитная шкафная стенка и боковые стенки разработаны индивидуально. На насадках по слою цементного раствора устраивались блоки подферменников разной высоты, размером в плане 40×30 см. На подферменники устраивались резиново-металлические опорные части.

Промежуточные опоры запроектированы сборными железобетонными свайными однорядными. Сваи приняты железобетонные призматические сечением 35 × 35 см, марки С15-35Т5. Длина свай 15 м. В верхней части сваи объединялись блоками насадок из бетона. Блоки насадок соединялись между собой путем ванной сварки арматурных выпусков из блоков и последующего бетонирования в поперечных стыках шириной 50 см. На насадках по слою цементного раствора устанавливались блоки подферменников разной высоты из бетона, размером в плане 40×30 см. На подферменники устраивались резиново-металлические опорные части.

Длина моста через р. Алла-Елга по задним граням открылков береговых опор при схеме разбивки на пролеты 3×18 м составляет 59,20 м (табл. 2). Балки пролетного строения длиной 18 м приняты по типовому проекту. Пролетное строение моста комплектуется из трех пролетов, каждый из которых состоит из двух крайних балок и пяти средних балок с расстановкой поперек моста через 1,70 м. Балки устанавливались на резиново-металлические опорные части.

Расчеты проводились в геотехническом программном комплексе Plaxis.

Грунты, слагающие основание, представлялись упругопластической моделью упрочняющегося грунта. Расчетная область основания позволяла учесть неоднородность грунтовой среды, возможность проведения расчета одновременно по двум предельным состояниям при условии совместной работы системы «основание – фундамент – сооружение», образования зон предельного равновесия в основании.

Несущие конструкции моста моделировались треугольными пластинчатыми конечными элементами, сваи в расчетной схеме задавались линейными стержневыми элементами. Работа конструкций здания подчинялась линейному закону Гука.

Всего было составлено две расчетные схемы системы «основание – фундамент – сооружение»: с проектным расположением свай в плане и с расположением свай по исполнительной схеме (рис. 1–8).

При анализе проектной и исполнительной документации была разработана пространственная расчетная схема и выполнено численное моделирование этапов строительства мостового перехода в следующей последовательности:

- 1) моделирование начального напряженного состояния массива грунта,
- 2) возведение мостового перехода,
- 3) приложение проектных нагрузок.

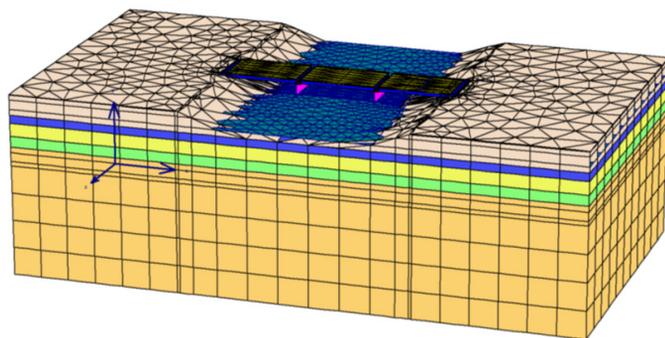


Рис. 1. Расчетная схема системы «основание – фундамент – сооружение»

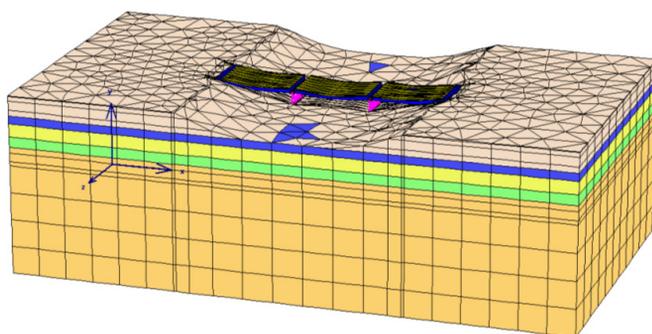


Рис. 2. Деформированная схема системы «основание – фундамент – сооружение» после приложения проектных нагрузок

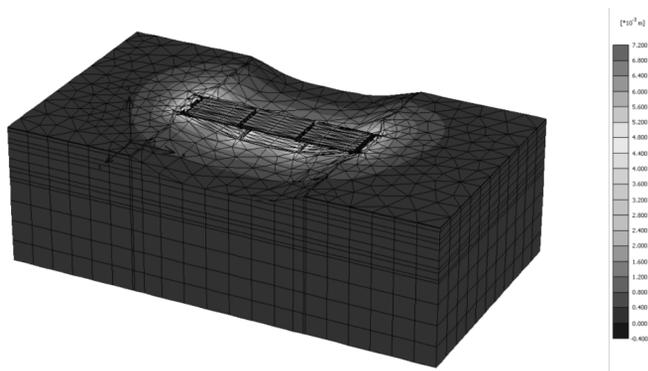


Рис. 3. Перемещения в основании после приложения проектных нагрузок

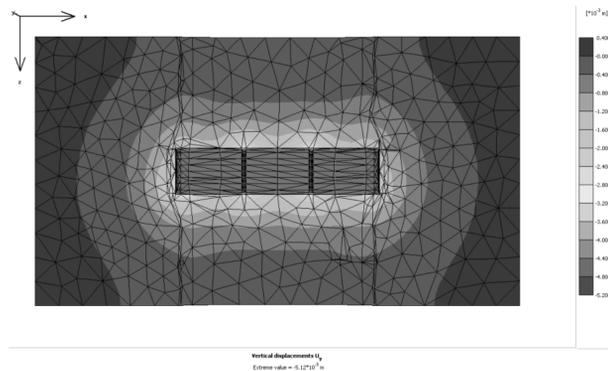


Рис. 4. Вертикальные перемещения в основании после приложения проектных нагрузок

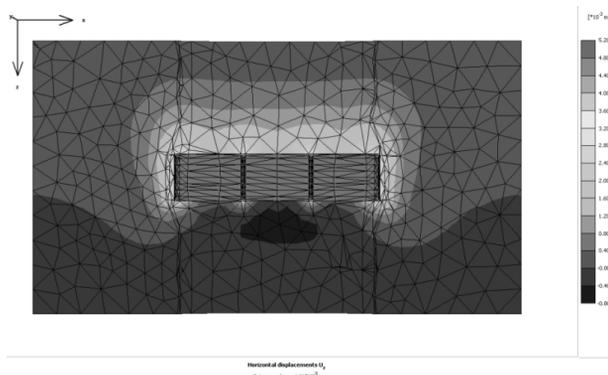


Рис. 5. Горизонтальные перемещения в основании после приложения проектных нагрузок

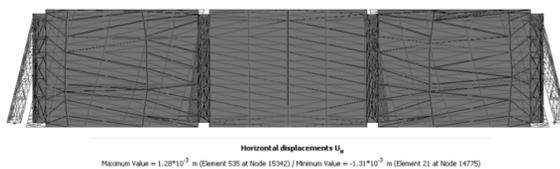


Рис. 6. Горизонтальные перемещения моста после приложения проектных нагрузок

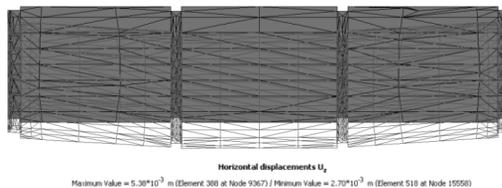


Рис. 7. Горизонтальные перемещения моста после приложения проектных нагрузок

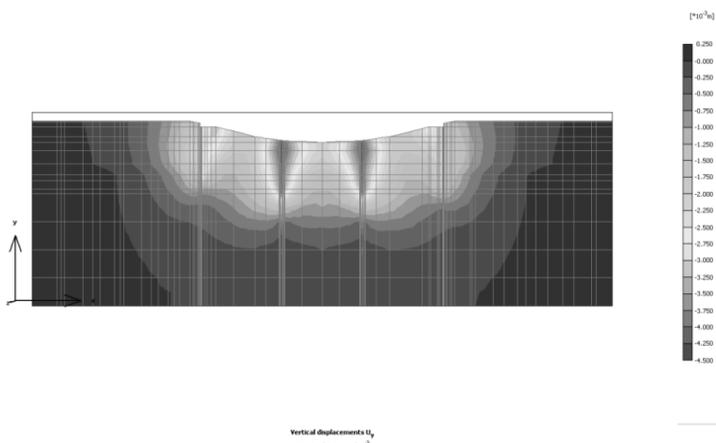


Рис. 8. Вертикальные перемещения в основании после приложения проектных нагрузок

Анализ результатов расчетов показал, что отклонения свай в плане оказывает несущественное влияние (в пределах 1 %) на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций мостового перехода.

Усилия в сваях при действии проектных нагрузок изменяются в пределах: $N = 280 \dots 500$ кН – для 1-й расчетной схемы, $N = 250 \dots 520$ кН – для 2-й расчетной схемы, что не превышает предельно допустимые нагрузки на сваи по проекту.

Организованные геодезические наблюдения за мостовым переходом показали высокую сходимость с результатами расчетов.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ: ДОВЕРЯТЬ ИЛИ НЕ ДОВЕРЯТЬ КОМПЬЮТЕРАМ?

И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, В.Н. Кононович

Саратовский государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина, Россия

Формулируется проблема обеспечения достоверности численного моделирования с использованием компьютерного моделирования и мощных программных комплексов для обоснования проектных решений. Отмечаются особенности работы экспертизы в современных условиях «гибкого» проектирования при действии ФЗ-184 «О техническом регулировании». Описывается зарубежный опыт решения возникающих проблем. Приводится пример стандарта организации по составу и оформлению документации программного обеспечения в области расчета транспортных сооружений

***Ключевые слова:** достоверность расчетных моделей, численное моделирование, экспертиза, «гибкое» проектирование, стандарты организаций.*

Как известно, в последние годы в практике проектирования широко используются коммерческие и некоммерческие инженерные и научные программные комплексы, позволяющие с помощью современных численных методов (в большинстве своем опирающихся на методологию конечных элементов) производить расчеты и численное моделирование поведения сложных инженерных конструкций с учетом и усложненных свойств материалов, и сложных программ нагружения, и реальных условий эксплуатации.

После принятия закона 184-ФЗ «О техническом регулировании» с последующими его корректировками и введения закона «Технический регламент о требованиях безопасности зданий и сооружений» методика проектирования стала более гибкой, не связанной жесткими требованиями ранее действовавших нормативных документов и допускающей обоснование проектных решений с помощью сложных расчетов с применением различных современных программных комплексов.

Однако возникла следующая проблема: если раньше проекты, представляемые на экспертизу, проходили проверку на соответствие существовавшим довольно жестким нормам проектирования, содержащимся в нормативных документах, и эксперты, прекрасно знакомые с этими нормативными документами, стояли на страже правильности соблюдения требований нормативных документов, и тем самым – на страже безопасности проектируемых зда-

ний и сооружений, то теперь, в соответствии с новыми «правилами игры», эксперты должны проверять правильность проектных решений, не всегда опирающихся на твердые нормы, а во многом обоснованных сложнейшими расчетами с помощью современных программных комплексов.

Проектные решения, разработанные и обоснованные с применением таких расчетов, и, соответственно, и сами расчеты, а точнее результаты этих расчетов, при представлении на государственную экспертизу стали сталкиваться с неприятием экспертов в силу их определенного (и нередко обоснованного) недоверия к такой сложной и неоднозначной системе обоснования правильности проектных решений как по существу, так и по форме оформления.

В определенной мере это связано с отсутствием в отечественной практике наработанных и унифицированных подходов к методологии компьютерного моделирования, которые должны были бы быть изложены в нормативных документах или, по крайней мере, в руководствах и рекомендациях компетентных организаций или инженерных обществ. Следует сразу же заметить, что, по всей вероятности, процедура компьютерного моделирования и оценки правильности полученных с ее помощью результатов принципиально ненормируема, по крайней мере на современном этапе, поэтому эксперту в настоящее время пока не на что, кроме как на старые отработанные методологии контроля, опереться.

Заметим также, что после вступления в силу вышеуказанных новых усложненных и в определенной мере неформализованных «правил игры» сроки проведения государственной экспертизы и расценки на экспертизу не изменились. Заключение на определенный объект проектирования, например на средний мост, по-прежнему должно быть выдано в течение трех месяцев со дня заключения договора на проведение экспертизы, вне зависимости от того, запроектировано оно по нормам, хорошо знакомым экспертам, или на основании определенного количества компьютерных моделей, требующих скрупулезной проверки, с использованием разнообразных, не всегда знакомых эксперту программных комплексов.

Ясно, что в случае применения технологии такого «гибкого» проектирования нагрузка на экспертов значительно выше, а проверка компьютерных расчетов требует кроме знания инженерных основ проектирования и соответствующих нормативных документов еще и знания специфики численного моделирования, а иногда и конкретных программных комплексов.

В нашей стране эту проблему одними из первых подняли такие уважаемые специалисты, как А.В. Перельмутер и, к сожалению, недавно ушедший от нас В.И. Сливкер. Они справедливо отметили, что развитие средств компьютеризации инженерных расчетов оказало не только положительное, но и отрицательное воздействие на качество расчетных обоснований проектных решений, привело к появлению ряда важных проблем, связанных с умением разумно применять мощные программные комплексы при решении инженерных задач. Оказалось, что применение высокоточных компьютерных методов рас-

чета не избавляет проектировщиков от ошибок, которые могут привести к весьма неприятным последствиям, включая аварии и разрушения конструкций. Главгосэкспертизы России для того, чтобы повысить качество расчетных обоснований проектных решений современных сложных объектов строительства, подготовила следующее письмо.



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ

ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ

Фуркасовский пер., д.12/5, Москва, 101990
Тел.(095) 925-75-46. Факс: (095) 924-67-49
E-mail: info@gge.ru

28.06.04 № 24-10-3/1281

На № _____ от _____

Филиалы Главгосэкспертизы России
в субъектах Российской Федерации

Организации государственной
вневедомственной экспертизы
субъектов Российской Федерации

О повышении качества расчетных
обоснований проектных решений
строительных конструкций

Анализ современного состояния проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений свидетельствует о необходимости реализации комплекса мер по повышению качества расчетных обоснований проектных решений строительных конструкций. Эти меры в первую очередь касаются объектов, не имеющих в отечественной практике ранее запроектированных и построенных аналогов (современные высотные здания, уникальные торговые, спортивные и зрелищные объекты с большепролетными покрытиями, здания сложной архитектурной формы, в том числе возводимые в сейсмоактивных районах и т.п.).

На практике, при выполнении расчетов строительных конструкций по пространственным схемам с помощью программных комплексов во многих случаях не проводится тщательное компьютерное моделирование для различных вариантов расчетных схем, учитывающих изменение расчетных моделей в процессе возведения и эксплуатации, геометрическую и физическую нелинейность, динамический характер воздействий и реакций конструкций. Проектировщиками, не имеющими во многих случаях необходимой подготовки и опыта расчета сложных объектов, не всегда учитывается тот факт, что современные программные комплексы (далее ПК), реализующие метод конечных элементов, являются лишь инструментом моделирования, дающим некоторое приближенное решение. Результаты расчета могут значительно отличаться для сложных объектов при использовании различных ПК и при использовании различных моделей.

Как следствие имеют место просчеты в проектировании, приводящие к аварийным ситуациям в ходе строительства и эксплуатации, в ряде случаев с трагическими последствиями.

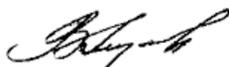
Для приведения уровня качества расчетных обоснований проектных решений современных сложных объектов строительства проектным организациям рекомендуется **осуществлять расчеты не менее чем по двум сертифицированным, независимо разработанным** и проверенным в практике ПК, проводить **сопоставительный анализ полученных результатов**. Такая практика широко применяется в развитых странах и некоторыми проектными организациями России.

Органам государственной экспертизы рекомендуется запрашивать в необходимых случаях расчетные обоснования конструктивных решений с использованием двух независимо разработанных программ. Для поддержки соответствующей технологии расчетов разработчикам программных средств рекомендуется осуществлять **поставку программ-конверторов для передачи расчетных схем из одного программного комплекса в другой**.

Главгосэкспертиза России просит довести указанную информацию до сведения проектных и строительных организаций вашего региона.

Приложение: письмо ГУП ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко от 24.06.2004 № 13-103 и форма заявки на участие в семинаре.

Начальник



В.Ю.Леушин

Как видно, в письме этой уважаемой организации справедливо отмечается, что при расчете сложных конструкций не анализируются различные варианты расчетных схем, не проводится тщательное компьютерное моделирование с учетом таких факторов, как геометрическая, физическая и конструктивная нелинейность, воздействие внешней, агрессивной по отношению к материалу конструкций среды, весьма примитивно учитывается динамический характер работы конструкций. Но ведь, как известно, расчетная схема (модель) конструкции должна учитывать и отражать основные свойства конструкции, характерные для исследуемого поведения конструкции, а нередко используемый программный комплекс имеет встроенную в него расчетную схему, ориентированную на решение тех задач, которые ставили перед собой разработчики программного комплекса, а не тех, которые должен решать проектировщик.

Поскольку наша страна в области применения компьютерных методов к задачам расчета и моделирования поведения конструкций столкнулась с вышеуказанными проблемами на 10–15 лет позже ряда зарубежных стран, то, полагаем, будет представлять интерес опыт зарубежных специалистов в этой области. Этот опыт изложен в кодах и руководствах различных инженерных обществ и даже включен в строительные нормы г. Нью-Йорка.

Согласно этим материалам эксперты надзорных органов могут привлечь по своему усмотрению для проверки расчетов или проектных решений, выполненных на основании сложных расчетов, компетентную стороннюю независимую экспертную организацию или эксперта и поручить им выполнить

проверку правильности представленных расчетов. Такого привлеченного независимого эксперта называют peer reviewer – «сторонний проверяющий». Понятно, что услуги привлеченных сторонних экспертов оплачиваются дополнительно к стоимости основной экспертизы и за счет средств заказчика. Эксперты вправе привлечь сторонних специалистов для дополнительного расчетного анализа в случае, если проект сделан не на основании известных нормативных документов, а обосновывается специальными расчетами, выполненными с привлечением программных средств. В некоторых случаях эксперты не только имеют право так делать, но даже обязаны поступать таким образом.

Эксперты при проведении экспертизы не должны проверять непосредственно сами расчеты. Они должны ознакомиться с исходными данными для расчета, с результатами расчета и выполнить оценку достаточности и надежности исходных данных и достоверности полученных результатов. Для оценки достоверности эксперты могут применить или свой собственный расчет (возможно даже по упрощенной расчетной схеме), или другие приемлемые способы оценки.

При анализе представленных на экспертизу результатов расчета эксперты должны быть уверены, что расчет выполнялся компетентным и квалифицированным специалистом, поэтому в документацию по расчету должна быть включена достаточно полная информация о специалистах, принимавших участие в расчете (их образовании, опыте и квалификации в предметной области, в области компьютерного моделирования и применения конкретных программных комплексов), а также достаточно полно и обоснованно изложена методология расчета. Неотъемлемым элементом расчета является доказательство не только сходимости использованных методов, но и достоверности выполненного расчета – его верификация. Поэтому информация о проверке расчета – его верификации – должна приводиться в документации расчета и предоставляться на проверку. Обычно для верификации используется другая, нередко более простая методика или более простая расчетная схема, позволяющая выполнить расчет с использованием простых калькуляторов, т.е. практически «ручным способом». Ясно, что экспертам легче выполнить проверку достоверности результатов расчета с использованием более простых расчетных схем, приближенных методов, не требующих мощных компьютеров и дорогостоящих программ, чем проверять непосредственно компьютерные модели и вычисления с использованием мощных программных средств.

При выполнении расчетов проектировщики (или привлекаемые расчетчики) должны стремиться использовать апробированные, доказавшие свою надежность методы. Интересно, что ни в одном зарубежном нормативном документе или инженерном руководстве не оговаривается, что используемая методика расчета или компьютерная программа должны быть сертифицированы каким-либо органом по сертификации. Обычно указывается, что применяемые программные комплексы и математические методы должны пройти

валидацию (представляющую собой процесс оценки правильности сделанных допущений и вывода основных уравнений используемой методики), которая должны быть изложена в доступном техническом руководстве (обычно прилагаемом к программному комплексу).

В определенной мере это документированная оценка адекватности использованной модели (с учетом ее дискретизации и компьютеризации) и методики реальному моделируемому процессу в рассчитываемом сооружении. Обычно такое руководство к программе представляет собой нетонкую брошюру, в которой приведена информация по сравнению полученных с помощью программного комплекса экспериментальных результатов расчета с экспериментальными данными. На основании этой информации квалифицированный инженер и расчетчик могут принять самостоятельное решение о возможности применения использованной в программе методики для решения своей инженерной задачи, за которую они несут ответственность. Понятно, что и эксперты не только могут, но и должны воспользоваться такой методологией оценки адекватности результатов.

Что же касается исходных данных для расчета и моделирования, а также исходных гипотез и допущений, если они не общеприняты, а также результатов чьих-то научных исследований и экспериментальных данных, то они должны прикладываться к выполняемому расчету в виде ксерокопий.

Скорее всего, в нашей стране после набора определенного опыта проектирования в условиях действия вышеуказанной «гибкой» технологии проектирования, опирающейся на технические регламенты, национальные стандарты, наработанные стандарты предприятий и организаций будут уточнены и более корректно сформулированы подходы, приемы, методики быстрой, надежной, понятной и проверяемой процедуры оценки достоверности расчетов с применением сложного компьютерного моделирования. Одним из возможных подходов к решению такой задачи может быть добавление к паре проектировщик (расчетчик) – эксперт третьего специалиста, привлекаемого к проверке расчета и разделяющего ответственность за правильность конечного результата. При этом этот третий специалист, скорее всего, должен подбираться под требования проверяемой задачи исходя из его опыта, квалификации, а также наличия и умения использовать необходимое компьютерное оборудование и программное обеспечение.

В современных условиях эксперты, привлекаемые к экспертизе проектной документации, должны:

- знать основные принципы, концепции и требования нормативных документов;
- иметь образование в области, связанной с их профессиональной деятельностью как экспертов;
- быть компетентными в использовании оценки рисков и опасных факторов в качестве метода расчета;

– иметь опыт проведения экспертизы проектной документации, соблюдения расчетных требований и требований к документации, а также подтверждения выполнения проектных задач.

– обладать высоким уровнем знаний в области проектирования, необходимым для анализа выполненных расчетов в сфере их компетенции.

Что же касается используемых при проектировании сооружений компьютерных моделей, то необходимо чтобы:

– все работы по компьютерному моделированию выполнялись под руководством проектировщика; при этом программист-расчетчик должен обладать знаниями и опытом применения программы для решения инженерных задач с учетом требований нормативных документов;

– информация об используемых программах была представлена в качестве неотъемлемой части документации (название программного комплекса, его краткое описание, виды выполняемых расчетов, входные и выходные данные с указанием, откуда они берутся и каким образом они используются при проектировании).

– была представлена информация об используемых уравнениях точных и приближенных математических моделей, имеющих неопределенности, допущениях, ограничениях, областях применения; желательно предоставить несколько примеров простых воспроизводимых исходных данных и эталонных тестов.

Кратко рассмотрим возможную структуру стандарта организации (СТО) по оформлению документации по программному обеспечению для расчета конструкций и сооружений.

СТО «Состав и оформление документации программного обеспечения в области расчета транспортных сооружений»

Предисловие. Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании» и его изменениях, а общие правила применения стандартов организаций изложены в ГОСТ Р 1.0–2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте. Кем разработан, когда принят и введен в действие, кому принадлежат права на этот стандарт организации.

1. Область применения. Стандарт организации устанавливает состав документации к программному обеспечению организации для расчета конструкций и сооружений, а также требования к содержанию и оформлению документации. Стандарт устанавливает термины и определения основных понятий по компьютерному моделированию и расчету конструкций и сооружений, используемые в документации к программному обеспечению. Положения настоящего стандарта обязательны для организации при разработке и поддержке программного обеспечения в области расчета конструкций. Положения настоящего стандарта обязательны для применения предприятиями, организа-

циями и специалистами, имеющими лицензию на использование программного обеспечения разработавшей СТО организации, в части и объеме, предусмотренном лицензионным соглашением на использование программного обеспечения. Положения настоящего стандарта могут использоваться предприятиями, организациями и специалистами при выполнении работ по моделированию и расчету таких-то конструкций и сооружений с применением компьютерного моделирования. Положения стандарта могут использоваться экспертными организациями и экспертами при оценке работ по моделированию и расчету конструкций и сооружений с применением компьютерного моделирования.

2. Нормативные ссылки.

3. Термины и определения. Модель – упрощенное отображение зависимостей и закономерностей реальных объектов и явлений в форме, удобной для решения практических задач.

Расчетная модель (расчетная схема) – упрощенная модель, определяющая структуру рассматриваемого реального объекта как систему элементов объекта и причинно-следственные связи, присущие этой системе и существенные для достижения цели рассмотрения объекта.

Математическая модель – отображение зависимостей и закономерностей расчетных моделей реальных объектов и явлений в форме математических зависимостей.

Вычислительная модель – численная реализация зависимостей математической модели объекта и численного представления существующего или проектируемого объекта.

Моделирование – решение практической задачи при построении и изучении моделей реально существующих или проектируемых объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений.

Численное моделирование – моделирование с применением вычислительных моделей, реализованных на компьютерах.

Идентификация модели – определение коэффициентов и зависимостей модели по экспериментальным данным.

Валидация модели – документированное доказательство степени соответствия (адекватности) модели объекта свойствам и зависимостям реального объекта.

Верификация моделирования – документированное доказательство правильности описания моделью свойств и зависимостей расчетной модели реального объекта.

Иерархия моделей – соотношение различных типов моделей одного и того же реального объекта между собой в зависимости от степени детализации представления объекта, точности и достоверности определения рассматриваемых свойств объекта.

Организационное обеспечение – совокупность решений, определяющих цели и задачи моделирования, порядок и способы выполнения моделирования, применения и использования результатов численного моделирования, системы обеспечения качества моделирования.

Программное обеспечение – реализация вычислительной модели для выполнения моделирования на компьютерах, состоит из дистрибутива, лицензии на использование, документации, гарантий разработчика программного обеспечения, технической поддержки.

Методическое обеспечение – система моделей и методик, реализованных в программном обеспечении.

Кадровое обеспечение – специалист или группа специалистов, участвующих в решении практической задачи с помощью численного моделирования, обладающих необходимой и достаточной квалификацией в предметной области моделирования, в создании численного представления моделей рассматриваемых объектов, в верификации результатов моделирования

Информационное обеспечение – информация о форме представления в модели в компьютерах, используемая и создаваемая при численном моделировании, а также порядок ее применения и хранения.

Техническое обеспечение – технические средства, такие как компьютеры и другие устройства, используемые для численного моделирования.

4. Общие положения. Документация СТО предназначается для предоставления информации о программном обеспечении специалистам, в компетенции которых находится выработка и принятие решений организационного обеспечения моделирования. В документации должна содержаться исчерпывающая информация для принятия решений о приобретении программного обеспечения, порядке его использования, создания систем обеспечения качества моделирования, порядка формирования кадрового, информационного и технического обеспечения моделирования с применением рассматриваемого программного обеспечения; предоставления информации о программном обеспечении и его методическом обеспечении специалистам, в компетенции которых находится использование программного обеспечения для решения практических задач в области расчета и моделирования сооружений (в документации должна содержаться исчерпывающая информация для принятия решений о возможности применения методики и программы для решения задач в области расчета и моделирования сооружений, для оценки достоверности решений, для самооценки специалистами своей квалификации для решения таких задач; предоставления информации о программном обеспечении и его методическом обеспечении специалистам, в компетенции которых находится оценка достоверности результатов решения практических задач в области расчета и моделирования сооружений (в документации должна содержаться исчерпывающая информация для принятия решений о возможности применения методики и программы для решения задач в области расчета

и моделирования сооружений, приведены способы оценки достоверности решений); предоставления информации для использования при создании систем менеджмента качества проектных работ; предоставления исчерпывающей информации о гарантиях разработчика программного обеспечения.

В каждый дистрибутив программного обеспечения должен включаться список документов, входящих в состав документации передаваемого программного обеспечения.

5. Состав и обозначение документации. В состав документации входят следующие документы: а) декларация программы; б) техническое руководство; в) руководство по валидации (проверке адекватности) модели; г) руководство пользователя; д) руководство по верификации моделирования; е) контрольные примеры.

6. Декларация программы. Декларация программы – это документ, в котором в сжатом виде приводится информация о разработчике, версии программного обеспечения, методическом обеспечении, основная информация о моделях, реализованных в программе, их основных аспектах, ограничениях к применению. В декларации программы указывается следующая информация: а) название программного обеспечения; б) версия программного обеспечения; в) сведения о разработчике; г) область применения; д) описание иерархии моделей программного обеспечения; е) сведения о разработчиках моделей; ж) перечень существенных параметров численной модели; з) точность модели; и) сведения о валидации модели; к) обзор основных методов верификации расчетов.

7. Техническое руководство. Техническое руководство – это документ, в котором приводится подробная информация о разработчике, о версии программного обеспечения, методическом обеспечении, основная информация о моделях, реализованных в программе, их основных аспектах, ограничениях к применению. Техническое руководство предназначено для использования специалистами, непосредственно выполняющими работы по решению практических задач в области расчета и моделирования сооружений с использованием численного моделирования, а также специалистами, оценивающими результаты таких расчетов. В техническом руководстве программного обеспечения указывается следующая информация: а) название программного обеспечения; б) версия программного обеспечения; в) сведения о разработчике; г) область применения; д) описание иерархии моделей программного обеспечения; е) сведения о разработчиках моделей; ж) перечень существенных параметров численной модели; з) точность модели; и) требования к техническому обеспечению; к) требования к информационному обеспечению; л) обзор сведений о валидации моделей; м) обзор основных методов верификации расчетов; н) список литературных источников, в которых приводятся теоретические основы применения моделей, экспериментальные данные, примеры выполнения расчетов для практических задач, стандарты и руководства.

8. Руководство пользователя. Руководство пользователя – это документ, в котором приводится информация об интерфейсе программного обеспечения, о порядке действий для выполнения численного моделирования с применением программного обеспечения. Руководство пользователя предназначено для использования специалистами, непосредственно выполняющими работы по численному моделированию с применением программного обеспечения. В руководстве пользователя программного обеспечения указывается следующая информация: а) название программного обеспечения; б) версия программного обеспечения; в) сведения о разработчике; г) описание элементов интерфейса программного обеспечения; д) описания последовательности действий для решения типовых задач; е) рекомендации по оформлению отчетов по численному моделированию с применением программного обеспечения

9. Руководство по валидации (проверке адекватности) модели. Руководство по валидации модели – документ, в котором приводится подробная информация об экспериментальных данных, демонстрирующих область применения и точность моделей, используемых в программном обеспечении, или приводится другая информация, демонстрирующая соотношение моделей с реальными явлениями или другими известными моделями. Руководство по валидации модели предназначено для использования специалистами, выполняющими работы по решению практических задач в области расчета и моделирования сооружений с использованием численного моделирования, а также специалистами, оценивающими результаты таких расчетов. В руководстве по валидации программного обеспечения указывается следующая информация: а) название программного обеспечения; б) версия программного обеспечения; в) сведения о разработчике программного обеспечения; г) область применения; д) описание иерархии моделей программного обеспечения; е) сведения о разработчиках моделей; ж) перечень существенных параметров численной модели; з) точность модели; и) описание натуральных, лабораторных или численных экспериментов по валидации моделей, представление экспериментальных данных; к) список литературы, в которой приведены экспериментальные данные или другая подобная информация, данные о валидации моделей.

10. Руководство по верификации расчетов. Руководство по верификации расчетов – это документ, в котором приводится подробная информация о методах верификации результатов численного моделирования и оценки достоверности расчетов с применением программного обеспечения. Руководство по верификации расчетов предназначено для использования специалистами, выполняющими работы по решению практических задач в области расчета и моделирования сооружений с использованием численного моделирования, а также специалистами, оценивающими результаты таких расчетов. В руководстве по верификации расчетов указывается следующая информация: а) название программного обеспечения; б) версия программного обеспечения; в) сведения о разработчике программного обеспечения; г) область применения; д) описание иерархии моделей

программного обеспечения; е) перечень существенных параметров численной модели; ж) точность модели; з) обзор возможных источников ошибок в численном моделировании; и) обзор применимых методов верификации результатов численного моделирования; к) обзор экспериментальных данных, которые могут использоваться для верификации; л) обзор альтернативных моделей, которые могут использоваться для верификации; м) контрольный список вопросов по применению численной модели и оценке достоверности результата; н) список литературы, в которой приводятся рекомендации по верификации расчетов и соответствующие данные.

11. Контрольные примеры. Контрольные примеры – это документ или несколько документов, в которых приводится информация для обучения специалистов работе с программным обеспечением, для самооценки квалификации специалистов, для оценки квалификации специалистов при проведении расчетов и аттестаций. Контрольные примеры предназначены для использования специалистами, выполняющими работы по решению практических задач в области расчета и моделирования сооружений с использованием численного моделирования, а также специалистами, осуществляющими оценку квалификации пользователей программного обеспечения.

12. Библиография.

В заключение можно сделать следующие выводы:

В статье предлагается органам экспертизы привлекать для проверки расчетов и проектных решений, выполненных на основании сложных расчетов, компетентную стороннюю независимую экспертную организацию или экспертов и поручать им выполнять проверку правильности представленных расчетов.

Для систематизации и выработки обоснованной стратегии проверки расчетов, выполненных с использованием специального программного обеспечения, предлагается разрабатывать специальные стандарты организаций. В качестве возможного образца приводится структура СТО «Состав и оформление документации программного обеспечения в области расчета транспортных сооружений»

СОДЕРЖАНИЕ СБОРНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1. МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Раздел 1.1. Наземные транспортно-технологические комплексы

1. Козбагаров Р.А., Таран М.В. Процессы взаимодействия рабочих органов землеройных машин со средой (г. Алматы, **Казахстан**)
2. Катаргин В.Н., Писарев И.С., Хмельницкий С.В. Методика проведения экспериментальных исследований в задачах оценки уровня надежности агрегатов транспортно-технологических машин (г. Красноярск)
3. Щербаков А.С., Курилов Е.В., Гааг Я.В. Метод расчета сопротивления копанью полусферическим отвалом бульдозера (г. Ярославль)
4. Курилов Е.В. Экспериментально-аналитическая модель косоого резания грунта дисковым ножом (г. Ярославль)
5. Зеньков С.А., Игнатъев К.А., Красавин С.Ю., Товмасын Э.И. Выявление мест установки противoadгезионных устройств на основе прочностного анализа ковша экскаватора (г. Братск)
6. Козориз С.Е., Третьякова Т.И. Исследование тепловой нагруженности тормозов механизма поворота гусеничного бульдозера (г. Павлодар, **Казахстан**)
7. Добрецов Р.Ю., Семёнов А.Г. О снижении перепадов нормальной реакции при качении гу-сеничного движителя (г. Санкт-Петербург)
8. Добрецов Р.Ю. Определение основных параметров пневматической гусеницы (г. Санкт-Петербург)
9. Савельев С.В., Лашко А.Г. Методика эмпирического определения реологии адаптивного рабочего органа дорожного катка (г. Омск)
10. Вахрушев С.И., Манн С.В. Методика функционально-структурного подхода при изучении гидропривода транспортных машин (г. Пермь)
11. Мырзахметов Б.А., Кадыров Ж.Н., Кульгильдинов М.С. Влияние динамических свойств двигателя строительно-дорожной машины на его эксплуатационные и технологические показатели (г. Алматы, **Казахстан**)
12. Макушев Ю.П., Жингель Д.С. Стенд для диагностики и испытания агрегатов наддува (г. Омск)
13. Даренский А.Н. Система для измерений перемещений пути (г. Харьков, **Украина**)
14. Чуркина О.И. Адаптационное управление течением в пограничном слое в задаче снижения сопротивления трения транспортных средств (г. Алматы, **Казахстан**)
15. Чуркина О.И. Математическая модель обтекания продольных микрориблетов в задаче уменьшения аэродинамического сопротивления трения транспортных средств (г. Алматы, **Казахстан**)
16. Сопегин Д.В., Ериков А.П. Анализ структурных изменений при функционировании трубопроводного соединения «Раструб» (г. Пермь)
17. Сапцин В.П., Лаврентьев Б.Ф., Турецких С.О. Рациональные режимы движения камеры транспортного судоподъемника для перевозки грузов (г. Йошкар-Ола)

18. Гурьянов Г.А. Некоторые тенденции в совершенствовании центробежных очистителей рабочих жидкостей (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)
19. Громов И.М., Янковский Л.В., Волков Г.Н. Позиционирование бурового инструмента при ГНБ (г. Пермь)
20. Шаповалов А.И., Кравченко Е.А., Радченко А.Э. Пройодимость и устойчивость гусеничной строительной машины (г. Краснодар)
21. Жандарбекова А.М. Практика эксплуатации одноковшовых фронтальных погрузчиков в восточно-казахстанской области (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)
22. Шаповалов А.И., Кравченко Е.А., Радченко А.Э. Особенности динамики и устойчивости гусеничной транспортной системы в горных условиях эксплуатации (г. Краснодар)
23. Кравченко Е.А., Шаповалов А.И. Прогрессивный способ производства земляных работ транспортного строительства в горных условиях (г. Краснодар)
24. Водченко О.П. Экономичный автоматизированный гусеничный движитель Adaptive для промышленных суперкомплексов (г. Харьков, **Украина**)
25. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В. Выбор способа и разработка оборудования для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)
26. Карташов А.А., Проскурин А.И., Симакина Г.Н., Смирнов Н.В., Бизиков В.В. Переработка шин и их элементов (г. Пенза)
27. Гвоздев А.В., Расщупкин В.П., Акимов В.В., Баязитов Р.Б. Повышение свойств быстрорежущей стали для режущего инструмента (г. Омск)
28. Расщупкин В.П., Пивоваров А.Д., Маркин П.П. Разработка компьютерной модели для получения новых составов аустенитных сталей (г. Омск)
29. Кулаев К.П., Трапезников Ю.Ф. Беспламенное горение газа на пористой пластине (г. Пермь)
30. Кузьмин Ю.А., Тайхриб Д.А. Восстановление осевых усилий в резьбовых соединениях (г. Ульяновск)
31. Трошин Д.И., Прусов А.Ю., Тарасова Н.Е. К вопросу очистки дворов и тротуаров от наледи (г. Ярославль)

Раздел 1.2. Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования

32. Ахметов Б.А., Мырзахметов Б.А., Кадыров Ж.Н. Новая конструкция роторного двигателя внутреннего сгорания (г. Алматы, **Казахстан**)
33. Поторочин А.С., Филькин Н.М. Разработка функциональной схемы комбинированной энергосиловой установки на топливных элементах (г. Ижевск)
34. Имангулов А.Р., Филькин Н.М., Музафаров Р.С., Терехов А.С. Математическое моделирование режима трогания гибридного автомобиля параллельной компоновочной схемы (г. Ижевск)
35. Вахрушев С.И., Лядов Б.В. Изучение генераторной установки автомобиля на основе функционально-структурного подхода (г. Пермь)
36. Тарасов С.В., Филькин Н.М. Влияние режима торможения на рекуперацию кинетической энергии (г. Ижевск)

37. Гущин А.С., Морозов Е.А. Использование канонического метода интегрирования в моделировании колебаний автомобиля (г. Чайковский)
38. Белых К.В., Филькин Н.М. К вопросу расчета маховичных накопителей кинетической энергии (г. Ижевск)
39. Маливанов М.В., Хмелев Р.Н. Разработка методики проектировочных расчетов поршневых двигателей внутреннего сгорания (г. Тула)
40. Поезжаева Е.В., Смолоногин П.В. Функциональные особенности расчета планетарных и волновых редукторов в автоматических коробках передач (г. Пермь)
41. Ившин К.С., Романов А.Р. Современные компоновочные факторы в эргономическом моделировании индивидуальных транспортных средств городского назначения (г. Ижевск)
42. Верняев М.А., Филькин Н.М., Терехов А.С. Исследование напряженно-деформированного состояния шарового шарнира легкового автомобиля (г. Ижевск)
43. Мазур В.В. Энергоэффективность безопасных пневматических шин при движении автомобиля по неровной дороге (г. Братск)
44. Умняшкин В.А., Полозов А.В., Ившин К.С. Оптимизация проектных параметров легкового автомобиля на этапе дизайн-проектирования (г. Ижевск)
45. Ширинкина Ю.А. Сравнительный анализ расчетных показателей работы двигателя КАМАЗ 740.62-280 при работе на нефтяном дизельном топливе и на биодизеле (г. Пермь)
46. Вшивцев А.П. Методы определения мощностных характеристик силовых установок легковых автомобилей в условиях эксплуатации (г. Челябинск)
47. Никитин А.Н., Хусаинов А.Ш. Энергопоглощающие элементы в конструкции лонжеронов современных автомобилей (г. Ульяновск)
48. Свиридов Е.В., Фёдоров Р.Ю. К вопросу торможения полноприводного автомобиля с проскальзыванием шин в контакте с опорной поверхностью (г. Пермь)
49. Макушев Ю.П., Филатов А.В., Михайлова Л.Ю. Методика диагностики топливной аппаратуры дизеля по изменению давления на входе в форсунку и движения иглы (г. Омск)
50. Лунегов М.А. Тестер для проверки исправности систем зажигания с датчиком Холла (г. Пермь)
51. Сушенцев С.Н., Иванов А.И., Гараев С.Х. Средства запуска двигателя в условиях низких температур (г. Пермь)
52. Клеменов С.В. Проблемы включения передач в МКПП с конусными инерционными синхронизаторами (г. Пермь)
53. Машкенова А.Х. Оценка системы поддержания надежности автомобилей на стадии производства (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)

ТОМ 2. МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Раздел 2.1. Сервис транспортно-технологических машин и оборудования

1. Акчурин А.Г., Баубеков Е.Е. Сравнительные перспективы энергосбережения в автотранспорте республики Казахстан (г. Алматы, **Казахстан**)
2. Ширлин И.И., Дорошенко С.В. Влияние режима эксплуатации двигателя на надежность моторного масла (г. Омск)

3. Карташов А.А., Проскурин А.И., Москвин Р.Н. Диагностика и ремонт инжекторных двигателей (г. Пенза)
4. Иванов А.И., Тарасов А.С. Приведение аккумуляторных батарей в рабочее состояние при эксплуатации автомобиля (г. Пермь)
5. Косолапов О.А., Сушенцев С.Н., Иванов А.И., Старикова Ю.Н. Влияние добавок к моторному маслу на эксплуатационные характеристики двигателя автомобильной техники (г. Пермь)
6. Ионов В.В. Оценка показателей надежности автомобилей КАМАЗ, эксплуатируемых в условиях Северо-Востока (г. Магадан)
7. Тарасов А.С. Влияние дорожных и климатических условий на эксплуатацию автомобильной техники (г. Пермь)
8. Чечумаев Д.А., Курилов Е.В. Механизация очистки городских дорог от грунтовых наносов (г. Ярославль)
9. Глебов В.А., Кривошеев М.В. Особенности эксплуатации аккумуляторных батарей на военной технике в зимний период (г. Пермь)
10. Смирнов М.Ю. Экономическая эффективность вывозки лесоматериалов звеньями автопоездов (г. Йошкар-Ола)
11. Морозов В.Н. Об определении положения автомобиля по данным спутниковой навигации (г. Омск)
12. Горбунов А.А., Дмитренко В.М., Попов А.В. Перспективы развития рынка автоуслуг в Российской Федерации (г. Пермь)
13. Поспелов П.И., Тимочкин А.В., Горячев М.Г. О начале работы экспертного совета по повышению инновационности государственных закупок в транспортном комплексе (г. Москва)
14. Шаповалов В.В., Шияев С.А. Обзор методов повышения конкурентоспособности предприятий автосервисного обслуживания (г. Ижевск)
15. Паули Н.В., Обшивалкин М.Ю. Влияние стратегий автотранспортных предприятий на надежность подвижного состава (г. Ульяновск)
16. Шутов А.М., Шияев С.А. Обоснование определения характера недостатка транспортного средства в период гарантийного обслуживания (г. Ижевск)
17. Веремеенко Е.Г. Моделирование системы управления запасами на транспорте (г. Ростов)
18. Науменко М.А. Учет рисков при оценке эффективности управления транспортно-логистическим центром (г. Краснодар)
19. Моргунов В.А., Цимберов Д.М. Направления исследований оценки эффективности функционирования системы управления эксплуатацией автомобильной техники (г. Пермь)

Раздел 2.2. Организация перевозок и управление на транспорте

20. Логвиненко П.А. Использование ЭВМ при проектировании систем координированного управления дорожным движением (г. Павлодар, **Казахстан**)
21. Пугачёв И.Н. Экономические и технологические условия совершенствования транспортной системы Российской Федерации и возможности ее международной интеграции (г. Хабаровск)
22. Юшков Б.С., Бургонутдинов А.М., Юшков В.С., Сабурова В.А. Влияние северного транспортного потока на экономику России (г. Пермь)

23. Альметова З.В., Ларин О.Н. Перспективы развития российских транспортных коридоров (г. Челябинск)
24. Лизунов А.В. Маленькие транспортные проблемы крупных городов (г. Курган)
25. Третьякова П.А., Клевко В.И. Современные подходы к проектированию транспортных систем городских территорий (г. Пермь)
26. Коновалова Т.В., Борисенко Д.А. Методы повышения безопасности и скорости сообщения городского пассажирского транспорта (г. Краснодар)
27. Сенин И.С. Методы маршрутизации грузовых автомобильных перевозок в городах (г. Краснодар)
28. Корневский В.В., Катылевская М.В. Анализ состояния уровней загрузки улично-дорожной сети города Краснодара (г. Краснодар)
29. Сорокин С.В., Крамаров Е.Г. Проблемы и перспективы развития коммерческого транспорта в г. Омске (г. Омск)
30. Кажаяев А.А., Ларин О.Н. Типология маршрутных схем городского пассажирского транспорта (г. Челябинск)
31. Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н. Управление грузодвижением в городе с использованием светофорного регулирования (г. Липецк)
32. Кравченко Е.А., Кравченко А.Е., Барсегян А.Р. Совершенствование системы перевозочных процессов пассажирским автомобильным транспортом при проведении массовых мероприятий (г. Краснодар)
33. Коновалова Т.В., Антонова О.Н. Обоснование эффективности организации автомобильных стоянок в городах (г. Краснодар)
34. Влацкая И.В., Баранов Д.А., Исхаков М.М., Рассоха В.И. Применение методов кластерного анализа для выбора оптимальных характеристик остановочных пунктов (г. Оренбург)
35. Борщенко Я.А., Димова И.П. Совершенствование практической методики определения оптимального количества пассажирских маршрутных транспортных средств (г. Курган)
36. Кравченко Е.А., Десятов Я.М., Барсегян А.Р. Анализ результатов обследования использования легковых автомобилей-такси и автомобилей повышенной проходимости при обслуживании пассажиров курортных районов муниципального образования Большие Сочи (г. Краснодар)
37. Поздняков М.Н., Феофилова А.А., Мирончук А.А., Фиалкин В.В. Восстановление матриц корреспонденций анкетным методом (г. Ростов)
38. Шраменко Н.Ю. Формализация процесса функционирования грузового терминала (г. Харьков, **Украина**)
39. Манойлин А.А. Автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков на муниципальном унитарном предприятии «Пермгорэлектротранс» (г. Пермь)
40. Грановский В.А., Чигарькова Е.Ю. Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) (г. Краснодар)
41. Каменских Е.М., Богоявленский Н.А. Необходимые тенденции авиасообщения в Перми и Пермском крае. Пути возможного развития (г. Пермь)
42. Борисов А.С., Краснов Е.С. Анализ существующих методов определения фактической интенсивности движения на автомобильных дорогах (г. Пермь)
43. Остапчук А.К., Симонов А.М., Харин В.В. О пропускной способности автомобильных дорог (г. Курган)

Раздел 2.3. Организация и безопасность движения

44. Псюрник В.А., Шаповалов А.Л., Бондар Т.В. Анализ ДТП по условиям неудовлетворительного содержания автомобильных дорог (г. Киев, **Украина**)
45. Гилева А.Г., Задворнов В.Ю. Современное состояние уровня безопасности дорожного движения на дорогах Пермского края (г. Пермь)
46. Скрынник А.М., Семчугова Е.Ю. Информационное обеспечение надзорной деятельности в сфере транспортной безопасности (г. Ростов-на-Дону)
47. Сидорова А.Г. Анализ детского дорожно-транспортного травматизма (г. Новокузнецк)
48. Гилева А.Г., Задворнов В.Ю. Инструмент оценки аварийности на основе программно-целевого подхода (г. Пермь)
49. Близначенко С.С. Теоретические основы совершенствования метода коэффициентов аварийности (г. Краснодар)
50. Близначенко С.С., Крапивина Е.А., Оветченко А.Р. Уточнение значений некоторых частных коэффициентов аварийности (г. Краснодар)
51. Коновалова Т.В., Запривода А.В. Критерии оценки эффективности работы по безопасности движения на предприятиях автомобильного транспорта (г. Краснодар)
52. Котенкова И.Н. Методы повышения безопасности объектов транспортной инфраструктуры (г. Краснодар)
53. Коновалова Т.В. Оптимизация скорости движения транспортных средств для повышения безопасности дорожного движения (г. Краснодар)
54. Бондаренко В.В. Оценка безопасности перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом через густонаселенные территории (г. Екатеринбург)
55. Безотеческих Н.С., Борщенко Я.А. Применение имитационного моделирования при производстве автотехнической экспертизы (г. Курган)
56. Половникова А.Э., Клевко В.И. Выбор рационального типа пешеходных переходов с учетом безопасности движения пешеходов (г. Пермь)
57. Гайфуллин В.М., Воителив Ю.В. Повышение безопасности пешеходов в местах концентрации ДТП в г. Челябинске (г. Челябинск)
58. Постникова А.В., Ларин О.Н. Разработка мероприятий по снижению ДТП с участием маломобильных групп населения (г. Челябинск)
59. Семёнов А.Г. Доступная среда инвалида в контексте «биполярной» модели мира (г. Санкт-Петербург)
60. Макенов А.А. Исследование склонности к риску водителей автотранспортных средств (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)
61. Кравченко Л.А., Берека И.А. Пути повышения надежности работы водителей пассажирского транспорта (г. Краснодар)
62. Федоров Д.С., Смирнова О.Ю. Направление исследований профессионально важных качеств водителя как оператора в системе «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» (г. Тюмень)
63. Макенов А.А. Экспертный анализ деятельности учебных заведений по подготовке водителей транспортных средств (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)

ТОМ 3. МОДЕРНИЗАЦИЯ В СФЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ, СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Раздел 3.1. Производство строительных материалов, изделий и конструкций

1. Ачимов Ю.А. (г. Новосибирск), Эстерле Г. (г. Дрезден, Германия). Применение природного битума в асфальтобетонных смесях
2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. О необходимости организации исследований по оценке долговечности материалов и конструкций в отрасли транспортного строительства (г. Саратов)
3. Болдырев Г.Г. Методика определения динамических модулей деформации горячих асфальтобетонных смесей. Состояние вопроса (г. Пенза)
4. Васильев Ю.Э. (г. Москва), Талалай В.В., Евтеева С.М. (г. Саратов). Особенности проведения и автоматизации межлабораторных оценочных испытаний
5. Веюков Е.В., Салихов М.Г. Обоснование нормы расхода противоморозных добавок в асфальтобетонные и щебеночно-мастичные смеси (г. Йошкар-Ола)
6. Казарян С.О., Борисенко Ю.Г. Пути повышения качества щебеночно-мастичных асфальтобетонов (г. Ставрополь)
7. Романов С.И., Мельников С.В., Лескин А.И. Улучшение свойств асфальтобетона на основе активации битума по свободно-радикальному механизму (г. Волгоград)
8. Малянова Л.И. (г. Йошкар-Ола), Салихов М.Г. (г. Чебоксары). Модифицированные асфальтобетоны и их долговечность в условиях воздействия агрессивных сред
9. Иливанов В.Ю., Салихов М.Г. (г. Йошкар-Ола). Исследование долговечности модифицированного ЩМА под действием высоких температур и агрессивной среды
10. Дудынов С.В., Александров Д.Ю., Егоров В.В., Журавлёва Е.А., Кострюкова А.А. Совершенствование структуры цементных систем экологически безвредными модификаторами (г. Саранск)
11. Богданов М.Н., Иншаков А.М. Металлическая сетка «Родмеш» для армирования дорожного полотна (г. Москва)
12. Пугин К.Г., Волков Г.Н., Мальцев А.В. Тротуарная плитка с шлаковым заполнителем (г. Пермь)
13. Игонин С.В., Асламова С.С. Использование базальтовых материалов при устройстве водоотводов (г. Пермь)
14. Середина О.С. Дефекты железобетонных водопропускных труб (г. Волгоград)
15. Корзанов В.С., Кетов Ю.А. Технологические и экономические проблемы теплоизоляции трубопроводов пеностеклянными материалами (г. Пермь)
16. Зверева Н.И., Кетов А.А. Конструкционные решения ограждающих конструкций с использованием пеностеклянных материалов при строительстве энергоэффективных зданий (г. Пермь)
17. Васильев Ю.Э. (г. Москва), Челпанов И.Б. (г. Санкт-Петербург), Руст А.М., Гладков В.Ю., Казарян В.Ю. (г. Саратов). Сертификация и математическое моделирование процессного управления

Раздел 3.2. Автомобильные дороги и аэродромы

18. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В. (г. Новосибирск), А.В. Кочетков (г. Пермь), С.А. Шиндина (г. Ташкент, **Узбекистан**). Анализ современного нормативно-методического проектирования автомобильных дорог

19. Гилева А.Г. Совершенствование системы управления эксплуатацией сети региональных автомобильных дорог Пермского края (г. Пермь)

20. Ковалева О.В., Стефанов А.Б., Пушкина Н.А. Особенности строительного контроля при возведении объектов транспортной инфраструктуры (г. Новосибирск)

21. Бендер О.А. Оценка рисков в системе контроля качества покрытия автомобильных дорог (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)

22. Давыдов А.А., Макенов А.А. Оптимальное распределение финансовых средств на проекты дорожного строительства (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)

23. Сербен И.М. Оценка территории проектирования автодороги (г. Павлодар, **Казахстан**)

24. Кочетков А.В., Янковский Л.В. (г. Пермь), Кокодеева Н.В. (г. Саратов), Рапопорт Н.В. (г. Новосибирск). О методе расчета и конструирования дорожной одежды

25. Горшков Н.И., Краснов М.А. Оценка возможности образования обратных трещин в материалах асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги после ее реконструкции на основе расчетов МКЭ (г. Хабаровск)

26. Васильев Ю.Э., Сарычев И.Ю., Мотин Н.В. (г. Москва), Аакала Т. (г. Хельсинки, **Финляндия**). Производство и применение литых сероасфальтобетонных смесей

27. Ланис А.Л., Овчинников С.А. Восстановление эксплуатационной надежности земляного полотна дорог (г. Новосибирск)

28. Семашкин К.В., Шестаков В.Н., Сологаев В.И. Обеспечение устойчивости эксплуатируемой подтопленной насыпи на 39-м километре автомобильной дороги Омск – Кормиловка (г. Омск)

29. Лизунов А.В. Сооружение земляного полотна в условиях Крайнего Севера на основе применения новой техники (г. Курган)

30. Тимофеева Л.М., Тимофеев М.Р. О проблемах применения геосинтетических материалов в современном дорожном строительстве (г. Пермь)

31. Бубновский В.В. (г. Бронницы), Аливер Ю.А. (г. Москва). Современные сельские дороги с применением геоячеек «Прудон-494»

32. Разуваев Д.А., Ланис А.Л. Использование стабилизаторов грунтов при расширении сети автомобильных дорог местного значения (г. Новосибирск)

33. Чернякевич В.И. Технологическая модернизация строительства лесных дорог (г. Йошкар-Ола)

34. Кручинин И.Н., Ращектаев В.А. Повышение качества оснований лесовозных автомобильных дорог нежесткого типа из щебеночно-песчаных смесей (г. Екатеринбург)

35. Мусиенко И.В., Горбатий А.И. Высотная оптимизация трассы по суммарным затратам топлива на базе использования САПР АД CREDO (г. Харьков, **Украина**)

36. Черников С.А., Горячев М.Г. Продление сроков службы деформационных швов монолитных цементобетонных покрытий дорог и аэродромов за счет совершенствования технологии их герметизации (г. Москва)

37. Веселов А.В., Трубкин И.С. Анализ функциональной целесообразности конструктивных элементов автомобильной дороги традиционного исполнения (г. Магнитогорск)

38. Веселов А.В., Трубкин И.С. Строительство дорог эстакадного типа как возможность решения дорожной проблемы России (г. Магнитогорск)

39. Веселов А.В. Обоснование экономической эффективности строительства автомобильных дорог эстакадного типа из сборных железобетонных элементов (г. Магнитогорск)

40. Иванов В.Н., Трофимова Л.С. Подход к определению вероятности спроса выполнения технологических процессов дорожными организациями (г. Омск)

Раздел 3.3. Мосты и транспортные тоннели

41. Пастушков В.Г. Особенности проектирования железобетонных сборно-монолитных балочных пролетных строений автодорожных мостов по новым нормативным требованиям Республики Беларусь (г. Минск, **Беларусь**)

42. Кислов А.Г., Бугаевский С.А., Краснов С.Н. Анализ работы температурно-неразрезных пролетных строений железобетонных мостов (г. Харьков, **Украина**)

43. Овчинников И.И., Козлачков С.В. Анализ конструктивных особенностей деформационных швов мостов (г. Сочи)

44. Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Ризниченко А.С. Методика прогнозирования сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на мостах (г. Киев, **Украина**)

45. Козлачков С.В. Анализ конструктивных особенностей защитного устройства для деформационных швов мостов (г. Сочи)

46. Дараган К.А., Коновалов К.В. Мосты. Цена ошибок (г. Краснодар)

47. Гейзен Р.Е. Практические проблемы проектирования искусственных сооружений на региональных дорогах (г. Пермь)

48. Яшнов А.Н., Кузьменков П.Ю. Мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций мостов в процессе сооружения (г. Новосибирск)

49. Голенковская В.Г., Богоявленский Н.А. Коммунальный камский мост – существующие перспективы (г. Пермь)

50. Яшнов А.Н., Иванов А.Н., Суляев А.П., Диль А.В. Перспективы применения современных композиционных материалов в мостостроении (г. Новосибирск)

51. Зиновьев В.С. Применение в отечественном мостостроении нанокompозитных полимеров (г. Саратов)

52. Бильченко А.В., Голеско В.А., Холодцова А.С. Обоснование выбора конструкции односводчатой станции при строительстве метрополитенов методом сквозной проходки (г. Харьков, **Украина**)

53. Кондратов А.Б. Феномен открытых протяженных трещин в соляном массиве калийного рудника и технология их ликвидации (г. Пермь)

54. Глушков И.В. Расчет мостового перехода с учетом выявленных при строительстве нарушений (г. Пермь)

55. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Кононович В.Н. Оценка достоверности численных расчетов при проектировании: доверять или не доверять компьютерам? (г. Саратов)

ТОМ 4. МОДЕРНИЗАЦИЯ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Раздел 4.1. Городское строительство и хозяйство

1. Базаров Б.А. Полевые испытания конических фундаментов в условиях подработки территорий (г. Караганда, **Казахстан**)
2. Конакбаева А.Н. Инженерная методика расчета несущей способности свай при вертикальной нагрузке на подрабатываемых территориях (г. Караганда, **Казахстан**)
3. Кузнецов А.Г., Леханова К.В., Першин Д.А. Основные закономерности взаимодействия группы свай и несущего ростверка с основанием (г. Пермь)
4. Колмогоров Г.Л., Путилова Е.М., Сайгина Л.С. Применение трубобетонных колонн при действии осевых усилий (г. Пермь)
5. Мигунов В.Н. Экспериментальные исследования деформации бетона поперечных трещин на прямых моделях железобетонных конструкций в агрессивной среде (г. Пенза)
6. Берестянская С.Ю. Влияние высоких температур на напряженно-деформированное состояние сталебетонных плит (г. Харьков, **Украина**)
7. Ватуля Г.Л., Шевченко А.А., Смолянук Н.В. Исследование работы сталебетонной круглой плиты при силовом воздействии (г. Харьков, **Украина**)
8. Петрушевская А.А. Исследование работы квадратной сталебетонной плиты при силовом нагружении (г. Харьков, **Украина**)
9. Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Чарыкова С.А. Инженерно-геологические особенности освоения территорий распространения структурно-неустойчивых грунтов (г. Волгоград)
10. Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Осипова О.Н., Тихонова Т.М., Киселева О.В. Опыт прогноза послепросадочного уплотнения по лабораторным испытаниям (г. Волгоград)
11. Акбуляков М.А., Сычкина Е.Н. Анализ прочностных свойств полускальных нижнепермских грунтов (на примере аргиллитов) (г. Пермь)
12. Кобыща О.Е., Бочкарева Т.М. Исследование методов противокарстовой защиты территорий Пермского края (г. Пермь)
13. Салимгариева Н.И., Калошина С.В. Проблемы, возникающие при возведении новых зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки (г. Пермь)
14. Мигунова К.В. Метод исследования энергоэффективности ограждающих конструкций реконструируемых зданий (г. Пенза)
15. Янковский Л.В., Волков Г.Н., Мальцев А.В., Килунин С.И. Результаты исследования НДС основания ленточного фундамента, армированного геотекстильной конструкцией из цементобетонных элементов (г. Пермь)
16. Нестеров А.С., Осинская С.С., Мельник О.И. Устройство ограждающих стен из трубчатого сварного шпунта (г. Омск)
17. Носков П.Н., Вахрушев С.И. Разрядно-импульсные технологии в строительстве (г. Пермь)
18. Федоровых Я.А., Пономарев А.Б. Основные типы, технологии возведения и принципы расчета подпорных сооружений, применяемых на сложном рельефе городских территорий (г. Пермь)

19. Белаш Т.А., Свитин В.В., Яковлев Л.А. Оценка сейсмостойкости зданий с многоэтажными подземными парковками (г. Санкт-Петербург)
20. Кардаполов А.А. Современный материал для защиты от гололеда проводов контактной сети и линий электропередач (г. Екатеринбург)
21. Косых А.А., Сурсанов Д.Н. О необходимости применения современных методов мониторинга в строительстве (г. Пермь)
22. Балабан О.М., Гуренко Д.Б. Эвристическое моделирование как инструмент системного анализа и принятия решения венчурным инвестором в задаче дорожного строительства (г. Саратов)
23. Петренева О.В., Валиева Л.Н. Итоги работы строительной отрасли Пермского края в 2011 году (г. Пермь)

Раздел 4.2. Охрана окружающей среды

24. Угненко Е.Б., Сорочук Н.И. Физико-химические и биохимические методы очистки стоков с автомобильных дорог (г. Харьков, **Украина**)
25. Баубеков Е.Е., Акчуринов А.Г. Особенности расчета концентраций вредных выбросов автотранспортных средств в атмосферу города (г. Алматы, **Казахстан**)
26. Анисимова Е.Л., Карпович Ю.В., Фукалова Ю.С. Экологическое состояние пермского края в связи с ростом автомобильного транспорта: проблемы и пути решения (г. Пермь)
27. Шаповалова Е.В., Плешакова О.В., Шевченко М.В. Математическое моделирование как способ оценки состояния придорожных территорий (г. Омск)
28. Юрченко В.А., Михайлова Л.С. Особенности распределения нефтепродуктов в почвах придорожного пространства (г. Харьков, **Украина**)
29. Изюмский А.А., Порунов А.Н. Влияние наличия дорожной разметки на вредные выбросы автотранспорта (г. Краснодар)
30. Конарбаева Г.Н. Вопросы экологической безопасности транспортных потоков в городах (г. Усть-Каменогорск, **Казахстан**)
31. Акчуринов А.Г., Баубеков Е.Е. Уменьшение загрязненности воздушного бассейна Республики Казахстан автотранспортом с переводом его на стандарты Евро-1–5 (г. Алматы, **Казахстан**)
32. Лугаськова Н.В., Кондратьев С.И. Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха от передвижных источников железнодорожного транспорта (г. Екатеринбург)
33. Кириллов М.В., Тихомирова Т.С. Исследование опоки как сорбционного материала при очистке поверхностного стока с территорий предприятий железнодорожного транспорта (г. Екатеринбург)
34. Пантин Д.А. Проблемы оценки экологического состояния территорий Магаданской области, используемых для строительства и эксплуатации временных автомобильных дорог (автозимников) (г. Магадан)
35. Анциферов В.Н., Олонцев В.Ф., Сазонова Е.А., Скорюпин Е.С. Теория метода определения эффективности фильтров по полидисперсным аэрозолям (г. Пермь)
36. Зомарева К.А. Система автоматизированного мониторинга атмосферного воздуха (г. Пермь)
37. Ильиных Г.В., Паршакова С.В. Анализ факторов, влияющих на состав и свойства твердых бытовых отходов (г. Пермь)

38. Воронкова Т.В., Висков М.В. Построение материального баланса загрязняющих веществ при захоронении твердых бытовых отходов как способ управления эмиссией фильтрата и биогаза (г. Пермь)
39. Григорьев В.Н., Чуняева А.В., Волков Г.Н. Типовые проекты мусороперерабатывающих заводов (г. Пермь)
40. Кривокорытова М.И., Арзамасова Г.С. Описание процесса очистки природного газа на газокompрессорной станции с точки зрения воздействия на окружающую среду (г. Пермь)
41. Белик Е.С., Зверева В.В. Исследование деструкции композиций из полиэтлена и крахмала, полученных в лабораторных условиях (г. Пермь)
42. Кетов П.А., Шведюк В.А. Проблемы загрязнения окружающей среды свинецсодержащими стеклами и вторичное использование стекла электронно-лучевых трубок для производства строительных материалов (г. Пермь)
43. Ахмадиев М.В., Рудакова Л.В., Сакаева Э.Х., Калинина Е.В. Биоремедиация нефтезагрязненного грунта на территории ликвидированного мазутного хозяйства (г. Пермь)
44. Сакаева Э.Х., Рудакова Л.В., Ахмадиев М.В. Интенсификация процесса очистки нефтезагрязненной почвы в реакторе непрерывного действия (г. Пермь)
45. Калинина Е.В., Добрынина О.М. Экспериментальные исследования по получению биогаза из избыточного активного ила г. Перми (г. Пермь)
46. Бардюк В.В. Опыт международного сотрудничества в решении трансграничных экологических проблем р. Амур (г. Хабаровск)
47. Кручинин И.Н. Анализ функционирования транспорта леса в системе неистощительного природопользования (г. Екатеринбург)
48. Арефьева А.С., Арзамасова Г.С. Применение инструментов экологического менеджмента в сфере экологического туризма (г. Пермь)
49. Вершинина Е.В., Чернова Т.А., Комбарова М.М. Методологический подход к преподаванию биологии на билингвальной основе на средней ступени общеобразовательной школы (г. Пермь)
50. Полякова О.А., Комбарова М.М. Разработка содержательной и методологической компонент элективного курса «Экология» для преподавания дисциплины «Биология» в системе начального профессионального образования (г. Пермь)
51. Гаприндашвили Н.К., Семёнов А.Г. Использование автомобильного парка в глобальном мониторинге территорий на предмет наличия очагов радиоактивной, химической и бактериологической зараженности (г. Санкт-Петербург)
52. Майба И.А., Ананко А.М., Муртазаалиев Р.М. К вопросу о влиянии шумового загрязнения от железнодорожного транспорта на окружающую среду (г. Ростов)
53. Кравченко Е.А., Шаповалов А.И., Левицкая Ю.А. Инновации в области экологии и транспорта будущего (г. Краснодар)
54. Фоменко Д.В. Обоснование применения геотермального теплового насоса в системе отопления общественных зданий на примере здания научно-исследовательской лаборатории по изучению альтернативных источников энергии ПНИПУ (г. Пермь)

Научное издание

МОДЕРНИЗАЦИЯ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

Материалы
международной научно-практической конференции,
посвященной 200-й годовщине победы России
в Отечественной войне 1812 г.

г. Пермь, 26–28 апреля 2012 г.

Том 3
МОДЕРНИЗАЦИЯ В СФЕРЕ
ЭКСПЛУАТАЦИИ, СТРОИТЕЛЬСТВА
И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

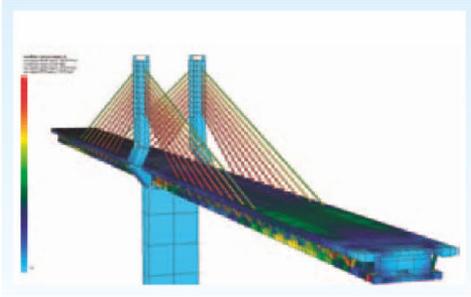
Корректор *Н.А. Панова*

За достоверность научных результатов
ответственность несут авторы публикаций

Подписано в печать 17.04.2012. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 32,4. Тираж 75. Заказ № 77/2012.

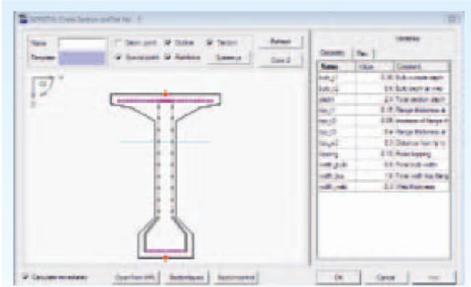
Издательство Пермского национального
исследовательского политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.

Проектирование мостов



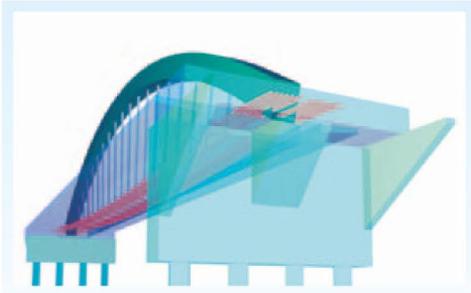
Общее

- Комплексная технология анализа и проектирования мостовых конструкций
- Железобетонные (включая преднапряженные), стальные и деревянные мосты, композитные (СТЖБ) мосты
- Различные конструктивные системы: коробчатые балки, Т-образные балки, арочные мосты, вантовые и висячие мосты.
- Моделирование всех методов монтажа, включая последовательный по пролетам, уравновешенный навесной монтаж, надвигка на опоры и др.



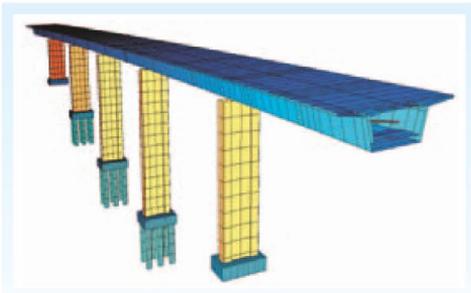
Предварительное напряжение до и после твердения бетона

- Кубический 3D сплайн траектории канатов
- Полное 3D определение геометрии, виды расположения пучков в плане, в сечении, по высоте
- Последовательность монтажа и натяжения пучков домкратами
- Предварительное напряжение для элементов стержней и оболочек
- Библиотека систем преднапрягаемых пучков
- Диаграммы напряжений арматурных элементов
- Протокол натяжения (числовой и графический)
- Подробное вычисление потерь напряжения



Проектирование

- Расчет по 1-ой и 2-ой группам предельных состояний с подбором арматуры
- Проектирование стальных конструкций в соответствии с DIN 18800, EC3, СНиП, BS 5950
- Снижение уровня предобжатия, ширина раскрытия трещин, надежность, усталость

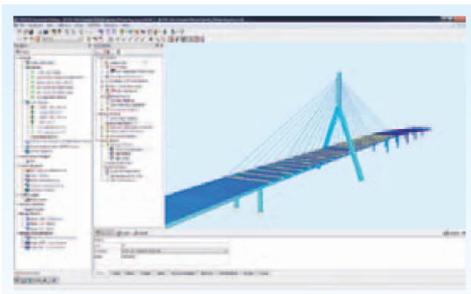


Нормы

- DIN
- BS5400
- ENE (Испания)
- СНиП (Россия)
- Ö-Norm (Австрия)
- Гонконгская модель железобетона
- Eurocode 2, 3, 4, 9
- AASHTO, LRFDACI
- IRC (Индия)
- SIA (Швейцария)
- AS 5100 (Австралия)

Дополнительные возможности

- Строительный подъем и формы опалубки
- Анализ потери устойчивости
- Оптимизация частей конструкции (усилие натяжения троса, максимальный момент, минимальное перемещение и т.д.)
- Определение геометрии вантовых конструкций
- Контроль геометрии и монтажа
- Взаимодействие с грунтовыми основанием
- Тепловыделение при бетонировании
- Взаимодействие с подвижной нагрузкой





Борис Семенович Юшков,
декан автодорожного факультета ПНИПУ

Уважаемые участники конференции, приветствую Вас в стенах Пермского национального исследовательского политехнического университета и желаю успешной и плодотворной научной работы.

В самом начале этого года Президент Российской Федерации Дмитрий Анатольевич Медведев провозгласил наступивший 2012 год годом истории. Дело в том, что на этот год выпадает много юбилейных исторических дат жизни российского народа. Это и 770-летие знаменитого Ледового побоища на Чудском озере, и 400-летие изгнания польских интервентов из Москвы, но особенно известно и отмечаемо россиянами событие теперь уже 200-летней давности – изгнание из пределов России полчищ Наполеона. А самое известное сражение той войны – знаменитая Бородинская битва под стенами Москвы.

В 1912 году в Императорской России широко отмечалось 100-летие этого события. В ознаменование этой даты был построен знаменитый Бородинский мост. Были проведены и другие известные дорогостоящие мероприятия. К сожалению, в наше время эта славная традиция оказалась утраченной. Поэтому пусть наша конференция будет тем связующим мостом между прошлыми и нынешними поколениями россиян, чтобы они всегда помнили славные моменты нашей истории.

На Автодорожном факультете ПНИПУ всегда большое внимание уделяется патриотическому воспитанию. Свидетельство этому – связи с Пермским военным институтом ВВ МВД России, подразделениями ГИБДД Пермского края, проведение совместных спортивных мероприятий и многое другое. В 2011 году создан клуб Военно-исторической реконструкции Пермских полков. Желающие принять в нём участие и поехать на реконструкцию Бородинского сражения могут обращаться в к. 219 АДФ или по адресу уапекperm@yandex.ru.

