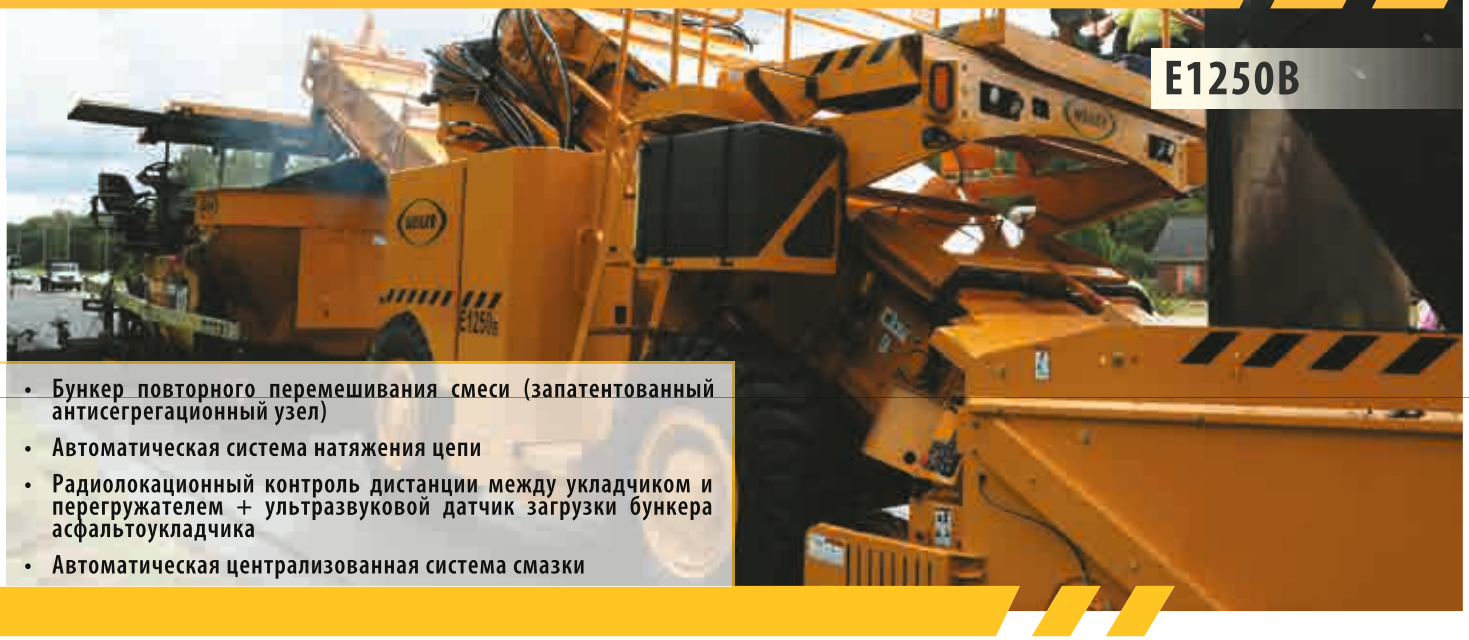
Мир ДОРОГ
спецвыпуск 2020 | www.mirpress.ru

НАУЧНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

- Накопительный 22-тонный бункер
- Литые шнеки с трехшаговыми витками для устранения сегрегации
- Двойные «изолированные» стенки для минимизации теплопотерь
- Опция подруливания задних колес – «крабовый» ход

WEILER - МЫ МЕНЯЕМ ПРАВИЛА ИГРЫ

Самые технологичные перегружатели для устранения сегрегации асфальтобетонных смесей!



- Бункер повторного перемешивания смеси (запатентованный антисегрегационный узел)
- Автоматическая система натяжения цепи
- Радиолокационный контроль дистанции между укладчиком и перегружателем + ультразвуковой датчик загрузки бункера асфальтоукладчика
- Автоматическая централизованная система смазки

БиЭйВи компания

- Поставки техники и запасных частей
- Технологическое сопровождение
- Гарантия и сервис

+7 495 221-0433
www.bavcompany.ru

ООО «Компания Би Эй Ви» эксклюзивный дистрибьютор Weiler, Inc. на территории Российской Федерации

WEILER

EuroTest
оснащение лабораторий

КАЧЕСТВО ПО РАЗУМНОЙ ЦЕНЕ

ВЕСЬ КОМПЛЕКС ОБОРУДОВАНИЯ

АСФАЛЬТА

• ВЯЖУЩЕГО • БЕТОНА • ГРУНТА

+7 (812) 327-84-51

info@euro-test.ru

MATEST®
INNOVATIVE. GLOBAL. MANUFACTURER.

• ПОСТАВКА • ЗАПУСК
• ОБУЧЕНИЕ

ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

• ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ • ЦЕМЕНТА

• ПО ГОСТ • ПНСТ • AASHTO • ASTM • EN

matest.ru euro-test.ru pavetest.ru

191167, Санкт-Петербург, ул. А. Невского, д. 9

г. Екатеринбург, БЦ «Высоцкий»,
ул. Малышева, д. 51, офис 43/08
8 (800) 555 46 46

info@compozit.pro
www.compozit.pro
facebook, instagram: compozit.pro

КОМПОЗИТ

РАБОТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И МОНТАЖУ СВЕРХПРОЧНЫХ СИСТЕМ УСИЛЕНИЯ

КОМПЛЕКСНОЕ УСИЛЕНИЕ НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

МОДУЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛИТЫ И ПОНТОНЫ

ШПУНТОВЫЕ СВАИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

FibArm UMATEX™

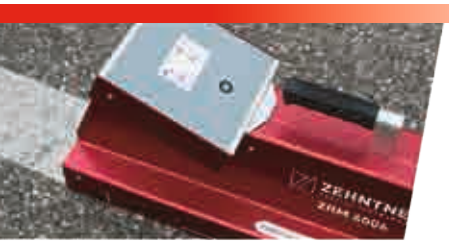
ГОСКОРПОРАЦИЯ «РОСАТОМ»

Внедряя инновации...

ZDR 6020 Динамический ретрорефлектометр R_L
измеряет ночную видимость дорожной разметки
измерения с точностью ручного прибора на скорости до 150 км/ч

ZRM 6014 Ретрорефлектометр R_L/Qd
измеряет дневную и ночную видимость дорожной разметки
топ-прибор с цветным сенсорным экраном, телескопической ручкой и уникальными опциями, например камерой, компасом, уровнем

ZRM 6013+ Ретрорефлектометр R_L/Qd
измеряет дневную и ночную видимость дорожной разметки
быстрый, точный, с памятью и интерфейсом подключения к компьютеру и принтеру



ZRM 6006 Ретрорефлектометр R_L/Qd
измеряет дневную и ночную видимость дорожной разметки
быстрый, точный прибор, управление одной кнопкой

ZRS 6060 Ретрорефлектометр R_A
измеряет ночную видимость дорожных знаков и защитной одежды
измерение при трех различных углах, с цветным сенсорным дисплеем

ZEHNTNER
TESTING INSTRUMENTS

БЫСТРО
ТОЧНО
УДОБНО

ООО «СМАРТ СИСТЕМС»
WWW.SMART-SYSTEMS.SU
+7 (812) 320-25-88

Смарт Системс

Журнал «Мир дорог» — официальный информационный партнер Общественного совета при Федеральном дорожном агентстве

Журнал «Мир дорог» — официальный публикатор Межрегиональной общественной организации «Координационный совет по организации дорожного движения»

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.В. Зворыкина, В.Г. Станкевич, В.А. Марьев, С.Л. Мамулат
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ — «зеленый ориентир» курса на развитие экономики «замкнутого цикла» и повышение качества жизни 10

Стратегическая программа комплексного управления национальными проектами 39

В.С. Фролов
Проблемы при изысканиях линейных объектов 40

А.А. Лунёв
Перспективы использования золошлаковых отходов теплоэнергетики в северных регионах России 42

В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, В.С. Чурилин
Проектирование морозоустойчивых нежестких дорожных одежд 43

В.П. Матуа, С.А. Карпенко
Необходимость и возможное применение лёссовых (дисперсных) грунтов 47

А.М. Кулижников, И.А. Рахимов, Н.К. Малевинский
Требования к конструкциям дорожных одежд на автоматических постах весогабаритного контроля 50

Н.С. Ковалев, Е.Н. Отарова
Приближение методов испытаний асфальтобетона к реальным условиям эксплуатации 54

С.М. Попов, А.Г. Обухов, У.Г. Зверева
Эволюция битумных вяжущих 59

В.Ф. Шалашов, В.В. Снегирев
О способах измерения температуры поверхности автодороги 62

ЯР-ВАСАНЖ

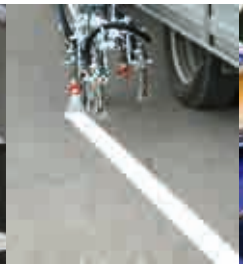
Нанесение дорожной разметки и цветных покрытий противоскольжения

Промышленная окраска любых объектов

Устройство наружного освещения и строительство светофорных объектов на автомобильных дорогах, улично-дорожной сети городов

Устройство барьерного ограждения

Наличие современной материально-технической базы и высококвалифицированного персонала позволяет нашей компании выполнять полный комплекс работ в сжатые сроки с обеспечением высокого качества от входного контроля используемых материалов до сдачи объекта в эксплуатацию.



ООО «ЯР-ВАСАНЖ»
150000, г. Ярославль, ул. Некрасова, д. 12
+7 (4852) 98-55-40
frolov.vasanj-ooo@yandex.ru
www.яр-васанж.рф

Издатель и учредитель:
ООО «ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «МИР»
197342 Санкт-Петербург,
ул. Белоостровская, 20, офис 34

Генеральный директор: Ирина Савельева

Коммерческий директор: Михаил Савельев

Главный редактор: Ирина Савельева

Директор по маркетингу: Андрей Гончаров
andrey@mirpress.ru

Директор по стратегическому развитию:
Юлия Короткова *korotkova3010@gmail.com*

PR-директор: Иван Савельев
ivan.mirdorog@mail.ru

Директор по региональному развитию:
Наиля Снигур *snigurn@yandex.ru*

Руководитель направления по специальным проектам:
Вера Попова *v.honina@mail.ru*

Верстка: МИР-дизайн

Отдел маркетинга: (812) 200-4845
Отдел подписки: (812) 200-4845

Главный бухгалтер: Галина Бижева
(812) 200-4845

Журнал «Мир дорог» включен в РИНЦ и размещается на портале elibrary.ru

Адрес редакции: 197342 Санкт-Петербург,
ул. Белоостровская, 20, офис 18
Тел./факс: (812) 200-4845
Адрес в сети Интернет:
www.mirpress.ru

Экспертный совет: С. И. Дубина, к.т.н., почетный дорожник России, член Международного общества механики грунтов, геотехники и фундаментостроения; Н. И. Иванов, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой «Экология и безопасность жизнедеятельности» БГТУ («Военмех»), член Высшего экологического совета в Государственной думе РФ; Н. Е. Кокодеева, д.т.н., заведующая кафедрой «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.; А. М. Кулижников, д.т.н., профессор, начальник управления проектирования ФАУ «РОСД ОРНИИ»; Ю. А. Кутьин, к.т.н., заведующий отделом ГУП «Институт нефтехимпереработки Республики Башкортостан»; И. В. Мардиросова, к.х.н., доцент кафедры автомобильных дорог Ростовского государственного технического университета, В. Н. Свежинский, генеральный директор ООО ЦИТИ «Дорконтроль».

Территория распространения: Российская Федерация.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77–29519 от 13 сентября 2007 года выдано Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охране культурного наследия. Установленный тираж 15000 экз. Цена свободная. Бумага мелованная. Печать офсетная. Отпечатано ООО «АКЦЕНТ типография» 194044, Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр., дом № 60, литера И.

При перепечатке опубликованных материалов ссылка на журнал «Мир дорог» обязательна. За содержание рекламы редакция ответственности не несет. Материалы со знаком © публикуются в авторской редакции. Рекламируемые товары и услуги имеют все необходимые сертификаты и лицензии. Мнение авторов статей не является официальной точкой зрения редакции.

Журнал «Мир дорог» — информационный партнер Научно-технического совета при Торгово-промышленной палате Российской Федерации

СОДЕРЖАНИЕ

Общеотраслевой центр компетенций ФАУ «РОСДОРНИИ» реализует программу оснащения лабораторий 65

Ю.С. Беляков, А.В. Таскин, Д.Р. Федотов, О.И. Елкин
Технологические решения для модификации дорожного битума 68

Д.С. Смирнов, Т.Р. Гараев, Э.Н. Азаревич, Д.Р. Гарипова, А.С. Лобанова
Метод оптимизации зернового состава дорожного цементобетона 72

Б.В. Левин, Е.Л. Торочков
Фосфогипс — дорожный материал с уникальными свойствами 76

А.А. Игнатьев, Е.С. Буданова, В.В. Куревенкова
Совершенствование конструкции георешетки для армирования слоев дорожной одежды 79

Е.А. Корчагин, Н.А. Зубачев
Подбор заполнителя объемных георешеток с учетом гидравлического воздействия 82

Ю.В. Кибирев, С.С. Шабуров, Н.М. Полонов
Лотки водоотводные прикромочные и сопрягающие 86

М.В. Шершнева
Геоэкозащитные решения от загрязнения ионами тяжелых металлов 89

Т.А. Зиннуров, Е.А. Вдовин, А.А. Пискунов, Б.Ш. Умаров
Рациональные области применения полимеркомпозитной арматуры для искусственных сооружений на автомобильных дорогах 92

Н.А. Поляков, В.Д. Федоров, С.Е. Фурдыконь
Активная подсветка для безопасности дорожного движения 94

РИЧ КЕМИКЛ
Производство материалов для дорожного строительства

КОМПАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27
Телефон: 8 (495) 792-42-19 (многоканальный)
Почта: info@rrichchemical.ru
www.richchemical.ru

БИТУМНАЯ ЭМУЛЬСИЯ FF

Инновационный продукт!

Производство холодного асфальта из асфальтовой крошки холодным способом.

- Не требует дополнительной подготовки основания;
- Всего два компонента: битумная эмульсия FF и асфальтовая крошка;
- Без разогрева эмульсии и без разогрева асфальтовой крошки;
- Не расслаивается;
- Срок хранения более 1 года;
- Готовый холодный асфальт состоит из асфальтовой крошки и битумной эмульсии FF в соотношении 98:2;
- Холодный асфальт можно укладывать при низких температурах (до -20 ^{0}C).

Цена за холодную смесь 3 руб. 50 коп./1 кг!

ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ:

Холодный асфальт First Fast | Холодный пластик «Старт ХП» | Спрей пластик «Лидер-спрей» | Термопластик «Лидер» | Многофункциональный моющий Суперконцентрат «Пактол» | Антигололедные реагенты Ace Axe, многокомпонентные, различных модификаций (сухой, жидкий) | Битумная пропитка «Карбон» | Соль техническая | Щебень | Термопластика

Мы заинтересованы в расширении сети представительств в регионах.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ, ПАРТНЕРЫ, ДРУЗЬЯ!

Редакция журнала «Мир дорог» предлагает вашему вниманию очередной специальный выпуск «Научные тенденции в дорожной отрасли».

Представив в прошлом году пилотный проект, мы получили положительный отклик от разных представителей отрасли: научных работников, руководителей, специалистов на местах. Стало понятно, что такой проект отрасли необходим. Мы предлагаем познакомиться с новыми решениями, научными мнениями и перспективными технологиями максимально широкому кругу читателей нашей страны. Привязка к международным рейтингам важна, но она вынуждает вузы публиковать свои наработки в иностранных изданиях, где они вряд ли будут доступны специалисту из регионов России. Мы считаем, что те решения, которые разработаны нашими вузами и научными институтами, были применены в российских условиях, да еще и финансировались государством, должны быть доступны в информационном пространстве дорожно-строительной отрасли нашей страны. Иначе в чем смысл? В росте международных рейтингов?

Наше издание, единственный из общедоступных информационно-аналитических журналов дорожной отрасли, входит в РИНЦ (Российский индекс цитирования), поэтому публикации идут в зачет для тех отраслевых специалистов, которые ведут научную деятельность.

Спецвыпуск будет распространяться на всех отраслевых мероприятиях, вне зависимости от тематики, т.к. он рассчитан на широкий круг читателей. Также он будет разослан в отраслевые министерства и ведомства, научно-исследовательские институты, учебные заведения, подписчикам и партнерам нашего журнала.

Мы выражаем глубочайшую признательность друзьям и партнерам, которые поддержали выход спецвыпуска «Научные тенденции в дорожной отрасли», особенно в столь сложной ситуации, тем самым оказав содействие отечественной науке.

Мы благодарим за поддержку:

Генерального директора ФАУ «РОСДОРНИИ» Варятченко Алексея Павловича

Директора ООО «Компания Би Эй Ви» Баранова Дмитрия Владимировича

Генерального директора ООО «ПТФ «ЕВРОТЕСТ» Мотину Елену Владимировну

Генерального директора ООО «Композит» Кравченко Николая Борисовича

Генерального директора АО «Труд» Томшина Сергея Николаевича

Генерального директора ООО «ЯР-ВАСАНЖ» Фролова Игоря Геннадьевича

Директора ООО «Рич Кемикл» Виноградову Светлану Юрьевну

Генерального директора ООО «Смарт Системс» Кривошеева Дмитрия Николаевича

Генерального директора ООО РМЗ «Нихард-сервис» Порсева Михаила Александровича

Генерального директора ООО «Предприятие «Дорос» Сандлера Эмануила Абрамовича

Сопредседателя научно-технического совета АО «ОКБ-Телеком» Аверьянова Андрея Михайловича

Генерального директора АО «СНПЦ «РОСДОРТЕХ» Багдасаряна Артура Аркадьевича

ОКБ ТЕЛЕКОМ
ГРУППА КОМПАНИЙ 1997

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ ОТ ЗАМЫСЛА ДО ЭКСПЛУАТАЦИИ

- ВЕСОГАБАРИТНЫЙ КОНТРОЛЬ В ДВИЖЕНИИ (точность 98% при скорости 30 км/ч)
- ВЫСОКОТОЧНАЯ НАВИГАЦИЯ И СВЯЗЬ (до 3 мм на любой скорости)
- «УМНЫЕ» СИСТЕМЫ ДОРОЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С РЕГУЛИРОВКОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
- ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ЭЛЕКТРОНОСИТЕЛЕЙ
- МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТА И ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

TransTelePort@okb-telecom.ru +7 (495) 737-636-0 www.okb-telecom.ru

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ —

«зеленый ориентир» курса на развитие экономики «замкнутого цикла» и повышение качества жизни

Актуальные «зеленые» аспекты государственной и инвестиционной политики, научных исследований и разработок, технологических инноваций и стандартизации в развитии транспортной инфраструктуры.

Ю.В. Зворыкина, д.э.н., АНО «Институт исследований и экспертизы Внешэкономбанка, профессор МГИМО, профессор Всероссийской академии внешней торговли, член правления Международного транспортного альянса «Один пояс — один путь» (BRITA);
В.Г. Станкевич, руководитель проекта по комплексной переработке нефелиновых шламов ООО «Пикалёвский глинозёмный завод» и ООО «АПС»;
В.А. Марьев, руководитель научно-методического департамента ФГАУ «НИИ Центр экологической промышленной политики» Минпромторга России;
С.Л. Мамулат, советник генерального директора ФАУ «РОСДОРНИИ» Минтранса России, член правления Международного транспортного альянса «Один пояс — один путь» (BRITA), MBA

В исполнение Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» был принят комплекс национальных проектов и целый ряд Поручений Президента, документов Правительства и Государственного совета Российской Федерации, устанавливающих порядок их планирования, реализации и оценки результатов на федеральном и региональном уровнях [2, 3, 4, 5, 6]. При этом декомпозиция национальных целей развития, на цели и целевые показатели отдельных направлений развития (национальных проектов) перед курирующими федеральными и региональными органами исполнительной власти, ведомствами и субъектами РФ на этапе планирования, вновь интегрально и системно увязаны с другими проектами и отраслевыми сегментами через показатели оценки эффективности деятельности высших должностных лиц и органов власти.

В качестве примера можно привести наиболее очевидные взаимосвязи показателей «Доля соответствующих нормативным требованиям автомобильных дорог регионального значения и автомобильных дорог в городских агломерациях с учетом загруженности», «Доля городов с благоприятной городской средой» и «Качество окружающей среды», в конечном счете в значительной степени обеспечивающие «Уровень доверия к власти (Президенту Российской Федерации, высшим должностным лицам (руководителям высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации)».

В «Едином плане по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до

Таблица 1. Соотношение целей и показателей развития различных уровней управления

Национальные цели развития Российской Федерации на период до 2024 года [1]: а) обеспечение устойчивого естественного роста численности населения Российской Федерации; б) повышение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет (к 2030 году - до 80 лет); в) обеспечение устойчивого роста реальных доходов граждан, а также роста уровня пенсионного обеспечения выше уровня инфляции; г) снижение в два раза уровня бедности в Российской Федерации; д) улучшение жилищных условий не менее 5 млн семей ежегодно; е) ускорение технологического развития Российской Федерации, увеличение количества организаций, осуществляющих технологические инновации, до 50 процентов от их общего числа; ж) обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере; з) вхождение Российской Федерации в число пяти крупнейших экономик мира, обеспечение темпов экономического роста выше мировых при сохранении макроэкономической стабильности, в том числе инфляции на уровне, не превышающем 4 процентов; и) создание в базовых отраслях экономики, прежде всего в обрабатывающей промышленности и агропромышленном комплексе, высокопроизводительного экспортно ориентированного сектора, развивающегося на основе современных технологий и обеспеченного высококвалифицированными кадрами.	
Перечень показателей для оценки эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) **субъектов Российской Федерации и деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации [2]** 1. Уровень доверия к власти (Президенту Российской Федерации, высшим должностным лицам (руководителям высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации 2. Количество высокопроизводительных рабочих мест во внебюджетном секторе экономики. 3. Численность занятых в сфере малого и среднего предпринимательства, включая индивидуальных предпринимателей. 4. Производительность труда в базовых несырьевых отраслях экономики. 5. Уровень реальной среднемесячной заработной платы. 6. Объем инвестиций в основной капитал, за исключением инвестиций инфраструктурных монополий (федеральные проекты) и бюджетных ассигнований федерального бюджета. 7. Уровень бедности. 8. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении. 9. Естественный прирост населения. 10. Количество семей, улучшивших жилищные условия. 11. Уровень доступности жилья. 12. Доля городов с благоприятной городской средой. 13. Качество окружающей среды. 14. Уровень образования. 15. Доля соответствующих нормативным требованиям автомобильных дорог регионального значения и автомобильных дорог в городских агломерациях с учетом загруженности.	**Направления разработки Правительством РФ совместно с органами государственной власти субъектов Российской Федерации национальных проектов*:** • демография; • здравоохранение; • образование; • жилье и городская среда; • экология; • безопасные и качественные автомобильные дороги; • производительность труда и поддержка занятости; • наука; • цифровая экономика; • культура; • предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы; • международная кооперация и экспорт **В число национальных проектов также включен «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года», имеющий в основном прямое федеральное подчинение.*

Таблица 2. Соответствие критериям зеленых облигаций выпуска РЖД ISIN Code XS1843437036 [12,13,14]

Принципы зеленых облигаций GBP – Категории приемлемых зеленых проектов	Использование выручки	Примеры приемлемых зеленых проектов	Примеры метрик результатов	Соответствие целям устойчивого развития
Чистый транспорт (электрический, гибридный, общественный, железнодорожный, мультимодальный), инфраструктура для чистой энергетики, сокращение эмиссии вредных газов	Финансирование и/или рефинансирование займов, использованных для приобретения электрокомотивов или поездов для пассажирских перевозок	Приобретение электрокомотивов или поездов для пассажирских перевозок	Сокращение выбросов (GHG\CO2) на перевозку пассажиров (кол-во пассажиро-км)	Соответствующие цели (SDG): 9.1: Развивать качественную, надежную, устойчивую и экологичную инфраструктуру… 9.4: К 2030 г. модернизировать инфраструктуру и промышленность, чтобы, сделать их устойчивыми… 11.2 К 2030, обеспечить доступ к безопасному, доступному, экологичному транспорту для всех

2024 года» говорится, что он представляет собой «*траектории выхода показателей, характеризующих данные цели, на целевые уровни, а также перечень инструментов и механизмов, направленных на их достижение вне зависимости от принадлежности к государственным программам и национальным проектам (программам)… Национальные цели развития носят «межпрограммный» («межпроектный») характер: достижение ни одной из национальных целей не может быть обеспечено в рамках лишь одной государственной программы и (или) национального проекта (программы). Кроме того, национальные цели развития тесно взаимосвязаны между собой. Достижение одних целей находится в прямой зависимости от достижения других…*»

Т.е. при планировании и реализации мероприятий национальных проектов, особенно на региональном уровне, должна быть обеспечена их «межпроектная» координация, которая может обеспечить повышение социально-экономической эффективности достигаемых результатов. В первую очередь это касается наиболее масштабных по объемам финансирования национальных проектов, нацеленных на создание комфортной среды для жизни, — «Безопасные и качественные автомобильные дороги», «Жильё и городская среда», «Экология» и «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года». Подобная «межпроектная» координация национальных проектов на региональном уровне становится эффективной при среднесрочном горизонте их планирования, охватывающем весь период реализации проектов до 2024 г. Очевидно, это стало одной из главных причин принятия в числе Поручений Президента Российской Федерации по итогам заседания Государственного совета, состоявшегося 26 июня 2019 г., Пр-1381ГС следующего:

*Примечания: *Национальные банки развития **Спрос - $93 трлн за 15 лет (около $6 трлн в год)*

Рисунок 1. С участием полного спектра заинтересованных сторон возможно привлечение до $6 трлн инфраструктурных инвестиций в год. Источник: [10]

Рисунок 2. Функциональные схемы циклов реализации и управления национальных проектов инфраструктурного блока

«4. Рекомендовать органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации обеспечить разработку и утверждение региональных программ в сфере дорожного хозяйства на период до 2024 года. Срок — 1 декабря 2020 г.

Ответственные: высшие должностные лица (руководители высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации…».

При этом надо отметить, что при системной реализации комплексных региональных проектов можно ожидать не только более эффективного решения проектных задач и достижения инвестиционно-финансовых показателей, связанных с привлечением внебюджетных средств, но и актуализации дополнительных социально-экономических перекрестных и мультипликативных эффектов. *Например, при использовании новых ресурсоэффективных технологий стабилизации и регенерации дорожных одежд с применением ряда вторичных ресурсов (золы, шлаки, шламы и т.п.), помимо экономии на этапе дорожного строительства/реконструкции, может быть обеспечено снижение затрат на содержание и рекультивацию хранилищ крупнотоннажных промышленных отходов, зачастую в разы превышающих прямые затраты на переработку отходов для применения в строительстве. Так, строительство нового шламохранилища объемом 10 млн т стоит порядка 5 млрд руб.,*

в то время как переработка золошлаковых материалов для применения в дорожном строительстве может исключить необходимость этих затрат и принести подрядчикам более 1 млрд руб. дополнительной экономии в сравнении с вариантами строительства, предполагающими разработку новых карьеров песчано-гравийной смеси или ж.д. поставку щебеночных материалов.

Дополнительным бонусом станет снижение нагрузки на окружающую среду [7-9].

При этом ряд необходимых для реализации подобных комплексных проектов затрат на ПИР/НИР/ОКР/ОТР может быть отнесен в «копилку» эффектов других национальных проектов, например — «Наука», «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы», «Производительность труда и поддержка занятости», обеспечивающих регионам достижение целевых показателей экономического роста.

Помимо повышения социально-экономической эффективности проектов и программ, это позволит гармонизировать цели, принципы и стандарты закупок с международными стратегическими программами развития (Sustainable Development Goals — SDG, Environmental and Social Governance — ESG, Princioles for Responsible Investments — PRI и United Nations Environment Program — UNEP) и облегчить доступ к привлечению долгосрочных инвестиций, в том числе — с международных рынков капитала. Так, международная практика и аналитика показывает, что применение принципов устойчивого развития при реализации инфраструктурных проектов позволяет существенно расширить спектр источников финансирования и обеспечить кратное увеличение общих объемов инфраструктурных инвестиций с доведением их до $6 триллионов в год [10].

Подтверждением тому на «российской почве» может служить первый масштабный проект привлечения «зеленого финансирования» в транспортную отрасль РФ — успешное размещение 23 мая 2019 года зеленых еврооблигаций РЖД в размере 500 млн евро сроком на 8 лет с купонной ставкой 2,2% и выплатой процентов раз в год (Eurobond ISIN Code XS1843437036). Облигации были размещены на бирже EURONEXT DUBLIN через RZD CAPITAL PLC и сертифицированы CBI для привлечения средств на обновление парка составов [11,12].

На примере линии Москва — Нижний Новгород показано преимущество электрического железнодорожного транспорта по сравнению с автомобильным и авиационным с точки зрения выбросов ПГ и потребления энергии [11, 12], обеспечивая достижение следующих конкретных целевых экологических показателей [13, 14]:

- снижение эмиссии загрязняющих газов в атмосферу из стационарных и мобильных источников к 2025 г. на 18% по сравнению с 2018 г.;
- снижение эмиссии парниковых газов в атмосферу на 4,5% за тот же период;
- снижение потребления воды на 20%;
- снижение сброса сточных вод на 18%.

На российском рынке существует еще ряд компаний транспортного сектора, в проспектах эмиссии которых цели размещения выпусков соответствуют принципам устойчивого развития:

- АО «Главная дорога» (три выпуска на сумму 17,57 млрд руб.);
- ООО «Транспортная концессионная компания» (три выпуска на сумму 6,7 млрд руб. — размещены и два — запланированы на сумму 5,126 млрд руб.).

Для обеспечения ожидаемого уровня интегральной эффективности данных проектов и привлечения предусмотренных их планами значительных объемов внебюджетного финансирования со стороны частного и корпоративного секторов, а также отечественных и зарубежных институтов развития, их планирование и реализация должны строиться с максимальным учетом принципов «устойчивого и зеленого» развития, которые должны быть «вплетены в ткань отношений» всех участников цикла реализации инвестиционных проектов.

ЗЕЛЕНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ В МИРЕ

Система зеленого финансирования сегодня — новая, активно растущая и формирующаяся подсистема глобальных финансов, становящаяся одним из факторов стабильной внешнеэкономической деятельности и аккумулирующая средства для реализации проектов в целом ряде инфраструктурных секторов.

В 2016-2017 годах 132 странами, на долю которых приходится 82% всех вредных выбросов, на государственном уровне был принят ряд инициатив в области зеленого финансирования. В результате принятых решений на международном финансовом рынке происходят следующие изменения:

- ориентация международной финансовой системы на стратегию экологически устойчивого развития;
- на государственном уровне зеленая финансовая система стала одной из тем общего дискурса об экологии и энергоэффективности;
- финансовое сообщество проявляет повышенный интерес к появлению зеленых финансовых инструментов;

Рисунок 3. Программные направления зеленого финансирования. [15, 16]

– иностранные фондовые биржи поддерживают национальные системы финансирования путем создания отдельного зеленого сегмента, отдельной зеленой фондовой биржи или отдельного перечня зеленых облигаций;
– экологические и низкоуглеродные индикаторы все больше учитываются в рейтингах бизнеса, а последние 2-3 года отчетливо видна переориентация инвестиций в компании, которые показывают более высокую экологичность. [17]

ОПЕРАТОРЫ ЗЕЛЕНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В РФ

Анализ показывает, что в России сложились необходимые предпосылки для формирования и развития системы зеленого финансирования, а также ее интеграции в глобальную систему зеленого финансирования безотносительно реализуемой некоторыми странами политики экономических санкций [17].

Отдельные программы финансирования на принципах устойчивого развития в РФ осуществляют ФГАУ «Российский фонд развития промышленности» (льготные целевые займы по ставке 1%, 3% и 5% годовых сроком до 7 лет в объеме от 50 до 750 млн рублей для софинансирования проектов, направленных на разработку новой высокотехнологичной продукции, техническое перевооружение и создание конкурентоспособных производств на базе наилучших доступных технологий) и Сбербанк России (в качестве пилотных продуктов предлагает зеленые облигации для финансирования/рефинансирования проектов, которые квалифицируются как зеленые) [16], однако, по нашему мнению, наибольший потенциал на рынке зеленого финансирования в России сконцентрирован в группе ВЭБ.РФ.

В июле 2013 года Внешэкономбанк первым из российских организаций присоединился к международной инициативе в области ответственного финансирования — Финансовой инициативе Программы ООН по окружающей среде (United Nations Environment Programme Finance Initiative). В 2013 году была утверждена Политика ответственного финансирования Внешэкономбанка. В конце 2013 года Внешэкономбанк и IFC подписали Меморандум о взаимопонимании, направленный на расширение сотрудничества в различных областях. Основной фокус направлен в первую очередь на развитие высокотехнологичных экологически чистых и безопасных производств, а также на проекты, связанные с переработкой отходов и очисткой сточных вод. Внешэкономбанк при содействии IFC разработал механизм оценки энергоэффективности инвестиционных проектов, а также проект методики расчета соответствующих показателей.

В 2015-2016 годах сеть Глобального договора ООН (ГД ОНН) преобразована в Ассоциацию «Национальная сеть Глобального договора», которая стала правопреемником сети Глобального договора ООН в России и основной структурой, представляющей российскую сеть Глобального договора в мире, в основе деятельности участников которой лежит концепция

ПРОБЛЕМЫ, РЕШАЕМЫЕ ЗЕЛЕНЫМ ФИНАНСИРОВАНИЕМ

Финансирование национальных проектов

Потребность в финансировании из внебюджетных источников – около 6,8 трлн рублей:

- «Экология» (3,2 трлн рублей частных средств из запланированных 4 трлн руб.)
- «Жилье и городская среда» (0,2 из 0,94 трлн руб.)
- «Магистральная инфраструктура» (3,0 из 6 трлн руб.)
- «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (0,5 из 4,8 трлн руб.)

Привлечение зарубежных инвестиций

- Новые инвесторы – ответственные инвесторы (например, члены PRI UN – ответственные инвесторы – с потенциалом до 30 трлн долл. США)
- Спрос со стороны зарубежных инвесторов на российские ценные бумаги есть и сейчас: шведский фонд Alfred Berg Russland, входящий в группу BNP Paribas Asset Management, сформировал фонд акций социально-ответственных российских организаций на 90 млн евро

Решение экологических проблем

- Появляются средства для решения конкретных экологических проблем (утилизация отходов, водоотведение, ресурсопользование, ВИЭ)
- Внедрение НДТ (наилучших доступных технологий)
- Управление экологическими рисками

Длинные деньги (средняя дюрация)

- «Зеленые» облигации – 7-10 лет; (для сравнения, на Московской бирже -1-3 года);
- «Зеленые» кредиты – 3-7 лет

Более качественные проекты

- По данным Moody's Investor Service, средний уровень дефолтов по «зеленым» облигациям – 5,7%, по классическим у тех же эмитентов – 8,5%.
- Соответствие проектов современным требованиям экологических регуляторов.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЗЕЛЕНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ

Доступ к глобальным рынкам

- Требования к ответственности бизнеса включаются в международные соглашения и концепции регионального развития (например, The New Silk Road), организации учитывают ESG факторы при выборе заказчиков, подрядчиков
- Российские организации подключаются к Глобальному договору ООН, присоединяясь к Ассоциации «Национальная сеть Глобального договора»

Рост стоимости компании

- Ответственное ведение бизнеса, по данным ОЭСР, увеличивает стоимость компании на 3,4-8% (25.07.2019, Центр ОЭСР-РАХиГС, «Зеленые финансы и ответственное инвестирование: Россия в глобальной повестке»), так как верифицируют не только инструмент, но и бизнес

Финансирование со скидкой

- Ответственное ведение бизнеса снижает ставку кредитования, по данным ОЭСР, на 0,02-0,2 п.п. (25.07.2019, Центр ОЭСР-РАХиГС, экспертная сессия «Зеленые финансы и ответственное инвестирование: Россия в глобальной повестке»)
- Спред по облигациям может достигать 0,8 п.п. (по данным исследования T.Ehlers, F.Packer, Green Bond finance and certification, BIS Quaterly Review, September, 2017)

Контроль

- За экологичностью целей проектов
- За целевым использованием денежных средств

Более качественные проекты

- Раскрытие нефинансовой отчетности о воздействии проекта на окружающую среду
- Минимизация риска Green Washing за счет фильтров проектов (дополнительный аудит со стороны верификаторов) и совершенствования корпоративного управления

Таблица 3. Выпуск зеленых облигаций в региональном разрезе (кумулятивно за 2007-2018 гг. [27] по данным Environmental Finance Bond Database в середине 2019 г. объем находящихся в обращении зеленых облигаций составлял 657,9 млрд дол.) [28]

Регион	Количество стран	Количество эмитентов	Объем эмиссий (млрд дол.)
Африка	4	11	2
Азиатско-Тихоокеанский регион	18	222	120
Европа	22	193	190
Международные организации		11	66
Южная Америка	7	24	7
Северная Америка	3	167	137

устойчивого развития, объединяющая три основных направления: экономическое, социальное и экологическое... Участниками ГД ООН, помимо Внешэкономбанка, стали более 50 российских компаний, включая ПАО «ГМК «Норильский никель», ПАО «Северсталь», АО «РУСАЛ», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ» и др. [18]

ВЭБ.РФ. Согласно «Меморандуму о финансовой политике государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)», утвержденной 23 июля 2018 года Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1510-р, Внешэкономбанк в рамках осуществления инвестиционной деятельности участвует в реализации проектов в Российской Федерации по следующим основным направлениям: развитие инфраструктуры и устранение инфраструктурных ограничений экономического роста, повышение эффективности использования природных ресурсов, охрана окружающей среды и улучшение экологической обстановки (зеленая экономика), участие в реализации проектов на принципах государственно-частного партнерства и муниципально-частного партнерства.

В соответствии со своей новой стратегией развития ВЭБ.РФ также предлагает рынку широкий спектр соответствующих финансово-инвестиционных услуг.

СООТНОШЕНИЕ ПРИНЦИПОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ, ЗЕЛЕНОЙ ЭКОНОМИКИ И ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Согласно решениям Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию, известной под названием «Рио+20», прошедшей в июне 2012 года в Рио-де Жанейро, зеленая экономика в качестве основного пути мирового сообщества к достижению устойчивого развития должна в равной мере учитывать все основные составляющие устойчивого развития:

- ответственность за окружающую среду;
- экономическое развитие;
- социальный прогресс.

Зеленой экономикой сегодня называется «путь решения социально-экономических проблем при минимизации вреда окружающей среде». Зеленая экономика имеет выраженный экологический характер, предусматривает обязательность экономического и экологического эффекта при реализации любого проекта, рассогласования ранее тесно связанных процессов экономического роста и обеднения природного капитала [20]. Это определяет главное направление развития как минимизацию изъятия природного капитала и компенсацию его неизбежного обеднения за счет вложений в человеческий и физический капитал, что в дальнейшем позволит еще больше снизить нагрузку на природу. [21]

К «зеленым» целям устойчивого развития обычно относят:

Цель 6. Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех.

Цель 9. Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям.

Цель 11. Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов.

Цель 12. Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства.

*Цель 13. Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями.**

Цель 14. Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития.

Цель 15. Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия. [22]

«Концепция циклической экономики более детально фокусируется на отдельных составляющих устойчивого развития. Основной акцент концепция делает на экономическом развитии и его влиянии на окружающую среду. При этом циклическая экономика напрямую не обращается к вопросам социального прогресса,

хотя подавляющее большинство экономистов и политиков, развивающих идею этой концепции, отмечают ее потенциал в создании новых рабочих мест». [23]

«Циклическая экономика — это экономический подход, позволяющий изменить функцию природных ресурсов в экономике. Производственные отходы становятся ценным материалом для другого производственного процесса, в свою очередь, сам конечный продукт, вместо того чтобы быть выброшенным, используется многократно, улучшается или перерабатывается». [24]

«Циклическая экономика предусматривает систему производства и потребления с минимально возможными потерями ресурсов и энергии. В идеальном мире циклической экономики почти все повторно используется, перерабатывается или восстанавливается для производства новых продуктов. Переосмысление процесса потребления и производственных процессов может помочь свести к минимуму материальные потери и использовать отходы производства и продукты как новый ресурс.

Кроме того, для создания циклической экономики требуется эффективно функционирующая рыночная система, где права собственности четко распределены (однозначно сформулированы и разграничены)». [25].

Очевидно, что цели «циклической экономики», или в более четком и полном варианте перевода на русский язык «экономики замкнутого цикла», практически совпадают или, как минимум, пересекаются со всеми зелеными целями устойчивого развития.

Успешная актуализация и достижение целей устойчивого развития в соответствии с ЦУР 17 «Укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития» и материалами Политического Форума ООН — 2017, посвященного реализации «Повестки 2030» [26], потребует участия всех органов власти национального, регионального и местного уровней, горизонтальной и вертикальной интеграции, привлечения всех заинтересованных сторон и партнерств для мобилизации достаточного количества государственных и частных ресурсов и т.д.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЗЕЛЕНЫХ ПРИНЦИПОВ В ЭКОНОМИКЕ

Одним из главных механизмов перехода экономики на принципы устойчивого развития, наряду с ужесточением регулирования выбросов в окружающую среду, является внедрение принципов зеленого инвестирования, одним из главных инструментов которого стали зеленые облигации.

С момента выпуска первых зеленых облигаций в 2007 г. по конец 2018 г. было размещено инструментов на сумму 521 млрд долларов. Европа как регион лидирует (*таблица 1.2*). С 2007-го до 2013 г. зеленые облигации выпускались только наднациональными международными финансовыми организациями — Европейским инвестиционным банком, Международным банком реконструкции и развития, Международной финансовой корпорацией, Европейским банком реконструкции и развития, Азиатским банком развития. Они и в настоящее время выступают крупными эмитентами зеленых облигаций.

В следующие 5 лет среди эмитентов появились государственные агентства и муниципалитеты, а также правительства разных стран.

Среди стран наибольшее количество облигаций и на наибольшую стоимость выпустили США. На втором месте среди эмитентов зеленых облигаций — Китайская Народная Республика, опыт которой представляет наибольший интерес в силу наличия целого ряда интеграционных инициатив с РФ («Один пояс — один путь», ШОС и т.д.).

В докладе, подготовленном Народным банком Китая совместно с Экологической программой ООН (UNEP) Green Taskforce Report в 2015 г., отмечается, что для решения своих экологических проблем Китаю необходимо инвестировать примерно 320 млрд дол. в течение следующих 5 лет. Государственные инвестиции на эти цели составляют лишь 10-15% от этой суммы, остальное должно быть покрыто за счет частных инвестиций. Одним из инструментов должны стать зеленые облигации.

С этого времени очень активно и масштабно развивались программы в области сокращения выбросов электростанций, работающих на угле. Этому способствовали программы перевода электростанций с пылеугольного топлива на синтетическое топливо, производимое по технологиям газификации угля, внедряемых компанией China National Chemical Engineering Corporation, и технологий утилизации золошлаковых отходов при строительстве транспортных и гидротехнических сооружений, активно внедряемых корпорацией Power China & SinoHydro Corporation. Примечательно, что в результате данной программы корпорации Power China & SinoHydro Corporation удалось практически полностью исключить захоронение золошлаковых отходов угольных ТЭС [29].

В ходе Международного форума по зеленым финансам, прошедшего в сентябре 2017 года в Пекине, заместитель управляющего Народного банка Китая Инь Юн заявил, что «Китай исполнит обязательство сократить выбросы углерода и приложит больше усилий для продвижения зеленых финансов во всем мире, включая зеленые инвестиции в регионы проекта «Один пояс — один путь». «Озеленение» финансовой системы Китая было избрано одним из ключевых направлений развития 13-го пятилетнего плана, утвержденного в марте 2016 г. Развитие зеленых финансов отражено в плане по реформированию структуры финансовой системы. Также в пятилетнем плане обозначено отдельное направление «Развитие зеленых и экологически благоприятных отраслей». В завершение описания данного направления указано, что Китай «создаст зеленую финансовую систему, будет развивать зеленые кредиты и зеленые облигации, а также учредит зеленые фонды развития. Мы (примечание — Китай) будем совершенствовать сетевую политику в отношении электроэнергии, вырабатываемой из угля, сжигания отходов и метана. Мы будем ускорять формирование промышленной системы для зеленой цепочки поставок».

31 августа 2016 г. в Китае совместно с основными экономическими регуляторами (Народный банк Китая, Министерство финансов, Национальная комиссия по развитию и реформам, Министерство защиты окружающей среды, Комиссия по регулированию банковской деятельности, Комиссия по регулированию рынка ценных бумаг, Комиссия по

Таблица 4. Структура эмиссии зеленых облигаций Китая по месту размещения

Год	2016	2017	2018
Общий объем эмиссии, млрд долл.	36,2	37,2	42,8
Доля «материковых» облигаций	72%	82%	76%
Доля «офшорных» облигаций	27%	18%	23%
Международные организации		11	66

Источник: Climate Bonds Initiative [31]

Таблица 5. Страновые значения интегрального эколого-экономического индекса

Страна	Скорректированные чистые накопления	Страна	Скорректированные чистые накопления
Япония	15,8	ЕС	12,0
Германия	12,1	Россия	-13,8
Франция	11,4	Чехия	14,7
Великобритания	6,9	Польша	7,8
Канада	5,4	Украина	4,1
США	4,1	Китай	36,1
Норвегия	9,2	Индия	20,6

Таблица 6. Сравнение структуры затрат-результатов СССР и РФ.

Параметры сопоставления*	СССР (1985г.)	РФ (на 2017г.)
Полезные затраты-результаты	9%	4%-5%
Бесполезные и вредные затраты-результаты, а также потери затрат-результатов	53%	57%-58%
Резервы затрат-результатов	38,2%	38,2%

**Исчисление совокупностей затрат-результатов деятельности осуществляется в единицах мощности (кВт/часах и пр.).*

регулированию страхового рынка) был принят программный документ «Методические рекомендации по созданию зеленой финансовой системы» Guidelines for Establishing the Green Financial System, содержащий 9 разделов:

1. Важность создания зеленой финансовой системы.
2. Активное развитие зеленого кредитования.
3. Повышение роли рынка ценных бумаг в поддержке зеленых инвестиций.
4. Создание зеленых фондов и мобилизация капитала через механизмы государственно-частного партнерства (ГЧП).
5. Развитие зеленого страхования.
6. Совершенствование системы торговли экологическими правами и развитие специальных финансовых инструментов.
7. Поддержка инициатив местных органов власти по развитию зеленых финансов.
8. Развитие международного сотрудничества в области зеленых финансов.
9. Предотвращение финансовых рисков и претворение в жизнь политики по озеленению финансовой системы.

Острота экологических проблем Китая способствовала принятию большого числа регулятивных мер. Согласно сообщению Ма Джун (Ma Jun), председателя Комитета по зеленым финансам Китая China's Green Finance Committee, только в 2018 г. центральным правительством и руководством провинций было принято 120 документов, направленных на развитие рынка зеленых облигаций в Китае.

В период с 2016 по 2018 год китайские учреждения выпустили зеленые облигации, продемонстрировавшие значительное снижение рисков относительно «среднего», на сумму более 100 млрд долларов США, став одним из крупнейших рынков зеленых облигаций в мире [30].

По итогам 2018 г. Китай занял второе место в мире после США по объему выпущенных зеленых облигаций (77,5 млрд долл.).

В марте 2019 г. семь регуляторов КНР, включая Национальную комиссию по развитию и реформам, Министерство промышленности и информационных технологий, Министерство природных ресурсов, Министерство экологии и окружающей среды, Министерство жилья, городского и сельского строительства, Народный банк Китая, а также национальная энергетическая администрация совместно опубликовали список «зеленых» видов деятельности (Green Industries Catalogue). По сравнению с каталогом, изданным в 2015 г. (Green Endorsed Project Catalogue), из списка были исключены виды деятельности, связанные с использованием «чистого» угля, в то же время содержание каталога было расширено за счет индустрии зеленых услуг, деятельности по модернизации промышленных парков.

Принципы «озеленения» экономики и развития инструментов зеленого финансирования теперь охватывают также инициативу «Один пояс — один путь» (One Belt – One Road, Belt & Road Initiative). Одним из путей повышения экологической устойчивости инициативы «Один пояс — один путь» является международная коалиция «За зеленое развитие инициативы пояса и пути» (The Belt and Road Initiative International Green Development Coalition — BRIGC) [32]. Коалиция была создана во время Второго Форума по международному сотрудничеству «Пояса и пути», который проходил в Пекине с 25 по 27 апреля 2019 года, для содействия экологической устойчивости проектов инициативы «Пояса и пути», являющейся «самой крупной объединенной инвестицией в инфраструктуру за последние несколько поколений…», потребующей «…триллионов долларов инвестиций, главным образом в транспортную, энергетическую и телекоммуникационную инфраструктуру, промышленный потенциал и наращивание технического потенциала». BRIGC представляет собой открытую, всеохватывающую и добровольную международную сеть, которая объединяет экологический опыт всех партнеров для обеспечения того, чтобы «Пояс и путь» обеспечивал долгосрочное зеленое и устойчивое развитие для всех заинтересованных стран в поддержку повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. В настоящее время в коалиции участвуют 134 партнера, включая 26 министерств охраны окружающей среды государств — членов ООН (в т.ч. России), более 100 правительственных и межправительственных учреждений, более 30 крупнейших компаний. Миссия коалиции заключается в интеграции устойчивого развития, в частности экологической устойчивости, международных стандартов и передовой практики, в реализации пяти приоритетных направлений инициативы «Пояс и путь»:

координация политики;

- инфраструктура;
- торговля;
- финансовая интеграция;
- культурный обмен.

BRIGC планирует создание

1. платформы для политического диалога и коммуникациям по следующим направлениям:
   - Обмен концепциями зеленого и устойчивого развития и вариантами экологической политики;
   - Обеспечение коммуникационных возможностей между различными группами заинтересованных сторон, включая бизнес-структуры, научно-исследовательские институты, международные, межправительственные, правительственные и неправительственные организации;
2. совместной исследовательской сети, которая могла бы обеспечить поддержку и политические рекомендации для зеленого развития в регионах «Пояса и пути» для обмена знаниями, данными и анализом, связанными с:
   - охраной окружающей среды, предотвращением и контролем загрязнения;
   - зеленым развитием «Пояса и пути»;
   - наращиванием потенциала в области рационального природопользования и устойчивого развития инфраструктуры;
   - повышением экологической осведомленности.

16 апреля 2019 г. крупнейший китайский банк ICBC (Industrial and Commercial Bank of China) успешно разместил первый зеленый выпуск облигаций, связанных с проектом «Один пояс – один путь» — Belt & Road Inter-bank Regular Cooperation bond (BRBR bond), деноминированный в юанях, долларах и евро на общую сумму 2,2 млрд долл., на сроки 3 и 5 лет. Средства должны быть использованы для финансирования зеленых проектов в рамках Belt & Road инициативы. Облигации были выпущены сингапурским подразделением ICBC в соответствии с международными и китайскими правилами. Андеррайтерами выступили 22 финансовых института из более чем 10 стран и регионов, находящихся в регионе действия Belt and Road, 80% из которых являются членами неформальной организации Belt and Road Inter-bank Regular Cooperation Mechanism.

ИСХОДНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗЕЛЕНЫХ ПРИНЦИПОВ В ЭКОНОМИКЕ РФ

По данным Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, доля инвестиций в охрану окружающей среды в общем объеме инвестиций в основной капитал снижается в текущих ценах начиная с 1995 года [20]:

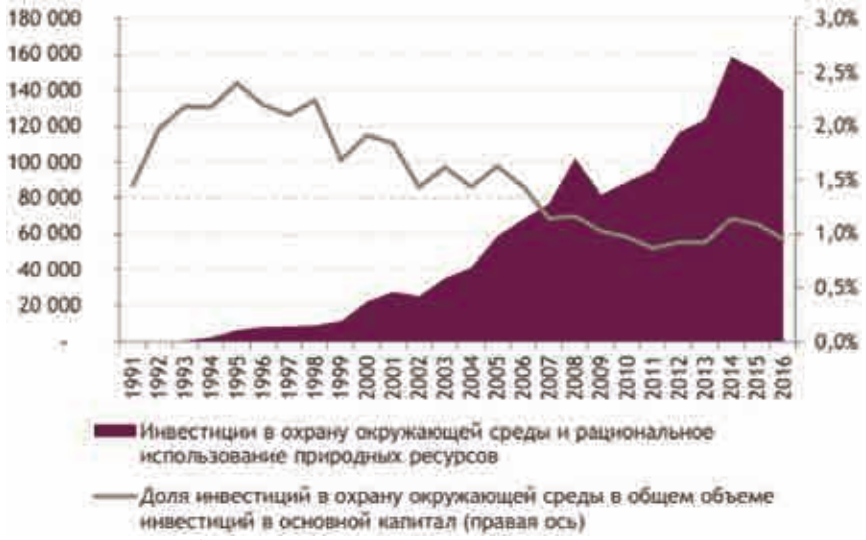


Рисунок 4. Динамика объема инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, в России в 1991-2016 гг. в фактически действующих ценах и доли инвестиций в охрану окружающей среды в общем объеме инвестиций в основной капитал. Источник —ЕМИСС, Росстат

- *Несмотря на рост расходов на экологическое развитие России в текущих ценах за последние 13 лет, доля затрат на охрану окружающей среды в ВВП неуклонно снижалась — если в 2003 г. она составляла 1,3% ВВП, то в 2016 г. сократилась почти вдвое — до 0,7% ВВП. Это примерно в два раза ниже уровня США и ряда стран ЕС.*
- *Основные траты на природоохранные мероприятия берут на себя коммерческие организации — почти 80% всего объема расходов на защиту окружающей среды, тогда как на государственный сектор приходится менее 10%. За 2011-2016 гг. наблюдался рост расходов крупного бизнеса на экологические мероприятия, несмотря на это, по оценкам экспертов, они редко превышают 1% от выручки компаний, что недостаточно для улучшения экологической обстановки в стране.*

По мнению Л.В. Варфоломеевой: «*Мы уже отстаем от стран-лидеров и по практике в сфере устойчивого развития и зеленых технологий, ответственного финансирования, в сфере обращения с отходами производства и потребления, и по стратегическим вопросам формирования целостной инфраструктуры в этой отрасли, и по зеленым рейтингам, индикаторам и техническому регулированию… Россия является одной из немногих в мире крупных экономик, имеющей в 2000-е годы отрицательные «чистые накопления» — интегральный эколого-экономический индекс по версии Всемирного банка.*

Необходимо иметь национальную систему расчетов показателей эколого-экономического развития, данные которой могут быть использованы как для оценки стратегических отраслевых программ развития, так и для сопоставления результатов регионального развития… Разработка критериев и горизонта планирования определит систему отбора и меры поддержки проектов и отраслей.

… Создать внешнеэкономическую платформу «зеленого» финансирования с цифровыми технологиями для продуктивного взаимодействия со странами ЕврАзЭС, ЕС, ШОС и БРИКС, иными заинтересованными партнерами для преодоления технологической отсталости в условиях жестких ограничений для формирования международной зеленой платформы инвестиций и технологий… По мнению Минприроды России, запуск механизмов зеленого финансирования позволит РФ к 2027 г. направлять на экологическую модернизацию 1,8%-2,1% ВВП». [33]

По данным Н.А. Потехина [34] по пропорциям «полезных затрат-результатов» и «вредных затрат-результатов» деятельности общества, рассчитанным в сопоставимых единицах затраченной суммарной мощности (работы),* современная Россия уступает СССР более чем в 2 раза.

По мнению А.Н. Косыгина, высказанном им в ходе обсуждения в 1974 г. Постановления №271 Совета Министров СССР «О мерах по укреплению материально-технической базы организаций и предприятий по заготовке, обработке и переработке вторичного сырья системы Госснаба СССР и Центросоюза»: «выход готовой продукции от исходного сырья составляет всего 7-14%». [35]

Из пропорций параметров, приведенных в таблице выше, следует, что обеспечивая сокращение вредных и бесполезных затрат-результатов и потерь, например, в 2 раза, можно увеличить долю полезных затрат-результатов (фактически — производительность) в 6 и более раз. Это возможно в силу возникновения синергии, подобно тому, как поставив улья с пчелами на гречишное поле, можно обеспечить кратное увеличение сбора меда и урожая гречки, увеличивая суммарную мощность и мощность каждой системы (поток полета пчел и опыления цветков). Это может быть объяснено, например, тем, что переработка и применение промышленных отходов (вторичных ресурсов) во многих случаях требует меньших, чем «обычные» аналоги, операционных затрат и инвестиций, т.к. они уже прошли разнообразные технологические процессы, например – обогащение/обжиг/сушка/помол/доставка/складирование, и «овеществляют» результаты потраченной на это энергии и работы. Возможно, что с этим связано то внимание, которое уделялось мероприятиям по использованию вторичных ресурсов в программе реформ того времени, среди которых, помимо сбора макулатуры, металлолома и стеклотары через систему потребкооперации, были системные и программные, в том числе — научно-информационное обеспечение процесса применения [36] в сфере развития транспортной инфраструктуры (см. ниже о Программе «Дороги Нечерноземья»).

Таким образом, на наш взгляд, можно говорить, что зеленые проекты способны кардинально повышать производительность в ряде отраслевых сегментов и эффективность государственного и корпоративного управления, а привлекаемые зеленые инвестиции становятся своего рода «дипломами и сертификатами», подтверждающими высокое качество этого управления и проектов.

<u>Государственная политика</u> *нацелена на стимулирование производителей к сокращению экологически вредных выбросов и утилизацию производимых отходов, а также создание при государственной поддержке механизмов привлечения инвестиций, международной и межотраслевой кооперации для создания соответствующего сегмента экономики.*

«Стратегия национальной безопасности Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 31.12.2015 №683, является официально признанной системой стратегических приоритетов, целей и мер в области внутренней и внешней политики, определяющих состояние национальной безопасности и уровень устойчивого развития государства на долгосрочную перспективу. Для обеспечения национальной безопасности Российская Федерация, наряду с достижением основных приоритетов национальной безопасности, сосредоточивает свои усилия и ресурсы на следующих приоритетах устойчивого развития:

- повышение качества жизни российских граждан путем гарантирования личной безопасности, а также высоких стандартов жизнеобеспечения;
- экономический рост, который достигается прежде всего путем развития национальной инновационной системы и инвестиций в человеческий капитал;
- наука, технологии, образование, здравоохранение и культура, которые развиваются путем укрепления роли государства и совершенствования ГЧП;
- экология живых систем и рациональное природопользование, поддержание которых достигается за счет сбалансированного потребления, развития прогрессивных технологий и целесообразного воспроизводства природно-ресурсного потенциала страны…

В ***«Стратегии развития промышленности по переработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года»***, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. №84-р, наряду с приведением данных о росте ежегодных объемов образования в РФ отходов с 3000 млн в 2005 г. до более 5000 млн тонн в 2015 г. и о том, что площадь санкционированных объектов размещения отходов составляет примерно 4 млн гектаров, увеличиваясь на 300-400 тысяч гектаров ежегодно, в частности, говорится:

- *«Природоохранная политика стран Европейского союза, Японии и Соединенных Штатов Америки основана на принципах устойчивого развития, под которым понимается в первую очередь неправомерность действий, представляющих угрозу будущим поколениям…*
- *Устойчивость комплексной системы обращения с отходами обеспечивается развитием рынка вторичного сырья из утилизированных отходов, пресечением нелегального захоронения отходов (система контроля), применением принципа «загрязнитель платит»…*
- *Достигнутый уровень мировой практики показывает, что главный эффект в решении проблемы отходов связан с их вовлечением в повторное использование...*
- *Наибольшее количество отходов образуется при добыче полезных ископаемых (86,8 процента общего количества образующихся отходов в Российской Федерации за 2016 год), которые представлены в основном вскрышными, вмещающими породами и продуктами обогащения минерального сырья…*
- *Доля утилизированных отходов при добыче полезных ископаемых ежегодно составляет порядка 61 процента общего количества их образования…*
- *На долю секторов экономики, не связанных с добычей полезных ископаемых, приходится порядка 8 процентов образующихся отходов, наиболее отходоемкими из которых являются металлургическое производство — 5,6 процента, … энергетика и коммунальное хозяйство — 0,5 процента, … строительство, химическое производство и производство неметаллических минеральных продуктов — по 0,3 процента.*
- *При эксплуатации объектов обеспечения электрической энергией,*

газом и паром утилизируется и обезвреживается только 9 процентов образованных отходов. В целом для обрабатывающих производств этот показатель равен примерно 54 процентам…

Важнейшим ресурсно-экономическим показателем является уровень замещения (в процентах) использования природного сырья из невозобновляемых природных ресурсов на вторичное сырье из обработанных отходов при производстве продукции и оказании услуг. Данный показатель в совокупности с величинами экологического эффекта характеризует степень реализации в Российской Федерации мирового принципа обращения с отходами 3R. Он отражает принцип межотраслевого взаимодействия и определяется в соответствии с показателями настоящей Стратегии…

Основными направлениями действий по решению задачи создания эффективной комплексной системы управления и регулирования в области обработки, утилизации и обезвреживания отходов являются:

- *отработка эффективного межведомственного, межотраслевого и вертикального взаимодействия органов исполнительной власти федерального и регионального уровней, органов местного самоуправления;*
- *разработка научно обоснованных предложений по выработке финансово-экономического механизма государственной поддержки и стимулирования предпринимательской, научно-технической, инновационной и производственной деятельности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, созданию регулятивных, финансовых, экономических и иных инструментов для формирования стабильного спроса, обеспечения конкурентоспособности продукции из вторичного сырья, оборудования и техники для обеспечения потребностей отрасли…*

Основными направлениями действий по решению задачи формирования и перспективного развития отраслевой научно-технической и информационно-аналитической инфраструктуры в сфере обработки, утилизации и обезвреживания отходов, а также ресурсосбережения являются:

- *создание отраслевого научно-методического центра «Управление обращением с отходами и вторичными ресурсами», а также межотраслевых инновационных научно-технологических центров (производственных кластеров) для обеспечения организации и проведения эффективной научно-исследовательской, информационно-аналитической и образовательной деятельности в сфере обращения с отходами и ресурсосбережения;*
- *формирование и развитие сети экспериментальных типовых экотехнопарков, как площадок для разработок и внедрения новых технологий в сфере обработки, утилизации и обезвреживания отходов, ресурсосбережения и уменьшения количества образующихся отходов, инновационного эффективного высокотехнологичного отечественного оборудования и техники;*
- *обеспечение эффективного взаимодействия участников исследований и разработок с представителями бизнес-сообщества, государства, различных слоев общества, в том числе для организации пилотных проектов и их внедрения на территории Российской Федерации;*
- *расширение программ государственных фондов развития промышленности для предоставления льготного кредитования научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и производственно-технической деятельности, востребованных в промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;*
- *организация научно-методического, координационного и инжинирингового обеспечения отрасли промышлености по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;*
- *реализация мероприятий по стандартизации технологий и оборудования, вторичной продукции, полученной из отходов, а также осуществление мер по научно-техническому развитию отрасли...*

Содержание мероприятий (работ) и объемы их финансового обеспечения за счет ассигнований федерального бюджета, а также механизмы оказания государственной поддержки организациям промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов определяются в рамках соответствующих государственных программ Российской Федерации, а также при подготовке мероприятий непрограммного характера, обеспечивающих реализацию настоящей стратегии, в пределах бюджетных ассигнований, предусмотренных федеральным органам исполнительной власти в федеральном бюджете на соответствующий финансовый год и плановый период…

Дополнительно источниками финансового обеспечения мероприятий по реализации настоящей стратегии могут являться:

- *региональные программы в области обращения с отходами;*
- *программы государственных корпораций, крупных компаний, предусматривающие мероприятия, направленные на комплексное развитие промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;*
- *государственные институты развития, создаваемые Российской Федерацией или субъектами Российской Федерации, включая государственные фонды развития промышленности;*
- *средства международных финансовых институтов и иностранные инвестиции в реализацию перспективных инфраструктурных проектов;*
- *средства частных инвесторов и заемные средства кредитных организаций, в том числе в рамках государственно-частного партнерства…»*

Реализация данной стратегии предусматривает 2 этапа:

- первый этап — 2018-2021 годы, на котором планируется реализация вышеописанных обеспечительных мер и отработка пилотных проектов;
- второй этап — 2022-2030 годы, на котором планируется широкомасштабная реализация проектов.

В ходе обращения с ежегодным ***Посланием к Федеральному Собранию 1 марта 2018 г. Президент Российской Федерации Путин В.В.*** обратил особое внимание на повышение экологических стандартов. Так, он сказал, что «*с 2019 года на экологичные доступные наилучшие технологии должны перейти 300 промышленных предприятий, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. А с 2021*

года это должны сделать все предприятия с особой категорией риска для окружающей среды».

Первые 300 предприятий, вклад которых в выбросы и сбросы в целом по стране составляет более 60%, должны получить комплексные экологические разрешения в период с 2019 по 2022 годы. К числу таких предприятий относятся очистные сооружения, предприятия по добыче нефти, газа и угля, предприятия черной и цветной металлургии, химической промышленности, тепло- и электростанции, нефтеперерабатывающие предприятия. Комплексное экологическое разрешение, ***согласно ст.31.1 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»***, выдается на отдельный объект, оказывающий негативное воздействие на окружающую среду, и содержит следующую информацию:

- *технологические нормативы;*
- *нормативы допустимых выбросов, сбросов высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (веществ I, II класса опасности), при наличии таких веществ в выбросах загрязняющих веществ, сбросах загрязняющих веществ;*
- *нормативы допустимых физических воздействий;*
- *нормативы образования отходов и лимиты на их размещение;*
- *требования к обращению с отходами производства и потребления;*
- *согласованную программу производственного экологического контроля;*
- *срок действия комплексного экологического разрешения.*

Согласно закону, программа повышения экологической эффективности является неотъемлемой частью комплексного экологического разрешения. [37]

Постановлением Правительства Российской Федерации от 6 апреля 2018 г. №418 было продлено действие механизма государственной поддержки, предусматривающего предоставление субсидий из федерального бюджета российским организациям на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях, Внешэкономбанке, международных финансовых организациях на реализацию комплексных инвестиционных проектов по приоритетным направлениям гражданской промышленности или выплату купонного дохода по облигациям, выпущенным в 2014-2019 гг. в рамках реализации комплексных инвестиционных проектов по приоритетным направлениям гражданской промышленности. В федеральном бюджете на реализацию такого механизма господдержки предусмотрены средства в размере 24,05 млрд рублей (в том числе в 2018 г. — 6,86 млрд рублей, в 2019 г. — 8,6 млрд рублей, в 2020 г. — 8,59 млрд рублей) [38].

В сентябре 2018 г. Минпромторг России совместно с Минприроды России в соответствии с поручением, данным по итогам заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, дополнил структуру Паспорта национального проекта «Экология», включавшего 10 федеральных проектов («Чистая страна», «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», «Инфраструктура для обращения с отходами I и II классов опасности», «Чистый воздух», «Чистая вода», «Оздоровление Волги», «Сохранение озера Байкал», «Сохранение уникальных водных объектов», «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма», «Сохранение лесов»), одиннадцатым федеральным проектом — «Внедрение наилучших доступных технологий», итогом реализации которого станет:

- Формирование нормативной правовой базы для перехода на НДТ и развития новой отрасли для российской промышленности — экологического машиностроения.
- Обеспечение функционирования системы выдачи комплексных экологических разрешений всеми объектами I категории по уровню воздействия на окружающую среду (около 7 тыс. объектов).
- Обеспечение ускоренного роста инвестиций в основной капитал за счет масштабной программы техперевооружения.
- Стимулирование производства природоохранного оборудования и продукции экологического машиностроения за счет поддержки пилотных партий оборудования НДТ.
- Формирование экспертного сообщества по внедрению НДТ на базе Бюро наилучших доступных технологий.
- Запуск механизма зеленых облигаций как отдельного нового инструмента стимулирования инвестпроектов по НДТ.

Объем бюджетных ассигнований на поддержку хозяйствующих субъектов, переходящих на наилучшие доступные технологии (зеленые облигации), включенный в паспорт национального проекта «Экология», составляет более 27,3 млрд руб., а объем внебюджетных средств — 2400 млрд руб.

В ***«Плане мероприятий по реализации Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года»***, утвержденном распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 мая 2019 г. №1124-р, наряду с реализацией мероприятий, предусмотренных федеральным проектом «Внедрение наилучших доступных технологий» национального проекта «Экология», развития международного сотрудничества и реализации совместных проектов по изучению зарубежного опыта, утверждения методики определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ от передвижных источников (включая транспортные средства, использующие природный газ как газомоторное топливо), предусматривается:

- *Подготовка и принятие федерального закона «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха»…*
- *Разработка предложений, направленных на обеспечение своевременной рекультивации земель, нарушенных и загрязненных в результате осуществления хозяйственной и (или) иной деятельности…*
- *Определение приоритетных направлений научно-технического развития в сфере охраны окружающей среды, изучение и анализ достижений мировой и российской науки в соответствующих областях, выработка рекомендаций по их использованию…*
- *Подготовка поправок в двусторонние и многосторонние между-*

народные соглашения (договоры), регулирующие трансграничное воздействие на окружающую среду, в целях защиты национальных интересов Российской Федерации…»

В ***Перечень поручений Президента России от 25 декабря 2018 г. по итогам расширенного заседания Президиума Государственного совета*** были включены следующие Предложения рабочей группы Государственного совета Российской Федерации по уточнению национальных проектов (программ) от 18 декабря 2015 г.:

«…IX. В рамках реализации национального проекта «Экология»

31. Обеспечить скорейший запуск механизма «зеленых» облигаций, позволяющего повысить привлекательность российских и иностранных прямых инвестиций и снизить стоимость заемных средств при реализации проектов экологической направленности. …

б) сохранение права субъекта Российской Федерации использовать сложившуюся экономию средств федерального бюджета в рамках реализации мероприятия национального проекта, на иные мероприятия, направленные на достижение целей и задач национальных проектов (в том числе в следующем финансовом/бюджетном году)…

34. Проработать возможность использования при мониторинге реализации национального проекта в субъектах Российской Федерации следующих показателей:

«Доля населения, обеспеченного качественной питьевой водой»;

«Доля населения, не подверженного негативному воздействию загрязненной воздушной среды»;

«Количество объектов накопленного экологического ущерба».

37. Совместно с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации проработать вопросы: …

б) внедрения механизма финансирования инвестиций за счет будущих налогов;

в) формирования системы показателей для оценки работы территориальных органов федеральных органов исполнительной власти по стимулированию экономики; …

д) формирования портфеля региональных решений, способствующих достижению показателей экономического развития…»

«Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2024 года», утвержденные Председателем Правительства Российской Федерации 29.09.2018 г., также содержат положения, взаимно увязывающие вопросы инфраструктурного развития и улучшения экологической ситуации при реализации национальных проектов:

«Правительство Российской Федерации будет осуществлять комплекс взаимоувязанных мер по поддержке и развитию субъектов Российской Федерации и муниципальных образований в рамках единого целеполагания, включая: …

- *реализацию инфраструктурных проектов по повышению транспортной и информационной связанности территорий, межрегиональной интеграции, мобильности населения, доступности и качества услуг социальной инфраструктуры;*
- *улучшение экологической ситуации, повышение качества среды обитания и комфортности городских агломераций…».*

В целях исполнения Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» Минпромторгом России был подготовлен, а 30 апреля 2019 г. Постановлением Правительства №541 был утвержден первый нормативный документ в области зеленого финансирования — ***«Правила предоставления субсидий на компенсацию компаниям затрат на выплату купонного дохода по облигациям, выпущенным в рамках инвестиционных проектов по внедрению наилучших доступных технологий на объектах, оказывающих негативное влияние на окружающую среду»***.

Минпромторг России в рамках приоритетного направления деятельности «Экология в промышленности», наряду с разработкой информационно-технических справочников в рамках Бюро наилучших технологий ФГАУ «НИИ Центр экологической промышленной политики» и выпуска на их основе ряда информационных ресурсов [39], осуществлял администрирование значительных мер поддержки, в числе которых [40]:

- льготы по плате за негативное воздействие на окружающую среду предприятиям, осуществляющим меры по снижению воздействия на окружающую среду и внедрению НДТ;
- предоставление инвестиционных налоговых кредитов;
- внедрение коэффициента ускоренной амортизации для оборудования НДТ;
- субсидирование части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным с целью реализации комплексных инвестиционных проектов (ПП РФ №3);
- субсидирование части затрат на проведение НИОКР в рамках реализации комплексных инвестиционных проектов по приоритетным направлениям гражданской промышленности (ПП РФ №1312).

В рамках системы технического регулирования, подведомственным Минпромторгу России Росстандартом были приняты национальные стандарты в сфере экологического менеджмента и контроля, соответствующие международным стандартам:

- ISO 14001:2015 — IDT — ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» (идентичен международному стандарту ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use);
- ISO 19011:2011 — IDT — ГОСТ Р ИСО 19011-2012 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента»;
- ISO 31000:2009 — IDT — ГОСТ Р ИСО 31000-2-10 «Менеджмент риска. Принципы и руководство»;
- ISO 50001:2011 — IDT — ГОСТ Р ИСО 50001-2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению»;
- ISO Guide 73:2009 — IDT — ГОСТ Р 51897-2011/Руководство ИСО 73:2009 «Менеджмент риска. Термины и определения».

В целом, по мнению Рабочей группы по вопросам ответственного финансирования (ESG-finance), в т.ч. зеле-

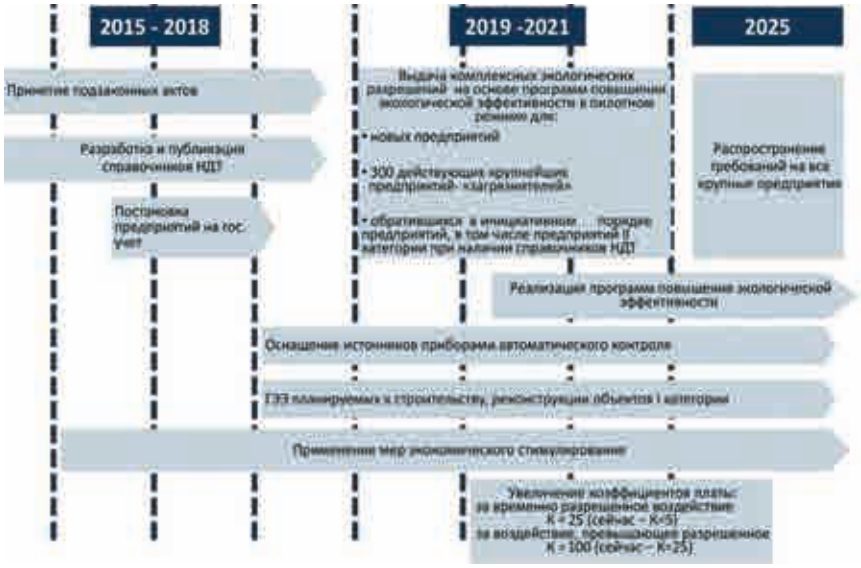


Рисунок 5. Стадии трансформации новой системы экологического регулирования [42]

Рисунок 6. Функциональная схема «зеленой» части замкнутого экономического цикла.

ного финансирования Экспертного совета по рынку долгосрочных инвестиций при Банке России, определены полномочия следующих органов власти, которые «могут оказывать существенное воздействие на формирование рынка зеленых финансов»* [20]:

- ► Минэкономразвития России
- ► Минприроды России
- ► Минпромторг России
- ► Минэнерго России
- ► Минстрой России
- ► Росприроднадзор
- ► Ростехнадзор
- ► Росстандарт

Таким образом, можно сказать, что к настоящему времени в целом заложена правовая основа для перехода к зеленой экономике и программа действий по трансформации системы государственного регулирования в области охраны окружающей среды, очень системно описанная в работе руководителя Центра глобальной экологии МГУ имени М.В. Ломоносова [41] Президента «Неправительственного экологического фонда имени В.И. Вернадского» члена-корреспондента РАН В.А. Грачева и д.м.н. Н.И. Курышевой [42]. Вместе с тем, в своем ***послании Федеральному Собранию 15 января 2019 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин***, на наш взгляд, явно потребовал активизации и повышения эффективности работы в данных направлениях [43]:

«Приоритетом должны стать окупаемые проекты, которые снимают инфраструктурные ограничения для территорий. Это в том числе автомобильные обходы крупных городов, магистрали между областными центрами, выходы на федеральные автотрассы. Такие проекты обязательно потянут за собой рост малого бизнеса, туризма, социальной активности в регионах и на местах…

Для уверенного роста инвестиций экономике нужны так называемые длинные деньги. Конечно, бизнес, компании, особенно крупные, обязаны помнить о своей социальной и экологической ответственности…

От планов нужно, конечно, быстрее переходить к действиям. Нам предстоит отработать и внедрить систему мониторинга качества воздуха, в дальнейшем распространить такой контроль на всю страну, причем не только за состоянием воздуха, но и воды и почвы, то есть сформировать полноценную систему экологического мониторинга…

Далее. До конца года не менее 80 из 300 крупнейших предприятий должны перейти на так называемые наилучшие доступные технологии, получить комплексные экологические разрешения, что означает последовательное сокращение вредных выбросов…

Нужно кардинально снизить объем отходов, поступающих на полигоны, внедрять раздельный сбор мусора, в целом переходить на экономику замкнутого цикла и уже с 2021 года начать применение механизма так называемой расширенной ответственности производителей, когда производители и импортеры товаров и упаковок несут расходы по их утилизации. Если сказать просто: загрязнитель платит… Россия готова поддержать совместные исследования отечественных и зарубежных ученых по проблемам экологии, изменения климата, загрязнения окружающей среды и Мирового океана. Это общие для всех вызовы глобального развития… Для решения сложных технологических задач продолжим развитие исследовательской инфраструктуры, включая объекты класса мегасайенс…

Исследователям, инженерам, предпринимателям мы должны обеспечить свободу для работы, научного, инновационного поиска.

Далее: на основе лучших мировых стандартов следует настроить механизмы государственной поддержки инструментов прямого и венчурного финансирования. …

Надо поддерживать высокотехнологичный экспорт и, безусловно, расширять спрос на инновации внутри самой страны…»

ЗАМЫКАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЦИКЛА И ПРОЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ

С сожалением можно констатировать, что в вышеприведенных документах Правительства пока не нашли должного отражения направления, мероприятия и механизмы деятельности по переходу к экономике замкнутого цикла.

Так, при наличии механизмов и мероприятий по стимулированию сокращения выбросов и перехода на

*__Примечание:__ следует отметить, что, помимо вышесказанных полномочий и органов, оказывающих воздействие на формирование рынка зеленых финансов, в настоящее время в заключительной стадии согласований находится наделение Федеральной налоговой службы Российской Федерации полномочиями по администрированию сборов в части «Расширенной ответственности производителей», которое, очевидно, окажет значительное влияние на развитие данного рынка.

наилучшие доступные технологии в различных секторах экономики, в них отсутствуют таковые для стимулирования процессов переработки и применения отходов в отраслевых сегментах, потенциально являющихся крупнейшими потребителями продуктов переработки, — в транспортной и энергетической инфраструктуре, и связанном с ними строительстве.

Более того, относительно Минтранса России можно отметить, что в правительственных документах и паспортах национальных проектов не нашли отражения полномочия и компетенции Минтранса России и других ведомств [16] в части администрирования и реализации мероприятий «зеленого» направления в инвестиционных проектах инфраструктурного развития, играющих важнейшую роль в формировании и развитии «замыкающего звена» экономического цикла.

Важность проектов развития в данных секторах, являющихся своего рода ключевым звеном, замыкающим экономический цикл, определяется следующими моментами:

- большой объем необходимых и планируемых инвестиций в данных секторах;
- большой физический объем вторичных ресурсов, который может быть применен при реализации инвестиционно-строительных проектов в данных секторах при наличии соответствующего технологического и нормативно-технического обеспечения (десятки и даже сотни миллионов тонн в год) [44, 45];
- высокая инвестиционно-финансовая эффективность комплексных проектов применения вторичных ресурсов при реализации крупных проектов строительства инфраструктурных объектов;
- высокая интегральная социально-экономическая эффективность комплексных проектов применения вторичных ресурсов и их полное соответствие целям устойчивого развития [46] за счет системного влияния на экологию, здравоохранение, развитие научных и высокотехнологичных инжиниринговых разработок.

При том что потенциал развития данных сегментов одновременно наиболее зависим от возможности привлечения длинных, по сути — зеленых, инвестиций, а также необходимого развития соответствующего нормативно-правового и нормативно-технического обеспечения, управленческих и проектных механизмов и др., можно с удовлетворением отметить, что в решении одной из необходимых для этого задач — развитии научно-технологических компетенций — в РФ уже имеется значительный задел. Наиболее успешные примеры, иллюстрирующие этот задел, включая признанные на международном уровне, приведены ниже [47, 48].

Таблица 7. Классификация белитового* шлама по активности.

Показатель активности шлама	Предел прочности образцов при сжатии, МПа, после 90 суток нормального твердения
Высокоактивный (ВА)	Свыше 5,0 МПа
Активный (А)	От 2,5 до 5,0 МПа
Слабоактивный (СА)	Менее 2,5 МПа

**Примечание: Белитовый шлам и нефелиновый шлам - разные названия одного вещества.*

Таблица 8. Расчетные характеристики материалов, укрепленных натуральным высокоактивным белитовым шламом

Материалы, укрепленные шламом	Расчетные характеристики	Для следующих марок				
		20	40	60	75	100
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси (оптимальные)	модуль упругости, МПа	560	750	930	1080	1180
	коэффициент самоупрочнения	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси (неоптимальные)	модуль упругости, МПа	430	620	800	970	1130
	коэффициент самоупрочнения	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3
Пески гравелистые, крупные, средние	модуль упругости, МПа	370	560	750	910	1080
	коэффициент самоупрочнения	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5
Пески мелкие и пылеватые	модуль упругости, МПа	250	370	560	7500	930
	коэффициент самоупрочнения	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6

ПРИМЕРЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Нефелиновые шламы

На основании обобщения многолетнего опыта применения в дорожном и аэродромном строительстве отвальных нефелиновых шламов производства ООО «Пикалёвский глинозёмный завод» и АО «РУСАЛАЧИНСК», а также спекательного шлама Павлодарского завода, авторским коллективом института ООО «Омский СоюзДорНИИ» под руководством к.т.н. Белоусова Б.В в рамках Государственного контракта №47/167 от 18.10.2013 [49] был разработан ОДМ 218.3.043-2015 «Методические рекомендации по применению в слоях дорожных одежд натуральных белитовых шламов». В данном документе были приведены нормативные параметры активности белитовых шламов и расчетные характеристики материалов, укрепленных белитовым шламом (*таблицы 7 и 8*), в том числе была впервые нормативно закреплена в качестве рекомендательной новая расчетная характеристика расчета дорожных одежд — коэффициент самоупрочнения (α) в отношении модуля упругости шламсодержащего слоя основания дорожной одежды — в функциональном виде для укатанного шлама (см. формулу 11 из ОДМ 218.3.043-2015), или в конкретном значении этой величины в интервале от 1.2 до 3 для шламощебеночных материалов.

В то же время, в рамках исполнения ряда государственных контрактов федерального и регионального уровней в 2012-2013 гг., была произведена реконструкция участка дороги в жилой зоне «Обрино» города Пикалёво Ленинградской области в рамках исполнения Проекта «Проектирование и строительство подводящих инженерных сетей для реализации инвестиционного проекта (площадки под промышленные предприятия) в составе долгосрочной целевой программы «Инфраструктурное обеспечение комплексного инвестиционного развития и диверсификации экономики г. Пикалёво». Реконструированный участок автодороги обследовался на трех пикетах в течение пяти лет инициативной группой под руководством Станкевича В.Г., с участием ООО «АПС» и ООО «НПЦ «ОНИКС» [51], [53], [54]. Второе обследование [50] проводилось в соответствии с Перечнем поручений губернатора Ленинградской области Дрозденко А.Ю. за №65-6985/13 от 29.07.2013 г. На выделенном экспериментальном участке проводились инструментальные наблюдения динамики механических параметров дорожных одежд в течение одного года без устрой-

конструкция Д.О. (1этап стр-ва 2 уч.) Эквивалентный модуль упругости 260 ±40,МПа	Модуль упругости слоя, МПа	Характеристика слоя
	1500 - 1700	шламощебёночная смесь толщина 7см
	1000 - 1200	отвальный нефелиновый шлам, закатанный толщина 18 см
	135 - 140	техногенный насыпной грунт (Щебенистый грунт с песчаным заполнителем.Остатки покрытия переходного типа из булыжного камня. Песок разнозернистый /от пылеватого до гравелистого/) толщина 40 -45 см
	25 - 30	. Супеси пылеватые, тяжелые, суглинки тяжелые пылеватые мягкопластичные пылеватые при относительной влажности W/Wm 0,8 – 0,85.

Рисунок 7. Конструкция дорожной одежды на 2-м экспериментальном участке в жилой зоне «Обрино» г. Пикалёво, реконструированном с применением отвального шлама, и результаты штамповых испытаний. Техническая характеристика экспериментального участка автодороги: Автодорога III технической категории; отнесена к второстепенным проездам по СП 42.13330.2011. Количество/ширина полос движения - 2/3,5м; расчетная скорость движения – 40 км/час.

Рисунок 8. Керн из укатанного шлама на пикете 17+90

ства асфальтобетонного покрытия. Параметры и шламсодержащие конструктивы дорожных одежд экспериментального участка представлены на *рисунке 7*.

При реконструкции автодороги на экспериментальном участке с втопленным в прикатанный шлам щебнем было открыто движение тяжеловесных самосвалов, перевозивших грунт со стройплощадки с момента устройства переходного покрытия без слоя асфальтобетона.

Первое штамповое обследование [51] производилось в период проектного возраста для пикалёвского отвального шлама согласно ГОСТ 23558-94 — через 220 дней после осенней укатки. Статические штамповые испытания с помощью штамповой установки с пределом нагружения 100 кН (зав. №3.0201, изготовитель — Testing Blum& Feuerherdt GmbH, Германия,) для определения модуля упругости и деформаций грунтовых оснований дорожных одежд и аэродромных покрытий в соответствии с методикой ОДМ 218.3.023-2012 «Методические рекомендации по определению модуля упругости дорожной одежды с использованием статического жесткого штампа». Динамические штамповые испытания с применением установки динамического нагружения ZORN ZFG3000 (зав. №6023, изг. ZORN instrument, Германия) в соответствии с методикой ГОСТ СЭВ 5497-86.

По результатам пятилетней эксплуатации данного участка было получено положительное Заключение ГАУ «ЛенОблГосЭкспертиза» №4 7-1-1-3-0114-18 от 10 апреля 2018 г.

Проведенные впоследствии В.Г. Станкевичем в ходе корректировки СТО 85173989-2014 [52] расчеты, обобщающие результаты Отчета ООО «Омский СоюзДорНии» [49] и результаты анализа пятилетнего цикла инструментальных наблюдений автодороги в г. Пикалёво, выполненных ООО «НПЦ «ОНИКС» [54], позволили сделать вывод о том, что значения коэффициентов самоупрочнения укатанных нефелиновых шламов двух указанных производителей — формулы (1) и (2) — могут принимать значения более высокие, чем те, которые рассчитываются для белитовых шламов по формуле (11) из ОДМ 218.3.043-2015 (таблица 9).

В частности, расчетные значения коэффициентов самоупрочнения для укатанных отвальных нефелиновых шламов ООО «Пикалёвский глинозёмный завод» ($\boldsymbol{\alpha^{П}(T)}$) и АО «РУСАЛАЧИНСК» ($\boldsymbol{\alpha^{АГК}(T)}$) определяются по следующим формулам:

$$\boldsymbol{\alpha^{АГК}(T)} = 0{,}60273 \times \mathrm{Ln}\,(x + 0{,}25) + 1{,}1734 \quad \textbf{(1)},$$

где при x = 0,5года (180 дней) $\boldsymbol{\alpha^{АГК}(0{,}5)} = 1{,}000$ и $\mathbf{E^{АГК}_{сл}} = 1250$МПа;

$$\boldsymbol{\alpha^{П}(T)} = 0{,}90397 \times \mathrm{Ln}\,(x + 0{,}25) + 1{,}13517 \quad \textbf{(2)},$$

где при x = 0,611года (220 дней) $\boldsymbol{\alpha^{П}(0{,}611)} = 1{,}0000$ и $\mathbf{E^{П}_{сл}} = 1250$МПа

Одновременно на основании обобщенного анализа испытаний лабораторных образцов и кернов, взятых на пикалёвской автодороге (*рисунки 6 и 7*) получена интерполяционная формула (3) временной зависимости прочности укатанного шлама на изгиб ($\mathbf{R^{шщс}_{0}}$, МПа), схожая с формулой, предложенной ранее Радовским Б.С. для асфальтобетонов в зависимости от величины его модуля упругости, которая имеет следующий вид:

$$\mathbf{R^{шщс}_{0}} = 0{,}18 \times (\mathbf{E^{0,378}_{уш}})\,(t) - 5{,}49 \quad \textbf{(3)},$$

где $\mathbf{E^{0,378}_{уш}(t)} = 1250 \times (0{,}90397 \times \mathrm{Ln}\,(t+0{,}25) + 1{,}13517)$ — временная зависимость модуля упругости укатанного шлама в МПа.

При этом, на сегодняшний день в дорожной отрасли не используется резерв прочности дорожных одежд, связанный с возможностью нормативно-расчетного задания и учета каркасного эффекта в шламощебеночных смесях, принимая во внимание исключительные свойства укатанного шлама по деформативности и морозостойкости. Хотя данные показатели позволяют достигать значительного повышения экономической эффективности дорожной деятельности за счет снижения суммарных дисконтированных затрат в расчетный период в соответствии с требованиями п.5.1.5 ОДМ 218.2.028-2012, в силу снижения начальных затрат, предусмотренных ремонтными нормативами, при одновременном обеспечении возможности довольно быстрого повышения капитальности дорожных одежд.

Таблица 9. Сопоставление результатов расчета коэффициентов самоупрочнения по формулам (1), (2) на основании пятилетних наблюдений [54] и формуле (11) из ОДМ 218.3.043-2015

Значения коэффициентов самоупрочнения	Срок с момента укладки шлама				
	1 год	2 года	4 года	12 лет	24 года
$\alpha^{АГК}$(T) по (1)	1,308	1,662	2,046	2,684	3,095
$\alpha^{П}$(T) по (2)	1,337	1,868	2,443	3,400	4,017
α (T) по (11) из ОДМ 218.3.043-2015	1,37	1,622	1,897	2,275	2,527

Рисунок 9. 27.10.2010. Современные технологии внедряются в Саратовской области на строительстве сортового завода. По данным «Северстали» [56]

Таблица 10. Сопоставление результатов расчета коэффициентов самоупрочнения по формулам (1), (2) на основании пятилетних наблюдений [54] и формуле (11) из ОДМ 218.3.043-2015

Вид грунта/вяжущего*	Модуль динамической деформации Evd (МПа)	
	На 1-е сутки	На 2-е сутки
	Левый участок	Левый участок
Укрепленный цементом	**71**	**75**
Укрепленный комплексным вяжущим состава А	**59**	**83**
Укрепленный комплексным вяжущим состава Б	**88**	**101**
Грунт без вяжущего	**24**	

*Состав вяжущих (значения — для слоя толщиной 35 см):
Цемент ЦЕМ-42,5Н — 40 кг;
Комплексное вяжущее состава А: 20 кг золы уноса Каширской ГРЭС и 20 кг цемента;
Комплексное вяжущее состава Б: 9 кг золы уноса Каширской ГРЭС и 34 кг цемента.

СЛОИ ОСНОВАНИЙ, УКРЕПЛЕННЫЕ ФОСФОГИПСОМ И ЗОЛОЙ УНОСА УГОЛЬНЫХ ТЭС

В качестве примера эффективности применения можно привести временные и внутризаводские дороги металлургического завода ЗАО «Северсталь — Сортовой завод Балаково», построенные Компанией «Аэроком» по технологии стабилизации и укрепления грунта комплексным вяжущим на основе фосфогипса и золы уноса. Эти дороги выдержали не только разрушительный паводок, но и сложнейшую транспортировку крупнотоннажного оборудования прокатных станов и продолжают эксплуатироваться до сих пор. По итогам строительства генеральный директор компании-заказчика ЗАО «Северсталь — Сортовой завод» Игорь Байков сделал вывод:

«Совокупный экономический эффект от ее применения может составить более 40% по сравнению с расходами при классических технологиях строительства.

Экономичность:

- Сокращение потребности в транспорте в 40 раз.
- Сокращение потребности в нерудных строительных материалах.

Сокращение сроков строительства:

- Специализированный комплекс обрабатывает в течение рабочего дня 3000 м^3 или (12.000 м^2) грунта!!!

Надежность:

- Опыт показывает, что стабилизация комплексным вяжущим обеспечивает модуль упругости на поверхности от 100 до 500 МПа и более, что превышает предельные характеристики традиционных методов». [55]

СЛОИ ОСНОВАНИЙ, УКРЕПЛЕННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫМИ ВЯЖУЩИМИ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ УНОСА УГОЛЬНЫХ ТЭС И ЦЕМЕНТА

По заказу ООО «Самарадорпроект» НИИОСП им. Н.М. Герсеванова (АО «НИЦ «Строительство») были проведены лабораторные исследования физических свойств, максимальной плотности и оптимальной влажности песчаного грунта на образцах грунта нарушенного сложения и подобраны варианты его стабилизации в ходе работ по реконструкции ВПП одного из подмосковных аэродромов. По результатам лабораторных испытаний грунта было установлено, что он по гранулометрическому составу представлял собой песок мелкий с содержанием крупнообломочных фракций — 0,2%, песчаных — 92,0%, пылеватых и глинистых — 7,8%; природная влажность грунта равнялась 4,5%; значение максимальной плотности (ГОСТ 22733-2002) изученного грунта составило 1,71 г/см^3 при оптимальной влажности — 14,5%. Испытания укрепленных грунтов, укрепленных комплексными вяжущими, показали лучший набор прочности в сравнении с цементом.

ВЯЖУЩИЕ ИЗ МОЛОТОГО ДОМЕННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА, ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА И ЗОЛЫ УНОСА УГОЛЬНЫХ ТЭС

На основании результатов НИР по контрактам в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», в НИТУ «МИСиС» была разработана технология производства в аппарате вихревого электромагнитного слоя из доменных гранулированных шлаков (ДГШ) эффективных высокодисперсных инъекционных суспензий для гидроизоляции и ремонта подземных сооружений [57, 58], а также составы композиционных вяжущих с применением зол уноса угольных ТЭС, зачастую превосходящие по своим параметрам лучшие образцы цемента (*см. таблицы*) и вызывающие «лицензионный» интерес у крупнейших зарубежных компаний (например, у подразделения китайской корпорации China National Chemical Engineering Construction Co., занимающегося вопросами утилизации шламов газификации угля для защиты окружающей среды, — CNC Environment Protection Co.).

Таблица 11. Среднее значение предела прочности искусственного камня на основе системы «шлак - зола уноса - щелочной реагент»

Количество золы уноса, масс.%	Средняя прочность через 28 суток, МПа	Средняя прочность через 180 суток, МПа
10	65	105
20	68	110
30	67	109

Таблица 12. Среднее значение предела прочности искусственного камня на основе системы «шлак - цемент»

Количество золы уноса, масс.%	Средняя прочность через 28 суток, МПа	Средняя прочность через 180 суток, МПа
10	57	75
20	85	92
30	86	103
40	89	120
50	100	123

Рисунок 13. На месте производства работ по стабилизации и укреплению грунта в Тамани.

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ СЛОИ ИЗ МОЛОТОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА, ЗОЛОШЛАКОВ ГИДРОУДАЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ТЭС И ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Компания «РостовЭкоТех» провела опытные испытания стабилизированных слоев дорожных одежд с применением золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС (ООО «Газпром энергохолдинг»), молотого шлака сталеплавильного производства ПАО «Таганрогский металлургический завод» и портландцемента. Результаты полевых измерений, проведенных РостДорПроект, приведены в таблице ниже.

Рисунок 10. Испытания компании «РостовЭкоТех»

Состав грунта	Толщина слоя	Модуль динамической деформации (Evd)	
		7-е сутки (МПа)	90-е сутки (МПа)
Золошлак - 70% Металлургический шлак - 25% Портландцемент – 5%	85	133,93	147,06
Золошлак - 70% Металлургический шлак - 25% Портландцемент – 5%	86	102,74	115,03
Золошлак - 70% Металлургический шлак - 30% Портландцемент - 1%	89	22,43	78,95
Золошлак - 70% Металлургический шлак - 29% Портландцемент - 1%	100	19,43	66,57

КРУПНОТОННАЖНЫЕ ОТХОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИФИЛИЗАТОРОВ И ПАВ

Применение данных видов веществ позволяет обеспечить достижение требуемых свойств слоев оснований дорожных одежд с использованием в качестве грунтовых смеси из крупнотоннажных отходов (например — зол, шлаков) без применения вяжущих материалов. Механизм стабилизирующего действия в этом случае заключается в изменении структуры связей и электрохимических свойств границы контакта пленки воды с поверхностью частиц грунта. За счет активизации ионного обмена на границе фаз полифилизаторы катализируют агломерацию мелких частиц грунта и активизируют связи между ними с формированием структурно более стабильных и прочных фракций.

Помимо довольно широко применяемой линейки продуктов вышеуказанной швейцарской группы Consolid (в России представлена компаниями ООО «Консолид.Рус» и ООО «МД-Системы»), на российском рынке доступен целый ряд других полифилизаторов, ПАВ и органических эмульсий для повышения разнообразных эксплуатационно важных свойств укрепленных грунтов (Enviroseal M10+50™ компании Enviroseal™, «Полиграунд» компании Полипласт и др.) [59].

Среди многих прочих хочется выделить продукты TERRA-3000 австрийской компании TERRASYSTEM® (https://www.terra-3000.com), обладающей значительным международным опытом применения в составе стабилизируемых грунтовых смесей именно вторичных ресурсов и промышленных отходов, недавно открывшей дочернюю компанию в России.

КОМПЛЕКСНЫЕ ВЯЖУЩИЕ «ШЛАК-ЦЕМЕНТ-ОПОКА»

По итогам успешного применения технологии стабилизации грунта при строительстве подхода к Крымскому мосту со стороны Тамани технология была рекомендована к более широкому применению министром транспорта РФ.

В ходе подбора составов для технологии стабилизации слоев основания, помимо стабилизированных составов на портландцементе, были подобраны составы грунтов, стабилизированных с применением комплексного вяжущего [60], характеристики которого приведены в *таблице 13*.

Главный инженер проводившей работы компании ООО «ДСК» М.Шейников по итогам анализа результатов применения технологии сообщил: «Исследования сравнения характеристик глинистых грунтов, стабилизированных органическими добавками и нестабилизированных, показали увеличение со временем модуля упругости, угла внутреннего трения, удельного сцепления. Это связано с доуплотнением грунтов под воздействием транспортной нагрузки. Наряду с этим, у грунтов в водонасыщенном состоянии с течением времени наблюдается общее снижение данных параме-

Рисунок 11. Этапы производства работ с полифилизаторами группы Consolid.
Источник: www.md-systems.ru

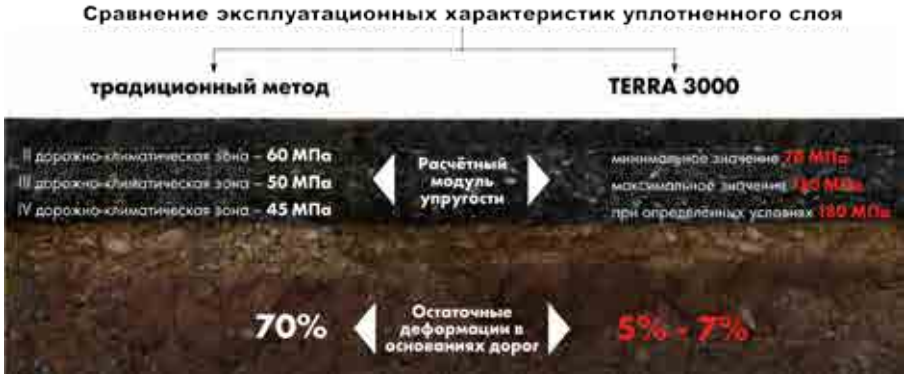


Рисунок 12. Сравнительные параметры конструкций одежд, построенных по «традиционному» методу и по системе TERRASYSTEM® *(Источник: https://www.terra-3000.com)*

Таблица 13. Составы и прочностные параметры образцов смесей «шлак-цемент-опока-грунт».

Состав смеси					Возраст образца	Предел прочности на сжатие (R сж.)**	Предел прочности на растяжение при изгибе (R раск.)**	Марка
№ п/п	Супесь	Шлак*	Клинкер	Опока				
	(мас.%)	(мас.%)	(мас.%)	(мас.%)	Сутки	Мпа (кгс/см)	Мпа (кгс/см)	
№3	94%	3,60%	1,92%	0,48%	7	1,2		
					28	2,22		
					90	2,53	0,41	М20
№7	93%	4,90%	1,68%	0,42	7	1,95		
					28	2,41		
					90	2,32	0,48	М20

Примечания:
**Молотый шлак производства ООО «Абинский ЭлектроМеталлургический завод»*
***В соответствии с ГОСТ 23558-94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия»*

Таблица 14. Параметры бетонов с применением доменного гранулированного шлака.

Состав бетона (№)	Состав вяжущего	Прочность образцов		
		На 2-е сутки (Мпа)	На 7-е сутки (Мпа)	На 28-е сутки (Мпа)
1	ЦЕМ I/А-Ш 42,5Н по ГОСТ 31108 (100%)	16	30	42,5
2	ЦЕМ I/А-42,5Н N1 (100%)	21	32	43,5
3	ЦЕМ I/А-42,5Н N1 (70%) и шлак молотый (30%)	19	26	44
4	ЦЕМ I/А-42,5Н N2 (100%)	22	35	53
5	ЦЕМ I/А-42,5Н N2 (70%) и шлак молотый (30%)	23,5	31	46,5
6	ЦЕМ I/А-42,5Н N3 (100%)	18	33	46,5
7	ЦЕМ I/А-42,5Н N3 (70%) и шлак молотый (30%)	21	32	46

тров, однако оно незначительно и находится в пределах нормируемого коэффициента. Сравнение значений характеристик стабилизированных и нестабилизированных глинистых грунтов показало, что в зависимости от места и срока эксплуатации модуль упругости Еупр стабилизированных грунтов выше в пределах от 10% до 190%, удельное сцепление выше в пределах от 25% до 6 раз, угол внутреннего трения φ выше в пределах от 5% до 40%, величина морозного пучения εмп ниже в пределах от 30 до 55%, величина относительного набухания εн ниже в пределах от 25% до 70%. Если за условие потери работоспособности стабилизированного грунта принять изменение характеристик в худшую сторону на величину более 30% (по нормируемому коэффициенту вариации Vк=0,3), то срок службы стабилизирующего материала составляет:

- по критерию упругости — не ограничен;
- по критерию прочности — до 10 лет (по удельному сцеплению);
- по критерию морозоустойчивости и набухания — до 9 лет». [61]

МОЛОТЫЙ ДОМЕННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ШЛАК И ЕГО СМЕСИ С ЦЕМЕНТОМ

ООО «Мечел-Материалы» разработаны и испытаны при строительстве разнообразных сооружений цементы в соответствии с ГОСТ31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» и СТО «GGBS 450 ТУ 0799-001-99126491-2013» с применением молотого доменного гранулированного шлака (шлакопортландцемент типа ЦЕМ III с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 до 65% и медленнотвердеющий цемент класса 32,5 с содержанием 81-95% доменного гранулированного шлака), а также минеральные добавки в бетоны, произведенные на основе доменного гранулированного шлака (http://мечел-материалы.рф/produktsiya/shlak-domennyi-granulirovannyi-molotyi/). Бетоны с данными вяжущими и минеральными добавками были успешно применены при строительстве оснований таких ответственных сооружений, как плита фундамента Лахта Центра, вошедшая в Книгу рекордов Гиннесса, как самая мощная несущая конструкция, выполненная методом непрерывного бетонирования, и фундамент самого высокого небоскреба в Центральной Азии — главного здания комплекса «Абу-Даби Плаза» в столице Казахстана Астане [62]. Лабораторные испытания бетонов и закладочных смесей с минеральными добавками «Мечел-Материалы» также показывают их высокую устойчивость к действию таких химически агрессивных факторов, как присутствие растворов хлоридов.

Нефтесодержащие отходы бурения, нефтедобычи и нефтепереработки

Еще в 2013 г. на основании обобщения опыта практического применения, в развитие ГОСТ 9757-90 в части уточнения и расширения диапазона технических требований к легким строительным материалам для дорожного, кустового и площадного строительства, производимых из вторичных ресурсов, компанией «Сервисный Центр СБМ» был разработан и на основании результатов лабораторных испытаний, проведенных ФГУП «РОСДОРНИИ», утвержден Стандарт организации «Гранулированный материал, полученный в результате обе-

звреживания отходов бурения (искусственные готовые смеси песчано-гравийные гранулированные». В данном стандарте были установлены технические требования к искусственной готовой смеси песчано-гравийной гранулированной (СПГГ), полученной в результате обезвреживания и грануляции отходов бурения, область ее применения, правила приемки и транспортирования, условия хранения, методы испытаний для оценки ее соответствия требованиям настоящего стандарта. Применение стандарта позволило применять СППГ в дорожном строительстве, что способствовало снижению дефицита строительных материалов с одновременным решением экологических проблем в нефтедобывающих регионах РФ. Дальнейшее развитие исследований в области утилизации отходов бурения при строительстве дорог, проведенных в рамках Казанского ГАСУ к.т.н. М.Е. Бешеновым и профессором к.т.н. И.Н. Хабибулиной привело к созданию запатентованной технологии производства и применения органоминеральных композиций с использованием продукта утилизации нефтешлама для предотвращения морозного пучения в дорожном строительстве. [63, 64]

В настоящее время совершенствование и применение подобных технологий становится крайне актуальным из-за необходимости строительства и ремонта лежневых участков магистральных и промысловых дорог, а также кустовых площадок в местах нефте/газо/добычи. В связи с этим, ФАУ «РОСДОРНИИ» ведет с профильными подразделениями компаний «ЛУКОЙЛ» и «Газпром нефть» активное обсуждение и планирование соответствующих программ научно-технических и инжиниринговых мероприятий, начавшееся с так называемых «Технологических дней» Тюменского нефтегазового форума 2019 г. [65].

В дополнение к этому нельзя не отметить, что значительные достижения имеются и в решении не менее актуальной задачи — переработки нефтесодержащих отходов нефтепереработки. Центром сетевой интеграции Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского с участием ЗАО «ВОЛГОСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ» под научным руководством профессора А.Д. Зорина была создана опытная мобильная высокотехнологичная установка по комплексной переработке и утилизации отходов нефтеперерабатывающих предприятий с реактором тонкослойного крекинга, получившая в 2012 г. диплом за лучшие разработки в рамках Программы НИРиОКР во исполнение Постановления Правительства №218.

Рисунок 14. Опытная установка для переработки до 10000 т кислых гудронов методом тонкослойного крекинга ЗАО «ВОЛГОСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ»

Рисунок 15. Партнеры консорциума PlasticRoad построили первый в мире участок пластиковой дороги 11 сентября 2018 года в городе Zwolle (Нидерланды). *Источник: https://www.plasticroad.eu/en/*

ПЛАСТИКОВЫЕ ДОРОГИ

Очень перспективным направлением является применение в дорожных одеждах вторичных полимеров. Прежде всего следует отметить, например, такой факт, что первый и один из до сих пор наиболее применяемых геотекстильных дорожных материалов – ДОРНИТ — был не только произведен из вторичных полимеров, но и разработан в 70-80-е годы прошлого века во Всесоюзном институте вторичных ресурсов [35]. Помимо производства геотекстильных материалов, очень перспективным направлением видится применение вторичных полимеров для устройства дорожных покрытий. Например, консорциум компаний KWS, Wavin и Total, обладающих значительным опытом и специализированными знаниями, работает над развитием технологии строительства пластиковых дорог. KWS является лидером рынка дорожного строительства и производства асфальта в Нидерландах, хорошо знающим рынок, который становится все более требовательным с точки зрения снижения шума, долговечности и устойчивости к паводкам и другим вредным факторам. Эти требования вдохновили идею пластиковой дороги (PlasticRoad), к которой подключился лидер на рынке переработки пластмасс в Нидерландах — компания Wavin, специализирующаяся на производстве пластмассовых изделий для дренажа дождевой воды, и компания Total, обладающая обширными знаниями и в части улучшения свойств пластмасс, доступных технологий их производства и переработки.

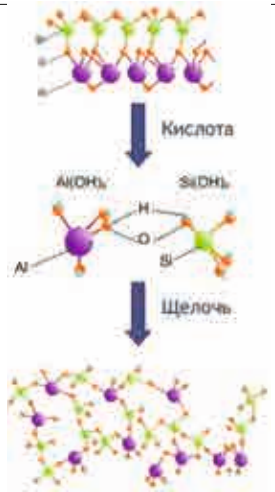
Опыт строительства пилотного участка показал, что в сравнении с «традиционным» вариантом сроки строительства таких дорог примерно на 70% меньше, а вес конструкции, изготовленной из 100% вторичного пластика и обеспечивающей при этом дренажный водоотвод, — в 4 раза меньше.

В числе российских работ по данному направлению стоит отметить деятельность Инжинирингового центра РЭУ им. Г.В. Плеханова и лаборатории «Перспективные композиционные материалы и технологии» в рамках совместного с ФГБУ ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН проекта «Разработка технологии переработки вторичных полимерных материалов с целью создания изделий для транспортного строительства», предполагающего разработку полимерного композита конструкционного назначения на основе отходов упаковочных материалов полимерного и комбинированного состава для дорожно-транспортного строительства.

УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ОТХОДОВ

Отдельные виды отходов обладают не просто полезными, а высокоценными свойствами. Например, на технологиях переработки отходов

Механизм межмолекулярного взаимодействия при формировании геополимеров [71]



	Исходная структура алюмосиликатного сырья
	Гидролитическое разложение исходной структуры с образованием алюминатных и силикатных анионов
	Формирование новой пространственной сетки из чередующихся звеньев –Si-O-Al-O-Si (отверждение)

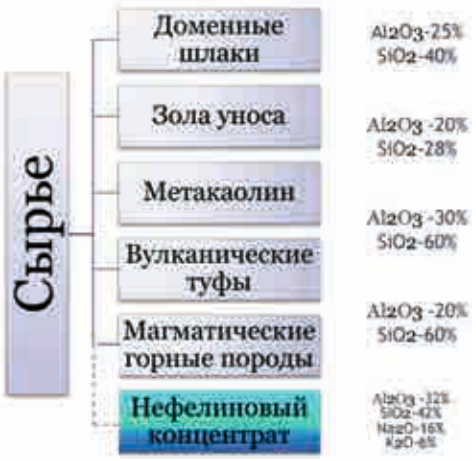


Рисунок 16. Виды крупнотоннажных промышленных отходов, эффективно применимых в производстве геополимеров. [71]

магнезитовых производств в 90-е — 2000-е годы активно развивался целый сегмент компаний, производивших технологии и материалы на основе модифицированных магнезиальных вяжущих (цемента Сореля), которые по своим технико-экономическим параметрам превосходили практически все другие аналогичные технологии [66] и открывали уникальные возможности для новых подходов в организации, например, портового строительства с применением особо эффективных «морских» цементов, затворяемых морской водой. Примечательно, что с истощением запасов магнезиального сырья, приведшего к резкому росту цен на магнезитовую продукцию, все, в том числе ранее захороненные, отходы стали активно перерабатываться самими производителями с соответствующими последствиями.

Другими примерами могут служить производство модификаторов бетонов МБ для мостового строительства, в настоящее время производимых с применением микрокремнеземной пыли электрофильтров кремниевых производств, и уникальные антиферромагнитные свойства ряда отходов обогащения некоторых железорудных комбинатов, которые делают возможным их применения в индукционно-залечивающихся материалах и технологиях [67].

НОВЫЕ ПОДХОДЫ НА ОСНОВЕ НОВЕЙШИХ НАУЧНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

Результаты новейших научных исследований и разработок не только позволяют научно объяснить ранее достигнутые результаты научно-практических разработок, частично описанных выше [68], но и открывают еще более впечатляющие перспективы эффективного применения крупнотоннажных промышленных отходов в транспортном строительстве.

В числе наиболее активно развивающихся можно назвать такие направления, как геополимеры, биоцементы и «самозалечивающиеся» (self-healing) материалы.

ГЕОПОЛИМЕРЫ

Геополимеры — активно развивающаяся область междисциплинарных научно-прикладных исследований и разработок, посвященная изучению и оптимизации комплекса взаимосвязанных химических, физико-химических и физических процессов, приводящих к цементации исходных минеральных материалов.

Например, в случае портландцемента эти процессы представляют собой переход безводных клинкерных минералов (основными из которых являются трехкальциевый силикат C_3S, двухкальциевый силикат C_2S, трехкальциевый алюминат C_3A, четырехкальциевый и алюмоферрит C_4AF) в соответствующие гидраты, которые существенно зависят от морфологических, стерических и структурных факторов и могут эффективно контролироваться введением в состав вяжущего вещества различных модификаторов, например электролитов и ПАВ, либо контролем pH среды и др.

При этом исследования показывают, что во многих отходах присутствуют разнообразные соединения, способные к гидратации при возникновении иных условий. Например, в доменном шлаке присутствуют другие соединения, гидратируемые и при отличных условиях:

- геленит ($2CaO•Al_2O_3•SiO_2$), гидратируется в присутствии $Ca(OH)_2$ с образованием гелеобразного $2CaO•Al_2O_3•SiO_2•8H_2O$;
- окерманит ($2CaO•MgO•2SiO_2$), при нагреве или в присутствии $Ca(OH)_2$ с образованием гидросиликатов кальция и магния;
- некоторые клинкерные минералы, менее активные на первоначальной стадии твердения, чем трехкальциевый силикат, но способные к гидратации и отверждению на последующих этапах, особенно при условии различных активационных воздействий (β-$2CaO•SiO_2$, γ-$2CaO•SiO_2$ и др.), и легко гидратируемые алюминаты кальция и т.п.
- ранкинит (C_3S_2) в ультра- и нанодисперсном состоянии медленно гидролизуется и гидратируется при нормальных условиях.

На основании результатов детализованного количественного условно синхронного анализа химического и фазового составов вторичных ресурсов, которые возможно довольно оперативно получать на современных приборах с использованием методов «внутреннего стандарта» (основан на сопоставлении с данными многочисленных аналитических измерений, поставляемых с программным обеспечением этих приборов — например, таких, как международная база дифракционных данных ICDD) [69, 70], с последующей оценкой их гидратационных свойств при определенных

Рисунок 17. Устройство аэродромного покрытия толщиной 435 мм из тяжелого геосовместимого бетона в Brisbane West Wellcamp Airport [74]

Рисунок 18. Пример деградации вечной мерзлоты на Ямале. Источник: SankeiBiz, Япония, 3 февраля 2020 г, http://pro-arctic.ru/04/02/2020/press/38955

Рисунок 19. Микрофотография с лазерного конфокального флуоресцентного микроскопа песчинок, покрытых биопленкой после обработки биоцементом [77]

условиях с разработкой технологии их управляемого поэтапного отверждения.

На этих принципах в настоящее время очень активно развивается целое междисциплинарное направление — геополимерные смеси и бетоны.

В РФ в рамках данного направления в Центре мембранных технологий РХТУ им. Д.И. Менделеева и Международном институте проблем современной экономики (www.iicpme.com) под руководством доцента к.т.н. А.А. Свитцова разработана комплексная технология производства геополимерного бетона, обеспечивающая циклическую слабокислотную активацию нефелинового вяжущего с возможностью мембранного извлечения концентрата РЗМ. Получаемые при этом геополимерные бетоны обладают следующими улучшенными свойствами:

- Прочность на сжатие до 130 МПа.
- Высокий темп набора прочности — 20 МПа через 4 часа.
- Незначительная усадка в процессе набора прочности — менее 0,05% (не измеряема).
- Повышенная морозостойкость — потеря прочности после 180 циклов — менее 5%.
- Минимальная водонепроницаемость — из-за минимальной пористости.
- Высокая химическая стойкость — в морской воде прочность со временем растет.

Химический и минеральный состав многих широко распространенных в РФ крупнотоннажных промышленных отходов определяет возможность их эффективного применения в производстве комплексных геополимерных вяжущих.

За рубежом данное направление очень активно развивается в рамках Института геополимеров, созданного во Франции (Institut Géopolymère Saint-Quentin — France) под руководством профессоров Joseph и Ralph Davidovits, и именуется как геосовместимый бетон — Earth Friendly Concrete (EFC) [72].

Примечательно, что одним из заметных направлений деятельности Института геополимеров являются историко-археологические исследования, говорящие о применении подобных или близких им вяжущих материалов еще в античные времена (в Риме, Египте и т.д.).

Подборы составов геополимерных вяжущих, оптимально подходящих для местных грунтов, позволяют производить так называемые геосовместимые бетоны, результаты применения которых показали высокую эффективность даже при строительстве ответственных аэродромных покрытий [73].

Применение подобного подхода, предполагающего моделирование многоэтапных процессов, протекающих на различных этапах цементации систем «вяжущее-грунт», и подбор способов модификации этих систем с применением разнообразных методов физической активации, обработки защитными гидрофобными модификаторами, обеспечивающими ограниченный доступ вызывающих гидролиз и гидратацию электролитных систем. Такие составы при первичном отверждении обеспечивают начальную эксплуатационную прочность за счет быстротвердеющих — например, минеральных, групп (например, алюмосиликатных соединений), с дальнейшим упрочнением во время эксплуатации в результате локального гидролиза, гелеобразования, или отверждения при нарастании структурных дефектов (активация и отверждение нанодисперсного ранкинита и ряда других соединений, в том числе — онкерманита и геленита), препятствующих суффозионным процессам разрушения грунтов, укрепленных подобранными геополимерными вяжущими.

Использование пористых или легких наполнителей (например, зол уноса и золошлаков) и технологий химического вспенивания при отверждении геополимерных связующих являются перспективными путями дополнительного повышения теплоизоляционных характеристик геополимерных грунтов, особо актуальными для строительства дорожных и аэродромных объектов в регионах распростанения вечной мерзлоты*.

БИОЦЕМЕНТ

На основании результатов биотехнологических разработок компании Kibow Biotech, Inc. (Philadelphia, https://www.kibowbiotech.com/bacillus-pasteurii/), специализирующейся на создании пробиотических пищевых добавок для поддержания здоровья почек путем восстановления кишечной микрофлоры, [75] в Университете Строительства и Экологического Инжиниринга Калифронии в Дэвисе (Davis, USA) стало активно развиваться ме-

**Возможность решения задачи замедления таяния вечной мерзлоты является крайне актуальной, т.к. в силу ускорившегося за последние десятилетия «растепления» мерзлоты в северных регионах РФ (например, средняя температура марта в Якутске поднялась с -21,5°С в 60-90-х гг до -10,8°С в 2017г.) приводит не только к разрушению разнообразных объектов инфраструктуры, но и к катастрофическому возрастанию выделения в атмосферу метана и углекислого газа в результате таяния вечной мерзлоты.*

Рисунок 20. Микрофотография биоцементации песка. *Источник: https://www.designboom.com/design/sandstoneroad-by-thomas-kosbau-andrew-wetzler-iida-awards-2010-winner/*

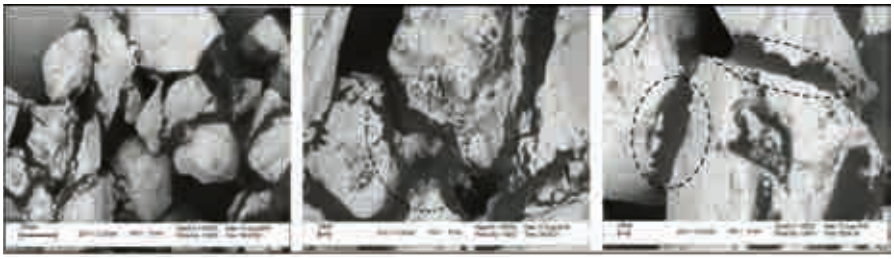


Рисунок 22. Микрофотография процесса «зарастания» пространства между частицами грунта [80].

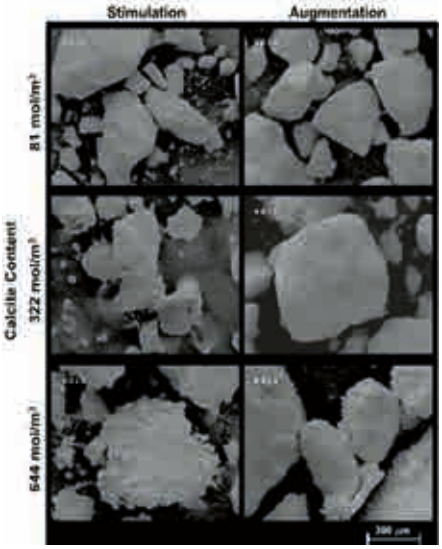


Рисунок 21. Фотографии со сканирующего электронного микроскопа (SEMx100) песка, биоцементированного с помощью аугментации и стимулирования с содержанием кальцита 91, 322 и 644 mol/m3 [78]

ждисциплинарное направление «Биоцементы», ориентированное, в первую очередь, на стабилизацию грунтов. Так, в исследованиях компании Kibow Biotech, Inc. было установлено, что почвенные бактерии Bacillus Pasteurii, присутствующие в пищеводах многих живых организмов, включая человека, могут особо активно гидролитически разлагать мочевину в присутствии кальцитов [76].

Калифорнийские ученые под руководством Джейсона Дейонга (Jason T. DeJong) успешно применили эту способность бактерий к формированию биопленки на частицах грунта в присутствии кальцитов и мочевины в качестве «питательного сырья» для своеобразных «микробиоцементных заводов» — Bacillus Pasteurii (процесс, названный микробно индуцированным отложением кальцита — MICP). Одноразовое введение подобного состава с бактериями в грунт (augmentation) обеспечивает начало формирования биоцементной пленки на поверхности частиц минерального материала, последующее регулируемое добавление водного раствора мочевины (stimulation) стимулирует рост этой пленки и соответствующее цементирование частиц.

После «поселения» почвенных бактерий Bacillus pasteurii в песок, обогащенный жидкой питательной средой с добавлением мочевины и кальцита, они «заставили» кальцит заполнять пустоты вокруг зерен песка, тем самым «цементируя» их. Регулируя процессы аугментации и стимулирования, можно обеспечивать требуемую прочность и водостойкость грунта за счет степени заполнения пор между его частицами.

К настоящему времени эти работы были успешно повторены в различных странах и находятся в стадии активных опытно-промышленных испытаний и геотехнических исследований [79, 80].

Биоцемент стимулирует почвенные бактерии к цементации частиц почвы посредством процесса, известного как микробное индуцированное отложение кальцита (MICP). Биоцемент поставляется в виде сухого порошка для смешивания в воде. В итоге питательный раствор подается в почвенную среду бактерий, которые растут, цементируя грунт пропорционально количеству присутствующих питательных веществ. Сцементированные частицы почвы образуют укрепленный, менее водопроницаемый материал, похожий на известняк, который используется для укрепления грунтов.

Биоцементация — это двухэтапный процесс:

<u>I этап:</u> обогащение питательными веществами в виде сахара, белка и азота, которые вносят в почву для выращивания коренного «населения» почвы. Бактерии перерабатывают питательные вещества и гидролизируют компоненты мочевины в аммоний и ионы карбонатов.

<u>II этап: укрепление.</u>

Питательные вещества снова вносят в почву, с добавлением хлорида кальция. В присутствии ионов кальция и частиц грунта, ионы карбонатов спонтанно реагируют с ионами кальция, образуя карбонат кальция, цементирующий агент, используемый для связывания частиц почвы.

Внесение биоцемента в грунт осуществляют в смешанном с водой виде с помощью распылителей, инъекционных нагнетателей, капельных шлангов и т.п.

БИОЦЕМЕНТИРОВАНИЕ

- Биоцемент увеличивает прочность на сдвиг и одноосное сжатие в широком диапазоне почв — от крупнозернистых песков до мелкозернистых илов.
- В зависимости от назначения, состав биоцемента можно изменять, чтобы обеспечить требуемый диапазон прочности и водопроницаемости грунта.
- Биоцемент заполняет пустые пространства между частицами почвы, следовательно, объем обработанного грунта не увеличивается. Из-за этого биоцемент можно применять без причинения ущерба существующей инфраструктуре.
- Биоцемент в грунте обладает свойствами самовосстановления — когда связи и пространство между частицами грунта раз-

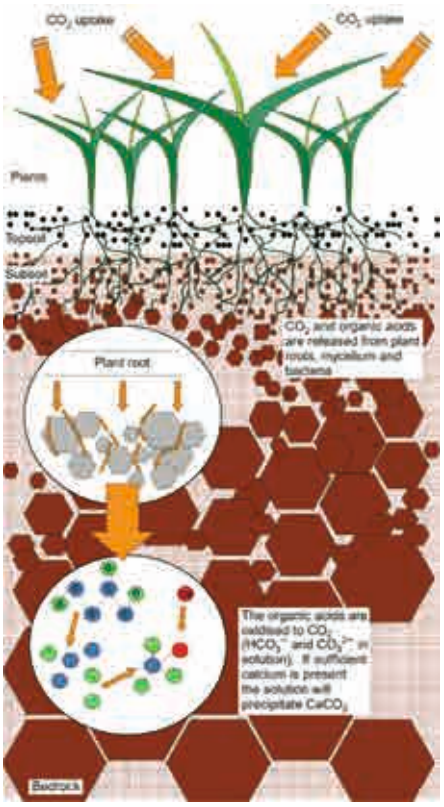


Рисунок 23. Схема биомедиированной приповерхностной консервации (sequestration) углерода растениями. *Источник: [81]*

Рисунок 24. Схема применения индукционно залечиваемых асфальтобетонов. В работах, проведенных в 2017 г. в НИТУ МИСиС и ТГТУ, была установлена высокая эффективность применения в качестве индукционно-нагревающего модификатора битума многостенных углеродных нанотрубок и микродисперсных других модификаторов [83].

рываются, бактерии в почве их «ремонтируют».

- Биоцементирование — не просто экологически нейтральный процесс, а действительно «зеленый» процесс, обеспечивающий консервацию углерода в почве. Бактерии, используемые в создании биоцемента, присутствуют почти во всех почвах, а кальцит (или известняк) составляет треть земной коры. Другими словами, этот процесс — естественный для окружающей среды.

Проведенные в 2013-2014 гг. в ФГУП «РОСДОРНИИ» лабораторные испытания показали наличие у биоцементных бетонов, приготовленных с применением промышленных отходов, не только способности к самовосстановлению, но и высокий уровень прочности повторно произведенных материалов, после размалывания образцов и их повторного формования с добавлением новых порций минеральных наполнителей.

ИНДУКЦИОННО-ВОСПРИИМЧИВЫЕ РЕМОНТОПРИГОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Еще одним новым подходом, активно и результативно развивающимся в мировой прикладной науке, являются технологии создания самовосстанавливающихся или «самозалечивающихся» материалов.

Применительно к дорожным материалам, первые разработки подобного рода были выполнены в Делфтском Университете Технологий в Голландии (Delft University of Technology). В этих работах в асфальтобетонную смесь добавлялись микрокапсулы с органическими так называемыми «омолаживателями»-реювенаторами битума и 0,5-1,5 мм фрагменты нержавеющей проволоки, обеспечивающие ускорение индукционного разогрева смеси под действием микроволнового СВЧ-излучения. Данный состав позволял после образования в покрытии микротрещин и колеи проводить повторное уплотнение или нивелирование покрытия после индукционного разогрева на месте с помощью мобильной СВЧ-установки [82]

В 2018 г. в Центре энергоэффективности НИТУ МИСиС были проведены эксперименты по оценке эффективности индукционного разогрева битумных составов с различными модификаторами, в т.ч. — металлсодержащих микросфер, выделенных компанией «ВИЗАРД СТОУН» двухстадийной электромагнитной сепарацией из золы.

В последствии, в лабораторных экспериментах, проведенных в НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» НИУ МГСУ, Мамулатом С.Л. совместно с доцентом к.т.н. Шеховцовой С.Ю. под руководством профессора д.т.н. Королева Е.В. была установлена эффективная применимость для этих целей ряда металлсодержащих микродисперсных отходов рудного обогащения, позволяющая интегрально увеличить индукционную восприимчивость состава и открыть новые варианты применения данного подхода, например — изготовление и ремонт с индукционным разогревом на месте покрытий из серобетона или вторичных полимеров.

В целом, данное направление работ было с большим вниманием воспринято Азиатским Банком Развития (Asian Bank of Development), рекомендовавшим его для внедрения в инфраструктурных проектах КНР, Малайзии и Монголии [84, 85].

Возможным направлением дальнейшего развития этих работ является налаживание коллаборации с исследованиями в области модификации битумных вяжущих резиновой крошкой и вторичными полимерами, модифицированных отходами пищевых натуральных масел, проводимыми на факультете гражданского строительства Чунцинского университета профессором Ph.D. Ruikun Dong (КНР) [47, 86]

ЧТО ДЕЛАТЬ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ПРОРЫВНОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ?

Учитывая огромные масштаб, сложность и важность вышеописанных задач, для достижения стратегических целей прорывного развития всей страны, становится понятным то непосредственное внимание, которое уделяется высшим руководством страны проектам устойчивого и прорывного развития инфраструктуры. Для иллюстрации этого, помимо указанных выше поручений Президента и Государственного совета Российской Федерации, можно дополнительно привести назначение Постоянного члена Совета безопасности Российской Федерации С.Б. Иванова специаль-

Параметры	«Таунит»	«Таунит-МД»	«Таунит-М»
Наружный диаметр, нм	20÷70	30÷80	8÷15
Внутренний диаметр, нм	5÷10	10÷20	4÷8
Длина, мкм	2 и более	20 и более	2 и более
Общий объем примесей, % (после очистки)	до 5 (до 1)	до 5 (до 1)	до 5 (до 1)
Насыпная плотность, г/см³	0,4÷0,6	0,03÷0,05	0,03÷0,05
Удельная геометрическая поверхность, м²/г	120÷130 и более	180÷200	300÷320 и более
Термо-стабильность (°С)	до 600	до 600	до 600

Рисунок 25. Принципы действия модификаторов и параметры многослойных углеродных нанотрубок «Таунит-М», исследованные методами электронной микроскопии и их физические параметры. В 1 г УНМ суммарная длина нанотрубок 367,5 тыс.км - 9,2 длин экватора Земли или расстояние от Земли до Луны.

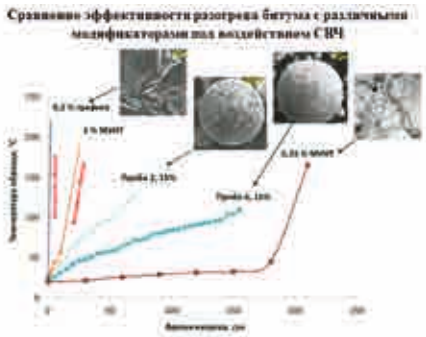


Рисунок 26. Эффективность индукционного разогрева с разными видами модификаторов

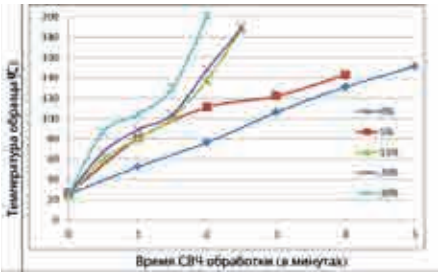


Рисунок 27. Динамика СВЧ-нагрева образцов вяжущих с содержанием 0%, 5%, 15%, 20%, 30% индукционно-восприимчивых микродисперсных металлсодержащих наполнителей

ным представителем Президента Российской Федерации по вопросам природоохранной деятельности, экологии и транспорта, подключение к координации национальных проектов в сфере инфраструктуры и экологии сразу трех заместителей Председателя Правительства Российской Федерации (первый заместитель Председателя Правительства Российской Федерации А.Р. Белоусов и заместители Председателя Правительства Российской Федерации Ю.И. Борисов и М.Ш. Хуснуллин). Высокий уровень внимания со стороны верховной власти очень важен, т.к., по мнению Рабочей группы по вопросам ответственного финансирования (ESG-finanse), в т.ч. «зеленого финансирования» Экспертного совета по рынку долгосрочных инвестиций при Банке России, со стороны государства потребуется обеспечение следующих мер поддержки рынка зеленого финансирования [16]:

- обеспечение целостности рынка (единые приоритеты и стандарты, целевые показатели);
- стратегические эмиссии облигаций (пилотные целевые выпуски облигаций и т.п.);
- снижение рисков (например, экологическое страхование и др.);
- финансовые льготы (налоги и сборы, гарантии и субсидии, страхование и т.п);
- гарантии спроса за счет внесения экологических параметров в госконтракты.

Вместе с этим, учитывая, что «зеленая трансформация» и формирование экономики замкнутого цикла представляет собой фактически формирование нового уровня (или уклада) системы государственно-общественного взаимодействия, для них потребуется активнейшее участие профессиональных и деловых сообществ и, обязательно, органов и механизмов местного самоуправления.

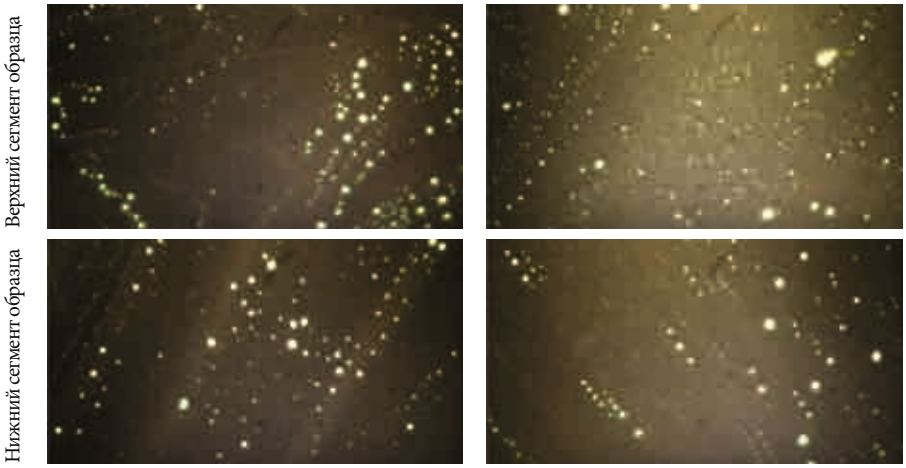
На основании анализа успешного опыта содействия устойчивому развитию в государственном, муниципальном и общественном секторах Центр общественных эффектов (CPI- https://www.centreforpublicimpact.org), созданный некоммерческим Фондом BCG, приводит созданную в Институте Беркана (The Berkana Institute) «Модель двух циклов изменений», системно описывающую динамику трансформаций и используемую становящимся глобальным движением «зеленых воротничков».

СНЯТИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО И МЕЖДУНАРОДНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

К сожалению, отсутствие углубленного статистического анализа

Таблица 15. Результаты оценки основных параметров и гомогенности смесей резино-полимер-масло-битумных смесей, обработанных в установках высокоэнергетичного сдвига [86].

Temp./°C	Time/h	CR content/%	Penetration/0.1mm	Softening point/°C	Viscosity mPa.s	Delta T/°C
250	1	30	68.3	69.2	3323	0.1
250	2	30	70.5	62.6	2300	1.40
250	4	30	60.0	62.7	1751	8.68



Температура и время обработки образца 250°C, 1 час

Температура и время обработки образца 250°C, 2 часа

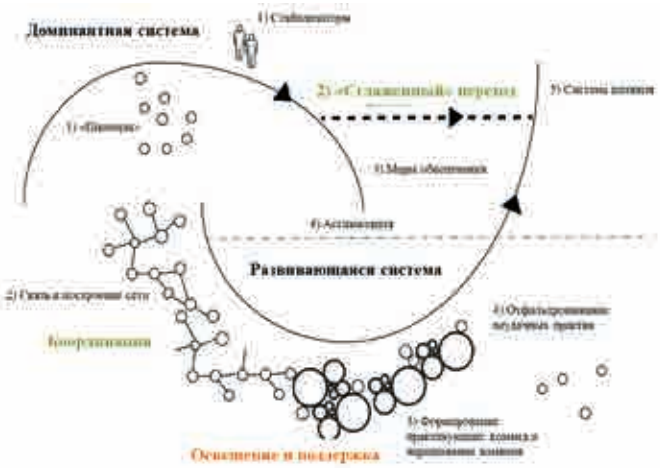


Рисунок 28. Модель «двух циклов» смены и развития экосистем описывает взаимодействие двух экосистем, когда одна система достигает кульминации развития и начинает разрушаться, а разрозненные до этого альтернативные элементы начинают координироваться, обеспечивая создание и развитие новой системы. Меры содействия координации, публичному освещению процессов и «сглаживанию перехода» обеспечивают ускорение набора влияния новой системой.

по уже осуществленным отечественным проектам не позволяет сделать необходимые оценки и дать стандартизованные рекомендации по выбору наилучших практик инфраструктурного строительства с применением вторичных ресурсов. Так, в 80-90-е гг., когда, например, США потратили 300 млн долл. в рамках стратегической программы дорожных исследований (SHRP) на то, чтобы изучить 15 тыс. дорожных участков для анализа эффективности различных примененных при их строительстве технологий, мы не смогли обстоятельно проанализировать результаты масштабной программы «Строительство дорог в Нечерноземной зоне РСФСР», в ходе которой было построено более 36,6 тыс. км дорог в 1988-1994 гг., и положить соответствующие выводы в основу необходимого пакета стандартов [87]. А без стандартов и обученных специалистов технологию стабилизации грунтов комплексными вяжущими трудно рекомендовать заказчикам и проектировщикам для широкого применения. Более того, отсутствие стандартов затрудняет применение и наилучших зарубежных практик и технологий. Так, один из австрийских инженеров-консультантов однажды признался на конференции: «Я могу построить хорошую дорогу по европейским стандартам, могу построить дорогу по российским стандартам, но построить на основе российских стандартов качественную дорогу я не могу». Таким образом, многое в эффективности дорожной деятельности будет зависеть от того, насколько профессионально будут проанализированы и обобщены результаты широкомасштабных работ с применением новых технологий и материалов в рамках национальных проектов. Для научно-методического, нормативно-технического и информационного обеспечения этого процесса потребуется тесное межведомственное взаимодействие таких органов, ответственных за анализ, стандартизацию и распространение наилучших соответствующих практик, как Общеотраслевой центр компетенций дорожного хозяйства на базе ФАУ «РОСДОРНИИ» Минтранса России и Бюро наилучших доступных технологий на базе ФГАУ «НИИ Центр экологической промышленной политики» Минпромторга России, участвующих в работе Технического комитета №231 «Отходы и вторичные ресурсы» и администрирующих ведение «Реестра новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения» и Информационно-технические справочники наилучших доступных технологий, а также реестры дорожно-строительных и вторичных ресурсов, соответственно.

Следует отметить, что реализация вышеуказанных мероприятий приносит положительные плоды уже на ранней стадии, что с удовлетворением можно проиллюстрировать отрывком из интервью с заместителем руководителя Краевого ГКУ «Управление автомобильных дорог по Красноярскому краю» В.Л. Собининым по вопросу начала использования «Реестра новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения» [88]:

«При ремонте также применялась технология укрепления оснований нефелиновым шламом. Материал представляет собой отходы промышленного производства, использующиеся вторично в качестве неорганического вяжущего. Шлам используется для повышения прочности грунта, при устройстве основания рабочего слоя автодороги… Планируют в КРУДОР использовать Реестр при дальнейшем планировании работ и применении новых технологий в рамках реализации нацпроекта? Если да, то о каких технологиях идет речь?

В дальнейшей работе мы также заложили использование новых технологий и материалов. В том числе рециклирование существующего покрытия с добавлением цемента. Речь идет об участке автодороги «Обход г. Красноярска» с 1 по 5,2 км. Технология призвана максимально восстановить существующее дорожное покрытие и повысить его прочностные характеристики.

Также совместно с министерством транспорта края и Сибирской генерирующей компанией КРУДОР проводится работа по внедрению золошлаковых материалов при планируемой реконструкции автодороги Красноярск — Элита. Это решение позволит существенно сэкономить бюджетные средства и решить проблемы экологии.

При сгорании угля на производстве образуются зола и шлак, возникает проблема его складирования и утилизации. Для снижения нагрузки на золошлаковые отвалы отработанный материал может использоваться в составе земляного полотна в составе дорожного покрытия.

Хотя тема внедрения отходов в дорожное строительство уже не нова. Но этот вопрос не поднимался довольно давно, поэтому можно сказать, что хорошо забытое старое в данном случае является новым».

Для формирования и развития рынка зеленых финансов, обеспечивающих внебюджетное финансирование соответствующих проектов в России, по мнению экспертов Рабочей группы по вопросам ответственного финансирования [16] предлагают следующий комплекс мероприятий, изложенных в соответствующей «Дорожной карте»:

Интеграцию и координацию решения этих задач мог бы выполнить Методический центр зеленого финансирования в России, созданный в периметре одного из национальных институтов развития, например — ВЭБ.РФ. В его функции должно войти:

- методологическое обеспечение формирования и развития системы зеленого финансирования;
- институционализация системы зеленого финансирования на рынке России;
- создание условий и инструментов привлечения средств для реализации национальных приоритетов в сфере устойчивого развития, экологии, предотвращения изменений климата и адаптации к климатическим изменениям;
- взаимодействие с международными и национальными организациями и инициативами, финансовыми учреждениями и институтами развития в сфере зеленых финансов.

Для формирования рынка вторичных ресурсов и поддержки региональных и корпоративных проектов по переработке отходов и применению вторичных ресурсов будет необходимо создание и развитие профессиональных и бизнес-ассоциаций (например, таких, как Торговый дом «Экологическое партнерство», «Ассоциация бетонных дорог», «Ассоциация ресурсоэффективных инновационных технологий и материалов» и др.), расширение международного научно-технологического сотрудничества в рамках BRITA, BRIGC, Tianjin HiTech Environment Development Co. (разработчик более 10 международных стандартов в области переработки и применения отходов для ряда структур ООН) и других профильных организаций.

Важным событием в этой сфере должно стать проведение в сентябре 2020 г. в Москве X юбилейного 3R Форума «Передовые технологии на службе экономики замкнутого цикла — вклад в достижение Целей Устойчивого Развития» с участием ведущих международных и российских организаций*:

После создания вышеуказанных механизмов, можно более эффективно стимулировать регионы и корпорации к разработке комплексных программ и проектов или к переформатированию в соответствии с новыми подходами и требованиями (промышленный симбиоз и т.п. [89, 90]) ранее заявленных, но отложенных проектов, подобных нижеуказанному.**

Таким образом, устранение имеющихся барьеров и формирование недостающих звеньев в экономической системе замкнутого цикла позволят осуществить действительный прорыв в повышении устойчивости развития экономики и качества жизни в целом для нас и для будущих поколений. А от принятой сообществом народов модели техно-гуманитарного баланса будет зависеть вектор дальнейшего развития мегаистории всей планеты Земля [91]. ■

1 Выработка идеологии и консолидированной позиции регуляторов в отношении рынка зеленых финансов на национальном уровне

2 Комплекс мероприятий по созданию единого национального бренда в сфере зеленых финансов (методологического центра)

3 Комплекс мероприятий по созданию и утверждению принципов, стандартов и таксономии

4 Комплекс мероприятий по формированию системы верификации зеленых финансовых инструментов

5 Комплекс мер по созданию и развитию инфраструктуры рынка зеленых финансов

6 Лоббирование подготовки и внедрения системы мер государственной поддержки зеленого финансовых инструментов (облигаций) в России

7 Комплекс мероприятий по международному взаимодействию

*Обсуждается также проведение ряда специализированных мероприятий по обмену опытом стандартизации в сфере финансирования и технологического обеспечения устойчивого развития транспортной инфраструктуры с BRITA, BRIGC и CREON.

**Инвестиционный проект «Комплексная переработка нефелиновых шламов ЗАО «БазэлЦемент-Пикалёво» был разработан в составе Комплексного плана социально-экономического развития муниципального образования город Пикалёво Бокситогорского района Ленинградской области в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 1 октября 2010 г. №1664-р. На основании двух поручений Аппарата Правительства РФ (от 17 01 2011 г. за № П48-3440 и от 16 декабря 2011г. за № П46-198915), реализация проекта была переориентирована на производство комплексных вяжущих из нефелинового шлама (по ГОСТ 23558-94) для нужд дорожного хозяйства Северо-Западного региона, однако проект так и не перешел в стадию реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 7 мая 2018 года №204.
2. Указ Президента Российской Федерации от 25.04.2019г. №193 «Об оценке эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации и деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации».
3. Послание Президента Федеральному собранию 15 декабря 2020 г. http://prezident.org/tekst/stenogramma-poslanija-putina-federalnomu-sobraniyu-15-01-2020.html
4. «Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 07.05.2019 №4043п-П13.
5. «Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2024 года», утвержденные Председателем Правительства Российской Федерации 29.09.2018 г.
6. Поручение Президента России от 25.12.2018 «Перечень поручений по итогам расширенного заседания президиума Государственного совета 18 декабря 2018 г.».
7. Зворыкина Ю.В., Мамулат С.Л. О разрывах, эффектах и стратегиях при реализации национальных проектов / Журнал «Менеджмент и бизнес-дминистрирование», №2, 2019 г., стр.18-32.
8. Зворыкина Ю.В., Семенцов С.П. Национальный проект «Экология» как фактор формирования системы «зеленого финансирования» в России. Российский экономический журнал 6/2018.
9. Михаил Дмитриев. «Предварительные результаты оценки внешних экономических и социальных эффектов развития транспортного комплекса Российской Федерации». Доклад на форуме «Транспортная неделя 2013», 5 декабря 2013 г., Москва.
10. Aaron Bielenberg, Melissa Roberts, Mike Kerlin, Jeremy Oppenheim,"Financing change: How to mobilize private-sector financing for sustainable infrastructure" McKinsey Center for Business and Environment, January 2016.
11. 9http://eng.rzd.ru/statice/public/en?STRUCTURE_ID=4355&layer_id=4516&refererLayerId=4516&id=2671#Framework.
12. file:///C:/Users/roubt/Downloads/JSC%20Russian%20Railways%20Green%20Bond%20Framework%20Second%20Party%20Opinion.pdf.
13. file:///C:/Users/roubt/Downloads/Russia%20Railways%20CBI%20Pre-issuance%20Verification%20Letter.pdf.
14. file:///C:/Users/roubt/Downloads/Russia%20Railways%20CBI%20Certification.pdf.
15. Зворыкина Ю.В. «Предложения по созданию методического центра по зеленому финансированию на базе ВЭБ.РФ». Москва. Институт исследований и экспертизы ВЭБ.РФ 23.12.2019.
16. Зворыкина Ю.В., Семенцов С.П. Национальный проект «Экология» как фактор формирования системы «зеленого финансирования» в России. Российский экономический журнал 6/2018.
17. «Зеленые финансы; повестка дня для России. Диагностическая записка» Экспертный совет по рынку долгосрочных инвестиций при Банке России. Рабочая группа по вопросам ответственного финансирования (ESG-finance), в т.ч. «зеленого» финансирования. Москва, октябрь 2018.
18. Ю.В.Зворыкина. «О привлечении зеленого финансирования для внедрения инновационных материалов». Журнал «Мир дорог». №125, 2019 г.
19. http://www.globalcompact.ru.
20. http://www.creon-conferences.com/news/arkhiv/detail.php?ID=122103.
21. Экологические приоритеты для России. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2017 год / под ред. С. Н. Бобылева и Л. М. Григорьева. - М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2017. 292 с.
22. А.А. Авраменко, М.А. Горбачев-Фадеев Циклическая экономика/ «На пути к устойчивому развитию России» бюллетень № 71, 2015 Стр. 23-37.
23. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. 70/1. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН A/70/L.1, принятая 25 сентября 2015 года. https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf
24. The Circular Economy and Benefits for Society Swedish Case Study Shows Jobs and Climate as Clear Winners. Authors: Anders Wijkman and Kristian Sk nberg . Club of Rome. 2015. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.clubofrome.org/cms/wp-content/uploads/2015/04/Final-version-Swedish-Study-13-04-15-till-tryck-ny.pdf.
25. A Global Redesign? Shaping the Circular Economy. Edited by Felix Preston. EERG BP. London. 2012. Электронный ресурс. Режим доступа: ttp://www.ecoconnect.org.uk/download/Shaping%20the%20Circular%20Economy.pdf.
26. The economy: resource efficient, green and circular. European Environment Agency. 2015. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.eea.europa.eu/signals/signals-2014/articles/theeconomy-resource-efficient-green.
27. The high-level Political Forum on sustainable development
28. https://www.reuters.com/article/greenbonds-issuance/ global-green-bond-issuance-forecast-at-140-180-bln-this-yearidUSL8N1Z943T; https://www.moodys.com/newsandevents/ topics/Green-Bonds-007034.
29. Green Bonds: State of the Market 2018, p.5; https://www.bonddata.org/ Дата обращения: 29.07.2019.
30. Мамулат Станислав, Лю Е, «Зеленые технологии и инвестиции в транспорте - ключевой вектор современного развития транспортных проектов «пояса и пути». Китайский опыт и перспективные направления развития», доклад на секции «Цифровая логистика и электронная торговля» Международного бизнес-форума «Цифровая экономика - развитие без границ» в рамках «Фестиваля Китая в Москве», 13.09.2019, Москва.
31. A call for action. Climate change as a source of financial risk. NGFS, April 2019, p.34. URL: [https://www.sustainablefinance.hsbc.com/mobilising-finance/climate-change-as-a-source-of-financial-risk]
32. China green bond market 2018. URL:[https://www.climatebonds.net/resources/reports/china-green-bond-market-2018]
33. The Belt and Road Initiative International Green Development Coalition (BRIGC) [https://www.unenvironment.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/belt-and-road-initiative-international-green]
34. Варфоломеева Л.В. «Зеленая» экономика и «зеленый» финансовый инструментарий реализации инфраструктккурных проектов: реалии, задачи и перспективы для успешной реализации Нацпроекта «Экология». Доклад на сессии «Инвестиции: принципы и условия привлечения финансовых ресурсов в инфраструктуру, ГЧП, зеленое финансирование» Международного форума-выставки «Чистая страна 2019».
35. Потехин Н.А., Потехин В.Н. Основы экономики Второй индустриализации России. - Екатеринбург: Спутник, 2017. - 36 с.
36. От ВИВР к ЦЭПП: краткая история Всесоюзного института вторичных ресурсов и утилизация отходов в России и мире/Авторский коллектив под руководством Г.И. Цуцкаревой, — М. Издательство «Водолей-Саут», 2017.-190 с.

37. «Справочник (кадастр) физических свойств горных пород.» Под ред. академика Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодьяконова. М., «Недра», 1975, 279 с.
38. Послание Президента Федеральному Собранию. 1 марта 2018 года. URL: http://kremlin.ru/events/president/news/56957 Пресс-центр Минприроды России. URL: http://www.mnr.gov.ru/press/news/v_yanvare_2019_g_vstupayut_v_silu_normy_federalnogo_zakona_219_fz_napravlennogo_na_sovershenstvovani/?special_version=Y.
39. Паспорт национального проекта «Экология» (утвержден протоколом Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24.12.2018 г.
40. «Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий» гл. ред. Д. О. Скобелев ФГАУ «НИИ «ЦЭПП» - М. ; СПб. : «Реноме», 2019. - 824 с. Скобелев Д.О., Чечеватова О.Ю., Шубов Л.Я., Иванков С.И., Доронкина И.Г. «Ресурсосбережение. Систематизация технологий» - М.: ООО «Сам Полиграфист», 2019. - 2019. - 273 с.
41. Матушанский А.В. Государственная поддержка перехода промышленности на принципы НДТ. Иннопром, июль 2017г.- URL: https://www.innoprom.com/upload/iblock/c4f/1_matushanskiy_gospodderzhka.pdf.
42. http://fgp.msu.ru/o-fakultete/kafedry/centr-globalnoj-ekologii/.
43. V.A. Grachev N.I. Kurysheva . NEW REGULATORY MECHANISMS FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION. American Scientific Journal, 4.07.2019; № (26) / 2019(1):34-46.
44. Стенограмма Послания Путина Федеральному Собранию http://prezident.org/tekst/stenogramma-poslanija-putina-federalnomu-sobraniyu-15-01-2020.html.
45. Ю.В. Зворыкина, Мамулат С.Л., Региональные провалы ресурсного обеспечения или прорывы в технологическом развитии на стыке пятилеток?/ Журнал «Автомобильные дороги № 9 | 2019, стр. 16-20.
46. Мамулат С.Л., Акцент на внедрение технологий ресайклинга и применение местных материалов/ Журнал «Дорожная держава» №91/2019, стр.52-57АвтДорогиДорДержава;
47. Зворыкина Ю.В.,Мамулат С.Л. О разрывах, эффектах и стратегиях при реализации национальных проектов/ Журнал «Менеджмент и бизнес-администрирование», №2, 2019г., стр.18-32.
48. Boreiko Alexander E., Varyatchenko Alexey P., Karapetyants Irina V., Mamulat Stanislav L., Zvorykina Yulia V. About the actual directions of the Russian-Chinese scientific and technical cooperation in the light of implementation of tasks of national projects of the Russian Federation "The Complex plan of modernization and expansion of the main infrastructure for the period till 2024" and "Safe and high-quality roads»/ Materials of the International Conference "Scientific research of the SCO countries: synergy and integration"/ August 15, 2019, Beijing, PRC, p. 41-53.
49. Mamulat Stanislav/ "The development of transport infrastructure in zones with special geological and climate conditions"/ report on the "BRITA Symposium" of World Transport Convention 2018, Beijing (PRC), 18-21 June, 2018.
50. Отчет ООО «Омский СоюзДорНИИ» ОТЧЕТ О НИР по теме: Разработка ОДМ «Методические рекомендации по применению в основаниях дорожных одежд материалов на основе белитовых шламов» по Государственному контракту № 47/167 от 18.10.2013 (второй этап работы) УДК 625.731.8. № гос. регистрации Инв. № 01201374774.
51. Второе обследование автодороги в г. Пикалёво, реконструированной с применением отвального нефелинового шлама в соответствии с Перечнем Поручений губернатора Ленинградской области Дрозденко А.Ю. за № 65-6985/13 от 29.07. 2013.
52. Отчет ООО «АПС» по обследованию автодороги к площадке №2 (дорога на Обрино) в составе долгосрочной целевой программы «Инфраструктурное обеспечение комплексного инвестиционного развития и диверсификации экономики города Пикалёво», реконструируемой с применением нефелинового шлама. Обобщение опыта использования отвального нефелинового шлама в дорожном строительстве Р.Ф., Пикалёво 2013 г.
53. Проект СТО 85173989-2014 «Шлам отвальный для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия».
54. Отчет ООО «НПЦ «ОНИКС» о результатах комплексных лабораторных испытаний физико-механических характеристик закатанного отвального нефелинового шлама, выполненный по договору за № 27-10/55 от 20 апреля 2017г. с ЗАО «БазэлЦементПикалёво».
55. Отчет ООО «АПС» по итогам пятилетнего цикла обследования и мониторинга состояния участка автодороги к площадке №2, реконструированного в 2012 году с использованием нефелинового шлама ООО «БазэлЦемент-Пикалёво» в г. Пикалёво, 2017г. Выполнен в рамках исполнения Государственного контракта ГКУ «ЛЕНАВТОДОР» №0579 от 24.11.2017 г.
56. https://sdmachinery.ru/tehnologii/ukreplenie-gruntov-metodom-stabilizacii-kompleksnym-vjazhushhim/.
57. http://www.ruslom.ru/?page=mnews&month=10&year=10&date=1288123200&id=7499&sort=.
58. Mazov Ilya, Mamulat Stanislav, … / Metallurgical Slag-based Concrete Materials Prodused by Vortex Electromagnetic Activation/ Key Engineering Materials Vol. 683 (2016) pp 221-226, Trans Tech Publications. Switzerland/ DOI 10.4028/ kem.scientific.net/KEM.883.221.
59. Bekzod Khaydarov, Dmitrii Suvorov, Anna Poznyak, Evgeniy Kolesnikov, Vyacheslav Gorchakov, Stanislav Mamulat, Denis V. Kuznetsov/ Efficient method of producing clinker-free binding materials using electromagnetic vortex milling/ Materials Letters 226, May 2018 DOI: 10.1016/j.matlet.2018.05.016.
60. Н.Н. Калиновская/ Комбинированный метод укрепления грунтов с использованием молотого шлака и комплексных химических добавок компании «Полипласт»/ Доклад на конференции «Современные технологии рециклинга отходов и защиты окружающей среды в металлургии» Центра «Зеленая металлургия» НИТУ «МИСиС», г. Москва, 11 июля 2019 г.
61. Мамулат А.С. /Отчет о лабораторных испытаниях образцов грунтов, стабилизированных комплексными вяжущими/ Тамань, Сентябрь 2016 г.
62. Шейников М., Методы укрепления и стабилизации слабых оснований дорожного полотна: все плюсы и минусы. Дороги. Инновации в строительстве №53, май 2016, стр. 108.
63. «Мечел-Материалы» наращивают производство уникальной минеральной добавки для бетона URL: [https://www.kommersant.ru/doc/3391775]
64. Бешенов М.Е., Органоминеральная композиция с использованием продукта утилизации нефтешлама для предотвращения морозного пучения в дорожном строительстве. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань - 2015.
65. Патент РФ №2493316:МПК E01C7/36. Композиция для укрепления грунтов. Авторы: М.Е. Бешенов, И.Н. Хабибулина.
66. Мамулат С.Л. «Современные проектные решения и технологии строительства кустовых площадок и дорог с применением технологии стабилизации и укрепления грунтов», доклад на Тюменском нефтегазовом форуме, сентябрь 2019г. www.oilgasforum.ru.
67. Захаров С.А., Мамулат С.Л./ Патент РФ на изобретение «Модифицированный компонент магнезиального цемента»/ RU № 2351556.
68. Mamulat Stanislav/ «Induction-healing asphalts, modified by nano- and micro dispersive additives – the New/Green Era for road's maintenance and international technological cooperation»/ report on the "BRITA Symposium" of World Transport Convention 2017, Beijing (PRC), 3-6 June 2017 г.

69. Pedersen, M.Y., Lothenbach, B., Winnefeld, F., Skibsted, J. «The effect of metakaolin and limestone on the hydrate phase assemblages and hydration kinetics of calcium sulfoaluminate-metakaolin-limestone blends.» International Workshop on Calcium Sulfoaluminate Cements 2018 URL [www.researchgate.net/publication/325895301].
70. Митяев А.С., Лобанов М.В., Мамулат С.Л., Чижов П.С., Еремин А.В./ «Анализ фазового и элементного состава рудного сырья с использованием методов рентгеновской дифракции (XRD) и рентгеновской флуоресценции (XRF). Статья 1. Железорудное сырье»/ Журнал «Недропользование XXI век» № 2 (27) май-июнь 2011, стр. 34-38.
71. Митяев А.С., Лобанов М.В., Мамулат С.Л., Чижов П.С., Картавцева М.С./ «Анализ фазового и элементного состава рудного сырья с использованием методов рентгеновской дифракции (XRD) и рентгеновской флуоресценции (XRF). Статья 2. Руды цветных металлов и неметаллов»/ Журнал «Недропользование XXI век» № 3 «Пробоподготовка и анализ руд - состояние и пути решения проблем» / Июль 2011 г.
72. Бабкин В.В., Генералов М.Б., Лисюк Б.С, Свитцов А.А. /Геополимерные бетоны - строительный материал будущего. Новое применение нефелина. /Доклад на конференции «Современные технологии рециклинга отходов и защиты окружающей среды в металлургии» Центра «Зеленая металлургия» НИТУ «МИСиС», г. Москва, 11 июля 2019 г.
73. Paper presented at Concrete 2015 Conference, Melbourne Australia 2015., https://www.geopolymer.org/library/technical-papers/technical-paper-on-geopolymer-aircraft-pavement/.
74. #23 Technical Paper on Geopolymer Aircraft Pavement 27 Oct 2015.
75. T.Glasby, J.Day, R. Genrich, J.Aldred Geopolymer Concrete Aircraft Pavements at Brisbane West Wellcamp Airport. Paper presented at Concrete 2015 Conference, Melbourne Australia 2015.
76. Anthony Macherone, Natarajan Ranganathan, Beena Patel Bacillus Pasteurii: A Small Microbe with Huge Potential/ Journal of the American Society of Nephrology 13: Sept 2002 pp. 766A PUB474.
77. Natarajan Ranganathan et al/ Probiotic Amelioration of Azotemia in 5/6th Nephrectomized Sprague-Dawley Rats/ https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202901 Published: August 24, 2018.
78. DeJong, J.T.; Mortensen, B.M.; Martinez, B.C.;Nelson,D.C.: Biomediated soil improvement. Ecol. Eng., 36(2), 197– 210(2010).doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.029.
79. Michael G. Gomez, Charles M.R.Graddy, Jason T. DeJong & Douglas C. Nelson. Biogeochemical Changes During Bio-Cementation Madiated by Stimulated and Augmented Ureolytic. Microorganisms. NatureResearch, 8 August 2019, www.nature.com/scientificreports.
80. Alireza Negahdar, Moein Khoshdel Soil improvement to enhance the resistance parameters by bacterial precipitation and Nano-silica. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
81. H. Canakci et al.: Effect of bacterial calcium carbonate precipitation on compressibility and shear strength of organic soil / Soils and Foundations 55 (2015) 1211–1221.
82. Manning, D/A/C/ (2008). Biological enchancement of soil carbon sequestration: passive removal of atmospheric CO2 . Mineral.Mag. 72, No.2, 639-649.
83. A.Tabacovic, E. Schlangen «Self-Healing Technology for Asphalt Pavements/ Self-Healing, Advances in Polimer Science 273», Springer. 2015.
84. С.Л. Мамулат, Ю.С. Мамулат, И. А.Бурмистров. О подходах к модификации битумных вяжущих для увеличения срока службы дорожных покрытий, Журнал «Мир дорог» №117, 28 апреля 2019г., стр. 41-46.
85. Mamulat Stanislav/ «Induction-healing asphalts, modified by nano- and micro dispersive additives – the New/Green Era for road's maintenance and international technological cooperation»/ report on the "BRITA Symposium» of World Transport Convention 2017, Beijing (PRC), 3-6 June 2017г.
86. Ученые НИТУ «МИСиС» разработали технологию производства «самозалечивающихся» асфальтобетонных материалов для дорожного покрытия. 10 июля 2017 г. https://misis.ru/university/news/cooperation/2017-07/4734/
87. Prof. Ph.D. Ruikun Dong «Стабильность хранения каучукового модифицированного битума на основе оптимизации микроструктуры, доклад на Международной конференции «Органические вяжущие и ПБВ 2019», ноябрь 2019г. Москва.
88. Дамье Е.Л., Душеба В.З., Мамулат С.Л. и др./ «Вяжущие из вторичных ресурсов и укрепление грунтов»/ Журнал «Дороги. Инновации в строительстве» №68, март 2018г., стр.80-87.
89. В.Л. Сабинин. Реестр новых технологий и материалов дорожной отрасли. Интервью с Виктором Сабининым. https://krudor.ru/news/main/6995-reestr-novykh-tekhnologiy-i-materialov-dorozhnoy-otrasli-intervyu-s-viktorom-sabininym обращение 13.02.2020.
90. Т.С. Смирнова, В.А. Марьев, Л.В. Гузь, Ж.А. Манкулова. Промышленный симбиоз, как инструмент устойчивого развития в современном мире// Межотраслевой научно-практический журнал «Экология промышленного производства»// №3/ 2018/стр. 64-68.
91. Марьев В.А., Волынкина Е.П., Смирнова Т.С., Мочалов С.П. Практическая реализация принципов промышленного симбиоза в г. Новокузнецке// Менеджмент в России и за рубежом// № 5/ 2019/стр. 99-106.
92. Назаретян А.П. Нелинейное будущее. Мегаисторические, синергетические и культурно-психологические предпосылки глобального прогнозирования. Издание 3-е переработанное и дополненное.// Москва. 2015

«Мы находимся на критическом этапе в истории Земли, когда человечество должно выбрать свое будущее. Так как мир становится все более взаимозависимым и хрупким, будущее сулит одновременно и большую опасность, и большие надежды.

… В этом стремлении особенно важно то, что мы, народы Земли, провозглашаем нашу ответственность друг перед другом, перед великим сообществом всего живого и перед будущими поколениями.

… Ввести в систему рыночного ценообразования полную стоимость экологической и социальной составляющих цены на продукцию и услуги сферы обслуживания, а также позволить потребителям выбирать продукцию, которая удовлетворяет социальным и экологическим стандартам…»

Декларация Земли (Хартия Земли)
Одобрена Международной комиссией по Декларации Земли
(Париж, ЮНЕСКО) «14» марта 2000 г.

АННИО «Экономика интеграции» осуществляет разработку и научно-методическое сопровождение стратегической программы комплексного управления национальными проектами транспортного и экологического блока регионов для органов власти и предприятий. При этом информационное сопровождение реализации проектов в рамках оптимизации и эффективного использования бюджетных средств оказывает Издательский дом «МИР».

Реализация задач, поставленных Указом Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», в посткризисный период невозможна без повышения эффективности использования средств, выделенных для реализации национальных проектов, обеспечения роста валового регионального продукта и качества жизни граждан, за счет комплексной и оптимизированной реализации региональных мероприятий отдельных национальных проектов.
Рекомендована разработка до конца 2020 г. «программ развития дорожного хозяйства» и «недопущения роста цен на строительные ресурсы», что потребует принятия мер по освоению и расширению использования новых ресурсоэффективных технологий, обеспечивающих максимизацию использования местных и вторичных материалов и производственных мощностей.
Консорциум ведущих экспертов и ученых ряда ведущих отраслевых институтов и государственной корпорации развития ВЭБ.РФ, объединившихся под эгидой Автономной некоммерческой научно-исследовательской организации «Экономика интеграции», предлагает вашему вниманию услуги по научно-методическому сопровождению разработки стратегической программы комплексного управления национальными проектами транспортного и экологического блока на территории вашего региона на примерах «Программы оптимизации дорожной деятельности в ходе реализации региональных мероприятий национальных проектов», «Программы развития технопарков, ТОР и ТОСЭР экологического, научно-прикладного и восокотехнологичного профилей для системного научно-методического, информационного и производственно-логистического обслуживания инвестиционных программ региональных мероприятий национальных проектов» и др.
Доработка и координация планов реализации национальных проектов на региональном уровне позволит:

- максимально эффективно использовать ресурсы бюджетов всех уровней;
- обеспечить возможность привлечения внебюджетных средств для повышения эффективности, качества и оперативности принимаемых управленческих решений;
- синхронизировать программы развития производственных, инжиниринговых и научно-образовательных организаций в ходе реализации мероприятий различных национальных проектов в регионе.

Комплексные проекты отобраны из числа наилучших доступных практик и технологий по результатам проведенных участниками консорциума аналитических и опытно-внедренческих разработок.
Таким образом, разработка «Программы оптимизации дорожной деятельности в ходе реализации национальных проектов в регионе» позволит повысить бюджетную эффективность и снизить риски реализации региональных программ мероприятий за счет интегрированной реализации мероприятий различных национальных проектов («Безопасные и качественные автомобильные дороги», «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 года», «Экология», «Жилье и городская среда», «Международная кооперация и экспорт», «Наука» и др.) в рамках комплексных региональных проектов развития, в том числе — с привлечением внебюджетных средств, например:

- освоение и расширенное внедрение в регионе технологии производства дорожных покрытий Superpave с увеличенным (до 30%) применением переработанного асфальтового гранулята (РЭП);
- создание производственно-логистических битумных терминалов для обеспечения качества и оптимизации стоимости поставок в периоды повышенного спроса;
- внедрение в дорожно-строительном комплексе региона технологий стабилизации оснований и укрепления грунтов комплексными вяжущими с применением золошлаковых отходов, отходов обогащения, лигнинов и нефтесодержащих шламов;
- создание в регионе системы экологических и научно-производственных технопарков и ТОСЭР для удовлетворения прогнозируемого регионального спроса и экономически обоснованного увеличения несырьевого экспорта в соседние регионы и за рубеж;
- подготовка проектов по применению электротранспорта, интеллектуальных систем управления освещением и дорожным движением в транспортных системах городских агломераций региона и др.

Разработка и научно-методическое сопровождение вышеуказанных направлений могут быть осуществлены как на программной (включая разработку стратегических программ и планов развития), так и на проектной основе в рамках контрактов с профильными органами регионального управления (министерства, корпорации развития или проектные офисы регионов и др.) или подрядными, проектными, эксплуатирующими и т.п. предприятиями и хозяйствующими субъектами регионов.
Реализация данных проектов позволит создать в регионе дополнительные высокоэффективные производства и рабочие места, снизить стоимость и дефицит производственных, материальных и кадровых ресурсов, параллельно повышая бюджетную и проектную эффективность, а также улучшая экологическую обстановку и инвестиционно-кредитные показатели.

ЭКОНОМИКА ИНТЕГРАЦИИ

Мир ДОРОГ

Более детальная информация по вопросам консультационных и информационных услуг при планировании комплексных региональных программ и планов мероприятий национальных проектов:

Директор по стратегическому развитию ИД «Мир»
Короткова Юлия
тел. +7 (909) 691-21-00
e-mail: korotkova3010@gmail.com

ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ
линейных объектов

В нашей стране ведется строительство большого количества линейных объектов (ЛО) значительной протяженности: нефтепроводы, газопроводы, железные и автомобильные дороги. В связи с расположением большей части минеральных и углеводородных ресурсов в труднодоступной зоне Крайнего Севера, Сибири, строящиеся транспортные магистрали пересекают различные природно-климатические зоны.

В.С. Фролов, главный специалист по изысканиям АО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург»

В настоящее время прорабатывается вопрос соединения автомобильной трассы «Колыма» с трассой «Чукотка», совсем недавно реализован проект строительства железной дороги Обская — Бованенково, в очередной раз прорабатывается проект строительства Северного широтного хода, ведется проектирование увеличения пропускной способности по БАМу, железной дороги Кызыл — Курагино, принято решение о строительстве моста через р. Лена в Якутске и многих других объектов. При разнообразии географических, климатических, геолого-структурных и сейсмических условий проектирование ЛО требует проведения комплексных инженерных изысканий.

Согласно положениям последних нормативных документов выделяются основные виды изысканий: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-геотехнические, инженерно-гидрометеорологические и инженерно-экологические.

Также выделяются специальные виды изысканий: геотехнические исследования; обследования состояния грунтов оснований зданий и сооружений, их строительных конструкций; поиск и разведка подземных вод для целей водоснабжения; локальный мониторинг компонентов окружающей среды; разведка грунтовых строительных материалов; локальные обследования загрязнения грунтов и грунтовых вод; историко-археологическое обследование; обследование на ВОП.

Согласно «СП 47.13330.2012» п. 4_1 Результаты инженерных изысканий представляют собой документ о выполненных инженерных изысканиях, содержащий материалы в текстовой и графической формах и отражающий сведения о задачах инженерных изысканий, о местоположении территории, на которой планируется осуществлять строительство, реконструкцию объекта капитального строительства, о видах, объеме, способах и о сроках проведения работ по выполнению инженерных изысканий в соответствии с Программой инженерных изысканий.

Согласно определению линейного объекта (ЛО) — это инженерное сооружение, длина которого значительно превосходит его ширину. Такими сооружениями являются: автомобильные и железные дороги, различные трубопроводы, линии электропередачи и связи, каналы и т.п. сооружения.

Инженерные изыскания при проектировании ЛО, как и других объектов, стоят в основании всего жизненного цикла проектируемых зданий и сооружений. Изыскания ЛО выполняются с применением современной аппаратуры и методов, позволяющих улучшить качество и сократить сроки проведения полевых работ. К сожалению, в последние годы, особенно после объединения проектной и изыскательской деятельности в НОПРИЗ, наблюдается резкое сокращение финансирования изыскательских работ.

Основные проблемы, с которыми приходится сталкиваться изыскателям:

- занижение стоимости проведения изысканий,
- необъективность проведения тендеров,
- принятие необоснованно коротких сроков проведения изысканий,
- низкий уровень подготовки специалистов в высших и средних учебных заведениях.

В советское время существовала система региональных ТИСИЗов и отраслевых институтов, которые обеспечивали выполнение всего комплекса изысканий. ТИСИЗы и отраслевые институты были укомплектованы специалистами, хорошо знающими свой регион и способными решать отраслевые задачи. ТИСИЗы вели Реестр и Архив выполненных изысканий, что позволяло избегать «задвоения» при выполнении изысканий, велся учет уложенных коммуникаций, велись режимные наблюдения за температурой грунтов, уровнями рек и грунтовых вод и развитием опасных геологических процессов.

В настоящее время только в отдельных городах (Москва, Санкт-Петербург) ведется учет и архивация результатов выполненных изысканий. Создание СРО привело к появлению на рынке изысканий значительного количества управляющих компаний, которые, не имея в своем составе специалистов, техники, оборудования, берутся за выполнение изысканий на объектах любой сложности и объемов, набирая людей и технику под каждый конкретный проект буквально «с улицы». Это приводит к ошибкам при проведении изысканий, что вызывает недостоверность материалов изысканий, увеличение стоимости строительства и снижение качества строительных проектов, надежности сооружений, снижение сроков их эксплуатации.

Выбор подрядной изыскательской организации при проведении тенде-

ра часто осуществляется не профессионалами, а экономистами. Это приводит к заключению Договоров на выполнение изысканий в условиях развития многолетней мерзлоты с организацией, находящейся в Москве или на юге страны, не имеющей специалистов, оборудования и опыта работ в криолитозоне. То же самое относится к выполнению изысканий в горных и горно-таежных районах, районах развития просадочных грунтов и других опасных геологических процессов, когда трассы ЛО в результате таких «изысканий» оказываются в пределах развития курумов, обвальных процессов и других «сюрпризов» природы.

Создание Реестра специалистов немного улучшило ситуацию, но при наличии злоупотреблений при составлении Реестра и начавшейся «покупке» пенсионеров, которые могут войти в Реестр по своему послужному списку, — результат от его создания незначительный.

Не понимая, почему инженерные изыскания для строительства важны, и не имея людей, способных это объяснить и доказать, инвестор предпочитает на этих работах сэкономить. И это при том, что в общей смете на все проектные и строительно-монтажные работы затраты на них редко превышают 2-3%. Как правило, речь идет о 0,5%. Для понимания — рентабельность, например, инженерных изысканий для строительства составляет около 10-15%.

Какие же могут быть найдены пути решения этих проблем?

Перед проведением конкурсов (тендеров) необходимо проводить ознакомление с организациями, участвующими в тендере не только по бумагам, но и проводить их выездную проверку: комплектацию необходимым инструментом, оборудованием и квалифицированными специалистами. Ряд крупных корпораций составляет Реестр потенциальных подрядчиков, но и это не гарантирует получение качественных и достоверных материалов изысканий.

Необходимо отказаться от назначения сроков изысканий по принципу «надо было сделать вчера». Изыскания должны проводиться в то время года, когда обеспечивается максимальное получение информации.

Так, инженерно-геодезические изыскания невозможно качественно провести при наличии снегового покрова, воздушное лазерное сканирование надо проводить при отсутствии снега и лиственного покрова на деревьях. Рекогносцировку (инженерно-геологическую и экологическую) и инженерно-геологическое картирование надо проводить в теплый период года, а проходку скважин лучше выполнять в зимний период, когда замерзают болота и реки. Геофизические исследования при переходе через реки и озера лучше проводить со льда в зимний период. Инженерно-гидрометеорологические изыскания должны охватывать все времена года, чтобы получить корректные данные о величине паводков, ветровой и снеговой нагрузках. Инженерно-экологические изыскания лучше проводить в летний период.

Любые изыскания начинаются с Задания на проведение инженерных изысканий. А вот составлением Задания, которое является прерогативой ГИПа, занимается кто попало. Чаще всего оно составляется самой подрядной организацией — с учетом ее возможностей, но без учета потребностей проектировщиков. Нормативные документы требуют, чтобы в Задании или приложении к Заданию были указаны характеристики проектируемых зданий и сооружений, предполагаемые типы фундаментов, глубина их погружения, нагрузки. По факту в Заданиях прописывается глубина проходки скважин, что толкает исполнителя на их рисование. Т.е. изыскатель не ведет работу по изучению грунтов разреза, чтобы обосновать выбор типа фундамента и глубину его погружения, а отбуривает или рисует погонные метры скважин.

В Заданиях крайне редко прописывается необходимость выполнения проходки скважин всухую, укороченными рейсами, с уменьшением скорости вращения бурового снаряда и увеличением диаметра при бурении в многолетнемерзлых грунтах. Крайне редко в Задании указывается необходимость отбора монолитов с использованием грунтоносов, а у изыскателей, производящих работы, их обычно просто нет. Хотя в Отчете почти все пишут, что отбор проб производился с применением грунтоносов. Благодаря менеджерам, поинтервальная фотодокументация керна скважин в Задании заменяется фотофиксацией точек бурения, а порой и видеофиксацией последнего рейса бурения. Со стороны Заказчика порой уделяется много внимания и денег на контроль изысканий (супервайзинг), но это не дает должного эффекта при выборе самого дешевого подрядчика и безграмотно составленном Задании на изыскания. При этом организации, выполняющие супервайзинг, нанимают на их выполнение низкоквалифицированных специалистов, которые не могут осуществлять необходимый надзор и помочь грамотно организовать работы.

При выполнении изысканий в сложных условиях, технически сложных и уникальных объектов ранее для сопровождения привлекались специализированные научные или проектные институты, лаборатории. При экономии денег на изыскания в настоящее время данное требование почти не выполняется, что вызывает низкое качество изысканий и в целом проекта. При низком качестве изысканий в процессе строительства производятся многочисленные корректировки проекта, которые значительно увеличивают стоимость строительства в целом.

В настоящее время далеко не всякий изыскатель может доказать Заказчику необходимость проведения изысканий по «полной схеме», доказать, что, потратив деньги на изыскания, можно будет сократить расходы на строительство.

В заключение хочется сказать, что сейчас в нашей стране запланирована реализация масштабных национальных проектов, в которые входят и ЛО. На эти цели будут выделены триллионы рублей. И если подход к ним будет не такой, как к строительству Крымского моста, если к работам будут допущены непроверенные, малограмотные специалисты, а контролировать все будут нечистые на руку менеджеры и чиновники, то вместо шага вперед Россия рискует сделать два шага назад. ■

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
золошлаковых отходов теплоэнергетики в северных регионах России

Одной из существенных проблем строительной отрасли ряда регионов РФ, особенно северных, является нехватка грунтовых и нерудных строительных материалов для возведения дорожных конструкций. В то же время, в России имеется огромная проблема с минеральными отходами теплогенерации — золошлаками, которых накоплено уже почти 2 млрд тонн.

А.А. Лунёв, научный сотрудник НИУ, старший преподаватель кафедры «Проектирование дорог», ФГБОУ ВО «СибАДИ»

За последние десятилетия во всем мире были разработаны сотни направлений утилизации этих отходов в различных областях промышленности, а специалистами ФГБОУ ВО «СибАДИ» было разработано множество технологий утилизации этих материалов именно в отрасли дорожного и промышленно-гражданского строительства. Было доказано, что эти материалы пригодны для возведения насыпей земляного полотна, строительства оснований дорожных одежд, вертикальных планировок, рекультивации земель и производства строительных материалов.

Эффективность разработок доказана при строительстве крупных транспортных сооружений, выполненных с научно-техническим сопровождением коллектива ФГБОУ ВО «СибАДИ», а именно:

- транспортной развязки на автомобильной дороге IB технической категории с земляным полотном из золошлаковой смеси на пересечении железнодорожных путей на 87-м км перегона Михнево — Жилево Московской железной дороги в Ступинском районе, вблизи д. Жилево, 2016 г. (*рисунок 1, слева*);
- транспортной развязки, расположенной на пересечении Лыткаринского шоссе и магистрали М-5 «Урал» в Люберецком районе Московской области, 2018 г. (*рисунок 1, справа*).

Рисунок 1. Сданные в эксплуатацию транспортные развязки с насыпями из отвальных золошлаковых смесей

Рисунок 2. Карта угольных бассейнов РФ по данным СУЭК

Иностранный опыт применения также подтверждает наши изыскания и указывает на возможность и целесообразность более активного применения этих материалов в строительстве. Однако современное состояние нормативной базы и локализация отвалов пока не позволяют применять ЗШС в северных регионах.

В первую очередь это связано с отсутствием на данный момент развитой инфраструктуры на северных территориях и отсутствием экономической обоснованности их транспортировки. Несомненно, в ходе освоения Российского Севера эта инфраструктура появится, а учитывая особенности распространения угольных ресурсов Российской Федерации (карта с нанесенными угольными бассейнами РФ приведена на *рисунке 2*), на северных территориях должны появиться точки хранения золошлаков.

Используя европейский опыт при проектировании электростанций и мест хранения их отходов, можно уйти от стереотипного подхода к захоронению золошлаков в отвалах и перейти к планомерному использованию этого материала в строительстве — сразу после его образования. В таком случае не понадобятся огромные капитальные затраты на строительство золоотвалов.

Основным сдерживающим фактором для крупнотоннажной утилизации ЗШС в дорожном строительстве является ряд нормативных недоработок, которые не позволяют проектировать дорожные одежды со слоями из ЗШС и на рабочем слое из ЗШС без обращения в профильные научные организации. Это связано с тем, что ПНСТ 265-2018 не содержит расчетных параметров этих слоев, а ОДМ-218.2.031-2013 содержит их недостаточное количество. Кроме того в бюллетенях информационных материалов для строителей, а также ФЕР и ТЕР нет единичных расценок на золошлаковые материалы и работы, производимые с ними.

Ликвидировав эти недостатки нормативной документации, по нашему мнению, станет возможным не только ускорить процесс утилизации ЗШС в РФ, но и заложить прочный фундамент их применения в северных регионах нашей страны. ■

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОРОЗОУСТОЙЧИВЫХ
нежестких дорожных одежд

Для исполнения постановления Правительства №658 от 30.05.2017 (дороги федерального значения) необходимо увеличить межремонтные сроки эксплуатации по сравнению с существующими нормами в 2 раза (до 12 лет по ремонту и до 24 лет по капитальному ремонту). Достижение рекомендуемых межремонтных сроков требует реализации ряда мероприятий, в том числе — совершенствование нормативной базы, например, при обосновании морозоустойчивости нежестких дорожных одежд. Проблеме учета морозоустойчивости дорожных одежд посвящена настоящая статья. Ее решение можно осуществить, опираясь на отечественный и зарубежный опыт, включая проведение масштабных исследований по трем направлениям: теоретическим, лабораторным, полевым.

В.Н. Ефименко, д.т.н., профессор кафедры «Автомобильные дороги»,
С.В. Ефименко, д.т.н., декан дорожно-строительного факультета,
В.С. Чурилин, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильные дороги», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный архитектурно-строительный университет (ФГБОУ ВО ТГАСУ)

В постановлении Правительства №658 от 30.05.2017 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения» увеличены межремонтные сроки эксплуатации автомобильных дорог до 12 лет, а по капитальному ремонту — до 24 лет, независимо от интенсивности и состава движения. В пояснении к этому постановлению отмечается, что переход на новые межремонтные сроки будет осуществляться постепенно, по мере проведения работ по усилению конструкций дорожных одежд в рамках реконструкции и капитального ремонта. Возможность увеличения межремонтных сроков обусловлена изменением объема и составом работ по восстановлению слоев дорожных одежд с применением современных материалов и технологий, выполняемых в рамках капитального ремонта, ремонта и содержания автомобильных дорог [1].

В действующих отраслевых дорожных нормах, в ОДН 218.046-01 [2] отсутствуют значения расчетных характеристик современных дорожно-строительных материалов, что приводит к большим трудностям при обосновании проектных решений в Главгосэкспертизе. Вследствие этого возникла проблема, связанная с устранением отмеченного пробела. В 2018 г. утвержден и введен в действие ПНСТ 265-2018 [3], который позволяет проектировать дорожную одежду с применением современных материалов, в то же время значения расчетных характеристик, например грунтов, перешли в него из нормативного документа ОДН 218.046-01 [2] без каких либо изменений. При этом в ряде работ [4, 5, 6] указано на необходимость устранения недостатка в виде недоучета геокомплексов отдельных территорий РФ, приводящих к занижению показателей прочности и деформируемости грунтов земляного полотна автомобильных дорог.

Рисунок 1. Карта-схема расчетной отрицательной температуры асфальтобетонного покрытия для территории Томской области (с обеспеченностью 0,95)

В настоящее время в РФ уделяется внимание адаптированию американской методики объемного проектирования асфальтобетонных смесей Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave), получившей русское название «СПАС» [7]. Система объемного проектирования разработана в начале 1990-х годов по программе стратегического исследования автомобильных дорог [9] и предполагала 4 этапа.

Первый этап — выбор материалов для асфальтобетонной смеси. Второй этап — подбор зернового состава и выбор содержания вяжущего. Третий этап — объемный анализ образцов, приготовленных в гираторном уплотнителе. Четвертый этап — прогнозирование поведения асфальтобетонной смеси в покрытии при заданных эксплуатационных условиях.

Через шесть лет полномасштабных испытаний покрытий автомобильных дорог, запроектированных по системе Superpave в 1996 г., принята методика объемного проектирования асфальтобетонных смесей [11]. На момент внедрения системы Superpave в 1996 г. были отмечены ее недостатки, в частности, недостаточный учет транспортной нагрузки и широкого спектра климатических условий США, а также отсутствие 4-го этапа [8], который был реализован позднее, в 2005 г.

В истории развития Superpave [7] можно заметить постоянное совершенствование приборов и критериев для оценки прогнозируемых разрушений асфальтобетонных покрытий, позволяющее выдерживать установленные сроки между капитальными ремонтами.

По мнению профессора Радовского Б.С. [12] недостаточно проработанным в Superpave остается вопрос оценки влияния процесса увлажнения и промерзания-оттаивания на разрушение асфальтобетонного покрытия. Отметим, что в различных странах выделяют разные причины преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий. Например, в Канаде — с погодными условиями на отдельных территориях, напоминающими Российские, — преждевременные разрушения покрытий автомобильных дорог связывают с превышением пределов прочности асфальтобетонов при неравномерном поднятии поверхности покрытия дорожных одежд в результате морозного пучения грунтов земляного полотна [13]. Это соответствует предложениям отечественных ученых, высказанным еще в 60-е годы прошлого столетия. Масштабные исследования того периода были выполнены на автомобильных дорогах Московской и Ленинградской областей, результаты их отражены в работе [15]. Числовые значения критерия морозоустойчивости нежестких дорожных одежд капитального типа (допустимая величина морозного пучения) были получены для асфальтобетона типа Б с битумом БН II [14]. Несмотря на то, что современный асфальтобетон, принятый в соответствии с системой Superpave, превосходит по деформационным и прочностным характеристикам асфальтобетон типа Б с битумом БН II, требуется учитывать расчетную отрицательную температуру покрытия. Значения предельной относительной деформации асфальтобетона для отраженной в [3] допустимой величины морозного пучения приняты исходя из расчетной температуры покрытия –8 ^{0}C. При расчетной отрицательной температуре покрытия –8 ^{0}C в асфальтобетоне возможны пластические деформации. Для территории Томской области расчетная отрицательная температура покрытия составляет –34 ^{0}C [16]. По ГОСТ 33133-2014 [17] температура хрупкости битума марки 100/130 составляет –20 ^{0}C. Следовательно, асфальтобетон с битумом марки 100/130 в покрытии автомобильных дорог Томской области будет работать, как хрупкий материал и его предельная относительная деформация будет ниже, чем у асфальтобетона типа Б с битумом БН II при расчетной отрицательной температуре покрытия –8 ^{0}C.

Специалистами Томского государственного архитектурно-строительного университета для территории Томской области составлена карта-схема изолиний расчетной отрицательной температуры покрытия автомобильных дорог (*рисунок 1*) с применением температурной модели из Superpave (1):

$$T_n^{min} = -1{,}56 + 0{,}72\,T_{air} - 0{,}004\,Lat^2 + 6{,}26\log_{10}(H+25) - z(4{,}4 + 0{,}52\sigma_{air}) \quad \textbf{(1)},$$

где T_n^{min} - расчетная отрицательная температура покрытия автомобильной дороги, ^{0}C;

T_{air} — отрицательная температура воздуха, ^{0}C;

Lat — географическая широта, град.;

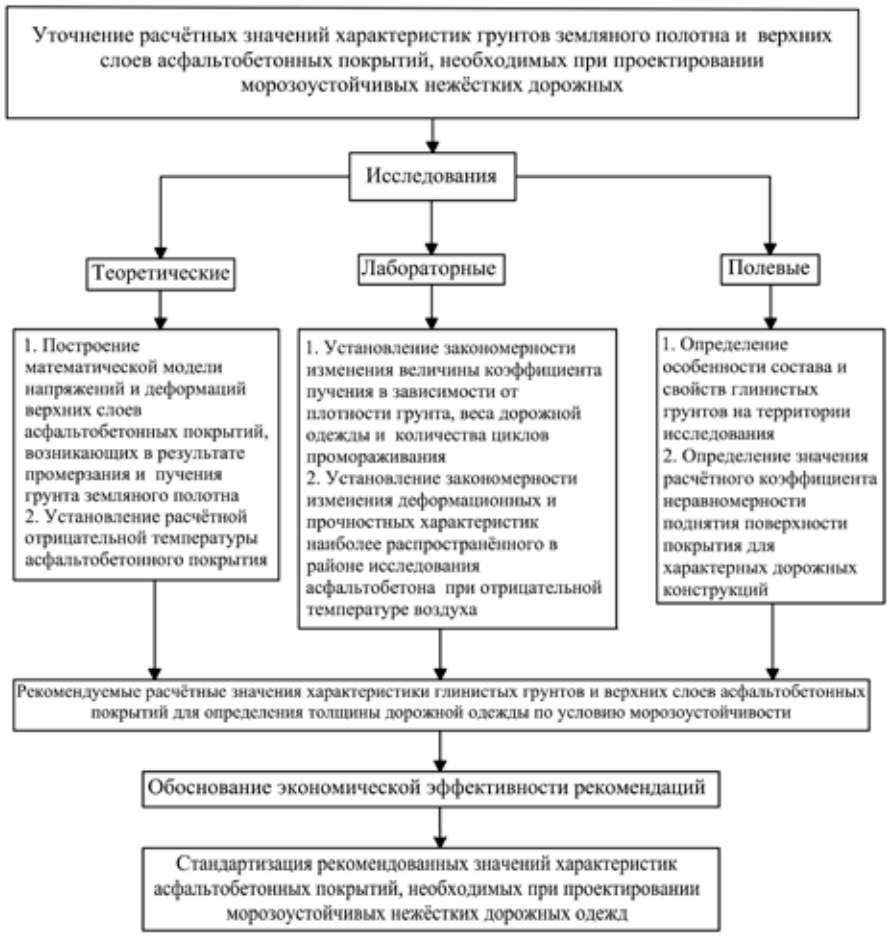


Рисунок 2. Структура исследования

H — глубина от поверхности покрытия, мм;
σ_{air} — стандартное отклонение минимальной отрицательной температуры воздуха в течение 7 дней;
z — значение из таблицы нормального распределения, равное 1,650 для обеспеченности 0,95 и 2,055 для обеспеченности 0,98.
Чтобы асфальтобетонные покрытия, запроектированные по новой методике [3], преждевременно не разрушались, необходимо учесть их работу в зимнее время и обеспечить морозоустойчивость дорожных одежд в том или ином регионе страны. Конструкция дорожной одежды считается морозоустойчивой, если соблюдается условие:

$$l_{пуч} \leq l_{доп} \quad (2),$$

где $l_{пуч}$ — расчетное (ожидаемое) морозное пучение грунта земляного полотна, см;
$l_{доп}$ — допустимая величина морозного пучения, см.
Если расчетной величине морозного пучения посвящены многочисленные исследования [18], то масштабных работ по уточнению критерия морозоустойчивости не проводилось, несмотря на актуальность такой темы. Для изучения этого направления, например, для территории Томской области, выполнены исследования, включающие теоретические, лабораторные и полевые работы [19, 20]. На рисунке 2 представлена методическая схема выполненных исследований.
Представленная схема *на рисунке 2* из работы [19] имеет ряд недостатков, однако делает шаг в развитии исследования морозоустойчивости дорожных одежд с учетом условий эксплуатации автомобильной дороги. В *таблице 1* представлены значения допустимой величины морозного пучения грунта при расчетной отрицательной температуре покрытия –34 ^{0}C для территории Томской области.
Из *таблицы* 1 следует, что действующий документ [3], не в полной мере учитывает работу покрытия автомобильных дорог в зимнее время в различных природно-климатических условиях РФ и значительно завышает нормированный критерий морозоустойчивости дорожной конструкции. Таким образом, выполнить постановление Правительства №658 от 30.05.2017 по межремонтным срокам на стадии проектирования представляется затруднительным без дополнительных работ по обеспечению морозоустойчивости дорожных одежд.

Нагрузка от веса дорожной одежды на верхний слой земляного полотна, кПа	Допустимая величина морозного пучения грунта для автомобильных дорог с капитальным типом дорожной одежды, см		Допустимая величина морозного пучения грунта для автомобильных дорог с капитальным типом дорожной одежды по ПНСТ 265-2018, см
	Покрытие из асфальтобетона ВТ, ВН с БНД 100/130		
	Расчетная схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна		
	1-я	2-я и 3-я	
12	3,2	2,7	4
13	3,5	2,9	
14	3,8	3,1	
15	4,0	3,4	
16	4,0	3,6	
17	4,0	3,8	

Таблица 1. Допустимая величина морозного пучения грунта для территории Томской области при расчетной отрицательной температуре покрытия –34 ^{0}C

При определении критерия морозоустойчивости особое внимание следует уделять подбору вяжущего материала, который определяет, в какой стадии будет работать асфальтобетонное покрытие в зимний период [22, 23]. По мнению специалистов, наиболее приемлемо подбор вяжущего выполнять по эксплуатационным требованиям системы Superpave. Это исключает возможность формального выбора вяжущего, не соответствующего конкретным условиям эксплуатации автомобильной дороги. В работе [21] показан подход подбора вяжущего PG по системе Superpave исходя из традиционных показателей (пенетрации и температуры размягчения), позволяющий обойтись без дорогостоящего зарубежного оборудования. Кроме того, вяжущее будет удовлетворять критерию трещиностойкости при низких температурах, что положительно отразится на морозоустойчивости дорожных одежд.

Выполненная работа [19] для территории Томской области указывает на актуальность вопроса уточнения допустимой величины морозного пучения. Представленная схема исследования может быть дифференцирована на всю территорию РФ, что способствует достижению рекомендованных межремонтных сроков эксплуатации автомобильных дорог.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ В РФ УДЕЛЯЕТСЯ ВНИМАНИЕ АДАПТИРОВАНИЮ АМЕРИКАНСКОЙ МЕТОДИКИ ОБЪЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ SUPERIOR PERFORMING ASPHALT PAVEMENTS (SUPERPAVE), ПОЛУЧИВШЕЙ РУССКОЕ НАЗВАНИЕ «СПАС»

По нашему мнению, развитие метода расчета морозоустойчивых дорожных одежд следует осуществлять в направлении прогнозирования состояния асфальтобетонного покрытия во времени с учетом условий эксплуатации автомобильных дорог. Старение битума обеспечивает снижение деформационных и прочностных характеристик асфальтобетона, которое надлежит учитывать при проектировании морозоустойчивых нежестких дорожных одежд. Для совершенствования отечественной нормативной базы и достижения требуемых межремонтных сроков автомобильных дорог необходим масштабный (в рамках территории России) анализ отечественного и зарубежного опыта работ морозоустойчивых дорожных одежд в течение их жизненного цикла. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 30.05.2017 года №658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения».
2. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М: Гос. служба дор. хоз-ва, 2001. 145 с.
3. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильного пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. М.: Стандартинформ, 2018. - 74 с.
4. Ефименко В.Н. Назначение расчетных значений характеристик грунтов земляного полотна для расчета дорожных одежд / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - Кемерово, 2015. - №3. - С. 124-130.
5. Ефименко В.Н. Технология учета региональных природно-климатических условий при проектировании транспортных сооружений (на примере территории Западной Сибири) / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина, А.В. Григорьев // Вестник ТГАСУ. - Томск, 2011. - №4(33). - С. 221-227.
6. Полищук А.И. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов для проектирования автомобильных дорог / А.И. Полищук, С.В. Ефименко // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2005. - №8. - С. 66-71.
7. Быстров Н.В. Новый этап развития нормативной базы на дорожный асфальтобетон. Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 2 (80). - С. 2-5.
8. Killingsworth B. Recommendations and products from NCHRP project 9-7 field procedures and equipment to implement SHRP asphalt specifications. In3RD International conference on road & airfield pavement technology, proceedings 1998 Apr 28 (Vol. 1).
9. Asphalt: A Strategic Plan - 1990. Strategic Highway Research Program, National Research Council, June 1990.
10. Superpave: Superpave Mix Design. Superpave Series SP-2, 1996.
11. Njord JR, Meyer MD, Skinner Jr RE. Superpave Performance by Design. Final report of the TRB Superpave committee. 2005.
12. Радовский Б.С., 2008. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв. Дорожная техника: каталог-справочник. СПб.: - Славутич, - с.42-52.
13. Carter A, Paradis M. Laboratory Characterization of the Evolution of the Thermal Cracking Resistance with the Freeze-thaw Cycles. Retrieved from data. abacus. hr. 2010.
14. Бельковский С.В. Работа оснований асфальтобетонных покрытий в зимних условиях во второй дорожно-климатической зоне / С.В. Бельковский // Проектирование грунтовых оснований усовершенствованных покрытий с учетом их работы в зимних условиях: сб. науч. тр. - М.: Дориздат, 1953. - С. 53-114.
15. Пузаков Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог / Н.А. Пузаков. - М.: Автотрансиздат, 1960. - 166 с.
16. Чурилин В.С. Результаты определения допустимой величины морозного пучения грунтов / В.С. Чурилин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. - № 5. - С. 211-218.
17. ГОСТ 33133-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
18. Oman MS, Lund NG, Intertec B. Designing Base and Subbase to Resist Environmental Effects on Pavements. Minnesota. Dept. of Transportation. Research Services & Library; 2018 Feb 2.
19. Чурилин В.С. Обоснование величины допускаемого пучения грунта для проектирования морозоустойчивых нежестких дорожных одежд (на примере районов Западной Сибири) / В.С. Чурилин : Дис. … канд. техн. наук. - Томск, 2018. – 165 с.
20. Simulation of stresses in asphalt-concrete pavement with frost heaving Vladimir Churilin, Sergei Efimenko, Oleg Matvienko and Viktor Bazuev MATEC Web Conf., 216 (2018) 01011 DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201821601011.
21. Радовский Б.С. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям / Б.С. Радовский, Б.Б. Телтаев. - Алматы: «Білім» баспасы, 2013. - 152 с.
22. Матвиенко О.В. Моделирование напряжений и деформаций дорожных покрытий / О.В. Матвиенко, В.П. Базуев, В.С. Чурилин // Дороги и мосты. - М.: - С. 139-153.
23. Быстров Н.В. нормирование свойств модифицированных битумов / Н.В. Быстров // Вестник ТГАСУ. - Томск, 2018. - №5. - С. 198-203.

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
лёссовых (дисперсных) грунтов

В статье рассматривается проблема инертных материалов в районах производства работ со специфическими грунтами и необходимость применения, внедрения технологий и материалов укрепления при строительстве автомобильных дорог. Проведены параллели с Транспортной стратегией Российской Федерации на долгосрочный период и современными требованиями к эксплуатации автомобильных дорог.

В.П. Матуа, д.т.н., профессор,
С.А. Карпенко, аспирант, Донской государственный технический университет

В период активного развития дорожной отрасли применение инновационных технологий и материалов является приоритетом в области дорожного хозяйства в рамках повышения качественных характеристик вновь строящихся, реконструируемых, ремонтируемых и эксплуатируемых автомобильных дорог на территории всех субъектов Российской Федерации. Применение инновационных материалов и технологий чаще всего приводит к увеличению несущей способности конструктивных слоев дорожных конструкций, уменьшению сроков строительства и оптимизации затрат на период жизненного цикла дороги.

В Российской Федерации ведется системная работа по внедрению инновационных технологий, материалов и дальнейшему применению таковых на практике. Так, в соответствии с положениями Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г., №1734-р), Стратегии развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства на период 2016-2020 гг., поручениями Президента Российской Федерации по итогам заседания президиума Государственного совета Российской Федерации «О совершенствовании сети автомобильных дорог в целях комплексного освоения и развития территорий Российской Федерации» (Новосибирск, 8 октября 2014 г.) и реализации национального проекта «Безопасные и качественные дороги», а также поручений Комиссии при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России ключевой задачей транспортного комплекса является переход к интенсивному, инновационному, социально ориентированному типу развития, что требует адекватных стратегических решений по инновационному развитию дорожного хозяйства на среднесрочную и долгосрочную перспективу.

Согласно «Переченю стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) (Приложение 1) и «Перечня стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимых для применения и исполнения требований ТР ТС «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования» (Приложение 2), требования к укрепленным грунтам распространяются только в части проектирования. Так, согласно ГОСТ 33063-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Классификация типов местности и грунтов», термин «грунты укрепленные» определен как «грунты, обработанные органическими, минеральными или комплексными вяжущими с целью повышения их физико-механических свойств». Таким образом, вопросу применения укрепленных грунтов в конструкции дорожной одежды, согласно нормативной базе ТР ТС 014/2011, не уделено должное внимание.

Постановление Правительства РФ от 30 мая 2017 года №658 определяет новые правила финансирования и обслуживания федеральных автодорог. Межремонтные сроки эксплуатации автомобильных дорог федерального значения с усовершенствованным типом покрытия увеличены до 12 лет, по капитальному ремонту — до 24 лет. Что увеличивает межремонтные сроки для автомобильных дорог федерального значения и ставит вопрос повышения долговечности и надежности конструктивных слоев, т.е. дорожной одежды, — вероятность безотказной работы дорожной одежды в пределах расчетного (нормативного) межремонтного срока службы.

В связи с отсутствием традиционных инертных материалов и экономическими издержками их доставки, в большинстве регионов Российской Федерации весьма перспективным является применение технологии укрепления местных грунтов. Данная технология знакома в мировой практике строительства оснований автомобильных дорог, как минимум, с начала 70-х годов XX столетия. Актуальность данной методики обоснована удешевлением производства строительно-монтажных работ — как минимум, за счет сокращения времени на доставку инертных материалов, уменьшения затрат на их приобретение. В мировой практике наибольшее распространение получили два основных варианта технологии обработки грунта:

- *укрепление грунта* минеральными, органическими или комплексны-

ми вяжущими по способу смешения на дороге или в смесительных установках при оптимальной влажности, соответствующими нормируемым показателям качества в проектном и промежуточном возрасте;
- *стабилизация грунта* — увеличение прочности и водостойкости грунта (в основном связного) путем его обработки многокомпонентными (стабилизаторами) или поверхностно-активными веществами.

Стабилизация (укрепление) грунтов: способ увеличения прочности и водостойкости грунта (в основном связного) путем его обработки многокомпонентными композициями (стабилизаторами) или поверхностно-активными веществами. [1]

Исследования технологии стабилизации грунтов и внедрения в дорожное строительство долгое время проводятся силами российских и зарубежных ученых. Данная методика широко применяется в США, Западной Европе, некоторых странах СНГ, в том числе в Российской Федерации. Некоторый спад применения укрепленных грунтов в дорожном строительстве пришелся на конец 90-х XX века и начало XXI века.

Необходимость возобновить широкое использование незаслуженно забытого метода укрепления грунтов при строительстве дорог отмечалась на заседании круглого стола Федерального дорожного агентства, состоявшегося 17 ноября 2006 г., по вопросу: «Стабилизация грунтов при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог». С целью повышения качества дорожных работ, расширения круга применяемых технологий, продления строительного сезона было принято решение:

1. Считать целесообразным расширить практику применения укрепления грунтов в ходе строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.
2. Рекомендовать проведение технико-экономического сравнения вариантов дорожных конструкций с применением укрепленных грунтов при разработке проектов строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог. Особо уделить внимание проработке вариантов укрепления грунтов для регионов, характеризующихся дефицитом каменных материалов из прочных горных пород. [2]

В настоящее время на территории РФ данное направление, по мнению авторов статьи, остается одним из самых актуальных и перспективных. При этом обеспечивается:
- уменьшение затрат при строительстве;
- сокращение времени производства строительно-монтажных работ;
- улучшение эксплуатационных свойств.

По результатам исследований данного вопроса отмечено большое количество методических рекомендаций, стандартов организаций и другой документации к тем или иным добавкам-стабилизаторам, разработанной производителями или поставщиками данной продукции. Но в имеющейся нормативной документации имеются ограничения по применяемым в укрепленных (стабилизированных) смесях инертным материалам.

Метод укрепления, стабилизации грунтов может решить данный вопрос и способствовать увеличению межремонтного срока, в то же время удешевить стоимость строительства и сократить время.

В соответствии с действующей на территории РФ нормативно-технической документацией имеются специфические грунты, применение которых в рабочем слое земляного полотна недопустимо без дополнительных исследований и экономического обоснования. Только после проведения всех необходимых исследований принимается решение о возможности применения таких грунтов в рабочем слое и назначаются мероприятия по повышению прочности и устойчивости рабочего слоя или по усилению дорожной одежды. Что, в свою очередь, влечет дополнительные затраты денежных средств и времени, следовательно — удорожание строительства объекта в целом. К таким грунтам следует относить слабые, просадочные глинистые грунты (при относительной деформации просадочности), набухающие, элювиальные, засоленные и техногенные грунты, многолетнемерзлые грунты и подвижные пески. [3]

В настоящее время дорожное строительство является одним из основных потребителей инертных материалов. Для строительства автомобильных дорог применяются песок, гравийно-песчаные смеси, шламы, отходы промышленности, но огромная доля потребления приходится на щебеночные материалы для устройства слоев основания и покрытия. Зачастую затраты на приобретение инертных материалов несут в себе не только стоимость самого материала, но и расходы на его доставку в связи с отдаленностью строящихся объектов от мест их добычи, что, в свою очередь, ведет к удорожанию строительства в целом. Таким образом, возникает необходимость в применении местных строительных материалов.

Для решения этих задач одним из наиболее эффективных методов является применение укрепленных или стабилизированных грунтов в конструкции дорожной одежды, причем даже тех, которые непригодны в строительстве — с содержанием большого количества пылеватых и глинистых частиц. К таким непригодным, сложным грунтам относятся лёссовые (дисперсные), с содержанием пылеватой фракции более 50%. Академик Е.М. Сергеев дал более развернутое определение: «К лёссам относится однородная, неслоистая, сильно пылеватая (содержание фракции 5-50 мкм более 50% по микроагрегатному составу), пористая (более 42%), часто имеющая макропоры, малогидрофильная, маловлажная (влажность меньше максимальной молекулярной влагоемкости) порода, проявляющая просадку при замачивании. Лёсс подразделяется на просадочный при природном давлении и проявляющий просадочность при дополнительных нагрузках. Лёссы, замоченные и утратившие способность к просадочным деформациям, являются деградированными. Лёссовые породы, для которых нехарактерны перечисленные выше основные признаки, следует относить к лёссовидным». [4]

В соответствии с СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства»: «Для просадочных лёссовых грунтов обычно характерны: высокая пылеватость (содержание частиц размером менее 0,05-0,005 мм более 50%; при количестве частиц размером менее 0,005 мм,

как правило, не более 10-15%); низкие значения числа пластичности (менее 12); низкая плотность скелета грунта (преимущественно менее 1,5 г/см^3); повышенная пористость (более 45%); невысокая природная влажность (как правило, менее границы раскатывания); засоленность; светлая окраска (от палевого до охристого цвета); способность в маловлажном состоянии держать вертикальные откосы; цикличность строения толщ. Главная отличительная особенность лёссов — наличие макропор размером 1-3 мм, различимых невооруженным глазом. Макропоры имеют форму извилистых вертикальных канальцев». [5]

Лёссовые образования являются одним из наиболее распространенных типов континентальных четвертичных отложений. Они широко развиты на юге Восточно-Европейской равнины (от Карпат до Урала), занимая до 20% от всей площади европейской части России (Приазовье, Причерноморье, нижнее течение Дона, Волги, Урала) и до 80% на территории Украины. Лессовый покров в виде прерывистой или непрерывной полосы приурочен к области проявлений восходящих неотектонических движений или к области формирования новейшего тектонического прогиба с преимущественным нисходящим движением блоков земной коры (низовье рек Волги и Урала). [6]

Исходя из вышеизложенного, весьма актуальным и необходимым является проведение теоретических и экспериментальных исследований по модификации укрепленных лёссовых (дисперсных) грунтов для устройства оснований дорожных одежд с применением стабилизирующих добавок.

Разработка современной технологии укрепления и стабилизации, особенно лёссовых грунтов, востребована не только в нашей стране, но и за рубежом. Для этого требуется детальное исследование данной технологии при попадании влаги на основание, соответственно, устойчивости к эрозии, размоканию и морозостойкости, улучшение показателей модуля упругости, сдвигоустойчивости и других свойств, что будет изложено в следующих публикациях. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с Изменением №1). Свод правил. Введ. 2013-07-01 — М., 2012.: Техэксперт. http://docs.cntd.ru/document/1200095529
2. Автомобильные дороги и мосты. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами. Обзорная информация. Выпуск 3. Введ. 2007-01-01-М., 2007.: ФГУП «Информавтодор». https://files.stroyinf.ru/Data1/52/52596/
3. Лёссовые породы СССР. Том I. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования / под ред. Е.М. Сергеева. — М.: Недра, 1986. — 232 с.
4. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Общие правила производства работ. Свод правил. Введ. 1998-03-01 — М., 1998.: Техэксперт. — 43 с.
5. Седаева К.М. Еще раз о литологической сущности лессовых отложений/Осадочная геология Урала и прилежащих регионов: сегодня и завтра. Материалы 12 Уральского литологического совещания. — Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. — 319-321 с.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИЯМ дорожных одежд на автоматических постах весогабаритного контроля

В данной статье выполнен анализ влияния дорожных факторов на результаты контроля весогабаритных параметров на АПВГК для последующего обеспечения возможности прямого правоприменения.

А.М. Кулижников, д.т.н.,
И.А. Рахимов, к.т.н.,
Н.К. Малевинский, инженер, ФАУ «РОСДОРНИИ»

Рисунок 1. Эксплуатируемый АПВГК

Паспортом федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» предусматривается размещение 387 автоматических постов весогабаритного контроля (АПВГК) транспортных средств на автомобильных дорогах федерального значения (накопленным итогом), а также размещение 366 автоматических пунктов весогабаритного контроля транспортных средств на автомобильных дорогах регионального или межмуниципального, местного значения (накопленным итогом).

Столь значительное количество постов весогабаритного контроля объясняется основной стоящей перед АПВГК задачей — необходимостью защиты автомобильных дорог от разрушений под воздействием перегруженных транспортных средств. По данным, приведенным генеральным директором Корпорации «АСИ» Бучиным И.Р. 10 декабря 2019 г. на расширенном заседании научно-технического совета Торгово-промышленной палаты Российской Федерации, только этой компанией в 2018 г. на автомобильных дорогах было официально зарегистрировано более 51 тыс. нарушений весовых параметров. При этом 95% нарушителей имели перегруз от 20 до 80%. Средняя цифра перегруза составила 46%.

Известно, что в разное время года дорожная одежда по-разному сопротивляется воздействию нагрузок от транспортных средств. Наиболее опасными для работы

дорожных конструкций являются периоды весенней и осенней распутиц [1]. Именно в эти периоды грунты имеют повышенные значения влажности и минимальную плотность. Весной на пучинистых местах возникают просадки, прогрессирующие под воздействием транспортных средств. Дорожная одежда характеризуется минимальной прочностью, при этом упругая вертикальная деформация (упругий прогиб) на поверхности покрытия дорожной одежды имеет наибольшие значения. Если рассматривать в этот период зону весогабаритного контроля, то в этом случае «весы» могут остаться без жесткого фундамента и результаты измерений осевых нагрузок и общей массы транспортных средств будут иметь большие погрешности измерений.

Другой пример: автомобиль с одним и тем же грузом при одной и той же скорости движения, в один и тот же период времени проезжает через 3-4 АПВГК, на которых установлено одинаковое оборудование, а результаты измерений на всех постах различные (эксплуатируемый АПВГК показан на *рисунке 1*).

Среди ряда возможных причин этой ситуации одна из наиболее вероятных следующая: различное состояние дорожных конструкций, которое, возможно, обусловлено разными грунтами в основании дорожной одежды, разной их влажностью и плотностью, разными толщинами конструктивных слоев дорожной одежды, разными материалами конструктивных слоев, разной высотой насыпи, разным состоянием системы водоотвода, разными интенсивностью и составом движения и, наконец, различной прочностью дорожной одежды (определяется показателями упругой деформации поверхности покрытия) и разной ровностью на поверхности покрытия. То есть «весы» имеют свой, отличающийся друг от друга фундамент в основании дорожной конструкции.

Предельно допустимые значения упругих вертикальных деформаций (упругий прогиб) для нежестких дорожных одежд определяют расчетом в зависимости от интенсивности движения в течение расчетного срока службы, состава транспортного потока, категории автомобильной дороги, нормативной нагрузки на ось и типа дорожной одежды.

Таблица 1. Предельно допустимые значения упругих вертикальных деформаций (упругий прогиб) на покрытии дорожных одежд на перегонах при кратковременном многократном действии подвижных нагрузок

Категория дороги	Нормативная нагрузка на ось, кН	Предельно допустимые значения упругих вертикальных деформаций (упругий прогиб), не более, мм при типе дорожной одежды			
		Капитальный	Облегченный	Переходный	Низший
I	115	1,30	-	-	-
II	115	1,36	-	-	-
III	115	1,49	-	-	-
	100	-	1,04	-	-
IV	115	1,49	-	-	-
	100	-	1,39	2,06	-
V	100	-	2,08	4,12	
	60	-	-	-	3,56

Таблица 2. Предельно допустимые значения упругих вертикальных деформаций (упругий прогиб) на покрытии дорожных одежд на остановках, перекрестках дорог, на подходах к пересечениям с железными дорогами при продолжительном однократном нагружении

Категория дороги	Нормативная нагрузка на ось, кН	Предельно допустимые значения упругих вертикальных деформаций (упругий прогиб), не более, мм при типе дорожной одежды			
		Капитальный	Облегченный	Переходный	Низший
I	115	1,86	-	-	-
II	115	1,94	-	-	-
III	115	2,14	-	-	-
	100	-	1,52	-	-
IV	115	2,14			
	100	-	2,03	3,01	-
V	100	-	3,04	6,02	
	60	-	-	-	5,11

Таблица 3. Требования к ровности за рубежом в зависимости от класса WIM

Показатель	Характеристика значений	Класс WIM системы		
		I	II	III
		Превосходная	Хорошая	Приемлемая
Колееобразование (3-метровая рейка)	Максимальная глубина колеи (мм)	≤4	≤7	≤10
Ровность по IRI	Индекс (м/км)	0-1,3	1,3-2,6	2,6-4

Независимо от результата, полученного при расчете, предельно допустимые значения упругих вертикальных деформаций (в зависимости от характера прикладываемой нагрузки: кратковременное многократное действие подвижных нагрузок или продолжительное однократное нагружение) в расчетный весенний период (по ГОСТ 32729-2014 [2]) должны иметь значения, не превышающие указанных в *таблицах 1 и 2*.

Если сопоставить данные значения с США, то на АПВГК прогиб квазистатический (130 кН/ось) должен быть в пределах от 0,15 до 0,75 мм (в зависимости от типа дорожной одежды и класса WIM), а прогиб динамический (100 кН/ось) — от 0,1 до 0,55 мм (в зависимости от типа дорожной одежды и класса WIM) [3].

Таким образом, на российских автомобильных дорогах допустимый упругий прогиб на перегонах при кратковременном многократном действии подвижных нагрузок будет от 3,7 (2,04/0,55) до 10,4 (1,04/0,1) раз больше, чем в США. В то время как допустимый упругий прогиб на остановках, перекрестках дорог, на подходах к пересечениям с железными дорогами при продолжительном однократном нагружении будет также от 2,9 (2,14/0,75) до 12,4 (1,86/0,15) больше, чем в США.

Следовательно, исходя из допустимых значений упругого прогиба, конструкция дорожной одежды в зоне весогабаритного контроля,

вероятно, должна быть существенно усилена — от 2,9 до 12,4 раза в зависимости от категории автомобильной дороги и нормативной нагрузки на ось.

Рассмотрим вопросы ровности, требования к которой за рубежом в зависимости от класса WIM приведены в *таблице 3* [3].

Влияние ровности на показания весогабаритного контроля наиболее подробно исследовано в поперечном направлении. По данным США, допускаемая глубина колеи изменяется от 4 до 10 мм. На автомобильных дорогах Российской Федерации в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50597 [4] предельно допустимая глубина колеи для дорог I категории составляет 20 мм, II категории — 25 мм и III-IV категорий — 30 мм, что в 3-5 раз больше, чем за рубежом.

Глубина колеи при известных интенсивности и составе движения на эксплуатируемых автомобильных дорогах зависит от износа покрытия и доуплотнения, времени эксплуатации, материалов дорожной одежды, пластических деформаций в битумоминеральных материалах, структурных изменений материала покрытия, остаточных деформаций в слоях основания и грунтах земляного полотна. Все это свидетельствует о необходимости усиления дорожной конструкции для снижения глубины колеи.

Датчики весового контроля, как правило, монтируются в одном уровне с поверхностью покрытия (*рисунок 2*). Анализ эксплуатации АПВГК на территории Российской Федерации показывает, что уже при изменении поперечной ровности на 1 мм требуется калибровка весового оборудования, а при глубине колеи, достигающей 5 мм, погрешность измерений по результатам поверок превышает допустимые значения.

Влияние продольной ровности на показания системы весогабаритного контроля изучены в меньшей степени. Исследованиями Синянского М.В. (АО «ВИК «Тензо-М») установлено, что неудовлетворительная продольная ровность индуцирует колебания транспортных средств, что приводит к увеличению погрешности измерений. Это вполне объяснимо, ведь ударяющий при преодолении неровности автомобиль оказывает большее воздействие на дорожную одежду. В Российской Федерации требования к продольной ровности имеют разные значения, которые отличаются на стадии ввода автомобильной дороги в эксплуатацию и в процессе эксплуатации. Если взять более жесткие требования к продольной ровности при вводе дороги в эксплуатацию, то в соответствии с требованиями СП 78.123330.2012 [5] предельно допустимая ровность по IRI для дорог I-II категории составляет не более 2,2-4,1 м/км; III-IV категорий 2,6-4,6 м/км и V категории — более 4,6 м/км в зависимости от материала покрытия. На стадии эксплуатации требования к продольной ровности по IRI, измеренной профилометром, согласно ГОСТ Р 50597 [4], составляют от 4 до 8 м/км в зависимости также от категории дороги, материала покрытия. Приведенные показатели на каждой стадии превышают зарубежные требования в разы (*таблица 3*).

Таким образом, для уменьшения погрешности измерений, исходя

Рисунок 2. Вмонтированные в покрытие датчики весового контроля на правой полосе движения

Рисунок 3. Дорожный знак, оповещающий о зоне весового контроля

из допустимых значений продольной и поперечной ровности в зоне весогабаритного контроля, требования к ровности на поверхности дорожной одежды в процессе эксплуатации должны быть существенно повышены. В то время как по приказу Минтранса №119 [6]: поперечная и продольная ровность проезжей части не должна превышать нормативные показатели и должна обеспечивать возможность измерений согласно метрологическим характеристикам средств измерения. А вот нормативные показатели ровности для зоны АПВГК, на основе вышеизложенного, должны отличаться от значений для автомобильных дорог.

Анализ требований к прочности и ровности дорожной одежды показывает, что на первый взгляд наиболее надежные решения будет иметь конструкция жесткой дорожной одежды, которая будет иметь меньшие значения упругой деформации под воздействием подвижной нагрузки и меньшую глубину колеи. В то время как продольная ровность жестких дорожных одежд при наличии деформационных швов может оказать неблагоприятное влияние, что требует проведения дополнительных исследований.

Заслуживает детального внимания анализ норм эксплуатации автомобильных дорог с АПВГК. В зоне весогабаритного контроля АПВГК (*рисунок 3*) на поверхности покрытия не должна скапливаться вода. Не должно быть загрязнения от грунта, переносимого колесами автомобилей, и мусора. Не допустимо образование гололеда и наледи. Покрытие не должно содержаться с уплотненным снежным покровом. На покрытии не должно быть выбоин, просадок, раскрытых трещин, выпотевания битума и т.д. Все вышеперечисленное оказывает влияние на движение автомобиля в зоне весогабаритного контроля и на погрешность измерений. В связи с чем для зоны весогабаритного контроля должны быть установлены свои нормы по обнаружению и устранению дефектов покрытий, ликвидации зимней скользкости, снегоочистке и очистке от загрязнения; применяться могут только такие противогололедные и иные химические реагенты, которые не приводили бы к преждевременному разрушению уложенных датчиков; использоваться такие механические средства по снегоочистке и удалению наледи, которые бы не наносили вред вмонтированным датчикам и материалам покрытия. Свои нормы должны быть и по времени выполнения перечисленных выше работ (устранения воздействия природно-климатических факторов), так как любое несвоевременное проведение работ приведет к росту погрешности измерений со всеми вытекающими последствиями.

К проведенному анализу можно добавить и мнение научно-технического совета Торгово-промышленной палаты Российской Федерации.

Из выступлений Сидоренко О.А. (ООО «ИТС-Сибирь»), Бучина И.Р. (Корпорация «АСИ»), Синянского М.В. (АО «ВИК «Тензо-М»), Степанова В.В. (ООО «НЦИ») на ранее упомянутом расширенном заседании научно-технического совета Торгово-промышленной палаты Российской Федерации следует, что усиление дорожных одежд обеспечит требуемую точность измерений и увеличит срок службы датчиков весового контроля. Однако в разных дорожно-климатических зонах (природно-климатических условиях), при разных интенсивности и составе движения будет целесообразным разработать различные требования в зоне весогабаритного контроля к дорожной одежде, земляному полотну, состоянию водоотвода. Представляется необходимым выполнить научно-техническое обоснование предложений по формированию требований:

- к участку дороги для расположения АПВГК на схемах дорожной сети, в том числе с учетом схемы размещения оборудования и зоны измерений на автомобильной дороге;
- к конструкциям земляного полотна на подходах и зонах весогабаритного контроля;
- к дорожным одеждам на подходах и зонах весогабаритного контроля,
- к материалам покрытия нежестких и жестких дорожных одежд и слоев износа;
- к системе поверхностного водоотвода;
- к дренажным системам;
- к рациональным схемам организации движения.

Предложения должны быть сформулированы для зон весогабаритного контроля на основе инженерных расчетов, с учетом дорожно-климатических условий, натурных наблюдений и анализа опыта эксплуатации дорожных конструкций на действующих АПВГК.

Завершением данной работы должен быть ГОСТ Р на требования к проектированию, строительству, ремонтам и содержанию автомобильных дорог в зоне весогабаритного контроля. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко / М.: Транспорт, 1971. — 416 с.
2. ГОСТ 32729-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Метод измерения упругого прогиба нежестких дорожных одежд для определения прочности.
3. ASTM E1318 — 09(2017). Standard Specification For Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems With User Requirements And Test Methods/ASTM International. — 2017. — 18 p.
4. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям безопасности дорожного движения. Методы контроля.
5. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с Изменением №1).
6. Приказ Министерства транспорта РФ от 29 марта 2018 г. №119 «Об утверждении Порядка осуществления весового и габаритного контроля транспортных средств, в том числе порядка организации пунктов весового и габаритного контроля транспортных средств».

ПРИБЛИЖЕНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ
асфальтобетона к реальным условиям эксплуатации

В статье приводятся метод, аппаратура и результаты исследований при моделировании влияния вибровакуумного водонасыщения, ультрафиолетового облучения и замораживания-оттаивания на структурно-механические свойства асфальтобетона из шлаковых материалов.

Н.С. Ковалев, к.т.н., доцент, Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I;
Е.Н. Отарова, «Военный учебно-научный центр» Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Асфальтовый бетон является одним из наиболее сложных искусственных конгломератов, что обусловлено главным образом особенностью его структуры, а также большой зависимостью его свойств от многих факторов внешнего воздействия.
За последние годы появилось большое количество работ по исследованию влияния эксплуатационных и климатических воздействий на изменение свойств асфальтобетона. Значительная часть этих исследований посвящена вопросам моделирования внешних воздействий на асфальтобетон с целью прогнозирования его эксплуатационной надежности. Целесообразность метода комплексного воздействия основывается на мнении ряда исследователей [1, 3, 20] о недостаточности оценки влияния отдельных факторов на изменение свойств асфальтобетона при прогнозировании срока его службы и о необходимости определения закономерностей изменения структуры асфальтобетона под влиянием комплекса факторов.
Известные способы моделирования эксплуатационных и климатических воздействий на асфальтобетон основаны на дифференциальном подходе к оценке стабильности его структуры по результатам влияния отдельных факторов [23, 24]. Однако такая оценка не позволяет учесть одновременное влияние комплекса эксплуатационно-климатических и рецептурных факторов на асфальтобетон, как это имеет место в реальных условиях эксплуатации покрытий автомобильных дорог.
Существующий ГОСТ 9128-2013 на асфальтобетонные смеси и асфальтобетон также не учитывает комплексного воздействия факторов. Лабораторные методы оценки показателей качества асфальтобетона не отражают условия его работы в покрытии при изменяющемся температурно-влажностном режиме, кроме того, характеристика свойств асфальтобетона дается по отдельным независимым показателям, а комплексное влияние эксплуатационно-климатических факторов на свойства асфальтобетона практически не изучено [5]. DIN EN 13108-1:2006-08 также не предусматривает комплексного воздействия факторов на асфальтобетон [22].
Для приближения характера испытаний асфальтобетона к условиям реальной эксплуатации в покрытиях автомобильных дорог и сокращения их продолжительности представляется наиболее целесообразным цикл испытаний, при которых происходит последовательное накопление в одних и тех же образцах асфальтобетона результатов комплексного воздействия эксплуатационно-климатических факторов. Нами предложен и разработан способ подготовки образцов строительных материалов к испытаниям на прочность [21]. Сущность способа заключается в том, что на один и тот же образец асфальтобетона воздействует комплекс факторов.
Для описания влияния комплекса факторов при исследовании физико-механических свойств асфальтобетона применили метод математического планирования экстремальных экспериментов (ММПЭЭ) [2, 15]. Применение

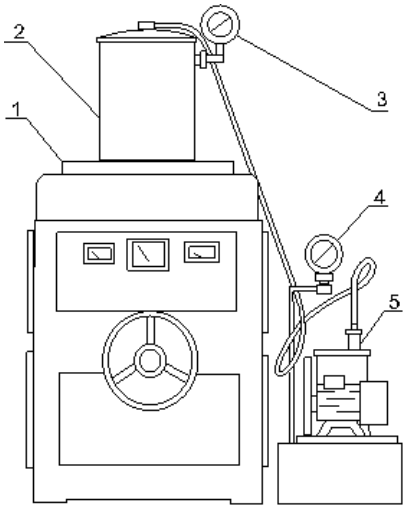


Рисунок 1. Установка вибровакуумного водонасыщения образцов асфальтобетона:
1 — плита вибростенда; 2 — вакуумная камера; 3, 4 — вакуумметры; 5 — вакуумный насос

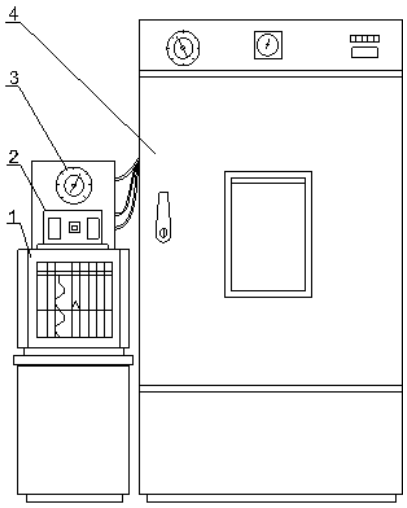


Рисунок 2. Установка циклического замораживания-оттаивания в автоматическом режиме:
1 — потенциометр КСП-4; 2 — блок автоматического управления; 3 — переключатель термопар; 4 — низкотемпературный шкаф Gronland T 25/01

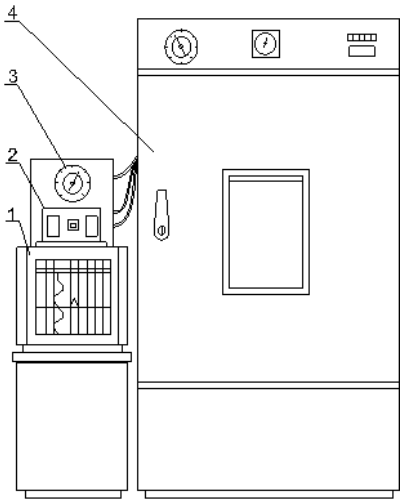


Рисунок 3. Аппарат искусственной погоды ИП-1-3: 1 — вентилятор; 2 — вращающийся барабан для крепления образцов; 3 — образец; 4 — лампа дуговая; 5 — измеритель влажности; 6,7 — вольтметры; 8 — амперметр; 9 — пусковые кнопки

ММПЭЭ нашло широкое распространение в материаловедении при подборе оптимальных составов искусственных конгломератов. В нашем случае этот метод применили для изучения влияния внешних факторов на асфальтобетон [10]. Обычный асфальтобетон разрушается при длительном и периодическом увлажнении, а также в результате попеременного замораживания-оттаивания в водонасыщенном состоянии [18].

Для моделирования комплекса воздействий внешних факторов из всего их многообразия нами в качестве примера были приняты три: вибровакуумное водонасыщение, циклическое замораживание-оттаивание и облучение искусственным солнечным светом при температуре до +60 ^{0}С и периодическом орошении водой в атмосфере, содержащей озон [13, 25]. Применили 17-точечный трехуровневый план второго порядка при числе факторов k=3 [2].

Исследованиями Гипродорнии было доказано, что механизм ускоренного усталостного разрушения водонасыщенного асфальтобетона при работе покрытия в режиме циклических динамических нагружений обусловлен в определенной степени возникновением импульсных гидродинамических давлений в насыщенных водой порах [18].

Вводя в комплекс воздействий фактор вибровакуумного водонасыщения, брали в расчет, что при движении автомобиля, в зависимости от скорости и ровности покрытия, частота колебаний, передаваемых автомобилем покрытию, составляет от 10 до 25 Гц, а фильтрация воды в порах покрытия происходит преимущественно под действием вакуума, создаваемого шинами движущегося по покрытию автотранспорта.

Установка вибровакуумного водонасыщения состоит из стальной цилиндрической вакуумной камеры емкостью 10 л, укрепленной на вибростенде типа УВ-70/100, и вакуумного насоса МР-10 (*рисунок 1*). Предварительно взвешенные и измеренные образцы асфальтобетона помещали в вакуумную камеру, внутренняя поверхность стенок которой имела резиновое покрытие, заполняли ее водой, а затем с помощью вакуумного насоса в камере создавали остаточное давление порядка (0,133-0,199)•10 Н/м ^{2} и включали вибростенд.

Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции дорожной одежды за весь срок службы определяют по [4, 17]. Расчет продолжительности вибровакуумного водонасыщения асфальтобетонных покрытий дороги 3-й технической категории для условий Воронежской области приведен в работах [11] и равен 1452796 циклов.

Так как лабораторная динамическая установка при частоте 12 Гц дает 43200 кол/ч, то время вибровакуумного водонасыщения при моделировании эксперимента будет равно 1452796/43200 = 33,6 ч.

Для математического планирования эксперимента принимаем время 20, 40 и 60 часов вибровакуумного водонасыщения (кодированное значение x_1) [14].

Для моделирования воздействия на асфальтобетон знакопеременных температур применена установка для ускоренного замораживания-оттаивания образцов (*рисунок 2*). При разработке методики исходили из того, что высокая скорость охлаждения и оттаивания увеличивает разрушающий эффект влияния знакопеременных температур на асфальтобетон. Установка создана на базе низкотемпературного шкафа Gronland T 25/01, дополненного электронным устройством, обеспечивающим автоматический режим охлаждения и оттаивания в диапазоне температур от –20 °С до + 5 °С, и потенциометром для графического контроля величины и скорости температурных переходов. Контроль температуры осуществлялся термопарой, помещенной внутрь контрольных образцов. Скорость охлаждения составляла около 30 °С, а оттаивания — около 60 °С.

Количество циклов замораживания-оттаивания, воздействующих на шлаковый асфальтобетон в реальных условиях эксплуатации в течение года, соответствует 5-12 циклам замораживания-оттаивания в лабораторных условиях при скорости охлаждения от 2 до 5 °С [16]. Если при сроке службы покрытия 14 лет общее количество циклов следует принять 70-168 при замораживании со скоростью 2-5 °С, то при ускоренном замораживании-оттаивании количество следует определять по формуле:

$$N^{УСК}_{МРЗ} = N_{ОБЩ} / K$$

где К — коэффициент, учитывающий влияние скорости охлаждения на разрушение структуры асфальтобетона, в зависимости от свойств исходных компонентов принимается равным 1,5-5.

Для математического планирования эксперимента количество циклов ускоренного замораживания-оттаивания асфальтобетона из шлаковых материалов взяли 24, 62 и 100 циклов (кодированное значение x_2) [12].

Для моделирования процессов термоокислительного старения битума в асфальтобетоне использовали аппарат искусственной погоды ИП-1-3 (*рисунок 3*), предназначенный для ускоренных испытаний полимерных материалов.

Известно, что наиболее опасной для полимерных материалов является ультрафиолетовая радиация (длина волн менее 400 нм). Согласно [19] на долю УФ-радиации, достигшей поверхности Земли, приходится не более 3-4% общего потока суммарной солнечной радиации. При этом на долю наиболее эффективной УФ-радиации приходится лишь 0,1%

Таблица 1. Трехуровневый план проведения экспериментов второго порядка при числе факторов $k=3$ ($N = N_1 + N\alpha + n_0$)

№ опыта		Матрица планирования (χ_i)			Взаимодействие ($\chi_i \cdot \chi_j$)			Квадраты переменных (χ_i^2)		
		$\chi 1$	$\chi 2$	$\chi 3$	$\chi 1\,\chi 2$	$\chi 1\,\chi 3$	$\chi 2\,\chi 3$	$\chi 1^2$	$\chi 2^2$	$\chi 3^2$
N_1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	2	-	+	+	-	-	+	+	+	+
	3	+	-	+	-	+	-	+	+	+
	4	-	-	+	+	-	-	+	+	+
	5	+	+	-	+	-	-	+	+	+
	6	-	+	-	-	+	-	+	+	+
	7	+	-	-	-	-	+	+	+	+
	8	-	-	-	+	+	+	+	+	+
$N\alpha$	9	+	0	0	0	0	0	+	0	0
	10	-	0	0	0	0	0	+	0	0
	11	0	+	0	0	0	0	0	+	0
	12	0	-	0	0	0	0	0	+	0
	13	0	0	+	0	0	0	0	0	+
	14	0	0	-	0	0	0	0	0	+
N_0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Условия планирования эксперимента по изучению структурно-механических свойств асфальтобетона из шлаковых материалов

Факторы	Физическое значение переменных			Кодированное значение переменных		
Условия	X_1 — продолжительность вибровакуумного водонасыщения, ч	X_2 — количество циклов ускоренного замораживания-оттаивания	X_3 — продолжительность искусственного облучения, ч	$\chi 1$	$\chi 2$	$\chi 3$
Верхний уровень $X_i^в$	60	100	60	+1	+1	+1
Нижний уровень $X_i^н$	20	24	40	-1	-1	-1
Основной уровень X_i^0	40	62	50	0	0	0
Шаг варьирования λ_i	20	38	10	-	-	-

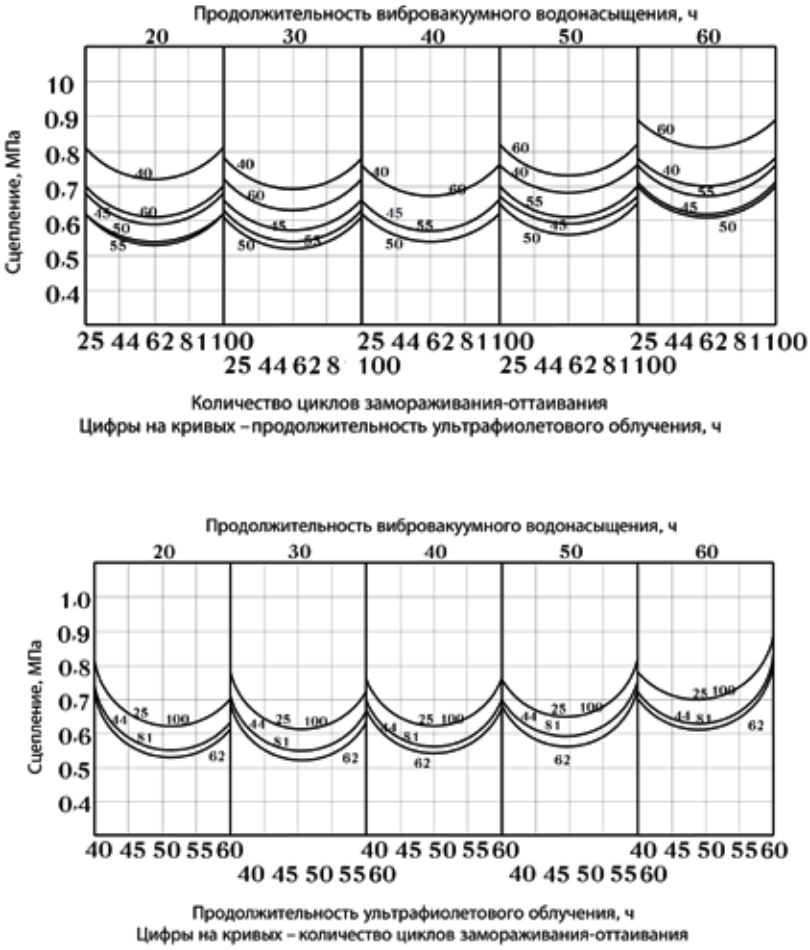


Рисунок 4 (1). Влияние комплексного воздействия вибровакуумного водонасыщения, ультрафиолетового облучения и ускоренного замораживания-оттаивания на сцепление при температуре 20 °С асфальтобетона состава: шлаковый песок — 100%, битум марки БНД 60/90 — 9%

суммарной радиации. Количество суммарной солнечной радиации за год для центральных районов европейской части России равно 2360 МДж/м^2 [19], следовательно, на долю УФ-радиации приходится 2360х0,001 = 2,36 МДж/м^2. Среднее значение световой энергии, падающей на единицу площади в ультрафиолетовой области в аппарате искусственной погоды при двух ртутно-кварцевых лампах типа ПРК-2 за 1 ч равно 0,67 МДж/м^2. Количество часов искусственного облучения для моделирования естественного годового облучения определяем по расчету 2,36:0,67=3,52 ч. За 14 лет службы покрытия количество часов искусственного облучения в камере составит 3,52х14 = 49 ч. Для математического планирования эксперимента принимаем 40, 50 и 60 ч облучения в камере при температуре 60 °С (кодированное значение x_3) [12].

Асфальтовый бетон на шлаковых материалах обладает специфическими свойствами, которые не присущи асфальтобетону на природных каменных материалах. Шлаковые материалы обладают гидравлическими вяжущими свойствами, имеют пористую структуру, гранулометрический состав их в процессе технологических операций (сушке, перемешивании с битумом, укладке и уплотнении) оптимизируется. Вследствие этого процессы структурообразования в такого вида асфальтобетонах происходят длительное время с момента устройства покрытий. Наличие гидравлически активного минерального компонента приводит к образованию коагуляционно-конденсационной структуры, упрочненной кристаллизационными сростками в местах контакта шлаковых зерен. Этот процесс усиливается при длительном водонасыщении [8].

Исследовали асфальтобетон состава: шлаковый песок Новолипецкого металлургического комбината — 100%, битум марки БНД 60/90 — 9%. Выходным параметром было принято сцепление при температуре +20°С.

План эксперимента приведен в *таблице 1*, а условия планирования — *в таблице 2*.

Переход от физических переменных

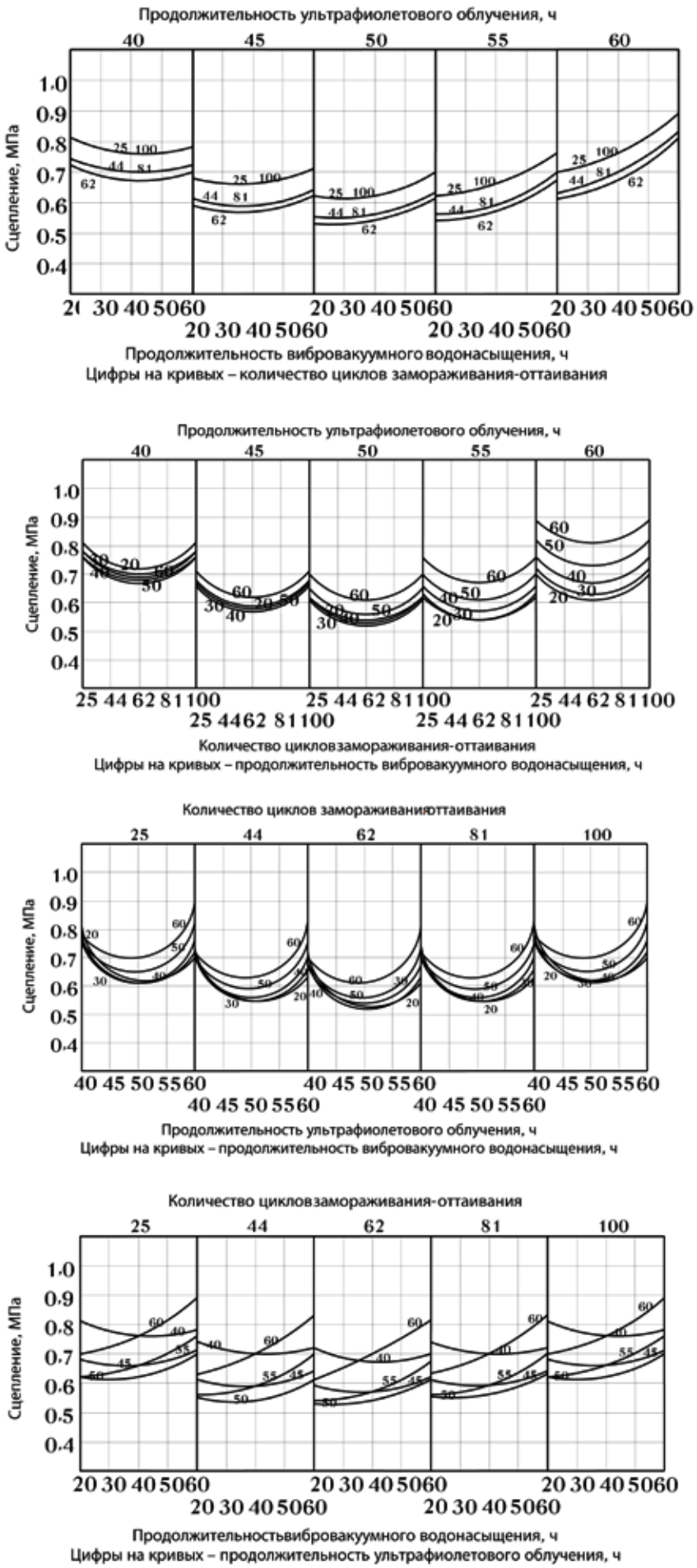


Рисунок 4 (2). Влияние комплексного воздействия вибровакуумного водонасыщения, ультрафиолетового облучения и ускоренного замораживания-оттаивания на сцепление при температуре 20 °С асфальтобетона состава: шлаковый песок — 100%, битум марки БНД 60/90 — 9%

к кодированным осуществляется по формулам:

$$x_1 = \frac{X_1 - 40}{20}$$

$$x_2 = \frac{X_2 - 62}{38}$$

$$x_3 = \frac{X_1 - 50}{10}$$

В результате реализации опытов и обсчета матрицы планирования получена математическая модель и построены графики в разных системах координат (*рисунок 4*):

$$C = (6{,}35 + 0{,}42\,x_1 + 0{,}55\,x_1\,x_3 + 0{,}35\,x_1^2 + 0{,}89\,x_2^2 + 1{,}38\,x_3^2)10^{-1},\ МПа$$

Анализ математической модели и построенного по ней *рисунка 4* позволил выяснить влияние исследуемых факторов на сцепление при температуре 20 °С:

- из коэффициентов переменных первой степени оказался значим только коэффициент при продолжительности вибровакуумного водонасыщения (x_1), которое увеличивает предел прочности при расколе;
- коэффициенты при парных переменных x_1-x_2 и x_3-x_2 оказались не значимыми;
- коэффициенты при квадратичных переменных увеличивают сцепление (знак «+»): наибольшее влияние оказывает ультрафиолетовое облучение, затем — замораживание-оттаивание и вибровакуумное водонасыщение.

Более наглядно влияние факторов прослеживается при анализе данных, приведенных на *рисунке 4*. С увеличением продолжительности вибровакуумного водонасыщения до 40 ч происходит снижение сцепления, а затем — возрастание. С увеличением продолжительности ультрафиолетового облучения до 50 ч также происходит снижение сцепления, а затем также происходит увеличение. С увеличением количества циклов ускоренного замораживания-оттаивания до 62 происходит снижение, затем — возрастание сцепления.

Таким образом, при воздействии

всех факторов в начальные сроки испытания происходят деструктивные процессы, а затем — конструктивные.

Полученные результаты можно объяснить тем, что шлаковый песок является гидравлически активным минеральным материалом. При воздействии воды и УФ-облучения при температуре +60°С возникают микропропарочные камеры [9], процессы гидролиза и гидратации в шлаковом песке ускоряются и коагуляционная структура асфальтобетона упрочняется кристаллизационными сростками в местах контакта шлаковых зерен [7]. Кристаллогидраты продолжают образовываться и при воздействии замораживания-оттаивания [6].

В данном примере использовали воздействие на один и тот же образец асфальтобетона трех внешних факторов. Можно использовать и многофакторное воздействие и, применив математическое планирование, количественно описать влияние каждого из этих факторов на тот или иной показатель свойств асфальтобетона. Это позволит прогнозировать поведение асфальтобетона в процессе эксплуатации покрытий автомобильных дорог и подбирать рациональные составы асфальтобетона для разных областей и категорий дорог.

ВЫВОДЫ:

1. Предложены метод и аппаратура, позволяющие моделировать воздействие внешних факторов на одни и те же образцы асфальтобетона.
2. Представленный метод моделирования позволит более объективно характеризовать работу материала дорожного покрытия и выбирать наиболее оптимальные составы асфальтобетона для конкретных районов строительства и условий эксплуатации автомобильной дороги.
3. С использованием математического метода планирования экстремальных экспериментов разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать поведение асфальтобетона из шлаковых материалов для условий эксплуатации в Воронежской области. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуславский А.М. Основы реологии асфальтобетона / А.М. Богуславский, Л.А. Богуславский. — М.: Высшая школа, 1972. — 199 с.
2. Вознесенский В.А. Статистические решения в технологических задачах / В.А. Вознесенский. — Кишинев, — 1968. — 231 с.
3. Гезенцвей Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцвей. — М.: Транспорт, 1976 — 336 с.
4. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических изделий. — Введ. 1981-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1986. — 140 с.
5. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. — Введ. 2014-14-11. — М.: Стандартинформ, 2014. – 50 с.
6. Ковалев Н. Морозостойкость шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: монография / Н. Ковалев. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. — 172 с.
7. Ковалев Н.С. Дорожный шлаковый асфальтобетон: монография. — LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2015. — 230 с.
8. Ковалев Н.С. Исследование физико-химического взаимодействия шлаковых материалов с битумом / Н.С. Ковалев, Я.А. Быкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. — 2008. — Вып. 11 (30). — С. 81-87.
9. Ковалев Н.С. Комплексное воздействие рецептурных и эксплуатационно-климатических факторов на асфальтобетон из шлаковых материалов / Н.С. Ковалев // Дороги и мосты. — 2013. — Вып. 30/2. — С. 275-287.
10. Ковалев Н.С. Конструктивные слои дорожных одежд, обработанные органическими вяжущими: монография / Н.С. Ковалев. Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2014. — 286 с.
11. Ковалев Н.С. Моделирование влияния внешних воздействий при ускоренном испытании асфальтобетона / Н.С. Ковалев // Дороги и мосты. — 2013. — Вып. 29/1, — С. 252-267.
12. Ковалев Н.С. Моделирование эксплуатационно-климатических факторов на покрытия из шлакового асфальтобетона / Н.С. Ковалев, Б.Ф. Соколов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2009. — Вып. 16 (35). — С. 81-88.
13. Ковалев Н.С. Научно-практические основы морозостойкости и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов: монография / Н.С. Ковалев. — Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2012. — 270 с.
14. Ковалев Н.С. Обоснование длительности воздействия климатических факторов при моделировании ускоренного испытания асфальтобетона из шлаковых материалов / Н.С. Ковалев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2014. — Вып. №3 (42). — С. 163-171.
15. Ковалев Н.С. Разработка метода комплексного воздействия эксплуатационно-климатических факторов на асфальтобетоны из шлаковых материалов / Н.С. Ковалев // Геодезия, кадастр, землеустройство: сб. науч. трудов. — Вып. 7. — Воронеж: Истоки, 2009. — С. 110-119.
16. Ковалев Н.С. Экспериментально-теоретическое обоснование назначения количества циклов замораживания-оттаивания шлакоасфальтобетона в лабораторных условиях / Н.С. Ковалев // Известия вузов, Строительство и архитектура. — 1983. — №4. — С. 116-119.
17. Расчет нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01. — 145 с.
18. Руденский А.В. Исследование водоустойчивости битумоминеральных материалов / А.В. Руденский, И.М. Горшков // Гипродорнии: сб. трудов. — М., 1973. — Вып. 7. — С. 47.
19. Русин Н.П. Прикладная актинометрия / Н.П. Русин. — Л.: Гидрометиздат, — 1979. — 232 с.
20. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны / И.А. Рыбьев. — М.: Высшая школа, 1969. — 306 с.
21. Способ подготовки строительных материалов к испытаниям на прочность / Соколов Б.Ф., Самодуров С.И., Ковалев Н.С. Патент на изобретение RUS 665254 04.01.1978.
22. DIN EN 13108-1:2006-08 Asphaltmischgut — Mischgutanforderungen — Teil 1: Asphaltcocncrete. German version EN 13108-1:2006: Bituminous mixtures Material specifications. Part 1: Asphalt Concrete.
23. I. Leonovich, I. Melnikova, «Influence of temperature on the formation of damages in asphalt concrete pavements under climatic conditions of the republic of Belarus», The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. Vol. 7, №1, pp. 42-47, 2012.
24. I. Leonovich, I. Melnikova, V. Puodžiukas, «Estimation of the cracking probability in road structures by modeling of external influences», The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vol. 8, №4, pp. 240-249, 2013.
25. 25. Kovalev N.S. The Complex Effect of External Factors on Asphalt Concrete / N.S. Kovalev. // International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018): Advances in Engineering Research, volume 177. — С. 280-285.

ЭВОЛЮЦИЯ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Произошедшая в 2017 году консолидация битумного направления Группы компаний «ЛУКОЙЛ» запустила глобальные эволюционные процессы совершенствования дорожных битумных вяжущих.

С.М. Попов, ведущий инженер отдела внедрения и технического сопровождения битумных материалов,
А.Г. Обухов, начальник научно-исследовательского центра по битумным материалам,
У.Г. Зверева, к.х.н., начальник отдела разработки и постановки на производство битумных материалов, ООО «ЛЛК-Интернешнл» (100% дочернее предприятие ПАО «ЛУКОЙЛ»)

НОВАЯ ЛОГИКА ЛОГИСТИКИ

На заводе ЛУКОЙЛа в Волгограде с середины 2018 года работает инновационный логистический центр, в работе которого задействованы самые современные цифровые технологии. Работа центра позволила выстроить сверхскоростную логистику, до 10 раз сократив время обслуживания транспорта коиентов.

В 2020 году подобный инновационный центр будет также построен на территории НПЗ ЛУКОЙЛа в Нижнем Новгороде. В компании уверены, что новый логистический хаб поможет продолжить совершенствовать качество строительства дорог в России. Скорость отгрузки битумов играет в этом огромную роль, учитывая относительную скоротечность дорожно-строительного сезона.

На профильных заводах ЛУКОЙЛа также созданы собственные автопарки битумовозов. Они оснащены системами электронной пломбировки, датчиками и видеокамерами, что стало дополнительной гарантией защиты качества битумного вяжущего.

ИННОВАЦИОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Проводимая сегодня модернизация битумных производств НПЗ ЛУКОЙЛа в ближайшее время позволит в промышленных объемах воплощать любые революционные идеи в области создания битумных вяжущих нового поколения.

Переход на прямые поставки конечным потребителям упрощает для Компании обмен информацией по вопросам качества и технологичности битумных вяжущих. Работа с профильными министерствами, ведомствами и структурами Заказчика дает возможность напрямую учи-

тывать в нашей работе потребности дорожной отрасли и отрабатывать наши наработки в форме пилотных (контрольных) объектов в реальных условиях эксплуатации.

Разработки инновационных битумных материалов уже ведутся в Научно-исследовательском центре (НИЦ) по битумным материалам в Нижнем Новгороде. НИЦ имеет в своем составе крупнейший в стране комплекс лабораторий, позволяющих построить цепочку всего жизненного цикла вяжущих — от разработки рецептур и технологии производства до применения в асфальтобетоне и других строительных материалах:

- лаборатория технологических процессов;
- лаборатория битумных материалов;
- лаборатория асфальтобетонов;
- лаборатория битумно-производных материалов.

Уникальное преимущество Научно-исследовательского центра в том, что он находится непосредственно на территории одного из крупнейших российских НПЗ. Такое расположение позволяет вести разработку вяжущих и отработку технологических процессов оперативно и в полном объеме, используя ресурсы нефтепереработки.

В лабораториях НИЦ ЛУКОЙЛа проводится более 40 видов тестирования битумных материалов и более 30 — асфальтобетонных смесей.

Одним из направлений работы НИЦ является поиск путей улучшения долговечности битумных вяжущих. Старение битума — это необратимый процесс потери пластических свойств и увеличения хрупкости битумного вяжущего в результате изменения его химического состава и изменения физических свойств материала. На оборудовании лабораторного комплекса мы имеем возможность оценить технологическое (краткосрочное) и эксплуатационное (долгосрочное) старение битумов. Сотрудниками Центра были отобраны серии образцов разных заводов-изготовителей. Понимая, что каждый завод имеет определенный набор сырьевых компонентов и различные технологии производства битумов, были тщательно изучены их влияние на стойкость битума к старению. Результаты исследований образцов шести заводов приведены в *таблице 1*, на графики вынесены наиболее яркие показатели.

Влияние технологического старения на битум наглядно отражается при оценке показателя динамической вязкости при 60°С. Коэффициент возрастания динамической вязкости (КВДВ) меняется в несколько раз. Отдельно стоит отметить разнонаправленность результатов по температуре хрупкости. У большинства битумов после старения температура хрупкости возрастает (ухудшается),

График 1.

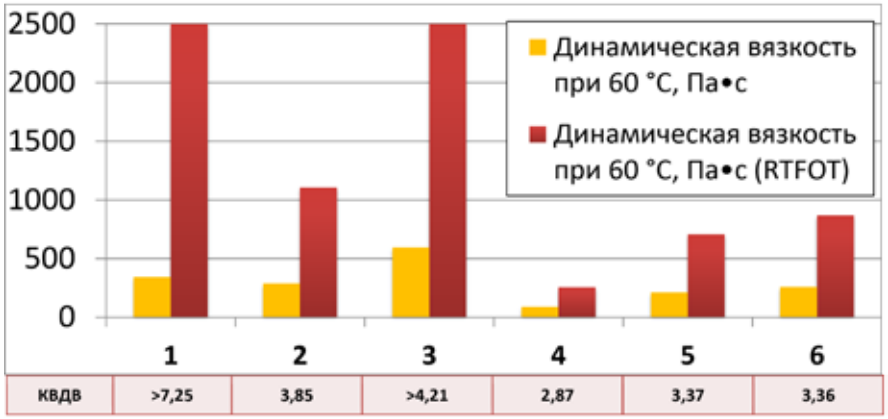


Таблица 1.

Показатели	Заводы-изготовители					
	1	2	3	4	5	6
	Марка битума					
	БНД 60/90	БНД 60/90	БНД 70/100	БНД 60/90	БНД 70/100	БНД 60/90
Температура размягчения по методу КиШ, °С	50,4	49,2	51,8	46,2	47,4	47,2
Изменение температуры размягчения после старения, °С	7,6	8	9	6,3	6,8	5,4
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	5,4	6	8,2	4,8	5,4	4,9
Глубина проникания иглы при 25°С, 0,1 мм	75	74	69	87	91	75
Глубина проникания иглы при 25°С после старения, 0,1 мм	40	41	40	58	58	52
Глубина проникания иглы при 0°С, 0,1 мм	25	23	24	22	32	21
Дуктильность при 25°С, см	88,8	129,5	104,5	>130	>130	>130
Дуктильность при 25°С после старения, см	17,1	72,6	28	84,9	40,9	87,5
Дуктильность при 0°С, см	4	3,5	3,6	3,3	5	3,8
Температура хрупкости, °С	-32	-21	-21	-27	-21	-22
Температура хрупкости после старения (RTFOT), °С	-32	-22	-16	-28	-23	-22
Температура хрупкости после старения (PAV), °С	-23	-16	-12	-29	-23	-21
Динамическая вязкость при 60°С, Па*с	345	287,5	593,3	90	210	259
Динамическая вязкость при 60°С после старения (RTFOT), Па*с	>2500	1107	>2500	258,3	707,5	871
Коэффициент возрастания динамической вязкости (КВДВ)	**>7,25**	**3,85**	**>4,21**	**2,87**	**3,37**	**3,36**

График 2.

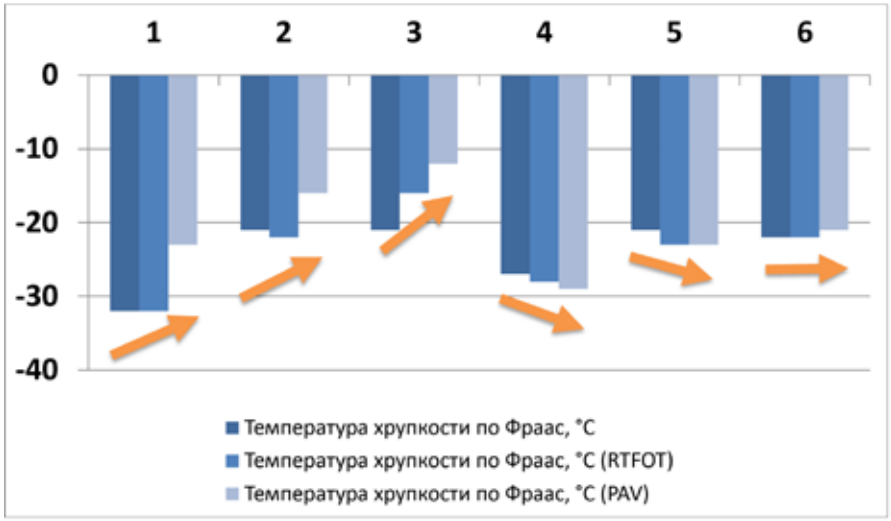


Таблица 2.

Показатели	Неокисленный битум	БНД 90/130	БНД 90/130+ Неокисленный битум
Температура размягчения по методу КиШ, °С	43,2	43	41,8
Изменение температуры размягчения после старения, °С	5,8	6,8	5
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	3,8	6,2	4,4
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	101	129	132
Глубина проникания иглы при 0 °С, 0,1 мм	17	38	26
Дуктильность при 25 °С, см	117	>130	>130
Дуктильность при 25 °С после старения, см	>130	>130	>130
Дуктильность при 0 °С, см	-	5,1	5,4
Температура хрупкости, °С	-19	-29	-22
Температура хрупкости после старения (RTFOT), °С	-19	-22	-22
Температура хрупкости после старения (PAV), °С	-18	-24	-21
Динамическая вязкость при 60 °С, Па*с	114,2	106,7	85
Динамическая вязкость при 60 °С после старения, Па*с	215	325	189
КВДВ	1,88	3,05	2,23

но отдельные образцы показали снижение (улучшение) температуры хрупкости.

Прослеживаются серьезные отличия в абсолютных значениях динамической вязкости на *графике 1* и в динамике изменений характеристик (отмечено стрелками) на *графике 2* между первой (1-3) и второй (4-6) группой образцов. При этом объединяющим фактором для групп образцов является схожий набор сырьевых компонентов, использовавшихся при производстве битумов.

НА ПОРОГЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОРЫВА

Текущий уровень компетенций НИЦ и проводимая модернизация профильных производств ЛУКОЙЛа позволяют при разработке битумных вяжущих «замахнуться» на революционные решения. Например, анализ компонентов сырьевого состава битумов второй группы описанных выше образцов выявил наиболее удачные варианты группового состава и навел на мысль об усилении их эффекта на коэффициент возрастания динамической вязкости (КВДВ) с сохранением результатов по температуре хрупкости. Попробовав исключить воздействие процесса окисления на основные компоненты, получили неокисленный битум (*таблица 2*) с пенетрационными показателями, близкими к марке окисленного битума, при этом сохраняя иные ключевые показатели.

Результаты сравнения характеристик неокисленного битума с окисленным дают основу для создания рецептур компаундированных битумов из окисленных и неокисленных компонентов с целью повышения устойчивости битумных вяжущих к старению. Перспективы применения битумов с неокисленными компонентами — как на дорогах низких технических категорий, где требуется высокая устойчивость к климатическим воздействиям при длительных сроках эксплуатации, так и на дорогах высоких технических категорий, что обеспечит оптимальное взаимодействие полимеров с битумной основой в ПБВ для полимерасфальтобетонов и в РБВ для резиноасфальтобетонов. Именно поэтому работа началась с получения маловязкой марки битума, аналогичной БНД 90/130.

Повышение сроков эксплуатации асфальтобетонных покрытий (до 12 лет между ремонтами / 24 года между капремонтами) требует настоящей эволюции битумных вяжущих. Наработки ЛУКОЙЛа показывают, что одним из возможных направлений этой эволюции является компаундирование неокисленных и окисленных битумных компонентов. Поддержка дорожниками данной инициативы может задать общий тренд битумной отрасли и в дальнейшем возродить производство битумов и специально подготовленного сырья, в том числе из тяжелых нафтеновых нефтей. ■

О СПОСОБАХ ИЗМЕРЕНИЯ
температуры поверхности автодороги

Статья посвящена способам измерения температуры поверхности автодороги и в верхнем слое дорожной одежды в дорожных метеорологических системах. Показана разница контактного и бесконтактного методов и их применимость для расчета прогноза состояния поверхности автодороги. Определены границы применимости оборудования для подготовки рекомендаций службам содержания автодорог.

В.Ф. Шалашов, к.ф.-м.н., генеральный директор,
В.В. Снегирев, к.ф.-м.н., заместитель начальника отдела технических разработок, АО «Минимакс-94»

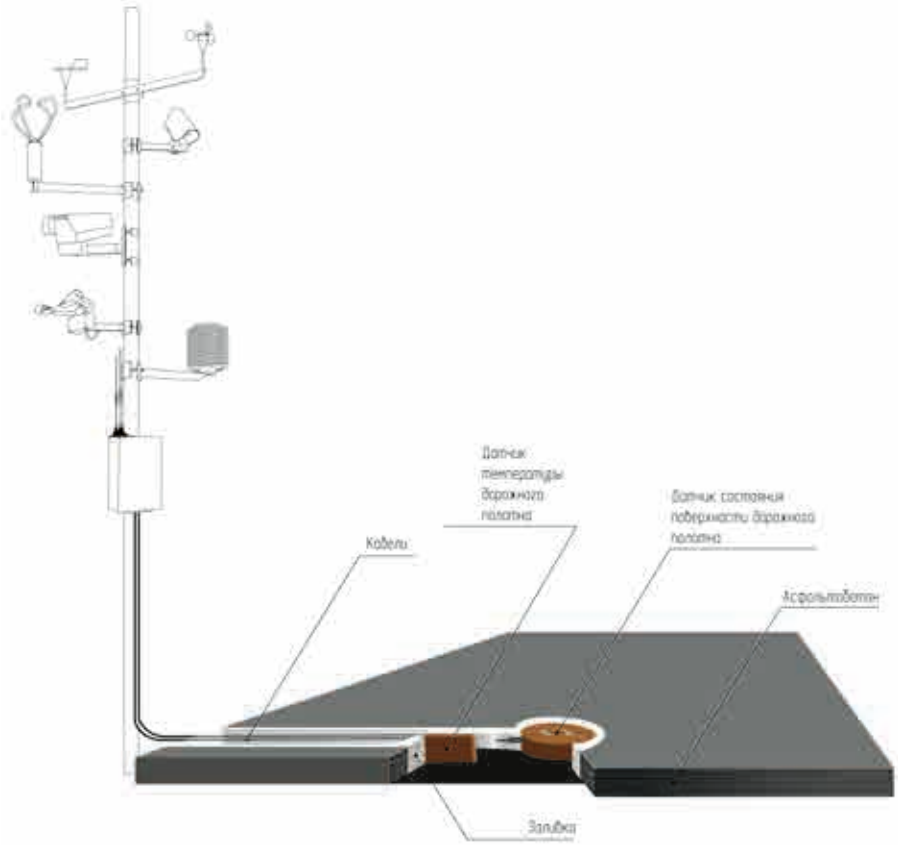


Рисунок 1. Установка датчика температуры дорожной одежды. Датчик позволяет измерять температуру на поверхности дорожной одежды и на глубине 4 см в верхнем слое дорожной одежды

Важнейшим параметром автомобильной дороги является температура (Тп) поверхности и температура (Тгл) в глубине дорожной одежды. Тп определяет транспортно-эксплуатационное состояние автодороги. В летнее время Тп определяет несущую способность, а зимой — влияет на сцепление колеса с автодорогой, т.е. определяет скорость движения транспортных средств. Для обеспечения высокого уровня безопасности необходимо знать текущую температуру поверхности и прогноз ее изменения.

Значительная часть автодорог оборудованы автоматическими системами метеорологического обеспечения (АСМО). В соответствии с требованиями нормативных документов (ОДМ, 2009) дорожные станции АСМО должны включать специализированные датчики температуры поверхности автодороги, которые измеряют температуру поверхности Тп и температуру внутри дорожной одежды Тгл. Схематическое расположение датчиков температуры, устанавливаемых в дорожную одежду, представлены на *рисунке 1*.

Такие датчики носят название контактных, т.к. измеряют температуру в точках соприкосновения датчика с объектом измерения. В качестве чувствительных элементов, как правило, используются резистивные элементы на основе благородных металлов. Элементы воспринимают температуру в точке касания и изменяют электрическое сопротивление в зависимости от температуры. Значение электрического сопротивления передается в систему для дальнейшей обработки. Таким образом система получает информацию о температурах Тп и Тгл в дорожной одежде.

В последние годы большое распространение получили бесконтактные датчики температуры дорожного покрытия (*рисунок 2*).

Эти датчики представляют собой пирометр — то есть измеритель мощности теплового излучения. Их широкое распространение обусловлено появлением на рынке недорогих пирометров на диапазон температур от -40^{0}С до нескольких сот градусов Цельсия.

Как известно, любое нагретое тело излучает электромагнитные волны в широком спектральном диапазоне. Спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела описывается формулой Планка

$$f(\omega, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

где
λ — длина волны излучения,
k — постоянная Больцмана,
T — абсолютная температура,
c — скорость света в вакууме,
h — постоянная Планка.
Полная испускательная способность описывается формулой Стефана-Больцмана

$$S = \varepsilon\sigma T^4$$

где
σ — постоянная Больцмана, равная 5,67.10-8 Вт/К4/м^2,
ε — излучательная способность тела, которая зависит от материала и состояния поверхности тела. Может изменяться от 0 (абсолютно белое тело) до 1 (абсолютно черное тело).
Из формулы Стефана-Больцмана видно, что чем выше температура, тем мощнее тепловое излучение.
В пирометре тепловое излучение фокусируется на чувствительном элементе, который называется болометр, и по изменению его температуры можно судить о температуре удаленного объекта. Для фокусировки электромагнитного излучения необходима оптическая система. Максимум излучения по формуле Планка определяется законом смещения Вина

$$\lambda_{\max} T = b$$

где
b — постоянная Вина, равная 2.9.10-3 м.К.
Подставив в эту формулу T=300K, получим, что максимум теплового излучения тел, нагретых до комнатной температуры, приходится на длины волн порядка 10 мкм. Это дальний ИК-диапазон, для которого оптическая система должна изготавливаться из материалов, прозрачных в этом диапазоне длин волн.
Классическим материалом для этого диапазона является германий. Однако германиевая оптика очень дорогостоящая. Но в последнее время было освоено производство так называемых халькогенидных стекол, линзы из которых по цене сравнимы со стеклянными оптическими линзами. Благодаря этому удается получить пирометр, у которого область на дороге, температура

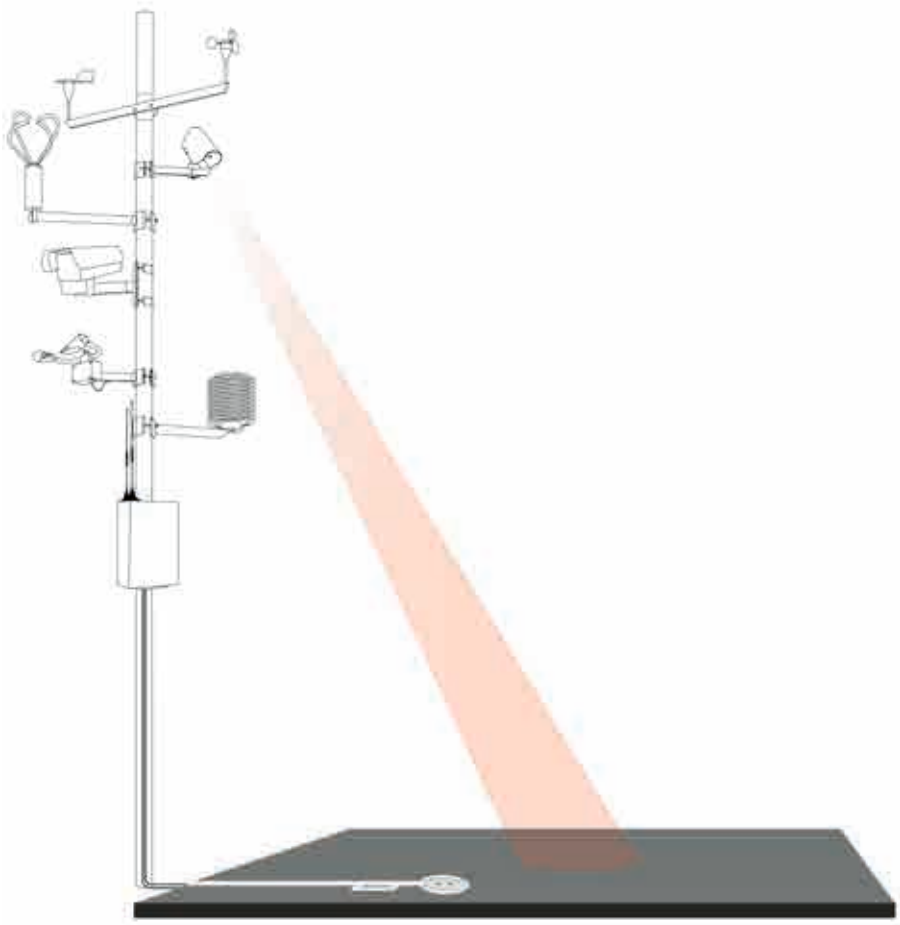


Рисунок 2. Установка бесконтактного датчика температуры (пирометра) дорожной одежды

которой измеряется, не превышает метра, а сам пирометр может быть установлен на расстоянии более десяти метров. Для диэлектрических материалов излучательная способность порядка 0.9 и достаточно слабо зависит от материала. С учетом неопределенности излучательной способности и точности определения нагрева болометра, абсолютная точность определения температуры у пирометров — порядка 1^{0}C, при этом разрешающая способность на порядок лучше — 0.1^{0}C. Нижняя граница измеряемой температуры у пирометров не ниже -40^{0}C. Это связано с тем, что плотность теплового излучения, как следует из формулы Стефана-Больцмана, очень быстро падает с температурой, что делает регистрацию излучения холодных тел затруднительной.
Главное преимущество использования пирометров для измерения температуры дороги — это то, что не требуется устанавливать датчики в полотно, нарушая его целостность.
Однако бесконтактные датчики не лишены ряда принципиальных недостатков. Для определения близости температуры дороги к точке замерзания воды абсолютной точности в 1 градус С может быть недостаточно. Также пирометр измеряет температуру довольно большого по площади участка дороги, а следовательно, усредняет температуру по этому участку. Но при определенной интенсивности движения температура в колее может заметно отличаться от температуры в межколейном промежутке.
Другой принципиальный недостаток бесконтактного метода — это то, что при наличии на поверхности дороги слоя воды и, тем более, снежного наката, пирометр будет

ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ И ЕЕ ПРОГНОЗ ВО МНОГОМ ОПРЕДЕЛЯЮТ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО СОДЕРЖАНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

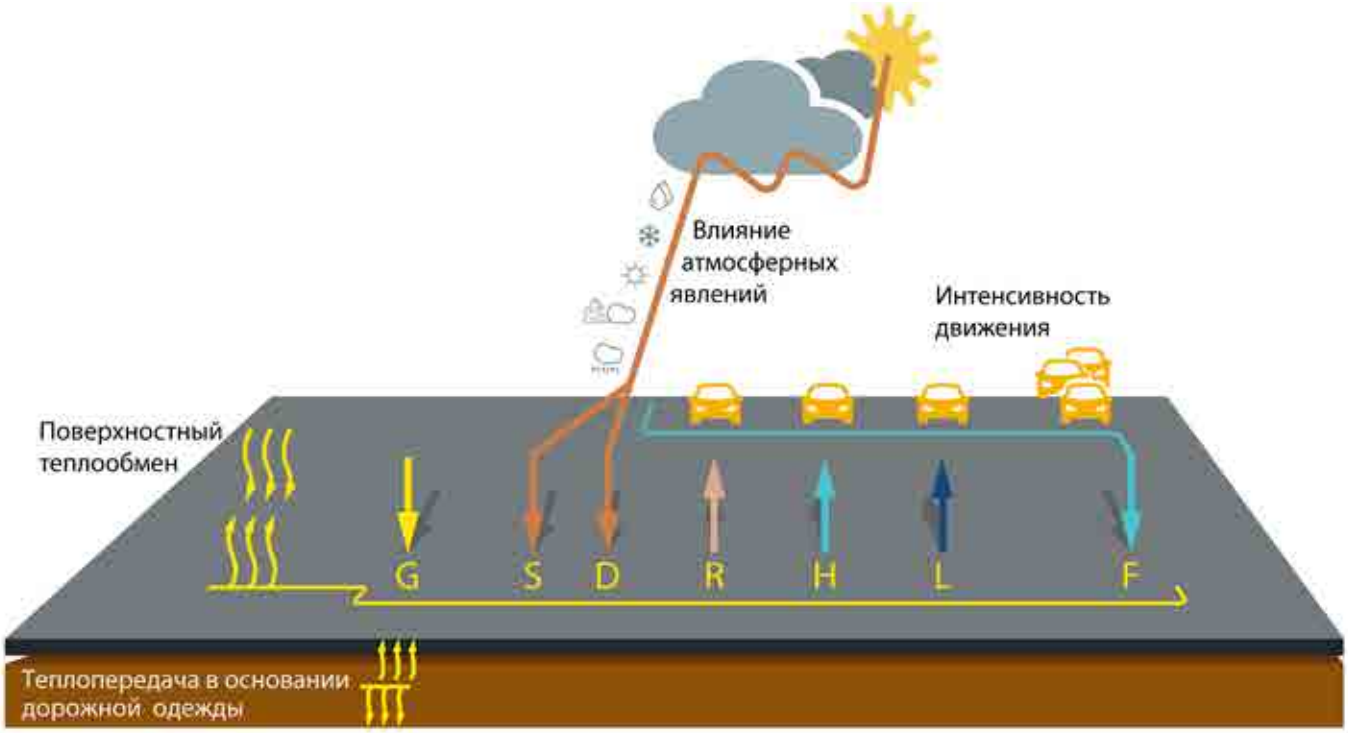


Рисунок 3. Схема тепловых потоков на поверхности и в глубине дорожной одежды

определять температуру верхнего слоя отложения, а не температуру дорожного полотна, что существенно искажает точность прогноза температуры дороги.

Состояние поверхности определяет суммарный тепловой поток через верхний слой дорожной одежды. Схематически составляющие теплового потока показаны на *рисунке 3*.

G — удельный тепловой поток в дорогу, вычисляется в результате решения уравнения теплопроводности на основе данных дорожных метеостанций;

S — прямая солнечная радиация, т. е. тепловой поток, обусловленный прямым солнечным излучением с учетом отражательной способности поверхности дороги;

D — рассеянное солнечное излучение, обусловлено рассеянием прямого солнечного излучения в атмосфере и облаках;

R — инфракрасное излучение, обусловленное тепловым излучением с поверхности дороги;

H — тепловой поток, обусловленный испарением;

L — латентный тепловой поток, определяется энергией, которая необходима для перевода тела из данного агрегатного состояния в другое агрегатное состояние. Этим потоком определяется возникновение льда на поверхности дороги;

F — иные тепловые потоки техногенного характера (основная составляющая определяется интенсивностью транспортного потока).

Для дорог с асфальтобетонным покрытием составляющими теплового потока являются радиационные потоки (S,D,R), скрытые потоки (H,F) и тепловой поток G в верхнем слое дорожной одежды, который определяется теплопроводностью этого слоя. Баланс (сумма) потоков определяет температуру и состояние поверхности автодороги. Тепловой поток G, его величина и направление определяются разностью температур

$$G=k\frac{(Тп-Тгл)}{\frac{1}{2}L}$$

где L — расстояние между датчиками автодороги, k — постоянная теплопроводности асфальтобетона на поверхности и в глубине дорожной одежды (C.Jansson, 2006).

Температура поверхности и ее прогноз во многом определяют технологии выполнения работ по содержанию автомобильных дорог, выбор материалов для работ и являются важнейшими показателями для дорожных служб. Отсутствие показателя Тгл в АСМО в случае применения только датчиков пирометрического типа не позволяет определять тепловой поток G и, следовательно, не позволяет производить расчет прогноза изменения температуры Тп на поверхности автодороги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установка датчиков в поверхностный слой дорожной одежды позволяет измерять температуру на поверхности и в глубине дорожной одежды. Такое решение позволяет обеспечивать дорожные службы необходимыми данными для высококачественного выполнения работ по содержанию автомобильных дорог в течение всего года (зима, весна, лето). Бесконтактные датчики температуры дороги (пирометры) могут использоваться только как дополнительные устройства, совместно с контактными датчиками. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C.Jansson E.Almkvist,P-E.Jansson Heat balance of an asphalt surface: oservations and physically-based simulations [Журнал] // Meteorol.Appl., 13,. — Stocholm : [б.н.], 2006 г.. — стр. 203-212.
2. ОДМ Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия [Статья] // ОДМ 218.2.003 — 2009. — Москва : ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», Москва, Звездный бульвар, д.21, стр.1, 2009 г.

ОБЩЕОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР КОМПЕТЕНЦИЙ

ФАУ «РОСДОРНИИ» реализует программу оснащения лабораторий

В рамках реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» Общеотраслевым центром компетенций должен быть реализован комплекс мероприятий по мониторингу (аудиту) качества дорожных работ. В связи с этим запланировано масштабное обновление материально-технической базы испытательных лабораторий ФАУ «РОСДОРНИИ». Головное учреждение и филиалы уже комплектуются современным оборудованием.

В рамках проводимого мониторинга качества дорожных работ Общеотраслевой центр компетенций, в том числе, должен обеспечить проведение испытаний дорожно-строительных материалов на соответствие требованиям действующих нормативно-технических документов. С учетом активного совершенствования нормативной базы в сфере дорожного хозяйства, направленного на повышение качества и долговечности автомобильных дорог, он должен быть оснащен передовыми образцами средств измерений и испытательного оборудования.
В лаборатории Общеотраслевого центра компетенций поступает оборудование, которое, в том числе, позволяет моделировать нагрузки и воздействия, характерные для реальных условий эксплуатации автомобильных дорог (образование колеи, истирание шипованными шинами и т.д.)
Лаборатории ОЦК ФАУ «РОСДОРНИИ» будут иметь возможность проводить испытания по всем основным видам материалов, используемых в дорожном строительстве.

Рисунок 1. Установка Праль-тест на истираемость асфальтобетона шипованными шинами

СТАЦИОНАРНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

Первый этап обновления материально-технической базы испытательных лабораторий коснулся Головного учреждения, которое находится в Москве, Воронежского и Северо-Кавказского филиалов. В 2020 году планируется полностью укомплектовать эти площадки всем необходимым комплектом средств измерений, испытательного и вспомогательного оборудования.
В ФАУ «РОСДОРНИИ» будет обеспечена возможность испытаний асфальтобетона и асфальтобетонных смесей, щебня, гравия, природных и дробленых песков, органических и неорганических вяжущих, минерального порошка, а также бетона и бетонных смесей. Кроме того, в лаборатории Головного учреждения будет реализована возможность проведения испытаний мастик, герметиков, а также геосинтетических и противогололедных материалов.
Воронежский филиал предполагается также оснастить оборудованием для контроля характеристик дорожных знаков и разметки.
Все лаборатории, которые будут обновлены в этом году, оснастят оборудованием для проведения испытаний асфальтобетонов на соответствие требованиям ПНСТ 183-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия», ПНСТ 184-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия», ГОСТ Р 58401.1-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетон-

Рисунок 2. Установка для испытаний асфальтобетона на стойкость к колееобразованию

Рисунок 3. Схема размещения испытательного оборудования в передвижном лабораторном посте

ные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования», ГОСТ Р 58401.2-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования». К основным образцам испытательного оборудования, применяемого в рамках указанных стандартов, можно отнести оборудование для уплотнения асфальтобетонных смесей в лабораторных условиях, позволяющее исключить дробление зерен крупного минерального заполнителя (гиратор, секторный уплотнитель, уплотнитель Маршалла), оборудование для определения объемных характеристик асфальтобетона, оборудование для проведения имитационных испытаний (стойкость к образованию колеи, истиранию шипованными шинами, усталостные характеристики).

типа для объемного проектирования и контроля асфальтобетонных смесей.

В субъекты Российской Федерации запланирована поставка шести передвижных лабораторных постов. Каждый пост будет состоять из двух зданий контейнерного типа, оснащенных современным оборудованием. Это будут одни из первых в России передвижных испытательных лабораторий для объемного проектирования и контроля асфальтобетонных смесей.

СИСТЕМА ОБЪЕМНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В 2019 году введен в действие комплекс национальных стандартов, устанавливающих технические требования к асфальтобетонам в рамках системы объемно-функционального проектирования ГОСТ 58401.1-2019 и ГОСТ 58401.2-2019. Это одна из приоритетных для внедрения новых технологий. Эта комплексная система позволяет изготавливать асфальтобетоны с заданными эксплуатационными свойствами с учетом климатических условий конкретного региона и транспортных нагрузок. В частности, к основным ее отличиям от «традиционных» технологий можно отнести:

- Изменение методики изготовления образцов в лабораторных условиях. В «традиционной» системе используются гидравлические прессы, прикладывающие значительную (в некоторых случаях более 30 тонн) вертикальную нагрузку на асфальтобетонную смесь, помещенную в металлическую форму. При этом может происходить дробление щебня в образцах. По новой системе образцы уплотняются с использованием гиратора (вращательного компактора). Происходит одновременное приложение относительно небольшой вертикальной и сдвиговой нагрузки. Дробления щебня не происходит. Эта методика уплотнения позволяет обеспечить требуемое качество уплотнения образцов асфальтобетона для их последующих испытаний в лаборатории и оценки корректности подбора состава смеси.
- Меняется подход к определению качества уплотнения асфальтобетона. Оценка по «традиционной системе» ведется по коэффициенту уплотнения — это отношение среднего показателя плотности образца из покрытия к среднему показателю плотности образца, изготовленного в лаборатории (который, напомним, был уплотнен с дроблением щебня). По новой методике качество уплотнения оценивается с помощью вакуумного пикнометра по содержанию воздушных пустот в образце;
- Марка битумного вяжущего определяется на основании результатов реологических испытаний. Битумные вяжущие классифицируются по

В ЛАБОРАТОРИИ ОБЩЕОТРАСЛЕВОГО ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИЙ ПОСТУПАЕТ ОБОРУДОВАНИЕ, КОТОРОЕ, В ТОМ ЧИСЛЕ, ПОЗВОЛЯЕТ МОДЕЛИРОВАТЬ НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ, ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРЕДВИЖНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

В этом году в рамках программы масштабного обновления лабораторной базы Учреждения для исполнения нацпроекта БКАД ФАУ «РОСДОРНИИ» запустит в работу прогрессивные передвижные лабораторные посты контейнерного

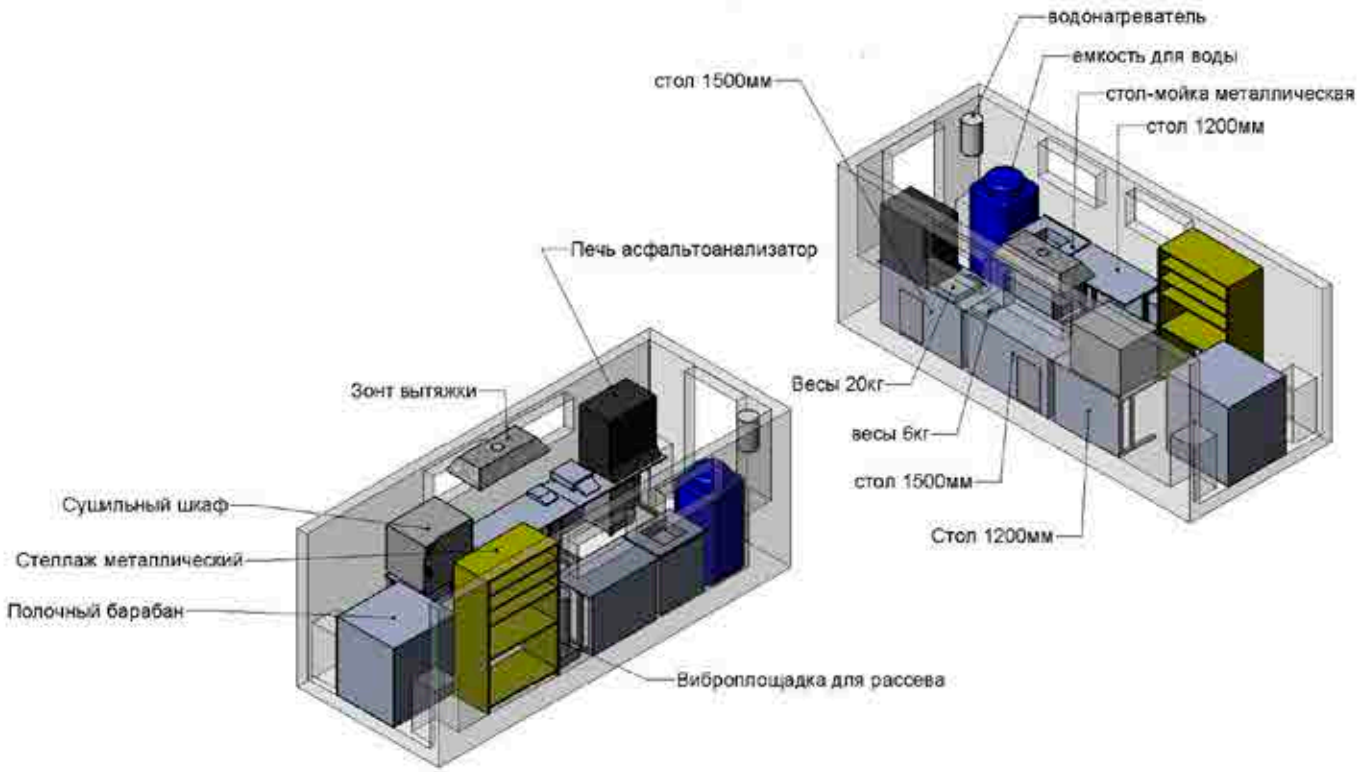


Рисунок 4. Схема размещения испытательного оборудования в передвижном лабораторном посте

температурным диапазонам (PG). Такая классификация позволяет определить верхнюю и нижнюю температурные границы эксплуатации, в которых асфальтобетон, изготовленный с применением оцениваемого битумного вяжущего, достаточно стоек к пластическим деформациям (колее), с одной стороны, и низкотемпературному трещинообразованию — с другой;

- Вводятся дополнительные испытания асфальтобетонов, имитирующие транспортные нагрузки, например — стойкость к колееобразованию и истиранию шипованными шинами.

Шесть передвижных лабораторных постов будут оборудованы всем необходимым для проведения испытаний на разных этапах проектирования асфальтобетонных смесей и мониторинга качества дорожного строительства — от приемки материалов до испытаний готовой смеси. В перечне оснащения оборудование для:

- ситового анализа гранулометрического состава минеральных материалов (песка, щебня);
- комплекса испытаний минеральных материалов (определение плотности и абсорбции песка, количества пустот в песке, сопротивления щебня дроблению и износу на установке Лос-Анжелес, сопротивления щебня истираемости по показателю Микро-Деваль);
- испытаний органических вяжущих (с помощью вискозиметра Брукфильда) для определения динамической вязкости битумов и температурных интервалов смешивания и уплотнения асфальтобетонных смесей;
- изготовления в лабораторных условиях однородных асфальтобетонных смесей при заданной температуре;
- изготовления образцов методом вращательного уплотнения (с использованием гиратора);
- испытания образцов на сжатие с постоянной скоростью;
- определения максимальной плотности смеси и содержания воздушных пустот в асфальтобетоне (с помощью вакуумного пикнометра);
- определения содержания битума в асфальтобетонных смесях методом выжигания. Минеральная часть смеси после выжигания используется для определения гранулометрического состава;
- неразрушающего контроля — оценки на месте проведения работ качества уплотнения асфальтобетона (с помощью электромагнитного измерителя плотности).

ЛАБОРАТОРИИ ОЦК ФАУ «РОСДОРНИИ» БУДУТ ИМЕТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОВОДИТЬ ИСПЫТАНИЯ ПО ВСЕМ ОСНОВНЫМ ВИДАМ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Повышение качества асфальтобетонных покрытий за счет использования данных стандартов будет способствовать росту долговечности автомобильных дорог и обеспечивать высокую экономическую эффективность проектов, реализуемых в рамках национального проекта БКАД. ■

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ
для модификации дорожного битума

В статье представлены результаты исследований лаборатории «Технологии использования вторичных ресурсов» Дальневосточного федерального университета по разработке современной технологии получения резинобитумного вяжущего для асфальтобетона на основе резиновой крошки, отработанного автомобильного масла и микродисперсных алюмосиликатных частиц. Предложенное технологическое решение позволяет единовременно решать задачи ресурсосбережения, энергоэффективности и экологии при производстве высококачественных полимерных добавок для модификации свойств дорожных битумов.

Ю.С. Беляков, инженер-исследователь,
А.В. Таскин, к.х.н., заведующий лабораторией,
Д.Р. Федотов, лаборант-исследователь,
О.И. Елкин, ведущий научный сотрудник, МЦ ТОМС (Международный центр Технологии обогащения минерального сырья), Инженерная школа, Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ)

Размеры России, удаленность многих населенных пунктов от федеральных трасс, особенно на востоке страны, стабильный рост количества автотранспорта (*рисунок 1*) обусловливают потребность в большом количестве протяженных и качественных дорог. Суровые климатические условия на большей части страны предъявляют высокие требования к материалам, используемым в дорожном строительстве. Ключевой органической составляющей асфальтобетонных смесей, применяемой для покрытий автомобильных дорог, является нефтяной битум, выполняющий функцию связующего материала, удерживая все ингредиенты вместе. Благодаря этой его характеристике щебень, песок и остальные компоненты асфальтовой смеси образуют прочную однородную массу. В России битум в основном производится из остатков нефтепереработки и к нему изначально не предъявляются требования по оптимальному соотношению компонентов для получения заданных свойств. Недостатками такого битума являются низкие адгезионные свойства и отсутствие эластичности, что негативно отражается на качестве и долговечности дорожных покрытий [3, 11].

Химический состав битумов представлен предельными углеводородами от C_9H_{20} до $C_{30}H_{62}$. Разнообразные органические углеводородные соединения, которые образуют битум, можно разделить на три группы: твердые составляющие, смолы и масляные фракции. Твердая часть битума состоит из высокомолекулярных углеводородов и их производных с молекулярной массой от 1000 до 5000 г/моль и плотностью более 1 г/см^3, объединенных под общим названием «асфальтены». К твердой составляющей битума также относят парафины, которые присутствуют в нем в незначительном количестве. Смолами являются аморфные вещества темно-коричневого цвета с молекулярной массой от 500 до 1000 г/моль и плотностью около 1 г/см^3. К масляной части битума относят различные углеводороды, имеющие молекулярную массу от 100 до 500 г/моль и плотность менее 1 г/см^3. Свойства битума как многокомпонентной системы определяются соотношением входящих в него составляющих: асфальтенов, парафинов, масел и смол. При повышении содержания асфальтенов возрастают твердость, температура размягчения, а также хрупкость битума. Парафин ухудшает качество битума, повышая его хрупкость при низких температурах, поэтому содержание парафина в битуме не должно превышать 5%. Количество смол в битуме определяет такие его свойства как вязкость и адгезия. Недостаток смол снижает рабочий температурный диапазон битумов (разница между температурой хрупкости и температурой размягчения), уменьшает адгезионные свойства, избыток усложняет процесс уплотнения асфальтобетона. Масла частично растворяют смолы, делают его более легкоплавким и мягким. Пластичность битума повышается при снижении молекулярной массы смол и масел.

Анализ работ российских и зарубежных исследователей [2, 4, 7, 8, 10, 18, 21] по повышению качества и долговечности асфальтобетонных покрытий показывает, что решение этой проблемы возможно через модификацию нефтяных битумов, когда необходимые адгезионные, прочностные и деформационные характеристики задаются на ста-

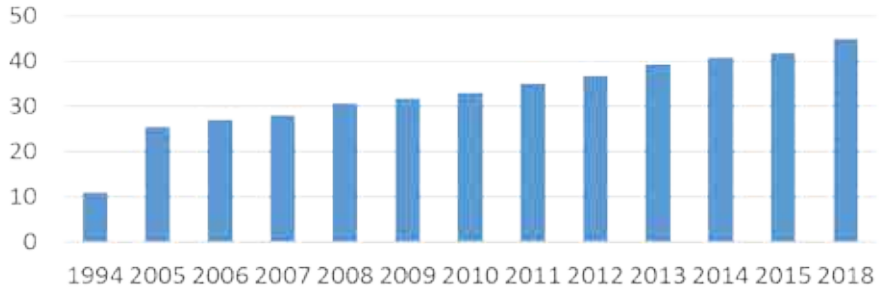


Рисунок 1. Количество легковых автомобилей в России, млн шт.

дии разработки состава битума. Наиболее распространенными разновидностями добавок, применяемых для улучшения свойств нефтяных битумов в дорожном строительстве, являются определенные виды высокомолекулярных соединений — эластомеры, термопласты, термоэластопласты. Битумные вяжущие с использованием полимеров широко распространены на территории стран Евросоюза. Так, в Германии и Франции в дорожном строительстве применяются полимербитумные вяжущие с использованием термоэластоплатов типа СБС, их доля на рынке модификаторов достигает 40%. В Чехии и Словакии также успешно применяется подобный тип вяжущих, например, чешская компания Paramo успешно использует термоэластопласты СБС марки Carifex. Кроме этого, в качестве модифицирующей добавки в битум используются этиленвинилацетатные сополимеры Motoplast-65, а также полиэтилен и пропилен (компания Appolobit, Словакия). В Италии в модифицированном нефтяном битуме используются, как правило, эластомеры (по типу PR-PLAST) и атактический полипропилен. Так, компания Shell производит модификатор Kraton D, который также используется в Российской Федерации. В целом опыт использования высокомолекулярных соединений в дорожной отрасли положителен, дорожным покрытиям придаются высокие эксплуатационные свойства. Однако сложность технологического процесса, относительно высокая стоимость конечного продукта, нестабильность качества исходного вяжущего ограничивают их применение [13].

Альтернативным техническим решением, по отношению к полимербитумам, является применение резиновой крошки, полученной из отработанных грузовых шин, в качестве добавки в дорожный битум. Преимущество ее использования в составе асфальтобетонов обеспечивается [12] практически неограниченным запасом сырья, попутным решением проблем ресурсосбережения и улучшения экологической ситуации, сравнительно невысокими затратами на ее производство. Внесение резиновой крошки в битумную смесь возможно «сухим» и «мокрым» способами. Первый способ

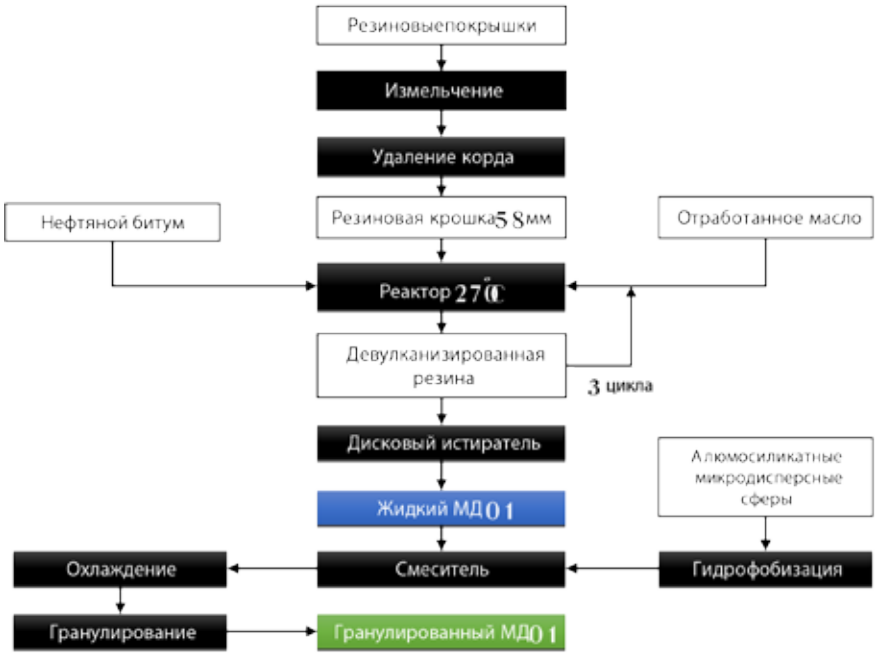


Рисунок 2. Технологическая схема получения модификатора для повышения технических и эксплуатационных свойств нефтяных дорожных битумов

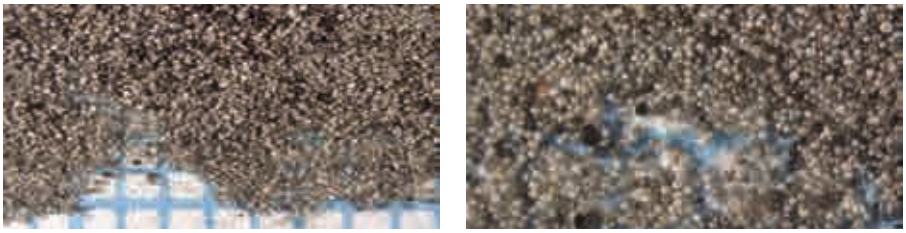


Рисунок 3. Алюмосиликатные, гидрофобизированные микросферы класса крупности -0,1+0,071 мм

считается устаревшим и заключается в добавлении крошки в виде минерального порошка. Более прогрессивными являются «мокрые» способы, при которых модификатор вводится в битум [17]:

- в химически модифицированном виде в присутствии определенных реагентов, например, окиси свинца и цинка;
- термомеханическим способом с предварительной девулканизацией резиновой крошки и последующим перемешиванием смеси при высокой температуре.

Крупность резиновой крошки, используемой в России и за рубежом для модифицирования дорожных битумов, существенно различается. Так, в российских технологиях «УНИРЕМ», «БИТРЕК» и «БРК-ИГУ» используется крошка 0,9 мм, 3 мм, 5-7 мм соответственно. В США, в странах Евросоюза, Южной Америки вопросам повышения качества дорожного полотна на основе модифицированных резиновой крошкой нефтяных битумов посвящено множество исследований [1, 5, 6, 13, 14].

В Европе в основном используется резиновая крошка крупностью 1,25-2,0 мм. В отношении использования более мелких фракций резиновой крошки (менее 1 мм) мнения специалистов разнятся. Исследования показывают как положительные, так и отрицательные результаты влияния добавки модификатора на качество конечного композита [9]. Успешный практический опыт применения резиновой крошки при строительстве и ремонте автомобильных дорог демонстрируют в своей работе ряд компаний, например, Viafrance (Франция), Massenza (Италия), Crafko (США). При этом выявлено две основные проблемы использования резиновой крошки для изготовления резинобитумного вяжущего:

1. Экономическая — удорожание битума вследствие необходимости получения крошки небольших фракций;
2. Технологическая — эффективность смешения резиновой крошки с битумом для получения выдержанного по качеству, в первую очередь по показателю эластичности, резинобитумного вяжущего.

Таблица 1. Стоимостные и физико-механические показатели дорожного нефтяного битума БНД 90/130 и модифицированного битума

Показатели	БНД 90/130 (исходный)*	0,7 БНД 90/130 + 0,3М**
Стоимость вяжущего, руб./кг	25	17,5
Температура размягчения, °С	45	55
Температура хрупкости, °С	-18	-30
Эластичность, %	0,5	50
Колееобразование, мм	30	5

Примечание:
* — битум нефтяной дорожный с пенетрацией от 9 до 13 мм с использованием специальной калиброванной иглы;
** — смесь битума и модификатора в пропорции 70% на 30%.

Рисунок 4. Гранулированный модификатор битума

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является разработка экономически эффективных технологических решений по производству модификатора для дорожных нефтяных битумов на основе использования переработанных автомобильных покрышек и отработанных масел.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технологические решения по изготовлению модификатора для дорожных нефтяных битумов на основе использования переработанных автомобильных покрышек, углеводородов и микродисперсных алюмосиликатов представлены на *рисунке 2*. Данные решения разработаны и проверены в лаборатории Технологий использования вторичных ресурсов Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. Решения опробованы на малой экспериментальной установке, получены положительные технологические и экономические результаты.

Основными технологическими звеньями разработанной схемы являются:

- механическое измельчение покрышек для получения резиновой крошки класса крупности 5-8 мм;
- удаление металлического или текстильного корда;
- перемешивание резиновой крошки с отработанным автомобильным маслом и легкоплавким битумом в емкости с обогревом в течение 3 часов при заданной температуре для девулканизации резины;
- измельчение нагретой смеси на дисковом истирателе для получения тонкодисперсного девулканизата резины.

Использование микродисперсных алюмосиликатных сфер было введено в процесс при разработке технологии по производству гранулированного модификатора длительного хранения. При подборе микродисперсной добавки в жидкий модификатор были опробованы известковая мучка, активированный минеральный порошок, применяемый при производстве цемента, и алюмосиликатные микросферы (далее АМС) (*рисунок 3*).

АМС получены в лаборатории «Технологии использования вторичных ресурсов» при разработке комплексной переработки золошлаковых отходов, образующихся при сжигании угля на тепловых электрических станциях [19, 20, 23]. По сравнению с другими наполнителями микросферы оказались предпочтительнее по таким характеристикам как равномерность гранулометрического состава и пластичность смеси.

Были опробованы два вида микросфер — сухие и гидрофобизированные. Гидрофобизация микросфер производилась на специальной установке в горячих газах тяжелых углеводородов. После обработки газами углеводородов микросферы перемешивались с жидким модификатором равномерно по всему объему, за более короткое время и без образования непропитанных модификатором гранул. Дополнительно было опробовано использование гидрофобизированных АМС в качестве микродисперсного наполнителя в асфальте. Получены предварительные положительные результаты по снижению расхода битума и улучшению характеристик асфальта в сравнении с применением при его производстве известковой мучки, активированного минерального порошка и цемента.

Конечным продуктом предложенной технологической схемы является гранулированный битумный модификатор, фотография которого представлена на *рисунке 4*.

Такой модификатор можно хранить до полугода (испытанный в лаборатории срок) без потери потребительских свойств, перевозить на значительные расстояния, формировать производственные запасы при дорожных работах.

Для оценки эффективности применения модификатора в дорожном строительстве проводились испытания, в ходе которых в состав широко распространенного в Российской Федерации дорожного нефтяного битума марки БНД 90/130 (применяется для регионов с холодным климатом) вносился модификатор в объеме до 30%, взамен равной части битума. Результаты проведенных испытаний представлены в *таблице 1*.

По представленным в таблице результатам можно отметить изменение следующих показателей битума БНД 90/130:

- повышение температуры размягчения на 18%;
- повышение температуры хрупкости более чем на 60%;
- повышение эластичности резинобитумного вяжущего на порядок (в 10 раз);
- уменьшение колееобразования более чем на 80%.

Кроме того, использование вторичного сырья при производстве вяжущего и модификатора привело к снижению стоимости вяжущего на 30% по сравнению с исходным битумом.

Предложенная технология позволяет создавать модификаторы битумов для регионов с различным климатом — за счет варьирования содержания основных компонентов смеси при производстве модификатора. Так, увеличение доли нефтяного битума, являющегося источником асфальтенов, позволяет:

- повысить температуру размягчения;
- повысить прочность;
- обеспечить стабильную работу дорожного полотна при высоких температурах.

Увеличение доли переработанной

резины, являющейся источником смол, позволяет:

- повысить пластичность;
- повысить адгезию;
- повысить вязкость;
- расширить рабочий температурный диапазон.

Увеличение доли отработанных нефтяных масел позволяет:

- понизить вязкость;
- повысить пластичность;
- обеспечить стабильную работу дорожного полотна при низких температурах.

Для изготовления и проверки свойств модифицированного вяжущего в реальных условиях была изготовлена опытная установка для производства модификатора производительностью 40 кг в сутки.

ВЫВОДЫ

По результатам прикладных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная технология производства модификатора МД01 разработана с использованием 70% вторичных ресурсов (резиновых покрышек, отработанного масла, алюмосиликатных микродисперсных сфер) и позволяет решать проблему утилизации отходов.
2. Полученный модификатор можно использовать для любых дорожных битумов. Внесение модификатора в состав битума приближает его по качеству к полимербитуму и увеличивает срок службы дорожного покрытия в два раза — без увеличения себестоимости асфальта.
3. Предложенная технология позволяет получать битумы с заранее заданными характеристиками для использования при производстве асфальта для регионов с различным климатом. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abayomi, M.E., Olumoyewa, A.D., Adebayo, B.O., John, R.A.L., Raphael, O.D., 2019. Development and performance evaluation of crumb rubber – Bio-oil modified hot mix asphalt for sustainable highway pavements. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 10(2), 273-287.
2. Airey, G., 2004. Fundamental binder and practical mixture evaluation of polymer modified bituminous materials. International Journal of Pavement Engineering, 53, 137-151. https://doi.org/10.1080/10298430412331314146
3. Belyaev, P.S., Malikov, O.G., Merkulov, S.A., Polushin, D.L., Belyaev, V.P., 2012. On the issue of integrated solutions to environmental problems and the quality of pavements. Questions of modern science and practice. University V.I. Vernadsky. 39, 184–189.
4. Belyaev, V.P., Malikov, O.G., Belyaev, V.P., Merkulov, S.A., Belyaev, P.S., Polushkin, D.L., Frolov, V.A., 2013. Improving Energy Efficiency of Bitumen Modification with Reclaimed Crumb Rubber. Components of Scientific and Technological Progress, 1 (16), 75-77. https://doi.org/10.1063/1.4998916
5. Bilema, M.A.M., Aman, M.Y., Ahmad, K.A., 2019. Investigating the Rheological and Physical Properties for Unaged of Crumb Rubber-Modified Binders Containing Warm Mix Asphalt Additive. Lecture Notes in Civil Engineering, 9, 1389-1400. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6_100
6. Blazejowski, K., Gawdzik, B., Matynia, T. 2018. Effect of Recycled Rubber on the Properties of Road Bitumen. Journal of Chemistry, 8759549. https://doi.org/10.1155/2018/8759549
7. Cortizo, M.S., Larsen, D.O., Bianchetto, H., Alessandrini, J.L., 2004. Effect of thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts. Polymer Degradation and Stability, 86, 275–282. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.05.006
8. Duhovny, G.S., Karpenko A.V., 2018. Asphalt concrete modified by rubber crumbs in transport construction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 327(3), 032019. https://doi.org/10.1088/1757-899x/327/3/032019
9. Dyakov, K. A. Cherskov, R. M., 2011 Rubberized asphalt concrete mixtures. Road technology development center. http://crdtech.ru/index.php/publications/articles/7-2011-06-23-17-54-16
10. Ferro, G., Tulliani, J.M., Lopez, A., Jagdale, P., 2015. New cementitious composite building material with enhanced toughness. The oretical and applied fracture mechanics, 76, 67–74. https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2015.01.005
11. Khatijah Abu Bakar, S., Ezree Abdullah, M., Mustafa Kamal, M., Sabri, S., Abdullahi Ahmad, K., 2018. The effect of crumb rubber on the physical and rheological properties of modified binder. Journal of Physics: Conference Series. 1049 (1), 012099. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1049/1/012099
12. Khristoforova, A.A., Filippov, S.E., Sokolova, M.D., 2014. Mechanical activation of crumb rubber as a method of obtaining rubber-bitumen materials with improved performance properties. Vestnik VSGUT, 6(51), 61-66.
13. Kotlyarevsky, A.A., Nezamaeva, I.V. 2017. Asphalt mixes based on modified bituminous binder. Engineering Bulletin of the Don, 2 (45), 144-150.
14. Liu, G., Liang, Y., Chen, H., Komacka, J., Gu, X., 2019. Influence of the chemical composition and the morphology of crumb rubbers on the rheological and self-healing properties of bitumen. Construction and Building Materials, 210, 555-563. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.205
15. Loderer, C., Partl, M.N., Poulikakos, L.D. 2019. Effect of crumb rubber production technology on performance of modified bitumen. Construction and Building Materials, 191, 1159-1171. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.046
16. Lu X., Isacsson, U., 1998. Chemical and rheological evaluation of ageing properties of SBS polymer modified bitumens. Fuel, 77(9-10), 961–972. https://doi.org/10.1016/s0016-2361(97)00283-4
17. Maryev, V.A., Perlina, J.V., Rudensky, A.V., Blind, B.M. 2015. Resource conservation in the construction and repair of road asphalt pavements due to the effective use of crumb rubber. Roads and bridges, 1(33), 334-344. http://rosdornii.ru/files/28-07-2015/24.pdf
18. Ribeiro, M.C.S., Sousa, S.P.B., Novoa, P.R.O., Pereira, C.M., Ferreira, A.J.M., 2014. Fire retardancy enhancement of unsaturated polyester polymer resin filled with nano and micro particulate oxide additives. International conference on manufacturing, optimization, Industrial and material Engineering (MOIME 2014), 58, 012020. https://doi.org/10.1088/1757-899x/58/1/012020
19. Shamray, E.I., Taskin, A.V., Ivannikov, S.I., Ivanov, V.V., Yudakov A.A., 2016. Micro-mineral composition of ash and slag waste of CHP-2 in the city of Vladivostok and the prospects for their use. Research Journal Of Applied Sciences, 11(12). 1572-1577. https://www.medwelljournals.com/abstract/?doi=rjasci.2016.1572.1577
20. Shamray, E.I., Taskin, A.V., Ivannikov, S.I., Yudakov A.A., 2016. Possibilities of complex recycling of wastes of the energy enterprises of Primorsky Krai International. Journal of Energy for a Clean Environment, 17(2–4), 99–111. https://doi.org/10.1615/interjenercleanenv.2016018771
21. Sindu, B.S., Sasmal, S., 2015. Evaluation of mechanical characteristics of nano modified epoxy basedpolymers using molecular dynamics. Computational materials science. 96, 146–158. https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.09.003
22. STO 61595504-002-2010. 2011. Composite material "UNIREM-001" based on an active rubber powder. Technical conditions.
23. Taskin, A.V., Grebenyuk, I.V., Elkin O.I., 2019.Composition and Structure of Microspheres in Ash and Slag Wastes on the Far East of the Russian Federation (Case of the CHPP-2 plant, Vladivostok). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 272(3), 032240. https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032240

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ
зернового состава дорожного цементобетона

В мае 2016 года премьер-министром РФ Дмитрием Медведевым была утверждена стратегия развития промышленности стройматериалов, в которой говорится о том, что цементобетонные дороги долговечнее асфальтобетонных в 5-6 раз. Их срок службы может достигать 50 и более лет, а высокая долговечность бетона позволяет сократить расходы на содержание и ремонт дорог до минимума. Профильным организациям предписано оценить «целесообразность увеличения объемов строительства автомобильных магистралей с использованием цементобетонного покрытия».

Д.С. Смирнов, к.т.н., доцент кафедры строительных материалов КГАСУ;
Т.Р. Гараев, начальник лаборатории ЖБИ «Казметростроя»;
Э.Н. Азаревич, Д.Р. Гарипова, А.С. Лобанова

Об этом же, в рамках двадцатого заседания Государственного совета Республики Татарстан, в своем послании говорит Президент Республики Рустам Минниханов: «Министерству транспорта и дорожного хозяйства совместно с предприятиями республики необходимо продолжить работу по внедрению новых региональных стандартов на дорожные битумы и асфальтобетоны, а также эффективных инновационных материалов, конструкций и технологий, в том числе для увеличения межремонтных сроков службы. Необходимо изучить практику и перспективы строительства в республике дорог с цементобетонным покрытием».

Бетон широко применим в транспортном, промышленном, гидротехническом, энергетическом, шахтном, жилищно-коммунальном, сельскохозяйственном и других видах строительства.

По области применения бетоны различают: обычные бетоны для железобетонных конструкций; гидротехнический бетон для плотин, шлюзов, облицовки каналов; бетон для ограждающих конструкций; бетоны специального назначения жароупорный, кислотостойкий, бетоны для тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий.

Существует четыре типа дорожных одежд: капитальные, облегченные, переходные и низшие, которые в свою очередь подраз-

Таблица 1. Зерновой состав ПГС

Размер сит, мм	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14
Частные остатки, %	0	2,7	3,2	6	9,2	7,9	4,8	5,8	29,6	26,5	4,3
Полные остатки, %	0	2,7	5,9	11,9	21,1	29	33,8	39,6	69,2	95,7	100
Прошло через сито, %	100	97,3	94,1	88,1	78,9	71	66,2	60,4	30,8	4,3	0

Таблица 2. Зерновой состав песка

Размер сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14
Частные остатки, %	10,0	6,1	7,4	37,5	33,6	5,4
Полные остатки, %	10,0	16,1	23,4	61,0	94,6	100,0
Прошло через сито, %	90,0	83,9	76,6	39,0	5,4	0,0

Таблица 3. Характеристики ПГС

№ п/п	Наименование показателей	Требования для ПГС	Фактическое
1	Содержание гравия в смеси, % по массе	10-90	21,1
2	Наибольшая крупность зерен гравия, мм	10-70	20
3	Содержание в смеси пылевидных, глинистых и илистых частиц по массе, % не более	5	2,6
4	Глины в комках, %	1	0,2
5	Содержание зерен слабых пород по массе, % не более	10	4
6	Модуль крупности песка	1,0-3,0	2,1
7	Полный проход через сито №0,16 по массе, % не более	20	5,4
8	Насыпная плотность, т/м^3	не норм.	1,60
9	Влажность, %	не норм.	3,5
10	Марка по прочности	не норм.	М-1000

Внешний вид образцов составов 35 и 36

Состав №	Полный остаток на ситах, %									Rсж, кгс/см²
	Размер сит, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	дно	
1	0	0	0	50	50	50	50	50	100	184
2	10	30	44	70	76	82	87	88	100	388
3	0	0	0	70	70	70	70	70	100	338
4	10	30	44	70	70	70	70	70	100	319
5	10	30	44	70	76	76	76	88	100	361
6	0	0	0	70	76	82	87	88	100	426
7	10	30	44	50	50	50	50	50	100	220
8	0	0	0	50	62	72	80	84	100	328
9	10	25	38	60	72	80	86	90	100	388
10	0	0	0	40	52	63	72	78	100	291
11	10	20	30	50	62	72	80	86	100	368
12	0	0	0	30	40	50	60	70	100	264
13	10	15	25	40	52	63	72	80	100	312

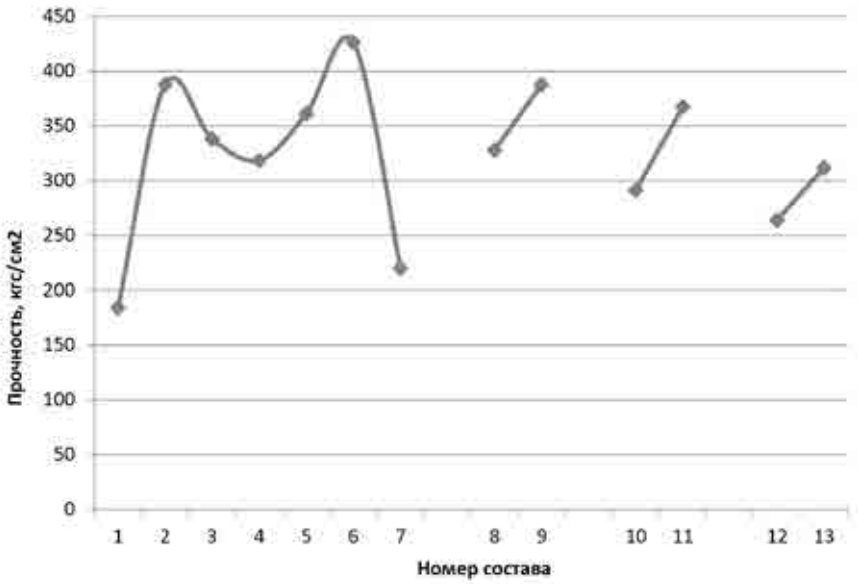


Рисунок 1. Предел прочности на сжатие $R_{сж7\ суток}$, кгс/см²

деляются по виду покрытий и оснований. Капитальные — цементобетонные монолитные; железобетонные, монолитные и сборные или из предварительно напряженного железобетона; армобетонные сборные и монолитные; асфальтобетонные. Облегченные — асфальтобетонные из щебня, гравия и песка, обработанных вяжущими. Переходные — щебеночные и гравийные из грунтов и каменных материалов, обработанных вяжущими или армированных геосинтетическими материалами. Низшие — из грунтов, армированных геосинтетическими материалами или улучшенных добавками.

По сопротивлению нагрузкам от транспорта и климатического воздействия дорожные одежды подразделяют на жесткие и нежесткие.

Конструкции жестких дорожных одежд, несомненно, обладают рядом преимуществ перед конструкциями нежестких. Прежде всего, это связано с высоким сроком службы такого покрытия, как правило, в 4-5 раз выше, чем у традиционного асфальтобетонного, и может достигать 25-40 лет. Кроме того, цементобетон обладает и другими очевидными преимуществами, среди которых следует отметить технологичность, прочность, износостойкость, стабильность свойств при температурных воздействиях и др. С течением времени, за срок службы, прочность цементобетона увеличивается (в среднем на 10-20%), несмотря на интенсивное движение транспортных средств и агрессивное воздействие климатических факторов. Соответственно, в современных цементобетонных покрытиях исключено образование колеи от пластических деформаций или износа, тогда как колейность является одним из наиболее распространенных дефектов современных дорог с асфальтобетонным покрытием в России [1-4].

Тем не менее, количество дорог с таким покрытием в России невелико. Одной из причин такого положения, по мнению ряда специалистов, явился дефицит качественного цемента нормированного состава, доступность и невысокая цена на битум. В современных условиях одной из главных причин, сдерживающих широкое применение дорожных одежд с монолитными цементобетонными покрытиями, называют еще и невысокий уровень технологической культуры строительного производства. В конце 1980-х на VIII Всесоюзном совещании по основным проблемам дорожного строительства устройство таких покрытий было признано нецелесообразным, поскольку обеспечить долговечность, соответствующую их стоимости, очень трудно. В 1982 году был отменен ГОСТ 8424-72 «Бетон дорожный». Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог ВСН 139-80 не пересматривалась в течение многих лет. Ведущие подрядные организации России, имеющие многолетний опыт строительства жестких покрытий, вынуждены строить бетонные дороги за рубежом.

До сих пор в России количество дорог с цементобетонным покрытием по разным данным составляет от 2,4 до 3% от общей сети. В то время как в странах Европейского союза (Германии, Бельгии) и в США эти цифры больше. И применяют такое покрытие, главным образом, на напряженных маршрутах: магистральных дорогах, подходах к морским портам, аэропортам и большим городам.

Начиная с 2002 года на различных научных конференциях, семинарах и профильных совещаниях говорится о необходимости увеличения объемов строительства дорог с цементобетонным покрытием, а также совершенствования технологий строительства, ремонта и реконструкции таких дорог. Так,

Состав №	Полный остаток на ситах, %									Rсж, кгс/см²
	Размер сит, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	дно	
14	0	0	0	50	50	50	50	72	100	223
15	10	25	38	60	72	80	86	90	100	306
16	10	25	38	60	60	60	60	80	100	277
17	10	25	38	60	72	72	72	86	100	400
18	0	0	0	60	72	80	86	90	100	355
19	10	25	38	50	50	50	50	72	100	226
20	0	0	0	40	40	40	40	66	100	170
21	10	20	30	50	62	72	80	86	100	401
22	10	20	30	50	50	50	50	75	100	201
23	10	20	30	50	62	62	62	81	100	287
24	0	0	0	50	62	72	80	86	100	348
25	10	20	30	40	40	40	40	66	100	190

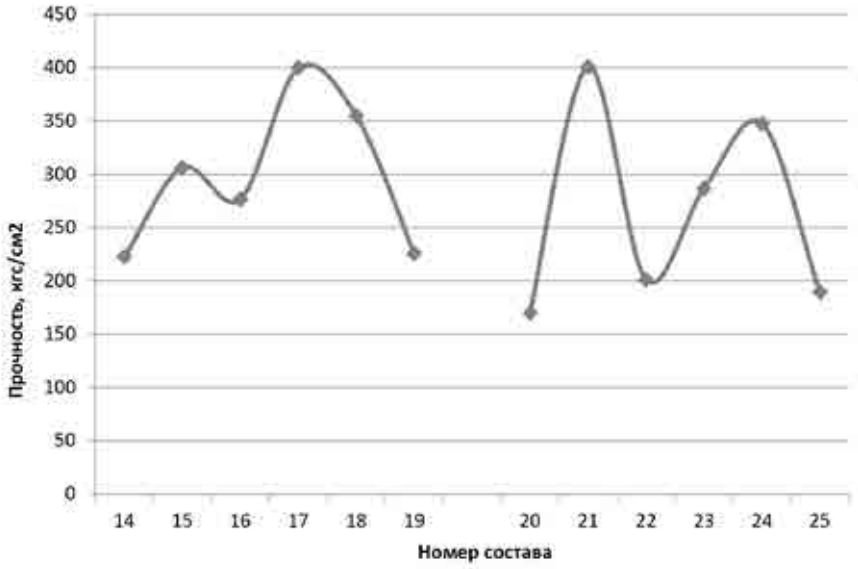


Рисунок 2. Предел прочности на сжатие $R_{сж7\ суток}$, кгс/см²

в частности, на конференции, проводимой в МАДИ, рекомендовано разработать предложения по разделу целевой программы «Модернизация автомобильных дорог России до 2025 года», направленные на расширение масштабов строительства и реконструкции автомобильных дорог с применением цементобетона [5]. Известно, что для обеспечения высоких эксплуатационных показателей дорожного бетона необходимым условием является оптимизация гранулометрического состава заполнителя, обеспечивающего наиболее высокую плотность смеси [6-10]. Сотрудники Казанского государственного архитектурно-строительного университета имеют достаточный опыт в проектировании и оптимизации составов бетонов различного назначения, в том числе для транспортного строительства. Среди реализованных проектов следует отметить разработку состава и технологии производства бетона для тоннельной обделки Казанского метрополитена [11-13]. Для эксперимента были определены 42 состава, в основе которых зерновые составы асфальтобетонов по ГОСТ 9128, песчано-гравийных смесей по ГОСТ 23558 и зерновые составы мелкого заполнителя для тяжелого бетона по ГОСТ 26633. Цель исследования: определение оптимальных зерновых составов.

Применяемые материалы:

1. Портландцемент ПЦ 500-Д0-Н «Мордовцемент»;
2. В качестве заполнителя применялся местный минеральный материал — песчано-гравийная смесь.

Песчано-гравийная смесь предварительно была рассеяна на фракции 0-0,315 мм, 0,315-0,63 мм, 0,63-1,25 мм, 1,25-2,5 мм, 2,5-5 мм, 5-10 мм, 10-15 мм, 15-20 мм, 20-25 мм. Бетонная смесь готовилась с постоянным расходом цемента 350 кг/м³. Испытания проводились на образцах-кубах 10х10х10 см в возрасте 7 суток.

Составы 1-2 — это верхний и нижний интервал зернового состава высокоплотного асфальтобетона по ГОСТ 9128. Составы 3-7 — различные вариации составов 1-2. Составы 8-9, 10-11 и 12-13 — это непрерывные зерновые составы плотных асфальтобетонов типов А, Б и В соответственно. Составы 14-15 и 20-21 — верхний и нижний интервал прерывистого зернового состава плотного асфальтобетона типов А и Б, составы 16-19 и 22-26 — вариации составов 14-15 и 20-21 соответственно. Составы 26-27 — верхний и нижний интервал зернового состава песчано-гравийных смесей по ГОСТ 23558, для зерен максимальной крупностью 20 мм. Составы 28-34 — разные варианты усреднения составов 1-2, 8-9, 10-11, 12-13, 14-15, 21-22 и 26-27. Состав 35 — 30% фракции 5-10 мм и 70% фракции 0-0,315 мм. Состав 36 — 80% фракции 20-25 мм и 20% фракции 2,5-5 мм. Составы 37-41 — зерновые составы мелкого

Состав №	Полный остаток на ситах, %									Rсж, кгс/см²
	Размер сит, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	дно	
26	0	10	20	35	50	60	70	75	100	267
27	10	25	40	65	80	85	90	95	100	331
28	0	0	0	30	40	40	40	50	100	192
29	10	30	44	70	80	85	90	95	100	368
30	0	1	3	42	49	55	60	71	100	251
31	10	23	35	56	68	76	83	88	100	297
32	5	12	19	49	59	66	72	79	100	300
33	5	15	22	50	60	62,5	65	72,5	100	290
34	5	12	19	49	58,5	65,5	71,5	79,5	100	362
35	0	0	0	30	30	30	30	30	100	133
36	80	80	80	80	100	100	100	100	100	209
37	0	0	0	0	0	5	20	35	100	76
38	0	0	0	0	10	10	30	65	100	107
39	0	0	0	0	10	25	55	80	100	181
40	0	0	0	0	20	45	70	90	100	259
41	0	0	0	0	30	55	80	100	100	259
42	0	0	0	0	0	0	0	100	100	83

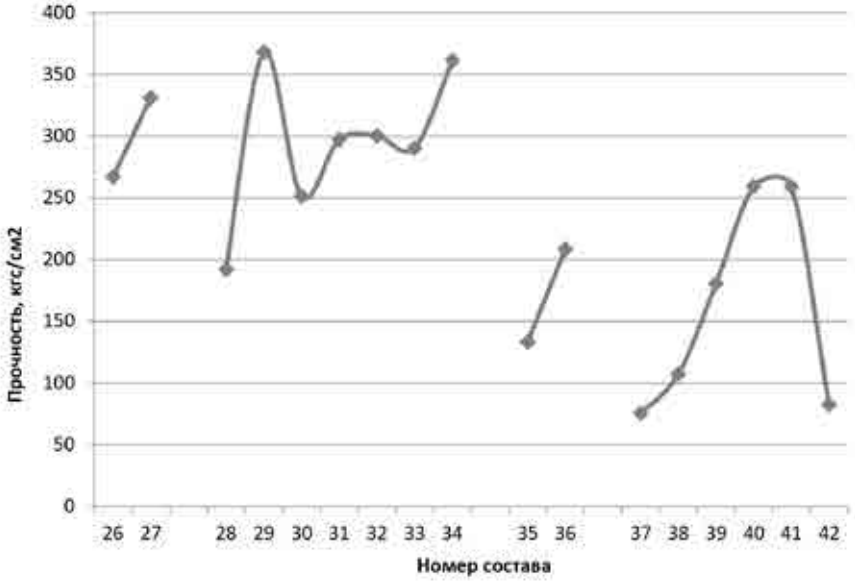


Рисунок 3. Предел прочности на сжатие $R_{сж7\ суток}$, кгс/см²

заполнителя для тяжелого бетона по ГОСТ 26633. Состав 42 — 100% фракции 0,315-0,63 мм.

По результатам испытаний (*рисунок 1*) видно, что при увеличении полного остатка на сите 5 мм в составах 1-2, 8-9, 10-11 и 12-13 прослеживается и увеличение прочности. Та же зависимость прослеживается для составов 14-15, 20-21, 26-27, 28-29 и 35-36 (*рисунки 2 и 3*).

Увеличение полных остатков на ситах 0,315, 0,63, 1,25 и 2,5 в составах 37-41 также приводит к увеличению прочности.

По результатам эксперимента были определены семь оптимальных составов (состав 2, 6, 17, 21, 29, 34, 40).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизация составов экспериментальным способом позволила добиться требуемых показателей прочности бетона в проектном возрасте. Показана возможность использования местных песчано-гравийных смесей для получения бетона классом более В40. Данный метод подбора состава повысил прочность бетона на 15-20% по сравнению с бетоном, подобранным по методу абсолютных объемов. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Носарев. «Проблема дорог в России». Строительный эксперт. 10.01.2011.
2. И.А. Войлоков. «Дороги России: асфальт или бетон?». Еврострой, №64. - 2011.
3. В.В.Ушаков. «Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве». Строительный эксперт. МАДИ. 28.02.2003.
4. Б.С. Радовский. «Строительство дорог с цементобетонными покрытиями в США: новые тенденции». Дорожная техника. 2010. (InternetLaboratories, Inc., США.)
5. В.А. Попов. Тезисы доклада «Развитие технологий строительства и ремонта цементобетонных покрытий». Росавтодор., М. - 2010.
6. Семинар «Актуальные вопросы строительства и эксплуатации цементобетонных покрытий автомобильных дорог». Росдортехнология. Новосибирск. 25.09.2008.
7. Корюков В.П., Горелик А.А. Опыт проектирования и строительства надежных конструкций дорожных одежд в сельской местности. - М., 1989. - 54 с. - (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР; Вып. 6).
8. Suni H. Concrete pavements in Seasonal Frost Conditions. Finnish Experience of the Durability and Economy of a Concrete Pavement Built in 1990 in Northern Finland: 7th International Symposium on Concrete Roads, Vienna, 3-5 October 1994. Session 1. - Vienna, 1994. - P. 137-141.
9. П.П. Петрович, А.В. Дмитричев. Обзорная информация. Автомобильные дороги и мосты. МАДИ-ГТУ. № 6. - 2004.
10. KausayT. Betonkeszíteszuzottkoadalekanyaggal // 13Szilikatipesszilikattudkonf.-Budapest, jun. 1-5, 1981.-vol.2.- P.62-68.
11. Parka R, Hansen T. On the correlation of strength andelasticity of concrete to Iosangeles abrasion loss and crushingvalue of indonesian river gravels // Cement and Concrete Aggregates, 1983.-№1.-P.28-32.
12. Р.З. Рахимов, М.Г. Габидуллин, Д.С. Смирнов. Опыт подбора состава и технология твердения высококачественных бетонов для блоков кольца обделки Казанского метрополитена. Вестник отделения строительных наук. РА АСН. Москва, Вып. 3. 2000, с. 158-162.
13. Р.З. Рахимов, М.Г. Габидуллин, М.М. Рахимов, Д.С. Смирнов, Г.А. Клементьев, С.Л. Глухих. Освоение производства блоков колец обделки тоннелей Казанского метро на базе завода ЖБИ «Казметростроя». Всероссийская конференция по проблемам бетона и железобетона «Бетон на рубеже третьего тысячелетия». Ассоциация «Железобетон». Москва. 2001, кн. 2, с. 1143-1152.
14. Д.С. Смирнов, Р.З. Рахимов, М.Г. Габидуллин, Р.М. Гильфанов. Разработка и реализация программного комплекса «Concrete» для проектирования и корректировки высококачественных бетонов. Бетон и железобетон. НИИЖБ. Москва. 2002, №6, с. 2-5.

ФОСФОГИПС — дорожный материал с уникальными свойствами

Фосфогипс используется в строительстве дорог по всему миру в различных климатических условиях, в частности, с периодами дождей/засухи и замораживания/оттаивания. Для экономии добываемых природных ресурсов, традиционно применяемых в дорожном строительстве, используют и смеси вторичных техногенных материалов, фосфогипс с золошлаковыми материалами.

Б.В. Левин, ПАО «ФосАгро»;
Е.Л. Торочков, АО НИУИФ им. проф. Я.В. Самойлова

Опыт применения фосфополугидрата и фосфодигидрата как в чистом виде, так и в смесях есть во всем мире. Дороги с использованием фосфогипса в основании построены в России, Украине, Литве, Франции, Финляндии, Китае, ЮАР, США. Широкое использование фосфополугидрата сульфата кальция в СССР началось с 1980 года. Экспериментальные и полноправные дороги с использованием фосфополугидрата были построены в Московской и Ростовской областях, в Литве, Украине, Узбекистане и Туркменистане.

Проведенные обследования (после 3-летнего срока эксплуатации) дорожных конструкций, где слой фосфополугидрата выполняет функцию основания, показали, что на покрытиях какие-либо дефекты отсутствуют. Увеличение толщины слоя ФПГ при прочих равных условиях с 15 до 20 см ведет к возрастанию общего модуля упругости конструкции с 207 до 345 МПа. Испытание кернов, извлеченных из фосфогипсовых слоев, показало, что при плотности в сухом состоянии 1,25-1,35 г/см^3 прочность водонасыщенных образцов составила 2-2,5 МПа, коэффициент морозостойкости 0,85-0,90 [6].

В ряде независимых зарубежных исследований было установлено, что фосфогипс, смешанный с 5-7% цемента, а в некоторых случаях с летучей золой, приобретал более полезные свойства как для строительных целей, так и для экономически эффективного управления сроком службы. Прокладка «пилотных» дорог, построенных таким образом (для оценки методологии), была успешной в климатических районах с влажными и засушливыми сезонами — таких, как Флорида (США) и Южная Африка, и в регионах с периодами замораживания-оттаивания, в Финляндии [2].

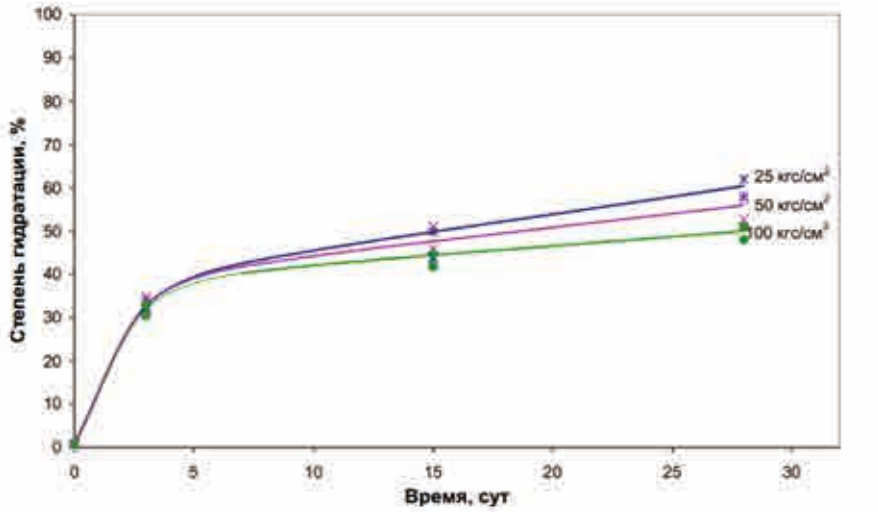


Рисунок 1. Влияние давления прессования на процесс гидратации полугидрата сульфата кальция

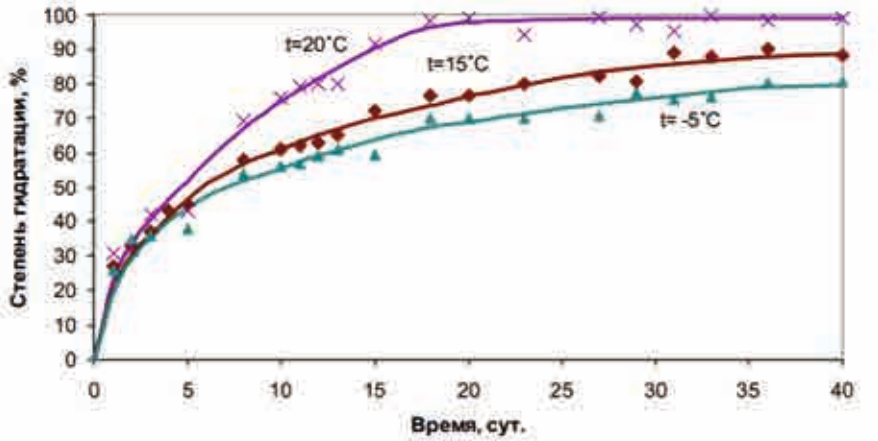


Рисунок 2. Влияние температуры на гидратацию фосфополугидрата

Проведенные оценки показывают, что в среднем на строительство 1 км дороги расходуется 25000 тонн фосфогипса, что при растущих объемах строительства дорог в РФ позволило использовать значительную долю от его годового образования как вторичного ресурса производства фосфорсодержащих удобрений. Существующие экспериментальные исследования показывают, что использование фосфогипса в качестве материала для дорожного покрытия значительно дешевле, если рассматривать стоимость полного срока службы. Во Флориде в районах, близлежащих к большим захоронениям фосфогипса, стоимость

дорожного строительства оказалась равна почти одной трети стоимости дорожного покрытия с использованием обычного материала. Эти оценки не учитывают дополнительной выгоды от сохранения первичных ресурсов и сопутствующих видов использования вторичных ресурсов, с потенциальной экономией естественных ресурсов до двух третей [2].

Наиболее перспективным с точки зрения применения в строительстве дорог материалом является фосфополугидрат сульфата кальция — благодаря его способности схватываться на открытом воздухе с образованием прочной монолитной массы. При переработке хибинского апатита после отделения и промывки от остатков фосфорной кислоты фосфополугидрат сульфата кальция является термодинамически нестабильным веществом и обладает вяжущими свойствами, что обусловлено его переходом в более стабильную дигидратную форму. При этом уплотненный материал схватывается за счет образования новой кристаллической фазы и одновременно подсыхает, т.к. свободная влага, которая изначально присутствует в фосфополугидрате, переходит в кристаллическую форму.

Свежий фосфополугидрат сульфата кальция, образующийся при переработке хибинского апатита при стабильной работе производства экстракционной фосфорной кислоты, имеет следующие основные показатели:

Общее влагосодержание — 28-30%;

Содержание кристаллизационной воды — 5-7%;

Содержание P_2O_5, общее — 1-1,5%.

Свежий фосфополугидрат сульфата кальция из-за наличия пассивирующих пленок на поверхности его кристаллов, затрудняющих их растворение, обладает замедленной скоростью гидратации и удлиненными сроками схватывания. Переход фосфополугидрата в форму дигидрата сульфата кальция при его естественной влажности (~30%) завершается примерно через 500 часов. Время начала схватывания ФПГ зависит от его влажности и может изменяться в широких пределах.

На *рисунке 1* показано влияние давления прессования на процесс фазового перехода ПСК в ДСК. Установлено, что в течение 28 суток степень гидратации образцов, полученных при разном давлении, имеет близкие значения. В исследуемом интервале давлений наблюдается небольшое снижение скорости гидратации при увеличении давления, что объясняется удалением свободной воды в процессе прессования — при большем значении давления выделяется больше свободной воды.

Таблица 1. Значения показателей предела прочности фосфополугидрата при сжатии в водонасыщенном состоянии

Марка по прочности	Предел прочности, МПа, в возрасте 28 сут. Класс WIM системы		Предел прочности на раскалывание, МПа, в возрасте 28 сут.	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа, в возрасте 28 сут.
	7	28		
20	1-2	2-4	0,3-0,5	0,5-1,0
40	2-3	4-6	0,5-1,0	1-2
60	3-4	6-7,5	1,0-1,5	2-3
75	4-5	7,5-10	1,5-2,0	3-4

Таблица 2. Морозостойкость фосфополугидрата

Среднемесячная отрицательная температура наиболее холодного месяца года, град. С, не менее	Марка морозостойкости по категории автомобильной дороги		
	I-II	III	IV-V
0-5	15	10	-
5-15	25	15	10
15-30	25	25	15

Таблица 3. Модули упругости оснований из свежего фосфополугидрата

Модуль упругости при расчете по ВСН 46-83, МПа	Предел прочности, МПа	
	При сжатии	При изгибе
400	4-6	1-2
600	6-7,5	2-3
700	7,5-10	3-4

Для устройства оснований дорожных одежд рекомендуется применять свежий фосфополугидрат, уплотненный до максимальной плотности, имеющий значения показателей предела прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, приведенные в *таблице 1*.

Морозостойкость свежего фосфополугидрата, применяемого в основании дорожной одежды, в зависимости от категории дороги и климатических условий, должна соответствовать требованиям, приведенным в *таблице 2*.

Модули упругости оснований из свежего фосфополугидрата рекомендуется принимать по *таблице 3*.

Оптимальная влажность фосфополугидрата, обеспечивающая получение максимальной плотности при уплотнении, ориентировочно составляет 26-28% и должна уточняться перед началом строительства.

Важно понимать безопасность использования фосфополугидрата при строительстве дорог. По результатам инструментального мониторинга воздействия экспериментальной дороги в Саратовской области на окружающую среду нарушений не выявлено. Возможное воздействие фосфогипса оценивалось по распространению характерных элементов в поверхностном слое почвы и грунтовых водах в сравнении с фоновыми данными, что является наиболее объективным видом оценки [3].

Аналогичные выводы получены при мониторинге воздействия дорог с использованием фосфогипса и прилегающих к ним территорий в США [2]. Дороги, которые были построены на основании из фосфогипса в 1986-87 годах, были объектом исследований на протяжении более чем 20 лет. Мониторинг состава грунтовых вод проводился с момента экологических изысканий перед строительством и продолжался до 2008 года. Исследования показали отсутствие какого-либо заметного воздействия на качество грунтовых вод.

Использование вторичных ресурсов в строительстве невозможно без легитимной нормативно-технической документации, которая регламентирует их применение. Для применения фосфогипса в дорожном строительстве разработан СТО 24406528-01-2018 «Фосфогипс дорожный для строительства дорожных одежд. Технические условия» (Изм. 1), утвержденный в 2018 году в Федеральном дорожном агентстве. Стандарт распространяется на применение фосфогипса дорожного при строительстве и ремонте дорог 1-5 категорий. Фосфогипс дорожный зарегистрирован в ТК-465 «Строительство» как дорожно-строительный материал. Практический опыт использования фосфогипса дорожного для строительства дорожных оснований дорог различных катего-

рий подробно изложен в статье [4]. Из опыта строительства и эксплуатации дорог с основанием из фосфогипса дорожного можно сделать следующий общий вывод об уникальности свойств фосфогипса:

1. Простота технологических операций и применение обычной техники для дорожного строительства.
2. Пригодность материла для строительства автодорог в сложных условиях обводнения, низких температур, мягких природных пород и т.д.
3. Быстрый набор во времени и сохранение высокой прочности дорожного основания из фосфогипса дорожного.
4. Сохранение ровности дорожного покрытия на фосфогипсовом основании в течение длительного времени (10 и более лет) без образования продольных и поперечных трещин, сколов, выбоин и т.д.
5. Комплексная (экологическая, радиационная, гигиеническая) безопасность фосфогипса дорожного для окружающей среды и здоровья человека.
6. Высокая экономическая эффективность применения фосфогипса дорожного по жизненному циклу как при первичном применении за счет замены природных материалов (щебня, песка), так и за счет низких эксплуатационных затрат на поддержание дороги.

В настоящее время разрабатывается национальный стандарт на фосфогипс как продукцию химического производства «Фосфогипс для дорожного строительства и производства строительных материалов. Технические условия». В данном стандарте устанавливаются требования к качеству выпускаемого фосфогипса, требования безопасности, требования охраны окружающей среды, правила приемки, методы анализа, транспортирование и хранение, гарантии изготовителя. В целом этот документ регламентирует деятельность производителей при выпуске фосфогипса как готового продукта для применения в строительной отрасли и дорожном строительстве.

С учетом значительных объемов строительства новых дорог в рамках выполнения целей национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», роста стоимости первичных строительных материалов, прежде всего щебня, применение вторичных материалов, и прежде всего — качественного и безопасного фосфогипса дорожного, является в ближайшей перспективе как никогда актуальным и обоснованным. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Несущая способность слоев оснований из фосфогипса. И.М. Крыжановский, И.Н. Глуховцев, В.М. Кожушко. Труды СОЮЗДОРНИИ «Вопросы применения фосфогипса в дорожном строительстве», Балашиха, 1986 г.
2. Phosphogypsum: Sustainable Management and Use AE «Johnny» Johnston, general editor First edition, IFA, Paris, France, 2016
3. «Оценка воздействия фосфогипсовой дороги на окружающую среду» И.Н. Любимова, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, отчет НИР, 2008 г.
4. «Дорожные инновации с применением фосфогипса». Б.В. Левин, А.В. Кочетков, В.В. Талалай, С.А. Коротковский, А.В. Шибнев, М.В. Кузнецов, Мир дорог, №124, 2019. — с. 110-113.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЕОРЕШЕТКИ

для армирования слоев дорожной одежды

Приведены результаты исследований, подтверждающие необходимость изменения конструкции георешетки, способствующего улучшению армирующих свойств и снижению ее повреждаемости.

А.А. Игнатьев, к.т.н., доцент, кафедра «Гидротехнического и дорожного строительства», ФГБОУ ВО Ярославский государственный технический университет;
Е.С. Буданова,
В.В. Куревенкова

В настоящее время геосинтетические материалы приобрели большую популярность во многих отраслях и в первую очередь в дорожном строительстве. Дорожные одежды, построенные с применением армирующих георешеток, способны воспринимать повышенные транспортные нагрузки, высокую интенсивность движения и призваны обеспечивать долговечность автомобильных дорог. Однако чаще их используют не для увеличения прочностных показателей конструкции дорожной одежды, а для экономии строительных материалов при соизмеримых показателях прочности конструкции без армирования.

К сожалению, не всегда удается достичь ожидаемого эффекта от армирования, что является серьезной проблемой в последнее время. Особенно когда применяется некачественная продукция при устройстве дорожных одежд.

Утвержденные методики расчета дорожных одежд с применением армирующих прослоек (георешеток), приведенные в ОДМ 218.5-002-2008 и ОДМ 218.5.001-2009, не в полной мере позволяют провести достоверную оценку эффективности армирования. Предложенные в методике расчета коэффициенты не учитывают такие ключевые параметры, как материал георешетки, способ изготовления, размер ячейки, узловое соединение, поэтому они не могут быть одинаково справедливы для всех видов георешеток.

В данной работе мы более детально остановимся на перечисленных параметрах и постараемся определить степень их влияния на конечный результат армирования.

Представленные выше параметры во многом определяют устойчивость георешетки к механическим повреждениям. При укладке георешетки, как в основание, так и в покрытие дорожной одежды, в процессе распределения и уплотнения материала армируемого слоя, георешетка подвергается серьезным механическим воздействиям и нагрузкам. Многочисленные повреждения георешетки могут свести эффективность армирования к нулю. А разрыв может стать причиной неравномерной осадки конструкции, например, в случае применения локального армирования или укладки полотен стык в стык. Неравномерная осадка непременно отразится дефектами на покрытии.

ГЕОРЕШЕТКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРЕВОСХОДЯТ ГЕОРЕШЕТКИ ИЗ СТЕКЛОВОЛОКНА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ПО УСТОЙЧИВОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ

Георешетки из полимерных материалов превосходят георешетки из стекловолокна и базальтового волокна по устойчивости к механическим повреждениям. Однако, как показали проведенные экспериментальные исследования, не все конструкции полимерных георешеток имеют низкую степень повреждения.

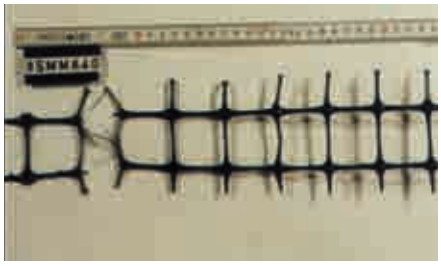


Рисунок 1. Результаты испытаний георешетки на выдергивание из щебня компании ViaCon [2]

Результаты испытаний георешеток Кашиной Н.И. и Баранова А.Ю. [1] на механическую повреждаемость щебнем на полигоне показали высокую повреждаемость тканых и вязаных георешеток (потеря прочности более 30%). Экструдированная георешетка сохранила 100% исходной прочности. В то же время по результатам испытаний компании ViaCon [2] экструдированные георешетки имеют слабое узловое соединение, в котором нередко происходит расщепление. Результаты эксперимента приведены на *рисунке 1*.

Рассмотрев подробно конструкции георешеток и форму ячеек, мы пришли к выводу, что повысить армирующие свойства и снизить

повреждаемость экструдированной георешетки можно за счет изменения ее конструкции, путем приведения ячейки к шестиугольной форме. Способ изготовления георешетки с шестиугольной формой ячейки описан Литвинцевым А.В. в патенте RU 2632306 C1, 03.10.2017 [3].

Остановимся далее на достоинствах шестиугольной формы ячейки. Такая форма ячейки позволяет уменьшить площадь «нерабочей зоны», что способствует улучшению заклинки щебня и получению более плотной структуры (*рисунок 2*). «Нерабочие зоны» — это области, примыкающие к узлам решетки. Чем больше угол, тем ближе к узлу может оказаться частица щебня, заклинившаяся в ячейке [1].

В процессе заклинки под действием напряжений со стороны частиц заполнителя ячейки георешетки деформируются, стремясь принять форму круга. Ячейка в виде соты имеет форму, наиболее приближенную к форме круга и соответственно подвергается меньшим деформациям, нарушающим работу георешетки.

Узловое соединение в решетке является самым уязвимым местом, поскольку в нем концентрируются возникающие напряжения. В георешетке с треугольной ячейкой растягивающее напряжение в узле распределяется между шестью ребрами, что способствует более равномерному распределению нагрузки по площади, однако это приводит к повышенному расходу материала для изготовления георешетки (*рисунок 3*).

Используя шестиугольную ячейку, мы увеличиваем число узловых соединений и ребер, которые воспринимают нагрузку при том же размере ячейки (свободной площади), что и у квадратной решетки. Узловое соединение воспринимает напряжения только от трех ребер. При этом количество ребер увеличивается, а их длина уменьшается, а соответственно уменьшаются напряжения в самих ребрах. Благодаря этому растягивающие напряжения в георешетке распределяются более равномерно.

На *рисунке 4* представлена схема, на которой показано число узловых соединений, воспринимающих нагрузку от колеса георешетками с различной формой ячейки. Диаметр D приведенного к кругу отпечатка расчетного колеса автомобиля равен 37 см для нагрузки в 100 кН, в соответствии с требованиями ОДН 218.046-2001. Для наглядности изображения размер ячеек был увеличен в два раза по сравнению с существующими георешетками на рынке и составил: квадратная ячейка — 80x80 мм (площадь одной ячейки 6400 мм^2); шестиугольная ячейка — диаметр вписанной окружности d=86 мм (площадь одной ячейки 6405 мм^2); треугольная ячейка — сторона правильного треугольника a=80 мм (площадь одной ячейки 2771 мм^2).

Как видно из рисунка, число узловых соединений, воспринимающих нагрузку для георешетки с квадратной ячейкой и треугольной при одинаковой длине ребер практически не отличается, при этом площадь треугольной ячейки более чем в два раза меньше. Число узловых соединений у шестиугольной ячейки практически в два раза больше, чем у квадратной ячейки. Если размер шестиугольной ячейки увеличить примерно в полтора раза по сравнению с квадратной ячейкой, то даже в этом случае нагрузка будет распре-

Рисунок 2. Заполняемость ячеек георешетки с различными формами ячейки

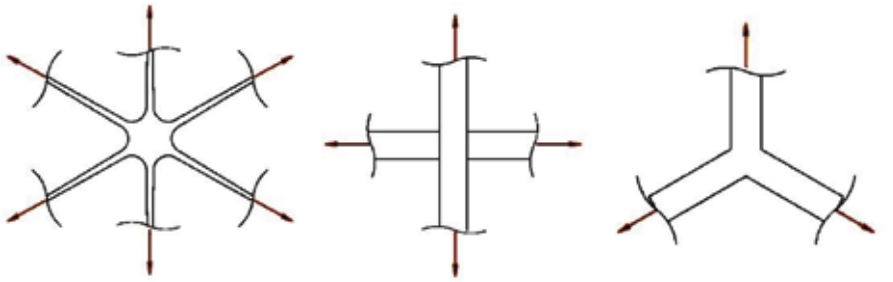
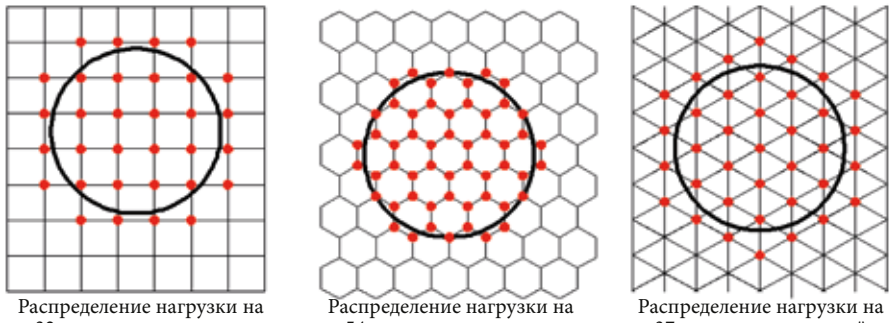


Рисунок 3. Распределение напряжений в узловых соединениях георешеток



Распределение нагрузки на 32 узловых соединения

Распределение нагрузки на 54 узловых соединения

Распределение нагрузки на 37 узловых соединений

Рисунок 4. Число узловых соединений, воспринимающих нагрузку от штампа георешетками с различной формой ячейки

Рисунок 5. Бамбуковая решетка и джутовая решетка [5]

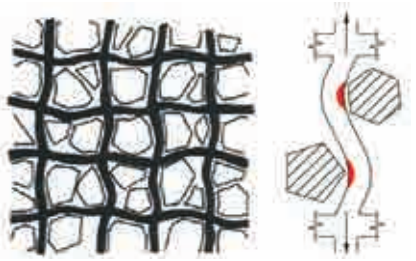


Рисунок 6. Концентрация напряжений в местах изгиба ребра

Таблица 1. Результаты испытаний повреждаемости материалов [6]

Тип материала	Количество повреждаемых ребер
Двухосноориентированные 20 кН/м	8
Двухосноориентированные 30 кН/м	2
Triax TX 160	54
Triax TX 170	52

Рисунок 7. Повреждение треугольной формы ячейки после уплотнения каменного материала [6]

деляться между большим числом ребер и во всех направлениях. При этом увеличение размера ячейки не будет сказываться на общей жесткости конструкции георешетки. В настоящее время данный параметр не учитывается в расчетах, но он оказывает самое серьезное влияние на эффективность армирования.

В политехническом университете Marche в Италии проводились испытания [4] на определение эффективности армирования жесткими и гибкими георешетками. Результаты лабораторных испытаний георешеток показали положительный эффект от армирования обоими видами георешеток, но полевые испытания опровергли эффективность армирования гиб-кой георешеткой.

Индийские исследователи Mathew Alida и Sasikumar Aswathy [5] проводили испытания по оценке армирования грунтов георешетками, изготовленными из нестандартных материалов. В частности, были испытаны бамбуковая решетка (жесткая) и джутовая решетка (гибкая) (*рисунок 5*). Результаты экспериментальных исследований подтвердили превосходство жесткой георешетки для армирования.

Жесткость георешетки влияет и на ее устойчивость к механическим повреждениям. По словам производителей, способность георешетки легко деформироваться позволяет ей подстраиваться под деформации, сохранять свою целостность и, соответственно, армирующие свойства. Но в этом кроется основной недостаток данного вида георешетки, так как основная задача армирующей прослойки — замедлять деформации и препятствовать их развитию. Стренги, состоящие из отдельных нитей, в процессе заклинки изгибаются, принимая волнообразную форму. При воздействии нагрузки ребра частично воспринимают растягивающие напряжения, основное же их усилие сконцентрировано на восстановлении прямолинейной формы. При этом возникающее напряжение концентрируется в местах изгиба, где происходит разрыв стренг, а острые грани минерального заполнителя ускоряют этот процесс.

Толщина ребер георешетки также является важным параметром, определяющим ее жесткость и устойчивость к механическим повреждениям. Ячейки треугольной формы характеризуются высокой механической повреждаемостью, о чем свидетельствуют результаты испытаний решеток на повреждаемость при крупности засыпки щебня в 5 мм, 60 мм и 125 мм. Результаты испытаний были представлены представителями группы компаний «МИАКОМ» [4] (*таблица 1, рисунок 7*).

Увеличение числа ребер треугольной решетки потребовало от производителя, в угоду снижению стоимости готового изделия, уменьшить толщину ребра, что стало причиной высокой повреждаемости. Проводя параллели между треугольной и шестиугольной ячейками, важно отметить, что увеличение числа ребер при использовании шестиугольной формы ячейки не скажется на их толщине, так как суммарная длина ребер при одинаковой площади шестиугольной и квадратной ячеек практически одинаковая.

Подводя итоги, можно сказать, что в настоящее время при выборе георешеток не учитываются многочисленные параметры, оказывающие влияние на эффективность армирования. К одним из ключевых параметров стоит отнести устойчивость георешетки к механическим повреждениям и ее жесткость. Эти параметры напрямую связаны с конструкцией георешетки, и незначительные ее изменения сразу отражаются на эффективности армирования.

Результаты проведенных исследований показали, что изготовление жесткой георешетки с шестиугольной формой ячейки позволяет:

- уменьшить площадь «нерабочей зоны» и получить более плотную структуру армируемого слоя;
- улучшить заклинку частиц, диагональ ячейки на 15% больше, чем расстояние между параллельными ребрами, тогда как в квадратной — на 41%;
- снизить повреждаемость решетки в процессе заклинки за счет низкой деформации ячейки;
- уменьшить напряжения в узлах и ребрах, получить более плотную площадку, распределяющую действующую нагрузку, за счет увеличения количества ребер и узловых соединений;
- сохранить прежнюю толщину ребер и жесткость решетки без дополнительных затрат. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашина Н.И. Проектирование вязаных георешеток с заданными эксплуатационными свойствами: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Кашина Н.И., Баранов А.Ю.; СПбГУПТД, — СПб, 2014. — 172 с.
2. Армирование оснований с применением геосинтетических материалов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.viacon.ua/ content/images/ ctproductfile_file/PPT_ViaConGroup_ Secugrid.pdf.
3. Способ изготовления полимерной георешетки [текст]: пат. 2632306 Рос. Федерация: МПК B29C 55/04 / Литвинцев А. В.; заявитель и патентообладатель «СтратегТехнология». — №2016120687; заявл. 26.05.2016; опубл. 03.10.2017, Бюл. №28.
4. Canestrari F. Shearand flexural characterization of grid-reinforced asphalt pavement sand relation with field distress evolution [Электронный ресурс] / Canestrari F., Belogi L., Ferrotti G., Graziani A. // Режим доступа: http://www.academia.edu/8342524/Shear_and_flexural_characterization_of_grid-reinforced_asphalt_pavements_and_relation_with_field_distress_evolution.
5. Mathew Alida Performance of Soft Soil Reinforced With Bamboo and Geonet [Электронный ресурс] / Mathew Alida, Sasikumar Aswathy // Режим доступа: https://www.irjet.net/archives/V4/i11/IRJET-V4I11113.pdf
6. Корнеев Д.А. Обоснование выбора геосинтетических материалов. — СПб.: МИАКОМ, — 2013. — 37 с.

ПОДБОР ЗАПОЛНИТЕЛЯ ОБЪЕМНЫХ ГЕОРЕШЕТОК
с учетом гидравлического воздействия

В рамках работы по изучению методов защиты склонов от эрозионного воздействия с применением объемных георешеток мы обнаружили проблему вымывания материала заполнителя из ячеек при воздействии потока воды. На поиск решения данной проблемы нас натолкнула ситуация обрушения откоса при строительстве стадиона в Волгограде.

Е.А. Корчагин, к.т.н., профессор,
Н.А. Зубачев, аспирант, кафедра Гидравлики и гидротехнического строительства, Московский государственный строительный университет

Защита поверхности склонов — часто встречающаяся проблема при строительстве большинства объектов дорожного, гидротехнического, железнодорожного строительства. Склоны подвергаются постоянным разрушающим воздействиям — так, все откосы испытывают эрозионное воздействие осадков, откосы дамб испытывают действие потока воды и волн, льда, откосы железнодорожных насыпей — постоянные динамические нагрузки. Под воздействием такого количества нагрузок откосы быстро разрушаются, и уже само тело насыпи (сооружения) начинает деформироваться. В связи с этими многочисленными трудностями конструктивное решение защиты откосов должно быть технологичным, долговечным, простым и недорогим при монтаже и эксплуатации. По нашему мнению, таким решением являются конструкции с применением объемных георешеток.
Для подготовки исследования мы обратились к крупнейшему производителю геосинтетических материалов ООО «ПРЕСТОРУСЬ». Для проведения испытаний нам была предоставлена объемная георешетка нового поколения — инновационная пространственная полимерная решетка ГЕОКОРД®.
На данный момент на рынке геосинтетики существует огромное разнообразие объемных георешеток. В данной статье мы не будем сравнивать различные объемные георешетки, а поговорим о эффективности удержания заполнителя объемными георешетками при воздействии потока воды, о подборе материала заполнителя и о назначении рациональных углов откосов при проектировании. Зачастую проектировщики не уделяют этому достаточно внимания и назначают материал-заполнитель исключительно из сложившегося опыта и могут не учесть множество факторов. Такой подход — неверный, и в данной статье мы постарались осветить все вопросы, касающиеся подбора заполнителя, и разобрали несколько нюансов, которые необходимо учитывать при проектировании сооружений с применением объемных георешеток.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДЕРЖАНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ГЕОРЕШЕТКАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКА ВОДЫ

Основной и, пожалуй, самой важной функцией объемных георешеток является защита откосов от эрозии, вызванной осадками или другими потоками воды. Чтобы защитить откос, ячейки объемной георешетки заполняют различными материалами: песок, растительный грунт, щебень, камень или обломочная порода. Выбор заполнителя обуславливается: назначением объекта, интенсивностью осадков, подтопляемостью откоса, углом заложения, дополнительными нагрузками, действующими на откос.
Показателем эффективности работы объемной георешетки на откосе, а следовательно — ее противоэрозионной функции, является способность удержания заполнителя при воздействии потока воды.
Чтобы изучить эффективность удержания заполнителя объемными георешетками при воздействии дождя

Рисунок 1. Гидравлическая модель для определения эффективности удержания заполнителя-щебня при воздействии потока воды

Рисунок 2, 3. Натурная модель откоса для определения эффективности удержания заполнителя-песка георешетками при воздействии потока воды

или потока воды, были проведены несколько лабораторных испытаний на гидравлической установке для щебня (гидравлический лоток позволяет имитировать направленный поток воды, имеющий большую скорость, что соответствует реальному практическому случаю применения объемной георешетки, заполненной щебнем) и на натурной модели орошаемого откоса (песок и растительный грунт — наиболее часто применяемые заполнители непотопляемых откосов, основное разрушающее действие на них оказывает дождь).
Целью испытаний было определить процент вымываемости заполнителя из ячеек при воздействии на откос потока воды (в случае со щебнем) или дождя (песок).
При первом испытании два типа объемных георешеток: ГЕОКОРД тип С 200/172 0530 Р (перфорированная) и ГЕОКОРД тип С 200/172 0530 (неперфорированная), заполнялись щебнем фракций 20-40 мм, укладывались на откос с углом заложения 1:2 и 1:1, далее подвергались воздействию потока воды со скоростью до 2 м/с в течение 20 минут, после чего замерялось количество щебня, вымытого из ячеек, и определялся процент потери георешеткой заполнителя. Проводилось три серии испытаний для каждого типа георешетки и для каждого заложения откоса.
По итогам испытаний было установлено, что потери заполнителя в среднем составили не более 1%, как для перфорированной, так и для неперфорированной георешетки. Однако дренирующая способность перфорированной георешетки значительно выше, вода не оказывает возмущающего воздействия на заполнитель, и он более стабилен в ячейке. Этот весьма хороший результат и говорит нам о высокой эффективности удержания заполнителя-щебня объемной георешеткой при воздействии потока воды, а следовательно, мы делаем вывод, что объемная георешетка (в данном эксперименте — ГЕОКОРД®) обладает высокой противоэрозионной способностью и отлично подходит для защиты откосов.
При втором испытании георешетка ГЕОКОРД тип С 100/172 0530 Р (перфорированная) и ГЕОКОРД тип С 100/172 0530 (неперфорированная), заполненные песком средней крупности (фракция 2-2,5 мм), укладывались на натурную модель откоса 1:2 и 1:1 и подвергались орошению из дождевых установок с интенсивностью 3 л/мин*м^2 в течение 20 мин., вся собранная вода с частицами вымытого песка собиралась в бачки и помещалась в сушильную камеру, далее определялся процент потери грунта.
По итогам испытаний было установлено, что потери заполнителя составили не более 15%. Учитывая крупность заполнителя, высокую интенсивность осадков и отсутствие посева травы — это весьма хороший результат. Георешетка ГЕОКОРД® способна хорошо удерживать даже мелкий заполнитель, но как показали результаты испытаний, посадка травы для создания армирования необходима.
Подводя итоги данного раздела статьи, хочется сказать, что объемная георешетка является отличным способом защиты склона от эрозионного воздействия и препятствует вымыванию частиц заполнителя.

ПОДБОР СОСТАВА И РАЗМЕРА ФРАКЦИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ОБЪЕМНЫХ ГЕОРЕШЕТОК С УЧЕТОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Теперь более детально остановимся на подборе состава и фракций заполнителя георешетки, необходимо определить зависимость между скоростью потока воды и крупностью фракции заполнителя.
По формуле определим гидравлическую крупность частиц заполнителя различных фракций:

$$W = \sqrt{\frac{4gD\rho_s}{3C\rho}}$$

где
C — коэффициент сопротивления, 0,45 для шарообразной частицы;
D — диаметр частиц заполнителя;
ρ_s — плотность частицы;
ρ — плотность жидкости (воды 1 т/м^3);
g — ускорение свободного падения (9,81 м/с^2);

υ — кинематическая вязкость м²/с.
Чтобы учесть все режимы движения воды (ламинарный и турбулентный), а также большие размеры частиц заполнителя, воспользуемся эмпирической формулой расчета скорости осаждения частиц взвеси:

$$W = \frac{1}{2}\left\{\left[\left(\frac{36\upsilon}{D} + 7{,}5\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right) Dg\right]^{1/2} - \frac{36\upsilon}{D}\right\}$$

Сведем полученные результаты в *таблицу 1*, все величины брались по справочным данным.
Теперь определим критические скорости, при которых частицы заполнителя будут уноситься с откоса (незащищенного георешеткой).
Определим критическую скорость при безнапорном режиме по формуле:

$$\Upsilon_{кр} = B\sqrt[4]{\frac{1}{F_r}} * \sqrt{\frac{\rho_{см} - \rho_в}{\rho_в} * \left(\frac{\rho_г - \rho_{см}}{\rho_в}\right)^2}$$

где
B — эмпирический коэффициент (3,85 — песок, гравий; 2,86 — крупнообломочная порода);
F_r=W^2/gD – число Фруда;
ρ_см-плотность смеси;
ρ_в-плотность воды;
ρ_т-плотность заполнителя;
W — гидравлическая крупность частиц заполнителя (*см. таблицу 1*).
Сведем полученные результаты в *таблицу* 2, все величины брались по справочным данным.
При расчете толщина потока воды принималась равной h=0,5м, уклоны для тока воды: 1,5-4,5% — при таких уклонах гарантируется снос частиц.
Теперь, зная критические скорости сноса частиц грунта незащищенного откоса, определим данный показатель уже для откоса, защищенного объемной георешеткой. Основное влияние на критические скорости будут оказывать ячейки георешетки, так как они оказывают сопротивление движению жидкости и частицы материала заполнителя будут задерживаться между ячейками и, следовательно, критические скорости сноса частиц будут существенно уменьшаться. Для определения критических скоростей с учетом размеров ячейки объемной георешетки (применяем георешетку ГЕОКОРД® с размером ячейки по диагонали 200 мм, перфорированную) и учитывая ее текстурирование, мы провели ряд испытаний на гидравлическом лотке. Измерение критических скоростей проводилось при помощи «водных» тензодатчиков, которые способны измерить силовое воздействие потока. Результаты испытаний представлены в *таблице 3*.
Таким образом, зная критические скорости потока воды, приходящегося на откос, можно подобрать тип заполнителя ячейки георешетки и его фракцию.

Таблица 1.

Критическая скорость сноса частиц на незащищенном откосе	
Грунт (d мм)	$\Upsilon_{кр}\left(\frac{м}{сек}\right)$
Глинистые частицы (0,001)	0,002
Ил (0,005-0,05)	0,1-0,13
Мелкие пески (0,05-0,1)	0,1-0,18
Пески средней крупности (1-2,5)	0,18-0,35
Крупные пески (2,5-5)	0,35-0,5
Щебень, камень (20-200)	2-3

Таблица 2.

Критическая скорость сноса частиц на защищенном георешеткой откосе	
Грунт (d мм)	$\Upsilon_{кр}\left(\frac{м}{сек}\right)$
Глинистые частицы (0,001)	0,0002
Ил (0,005-0,05)	0,01-0,013
Мелкие пески (0,05-0,1)	0,01-0,018
Пески средней крупности (1-2,5)	0,018-0,035
Крупные пески (2,5-5)	0,035-0,05
Щебень, камень (20-200)	0,2-0,3

Таблица 3.

Гидравлическая крупность при t=15°C (по А.В. Воранцову)												
Диаметр частиц, мм	200	20	5	2,5	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
Гидравлическая крупность, мм/сек (м/сек)	3920 (3,92)	1240 (1,24)	620 (0,62)	430 (0,43)	100 (0,1)	60 (0,06)	21 (0,021)	8 (0,008)	2 (0,002)	0,08 ($8*10^{-5}$)	0,03 ($3*10^{-5}$)	0,0008 ($8*10^{-7}$)

НАЗНАЧЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УКЛОНОВ ОТКОСОВ И ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНЫХ ГЕОРЕШЕТОК

Исходя из расчетов критических скоростей сноса частиц с откоса и расчетов устойчивости георешетки на откосе, мы рекомендуем использовать объемные георешетки на откосах с предельным заложением 1:0,5 (60°). Также базируясь на большом опыте укрепления откосов объемными георешетками, мы разработали методику подбора параметров объемной георешетки, а именно: высоты размеров ячейки, толщины стенок, от величины угла заложения откоса. Данные методики были разработаны как для неподтопляемых (*рисунок 4*), так и для подтопляемых откосов (*рисунок 5*).
Необходимо помнить, что фиксация объемной георешетки на откосе осуществляется при помощи анкеров, количество которых определяется, исходя из расчета.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Подводя итоги проделанной работы, мы пришли к выводу, что причиной обрушений откосов, помимо прочих факторов, является неправильный выбор материала заполнителя. При подготовке решения защиты откоса с применением объемных георешеток необходимо учитывать следующие рекомендации:

- при назначении параметров откосов и типов объемных георешеток следует собирать полный пакет исходных данных для проектирования и не пренебрегать инженерными изысканиями;
- при проектировании откосов с применением объемных георешеток принимать углы заложения до 60°;
- осуществлять подбор частиц заполнителя в зависимости от исходных данных проекта, ориентируясь на описанные в данной статье методы;
- при проектировании защиты откосов против эрозии использовать перфорированную георешетку, что позволит избежать потери заполнителя и переувлажнения тела откоса. ■

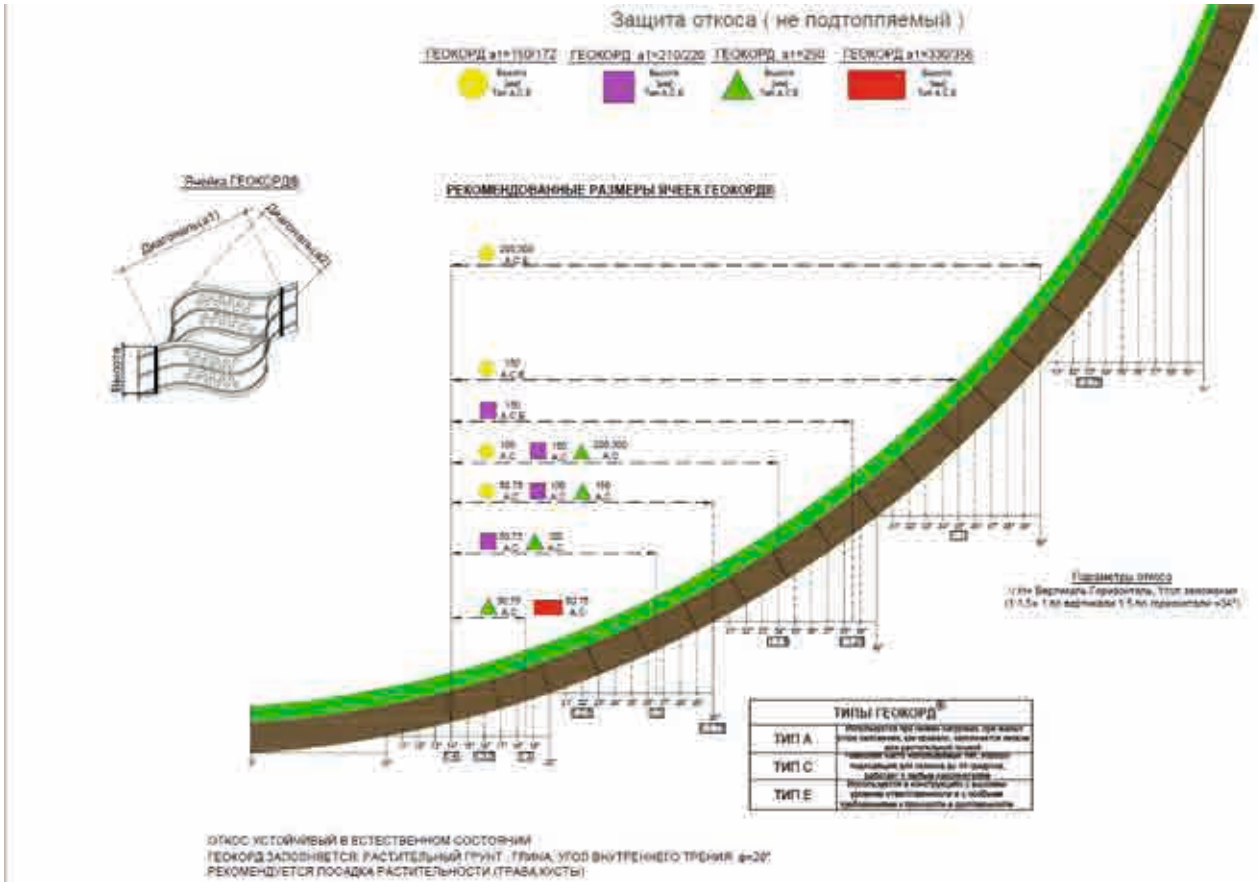


Рисунок 4. Схема подбора параметров объемных георешеток в зависимости от заложения откоса (неподтопляемый)

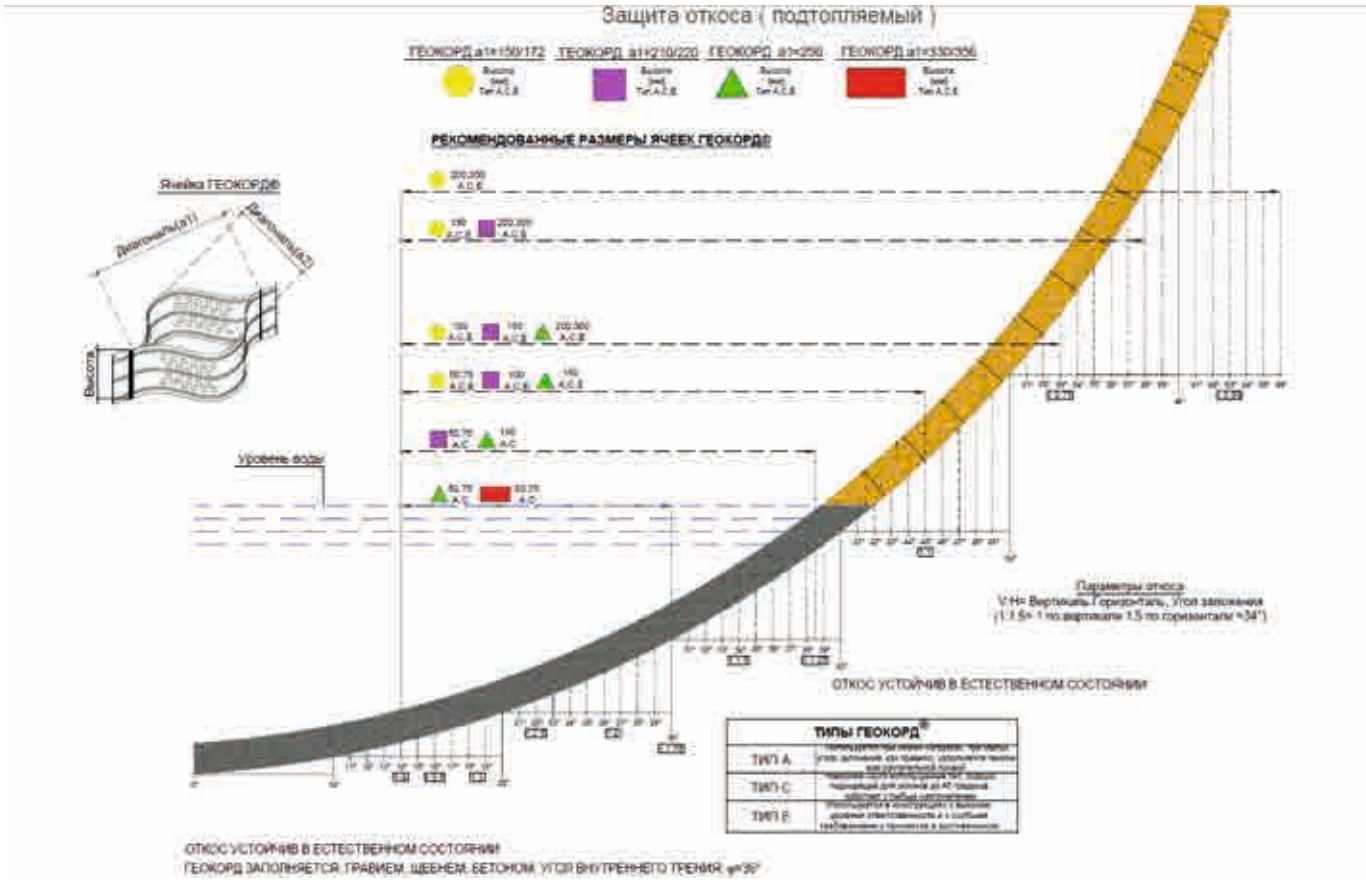


Рисунок 5. Схема подбора параметров объемных георешеток в зависимости от заложения откоса (подтопляемый)

ЛОТКИ ВОДООТВОДНЫЕ
прикромочные и сопрягающие

Доля контрактов на осуществление дорожной деятельности в рамках национального проекта «Безопасные и качественные дороги» с использованием новых и наилучших технологий и материалов к 2024 году должна составлять не менее 80% в общем объеме новых государственных контрактов на выполнение работ по строительству, капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог.

Ю.В. Кибирев, главный инженер, первый заместитель генерального директора АО «Труд»;
С.С. Шабуров, советник генерального директора по техническим вопросам, профессор кафедры атомобильных дорог ИРНИТУ;
Н.М. Полонов, главный специалист Центральной строительной лаборатории АО «Труд»

Важнейшим фактором реализации этой задачи, помимо повторного применения новейших технологий и материалов, включенных в Реестр Минтранса России, является разработка и утверждение соответствующих нормативных документов для новых технологий с целью их широкого применения при производстве дорожных работ.

В текущем году специалистами АО «Труд» разработан стандарт организации СТО 10734648.04.09-2018 «*Лотки водоотводные прикромочные открытые вдоль проезжей части и лотки сопрягающие на обочинах автомобильных дорог. Технические условия*». Он распространяется на прикромочные водоотводные лотки, устраиваемые из асфальтобетонных, полимерасфальтобетонных и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог) и предназначен для сбора и отведения воды с проезжей части, а также на сопрягающие лотки, которые располагаются на обочине в местах сброса собранной воды из продольного лотка в поперечные для предохранения поверхности откосной части земляного полотна от размыва на автомобильных дорогах I-IV категорий. Технология предлагается взамен типовых железобетонных открытых лотков Б-1-22-75, Б-1-20-75, ББ-1-20-50, Б-1-18-50 серии 3.503.1-66 «Изделия сборные железобетонные водоотводных сооружений на автомобильных дорогах», типового проектного решения 503-09-7.84 «Водоотводные сооружения на автомобильных дорогах общей сети Союза ССР», применяемых при строительстве, реконструкции, капитальном ре-

Рисунок 1. Конструкция водоотводного лотка для дорог категорий IA, IБ, и II

Рисунок 2. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории IВ

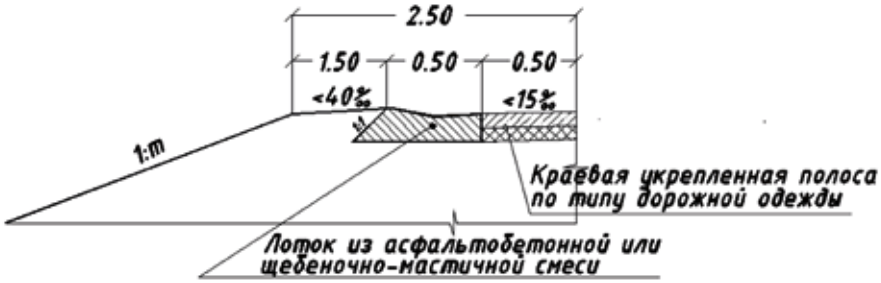


Рисунок 3. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории III

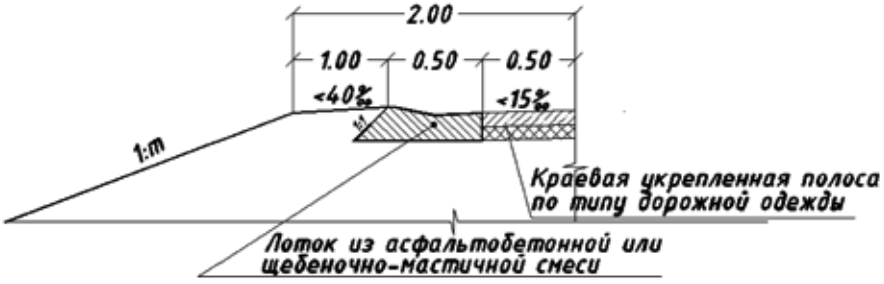


Рисунок 4. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории IV

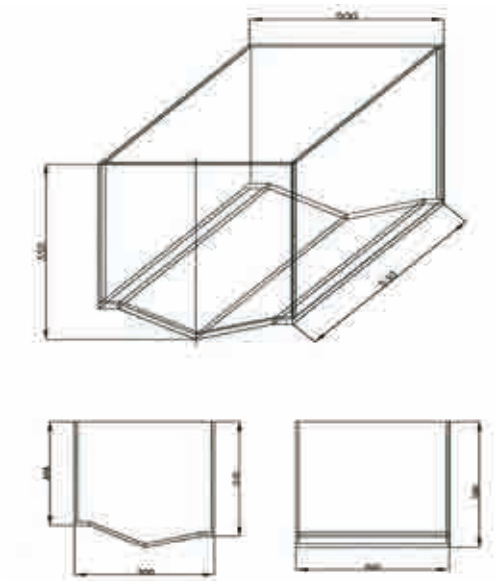


Рисунок 5. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории III

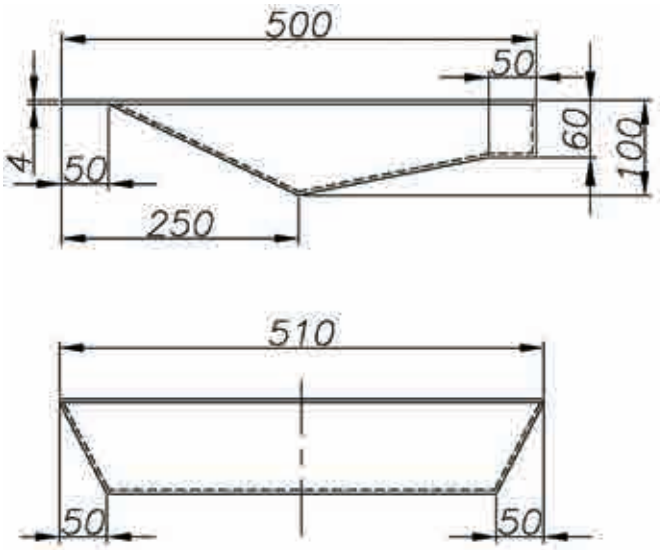


Рисунок 6. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории IV

монте и ремонте автомобильных дорог общего пользования, городских дорог и улиц, дорог промышленных предприятий в соответствии с действующими нормами и правилами.

Кроме того, в данном стандарте разработаны конструкции прикромочных водоотводных и сопрягающих лотков на обочинах автомобильных дорог I-IV категорий, их расположение, конструкция быстросъемного устройства на асфальтоукладчик для формирования геометрических параметров прикромочного водоотводного лотка. Изложены организационные и технологические мероприятия, которые необходимо выполнять для обеспечения качества укладки асфальтобетонных, полимерасфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей в прикромочный открытый водоотводной лоток, сопрягающие лотки на обочине, а также эксплуатационной надежности построенной системы поверхностного водоотведения.

Главными недостатками использования типовых железобетонных открытых лотков Б-1-22-75, Б-1-20-75, ББ-1-20-50, Б-1-18-50 серии 3.503.1-66 «Изделия сборные железобетонные водоотводных сооружений на автомобильных дорогах», типового проектного решения 503-09-7.84 «Водоотводные сооружения на автомобильных дорогах общей сети Союза ССР», которые применяются при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог, являются:

- высокая материалоемкость сборных железобетонных открытых лотков;
- высокая трудоемкость всех производственных процессов при строительстве данной системы водоотведения;
- высокие транспортные затраты по перевозке железобетонных лотков на значительные расстояния;
- низкая эксплуатационная надежность в силу наличия многочисленных швов между сборными элементами и проявляющихся продольных трещин в местах сопряжения железобетонных лотков с асфальтобетоном;
- быстрое разрушение поверхностного слоя цементобетонных лотков из-за низкой морозостойкости и влияния солевых растворов в период зимнего содержания.

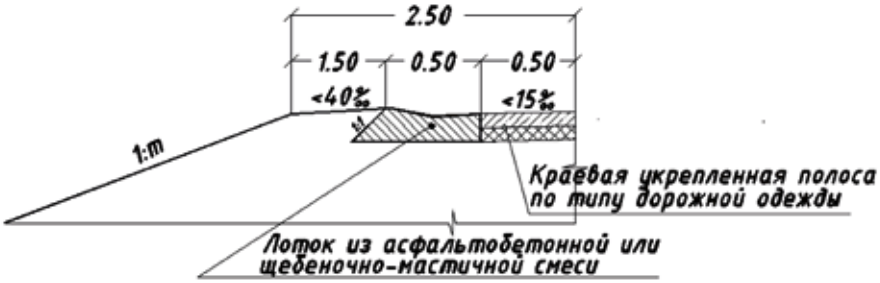


Рисунок 7. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории III

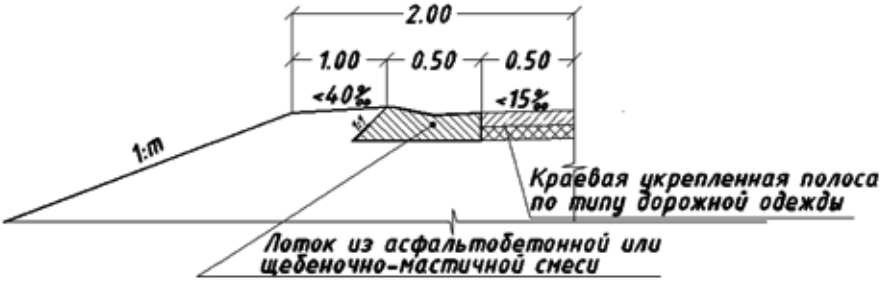


Рисунок 8. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории IV

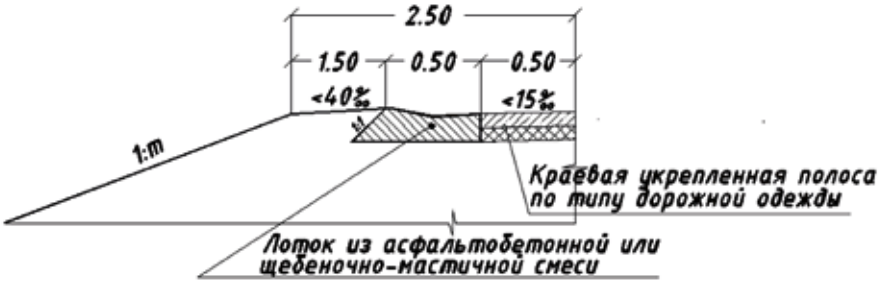


Рисунок 9. Конструкция водоотводного лотка для дорог категории III

Устройство водоотводных открытых прикромочных лотков из асфальтобетона одновременно с устройством слоя

покрытия проезжей части автомобильной дороги позволяет: избежать характерных недостатков при использовании сборных железобетонных конструкций; повысить производительность труда и качество выполняемых работ; значительно снизить затраты при выполнении строительных работ и при содержании автомобильных дорог.

Особенностью предлагаемых конструктивных решений по размещению прикромочных водоотводных лотков являются:

- прикромочные водоотводные лотки из асфальтобетона входят в укрепляемую часть обочины (остановочной полосы), что соответствует требованиям нормативных документов;
- для автомобильных дорог категорий IA, IБ, IВ и II категории укрепляемая часть обочины (остановочная полоса) устраивается из асфальтобетона по типу верхнего слоя покрытия дороги;
- для автомобильных дорог категорий III и IV прикромочные водоотводные лотки устраиваются сразу за краевой укрепленной полосой;
- остающаяся часть обочины, в том числе прибровочная полоса, укрепляется щебеночной, гравийной, щебеночно-гравийно-песчаной смесью (*рисунки 1,2,3,4*).

Предлагаемые геометрические параметры размещения прикромочных водоотводных лотков для различных категорий автомобильных дорог обеспечивают производительное и удобное проведение механизированных работ (без помех ограждающих устройств) по круглогодичному содержанию обочин и прикромочных водоотводных лотков.

Устройство верхнего слоя покрытия из асфальтобетонных, полимерасфальтобетонных, щебеночно-мастичных смесей заданной проектом толщины укрепляемой части обочины (остановочной полосы) и прикромочного открытого водоотводного лотка выполняется одновременно. Одним проходом асфальтоукладчика, оборудованного навесным быстросъемным устройством, закрепленным на отражательном щите асфальтоукладчика, для формирования геометрических параметров профиля водоотводного лотка из указанных смесей и их последующего уплотнения (*рисунок 5*).

Уплотнение асфальтобетонных, полимерасфальтобетонных и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей в лотке производится раздельно двумя виброплитами, оборудованными системами орошения и управляемыми дорожными рабочими (операторами), вслед за движением асфальтоукладчика в следующей последовательности:

- предварительное уплотнение асфальтобетонных смесей осуществляется одним проходом виброплиты легкой тяжести весом 75-90 кг. Движение виброплиты осуществляется в максимальном приближении к асфальтоукладчику;
- окончательное уплотнение асфальтобетонных смесей в прикромочном лотке выполняется проходами виброплиты средней или тяжелой тяжести весом 90-140 кг.

Для обеспечения уплотнения треугольного сечения лотка виброплита оснащается специальным устройством треугольного профиля, изготовленным из стального листа и приваренным к выглаживающей плите (*рисунок 6*).

Сформированный и уплотненный прикромочный открытый водоотводной лоток из асфальтобетона, в зависимости от категории автомобильной дороги, верхнего и нижнего слоя покрытия, имеет: ширину 50 см или 75 см; толщину по оси лотка 8 см; высоту углубления по оси — 4 см (*рисунки 7,8*).

Устройство ложа (корыта) водоотводного лотка нарезается отвалом автогрейдера (оборудованного насадкой-ножом) под углом по направлению движения по отсыпанной и уплотненной обочине, выведенной на отметку низа верхнего слоя покрытия. Глубина вырезаемого корыта устанавливается в зависимости от толщины верхнего слоя покрытия. Ширина устраиваемого ложа (корыта) регулируется углом поворота отвала автогрейдера.

Сопрягающие лотки, расположенные на обочине в местах сброса из продольного в поперечные лотки, выполняются после устройства прикромочных открытых водоотводных лотков.

Устройство сопрягающих лотков выполняется после завершения полной отсыпки обочин, требуемого уплотнения и соответствия геометрических параметров. Толщина асфальтобетона, уложенного в ложе сопрягающего лотка, составляет 8 см.

Укладка асфальтобетонных, полимерасфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей в сопрягающем лотке осуществляется после установки железобетонных блоков (Б-5 Серия 3.503.-66) ручным способом с применением средств механизации, а их уплотнение осуществляется вибротрамбующим оборудованием (*рисунок 9*).

Контроль качества проводят путем оценки соответствия выполненных работ требованиям проекта и настоящего стандарта. Обязательным условием для приемки работ является наличие комплекта необходимой исполнительной производственно-технической документации.

Вырубки (керны) отбирают в одной точке на каждые 1000 пог. м по одной стороне устроенного покрытия по оси лотка. При этом пробы для определения качества уплотнения прикромочных водоотводных лотков и сопрягающих лотков отбираются отдельно. В каждой точке отбирается не менее двух вырубок (кернов).

Отобранные смеси оцениваются по физико-механическим характеристикам, а результаты сопоставляются с проектным составом и требованиями ГОСТ 9128, ГОСТ 31015-2002, ПНСТ 183, ПНСТ 184. В случае отклонения от проектных составов выполняется корректировка состава смеси до начала основного производства работ.

Качество уплотнения устроенных прикромочных водоотводных лотков и сопрягающих лотков оценивается по показателю водонасыщения, которое не должно превышать 7,0%.

Многолетняя эксплуатация прикромочных открытых водоотводных лотков и сопрягающих лотков из асфальтобетона предлагаемым способом на дорогах федерального значения Р-297 «Амур», А-331 «Вилюй», Р-258 «Байкал», Р-255 «Сибирь», А-360 «Лена» за период 2007-2019 годов показала высокую надежность работы данной системы водоотведения с проезжей части автомобильных дорог и, что немаловажно, удобство конструкции в ремонте и эксплуатации. ■

Стандарт организации СТО 10734648.04.09-2018 «Лотки водоотводные прикромочные открытые вдоль проезжей части и лотки сопрягающие на обочинах автомобильных дорог. Технические условия» направлен в Технический комитет Росавтодора для получения разрешения на повсеместное применение и включение его в Реестр Минтранса.

ГЕОЭКОЗАЩИТНЫЕ РЕШЕНИЯ
от загрязнения ионами тяжелых металлов

По данным Европейской ассоциации по сносу зданий ежегодно на планете в результате антропогенной деятельности образуется около 2,5 млрд т строительных отходов — не считая природных и техногенных катастроф. Ежегодно в России образуется 15-17 млн т только строительных техногенных образований, в том числе силикатной и сульфатной природы [1-3]. В настоящее время активно ведется деятельность по строительству и реконструкции в транспортной отрасли. Строительство и последующая эксплуатация объектов приводят к загрязнению литосферы тяжелыми металлами, в том числе соединениями свинца, кадмия, меди, цинка, марганца, железа.

М.В. Шершнева, д.т.н., профессор кафедры Инженерная химия и естествознание ПГУПС

Ионы тяжелых металлов называют супертоксикантами XXI века, поэтому разработка технологических решений для защиты литосферы от их воздействия является актуальной задачей геоэкологии [4-8]. Требуется разработка технологических решений для защиты почв и поверхностных вод от загрязнения ионами тяжелых металлов с использованием таких техногенных образований, которые способны поглощать загрязнения и одновременно обезвреживать их путем образования труднорастворимых веществ. Для применения таких технологических решений необходимы [9-14]:

- исследование и оценка способности техногенных образований обезвреживать ионы тяжелых металлов;
- разработка технологических решений для защиты почв и поверхностных вод от ионов тяжелых металлов с использованием техногенных образований.

В качестве материалов для исследования были выбраны сульфатные и силикатные техногенные образования в виде фосфогипса, пеногипса, гипса, асбестсодержащего и хлоритсодержащего щебня. Такой выбор был обусловлен образованием большого количества отходов на их основе, образующихся в различных отраслях промышленности. Емкость рассчитывалась по формуле:

$$a = (C_{нач} - C_{кон}) \cdot V / m$$

Таблица 1. Статическая емкость строительных и промышленных техногенных образований

Техногенные образования	Статическая емкость, мг/г			
	Cd^{2+}	Cu^{2+}	Pb^{2+}	Ba^{2+}
Фосфогипс	1,06	1,28	1,51	1,29
Пеногипс	0,99	1,21	0,85	1,33
Гипс	0,66	0,88	0,86	1,33
Асбестсодержащий щебень	1,13	1,30	1,46	0,47
Хлоритсодержащий щебень	1,15	1,11	1,26	0,47

Таблица 2. Результаты очистки поверхностного стока техногенными образованиями

Грунт	Статическая емкость, мг/г			
	Cd^{2+}	Cu^{2+}	Pb^{2+}	Ba^{2+}
Суглинок	11,2	6,3	20,7	13,7
Суглинок + фосфогипс	0,02	0,03	0,02	0,04
Суглинок + пеногипс	0,01	0,02	0,02	0,02
Суглинок + хлоритсодержащий щебень	0,05	0,03	0,04	0,02
Супесь	11,2	6,3	20,7	13,7
Супесь + фосфогипс	0,02	0,03	0,02	0,02
Супесь + пеногипс	0,03	0,03	0,02	0,02
Супесь + хлоритсодержащий щебень	0,04	0,03	0,04	0,02
Торф	11,2	6,3	20,7	13,7
Торф + фосфогипс	0,02	0,02	0,03	0,02
Торф + пеногипс	0,01	0,03	0,02	0,01
Торф + хлоритсодержащий щебень	0,04	0,02	0,03	0,04

где a — статическая емкость, мг/г;

$C_{нач}$ — начальная концентрация ионов тяжелых металлов в модельном растворе, мг/л;

$C_{кон}$ — конечная концентрация ионов тяжелых металлов в модельном растворе, мг/л;

V — объем раствора, л;

m — масса техногенного образования, г.

Для определения концентраций ионов тяжелых металлов в растворах был использован ионометрический метод с использованием соответствующих ионоселективных электродов.

Были проведены эксперименты по определению зависимости статической емкости техногенных образований от исходной концентрации раствора и времени взаимодействия. По полученным данным для определения статической емкости была выбрана концентрация 10-4 моль/л и время контакта 15 минут. Исходная концентрация соответствует степени загрязнения ионами тяжелых металлов транспортных магистралей, а увеличение времени контакта более 15 минут не приводит к увеличению степени очистки.

В выбранных условиях были проведены исследования статической емкости по отношению к таким ме-

таллам, как медь, кадмий, свинец и барий. Результаты представлены в *таблице 1*.

Наличие способности исследованных техногенных образований обезвреживать ионы тяжелых металлов позволяет предложить несколько геоэкозащитных решений их использования при транспортном строительстве:

— Во-первых, предложено использовать строительные и промышленные техногенные образования в качестве дополнительной дренажной подсыпки в зонах загрязнения тяжелыми металлами для создания экозащитных экранов при строительстве и ремонте транспортных магистралей.

Опытная апробация в модельном эксперименте на площадке в зоне влияния автодороги и Октябрьской железной дороги, при котором исследовалась концентрация поверхностного стока в присутствии техногенных образований, показала возможность их использования для создания экозащитного экрана (*таблица 2*).

Данные *таблицы 2* свидетельствуют о том, что если в грунте присутствуют техногенные образования, то концентрация ионов тяжелых металлов в поверхностном стоке существенно снижается.

Осуществлять сооружение экозащитного экрана возможно одновременно с укреплением откосов земляного полотна, используя при этом процессы механизированного травосеяния.

— Во-вторых, использование техногенных образований возможно непосредственно в водоотводных лотках транспортных магистралей в качестве дренирующего материала. В этом случае поверхностный сток, поступая в водоотводной лоток, контактирует с техногенными образованиями, которые при этом нейтрализуют ионы тяжелых металлов.

— В-третьих, очистку поверхностных стоков можно осуществлять путем использования строительных и промышленных техногенных образований в качестве фильтрующего материала при очистке ливневого стока в локальных очистных сооружениях. На территории автозаправочной станции была проведена опытная эксплуатация очистки ливневого стока от ионов свинца и нефтепродуктов с помощью комбинированного фильтрующего патрона. Верхняя часть комбинированного фильтрующего патрона на одну треть высоты была заполнена фосфогипсом, уложенным вместо части нетканого полотна (*рисунки 1 и 2*).

За весь период испытаний в очищенных поверхностных стоках концентрация ионов свинца уменьшилась в 10 раз (с 0,1 мг/л до 0,01 мг/л), обеспечив уровень очистки до ПДК.

Таким образом, были определены статические емкости по отношению к ионам тяжелых металлов таких техногенных образований, как фосфогипс, пеногипс, гипс, асбестсодержащий и хлоритсодержащий щебень. Строительные и промышленные техногенные образования, являясь отходами IV класса опасности, самопроизвольно взаимодействуют с ионами тяжелых металлов I и II классов опасности, связывая и обезвреживая их, в результате чего образуются труднорастворимые вещества в виде солей и гидроксидов соответствующих тяжелых металлов, имеющие IV класс опасности. Предложены геоэкозащитные решения для очистки поверхностного стока при транспортном строительстве с использованием строительных и промышленных техногенных образований, которые включают:

- создание экозащитного экрана при строительстве автомобильных и железнодорожных магистралей;
- очистку ливневых стоков от ионов тяжелых металлов в водоотводном лотке при строительстве транспортной магистрали и с помощью комбинированного фильтрующего патрона. ■

Рисунок 1. Комбинированный фильтрующий патрон

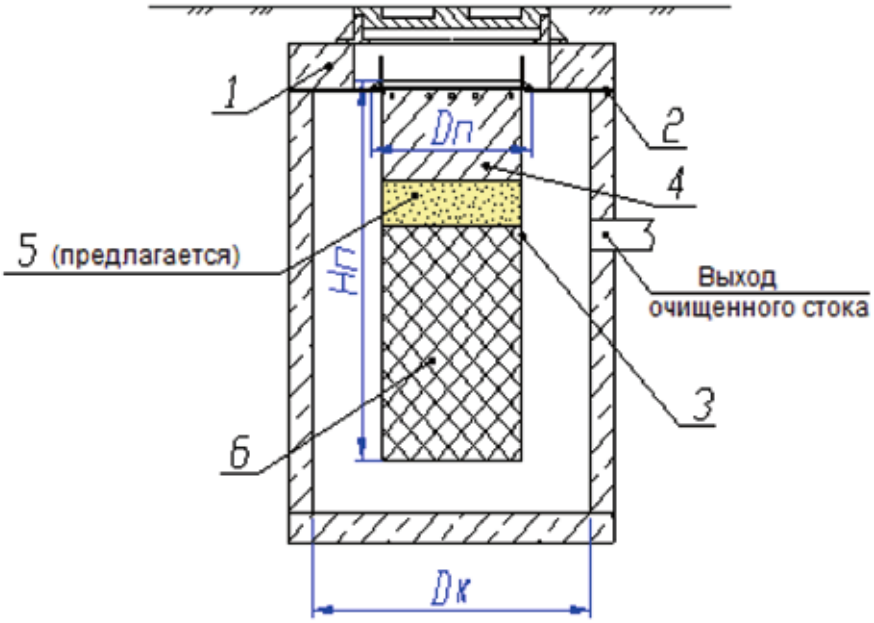


Рисунок 2. Схема установки комбинированного фильтрующего патрона:

1 — железобетонный колодец; 2 — опорное кольцо; 3 — комбинированный фильтрующий патрон; 4 — синтепон, лавсан; 5 — строительные и промышленные техногенные образования, обладающие поглотительной способностью по отношению к ИТМ; 6 — сорбент МАУ; Dк — диаметр колодца; Dп — диаметр фильтрующего патрона (по фланцам); Hп — высота фильтрующего патрона

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленникова Л.Л., Абу-Хасан М.С., Шершнева М.В. Получение жаростойкого пенобетона на основе техногенного сырья // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Четвертая Международная научно-практическая конференция. 2006. С. 286-291.
2. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Русанова Е.В., Савельева М.Ю. Геоэкозащитные свойства технологических решений в транспортном строительстве от воздействия органических загрязнений // Естественные и технические науки. 2015. № 11(89). С. 304-306.
3. Шершнева М.В. Научные основы технологий утилизации силикатсодержащих отходов / дисс. на соискание степени д.т.н. / СПб.: 2009. — 304 с.
4. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В. и др. Способ очистки сточных вод от ионов металлов / патент на изобретение № 2152360 от 24.08.1998.
5. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Пузанова Ю.Е. и др. Способ очистки сточных вод от ионов меди / патент на изобретение № 2327647 от 04.04.2007.
6. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Пузанова Ю.Е. и др. Способ очистки сточных вод от ионов меди / патент на изобретение № 2401805 от 20.07.2009.
7. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Пузанова Ю.Е. и др. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / патент на изобретение № 2360732 от 23.06.2008.
8. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Латутова М.Н., Сычева А.М., Кондрашов А.А., Савельева М.Ю. Инженерно-химические основы геозащиты природно-техногенных систем // Транспортное строительство. 2012., №12. С. 20-21.
9. Сычева А.М., Хитров А.В., Шершнева М.В., Русанова Е.В. Золопенобетон с использованием золы осадка сточных вод // Цемент и его применение. 2006., №3. С. 64.
10. Дробышев Д.И., Филатов И.П., Хитров А.В., Шершнева М.В. и др. Инженерно-химические основы получения резательных пеноавтоклавных изделий и их геозащитные свойства / СПб.: ПГУПС, 2009.
11. Сватовская Л.Б., Шершнева М.В., Байдарашвили М.М. Эко- и геоэкозащита природно-техногенных систем. Теория и практика. / СПб.: ПГУПС, 2016.
12. Масленникова Л.Л., Шершнева М.В., Бабак Н.А., Бухарина Д.Н. Технология утилизации осадка природных вод // Экология урбанизированных территорий. 2008. №3. С. 82-85.
13. Масленникова Л.Л., Бабак Н.А., Славина А.М. Геоэкологические решения по созданию эффективной строительной керамики на базе техногенного силикатного сырья // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. №2. с. 220-230.
14. Соловьева В.Я., Касаткин С.П., Степанова И.В., Масленникова Л.Л., Абу-Хасан М., Ёршиков Н.В. Бетон для фундаментов опор линий электропередачи повышенной коррозионной стойкости и долговечности // Естественные и технические науки. 2017. № 2 (104). С. 146-149.

РОСДОРТЕХ®

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

АО «СНПЦ РДТ»
410044, Г. САРАТОВ, ПР. СТРОИТЕЛЕЙ 10А
ТЕЛ.: (8452) 62-07-50; 62-66-86

INFO@ROSDORTEH.RU
ROSDORTEH.RU

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
полимеркомпозитной арматуры для искусственных сооружений на автомобильных дорогах

Полимеркомпозитная арматура занимает все более прочные позиции в современном строительстве, ее доступность связана с большими объемами производства как в Татарстане, так и по всей стране в целом. Привлекательность арматуры связана с такими показателями, как высокая прочность, высокая коррозионная стойкость, низкая теплопроводность и другими полезными свойствами арматуры [1,2].

Т.А. Зиннуров, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели» КГАСУ;
Е.А. Вдовин, к.т.н., доцент, проректор по НИР КГАСУ;
А.А. Пискунов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Мосты и тоннели» РУТ МИИТ;
Б.Ш. Умаров, аспирант кафедры «Автомобильные дороги, мосты и тоннели» КГАСУ

Перечисляя преимущества, необходимо отметить и недостатки. Основным недостатком полимеркомпозитной арматуры является низкий модуль деформации, который ближе к бетону, чем к стали, что приводит к большим деформациям конструкций, поэтому в строительной практике, особенно в ответственных конструкциях, широкого распространения полимеркомпозитная арматура не получила. Другой серьезный недостаток — слабая адгезия между молекулами бетона и композитной арматурой, что снижает сцепление между материалами [2,3,5].

Для решения данных проблем на сегодняшний день производителями создана широкая номенклатура полимеркомпозитной арматуры, в качестве сырья применяется ровинг со стеклопластиковым, базальтопластиковым и углепластиковым волокном, предложены различные виды искусственных неровностей на поверхности арматуры – в виде обмоток или песчаного слоя из кварцевого песка (*рисунок 1*).

Научный подход к решению задач внедрения полимеркомпозитной арматуры, основанный на лабораторных исследованиях, ведет нас к увеличению площади рабочей арматуры, что экономически не всегда может быть оправдано, или к применению в конструкциях предварительного натяжения стержней арматуры в растянутых зонах [4,5]. Способ повышения жесткости изгибаемых элементов за счет предварительного напряжения бетонных конструкций известен с 1936 года и широко применяется для натяжения рабочих стержней из высокопрочных сталей. Сложность технологического процесса натяжения полимеркомпозитной арматуры — в передаче усилия с домкрата на арматуру без потерь и проскальзывания. Этот вопрос авторами данной работы был подробно изучен и рассмотрен в отдельной статье [4]. По результатам проведенных экспериментов предложенная технология изготовления предварительно напряженных элементов с полимеркомпозитным армированием доказала свою работоспособность. Вертикальные деформации изготовленных плит снизились почти в четыре раза по сравнению с аналогичными плитами, но без применения технологии предварительного напряжения (*рисунки 2,3*).

Положительные результаты научно-исследовательской работы, которые позволили подтвердить предполагаемые гипотезы совместной работы бетона и полимеркомпозитной арматуры, послужили толчком для реализации инновационного проекта по внедрению бетонных конструкций с предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой. Научным коллективом института транспортных сооружений КГАСУ совместно

Рисунок 1. Полимеркомпозитная арматура с «опесчаненным» слоем

Рисунок 2. Плита пролетного строения моста, армированная предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой

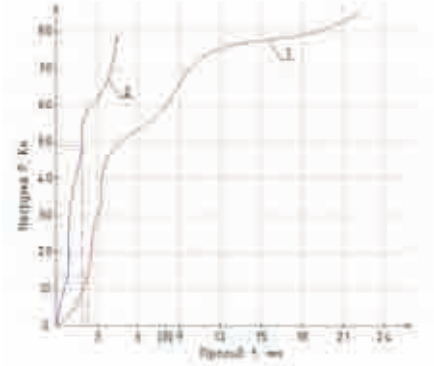


Рисунок 3. График нагрузка-прогиб для:
1 — плита без предварительного напряжения полимеркомпозитной арматуры;
2 — плита с предварительным напряжением полимеркомпозитной арматуры

Рисунок 4. Статические и динамические испытания опытных образцов плит пролетного строения

Состояние плит на 23 сентября 2017 года

Состояние плит на 8 мая 2018 года

Рисунок 5. Состояние опытных образцов плит

Рисунок 6. Лабораторные испытания водопропускных труб на распределенную нагрузку

с ООО «Мостовик» под руководством Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан и ГКУ «Главтатдортранс» разработана программа внедрения и мониторинга предварительно напряженных плит на автомобильной дороге к производственной базе «Архаровка» ООО «Алексеевскдорстрой». Начиная с 14 мая 2017 года, производятся работы по мониторингу технического состояния и проводятся периодические испытания временной нагрузкой в виде транспортных средств большой грузоподъемности в размере 50 тонн (*рисунок 4*). Подсчитано, что за год плиты приняли на себя суммарную нагрузку в размере 81000 тонн.

На сегодняшний момент отклонений в работе плиты не замечено, однако присутствует механический износ поверхности бетона — в виду отсутствия защитного слоя (*рисунок 5*).

Если говорить о стоимости, то цена готового изделия складывается из нескольких показателей: стоимость работ, стоимость бетона, стоимость арматуры. В нашем случае экономия в большей степени достигается за счет замены стальной арматуры Ø8 А500 по цене 17.42 руб. за пог. метр на стеклопластиковую АСП Ø8 по цене 11.45 руб. за пог. метр (цены указана на 2-й квартал 2018 года). Полностью сохраняя оригинальные технические решения типовых изделий, относительная экономия составит 34.3%. В плане повысить экономическую эффективность проекта путем сокращения объема бетона для изготовления плиты и продления срока службы в процессе жизненного цикла самого сооружения.

Еще одно из актуальных направлений для дорожного строительства, реализуемых на базе лабораторий Института транспортных сооружений КГАСУ, это замена стальной арматуры на полимеркомпозитную арматуру в типовых изделиях. Кольца водопропускных труб обладают формой, склонной к развитию преимущественно сжимающих напряжений при отсутствии значительных деформаций, что позволяет осуществить равнопрочную замену арматуры. На сегодняшний день при научно-техническом сопровождении КГАСУ компанией ООО «Мостовик» изготовлены сборные бетонные кольца для дорожных водопропускных труб с полимеркомпозитной арматурой, которые испытаны в лаборатории института транспортных сооружений КГАСУ (*рисунок 6*). Под руководством Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан и ГКУ «Главтатдортранс» запланировано внедрение опытных изделий для водопропускных труб на автомобильных дорогах в 2019 году. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт использования композитных полимерных материалов в мостостроении / Под ред. Ю.М. Митрофанова // Мостостроение мира, №2, 2006. — 48 с.
2. Габрусенко В.В. Особенности проектирования конструкций из бетона с композитной арматурой // Проектирование и строительство в Сибири. №6 (77), 2013, — 5 с.
3. Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Петропавловских О.К., Сафиюлина Л.Г., Яковлев Д.Г. Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // Интернет-журнал Науковедение, Том 7, №4 (2015). http://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf.
4. Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Петропавловских О.К., Яруллин Р.Р., Умаров Б.Ш., Вольтер А.Р. Метод изготовления предварительно напряженных конструкций с композитным армированием и композитным фибробетоном // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №2 (2017). http://t-s.today/PDF/05TS217.pdf.
5. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красиникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2(62). С. 32-41.

АКТИВНАЯ ПОДСВЕТКА
для безопасности дорожного движения

Начиная с XVIII века ученые занимаются изучением природы происхождения естественных электрических токов Земли и возможностей их применения. Возникновение этих токов связывают с магнетизмом Земли, электризацией ее поверхности ветром и грозовыми разрядами.

Н.А. Поляков, к.т.н., заместитель генерального директора, руководитель проекта,
В.Д. Федоров, технический директор проекта,
С.Е. Фурдыконь, директор по развитию проекта, ООО «БСК Экспресс», проект «Эко Энергия»

Впервые о данном явлении упоминают Фокс и Беккерель (1830), исходя из теории магнетизма Ампера, они искали и нашли подобные токи в земной поверхности. Позже исследование земных токов производилось Барловым (1849) и Эри (1860-90) в Англии, Гейсигом в Германии, Пальмиери в Италии, Блавье (1884) и Маскаром (1890, в обсерватории Сен-Мор около Парижа), П. Бахметьевым в Болгарии (1892-1893) и 1882 г. в Павловске Г. Вильдом.

Наша компания, взяв за основу опыт исследований электрохимических процессов этих ученых, а также Л. Гальвани, А. Вольта, Ж. Лекланше, Н. Тесла, и применив современную элементную базу, создала новый источник тока — теллурический элемент.

При исследованиях и разработке теллурического элемента выбор пал на самые распространенные металлы с достаточной разностью электродных потенциалов (Zn (цинк) равен -0,76 В и Cu (медь) +0,34 В), способных вступать в реакцию во влажной среде. Эти металлы достаточно стабильны и имеют разность потенциалов между собой 1,1 В, что вполне достаточно, чтобы запустить электронный преобразователь (ноу-хау компании) для питания светодиодов. Принцип действия теллурического элемента основан на электрохимической реакции между металлами с разными электродными потенциалами. Согласно 2-му закону Фарадея, количество электричества, приложенного, равно как и полученного, прямо пропорционально массе электродов, а значит, при нагрузке один из электродов будет разрушаться. В нашем случае, как показали лабораторные исследования, электрод с отрицательным электродным потенциалом теряет около 15-17% своей массы за полгода, при этом такой же электрод, помещенный в открытый грунт, теряет всего около 4-5% своей массы, что значительно повышает гарантированное время работы источника тока — минимум до 5 лет.

Из результатов эксперимента можно сделать вывод, что теллурические токи, протекающие в верхних слоях земной коры, принимают активное участие в процессе электрохимической реакции, что приводит к снижению расхода электродов.

НОВЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ «ТЕЛЛУРИЙ»

Теллурический элемент «Теллурий» — это новый источник электроэнергии, имеющий широкое применение в различных областях народного хозяйства и в дорожной инфраструктуре.

Теллурический элемент представляет собой конструкцию, состоящую из 2 элементов. Один элемент — это набор медных пластин, соединенных в единую конструкцию особой формы и блока электронного преобразователя. Второй элемент представляет собой конструкцию из оцинкованных штрипсов особой формы.

Теллурический элемент представлен в трех модификациях:

- модели ТЭ-4 и ТЭ-8 — источник питания для постоянного свечения светодиода, с разными техническими характеристиками;
- модель ТЭ-6 — источник питания, в котором применена система flash (параллельное прерывание питания нагрузок с частотой 1 Гц).

Инженеры проекта «Эко Энергия» впервые применили теллурический элемент в качестве источника электропитания в совершенно новых направляющих устройствах с активной подсветкой для дополнительной безопасности дорожного движения в темное время суток.
Разработанные направляющие устройства с активной подсветкой (столбик сигнальный дорожный с активной подсветкой (СДА) и катафот с активной подсветкой (КДА)) проходили испытания в различных регионах со специфическими географическими и климатическими условиями. Проведя анализ работоспособности теллурического элемента, мы сделали заключение, что новый источник электропитания универсален и может быть применен в различных географических ландшафтах и большей части границ климатических поясов.

СТОЛБИК СИГНАЛЬНЫЙ ДОРОЖНЫЙ С АКТИВНОЙ ПОДСВЕТКОЙ

Столбик сигнальный дорожный с активной подсветкой — это устройство, состоящее из корпуса столбика с теллурическим элементом, светоизлучающим и световозвращающим элементом.
Корпус столбика изготавливается из кабельного пластика или полиэтилена с композитными добавками, что обеспечивает его эластичность.

В цельной пустотелой конструкции столбика в верхней части располагается новый светоизлучающий элемент, а ниже на расстоянии 500 мм — световозвращающий элемент или катафот.
Светоизлучающий элемент — это новое технологическое решение, применимое в новом дорожном столбике, где в качестве активного элемента используются светодиоды. Такое решение обеспечивает постоянную подсветку края обочины и заблаговременно информирует водителя в темное время суток о приближении к опасному участку.
Увеличенная высота нового сигнального столбика, которая составляет 1500 мм от уровня земли, позволяет ему быть заметнее на обочине при снежных заносах. Водитель, заметив такой столбик, сможет максимально быстро сориентироваться в дорожной ситуации и принять оптимальные меры безопасности.
Новый СДА актуально применять на опасных участках автодорог, где в темное время суток происходит максимальная концентрация дорожно-транспортных происшествий.
Для обеспечения безопасности пешеходов в темное время суток на пешеходных переходах мы разработали комплексное решение. Предлагаем оборудовать пешеходные переходы новыми СДА с постоянным свечением и дополнительно применить новый СДА с системой flash. Такое решение, в виде постоянного и импульсного свечения, заблаговременно проинформирует водителя о приближении к месту пешеходного перехода.
Установка СДА на обочине автодорог — нетрудоемкая работа. С помощью бура делают два отверстия (шурфы) в грунте глубиной не менее 1500 мм или глубже — зависит от глубины промерзания почвы. Далее в шурф погружают СДА и шурф засыпают песком, периодически проливают обычной водой для уплотнения грунта. Устройство активируется сразу после монтажа.

КАТАФОТ ДОРОЖНЫЙ С АКТИВНОЙ ПОДСВЕТКОЙ

Катафот дорожный с активной подсветкой для дорожных ограждений барьерного типа состоит из корпуса катафота и теллурического элемента. Оцинкованный металлический корпус катафота спроектирован нашими инженерами в моноблочном и антивандальном исполнении. Исполнительные элементы КДА устанавливают в штатное отверстие на барьерном ограждении и подключают проводами к теллурическому элементу.
Как и в СДА, активным элементом являются светодиоды, которые установлены в светоизлучателях, для лучшей информативности на автодорогах в темное время суток и на опасных участках.
КДА представлены в двух модификациях: с постоянным свечением светодиодов и импульсным свечением системы flash. Новые КДА с импульсным свечением рекомендуется устанавливать на начале барьерного ограждения и на опасных поворотах, привлекая внимание водителей и информируя о начале опасного участка.
Монтаж КДА практически полностью повторяет установку СДА, за исключением подключения корпуса КДА к теллурическому элементу.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Первые опытные эксперименты наших устройств с теллурическим элементом мы начали проводить на дорогах еще в 2016 году. На Можайском шоссе мы установили

первые версии СДА.
В 2017 году мы установили «Пилотные зоны» с нашими устройствами на Егорьевском шоссе Московской области, в Ярославской области в г. Переславль-Залесский и в Тульской области на региональной дороге Тула — Белев в Ленинском районе.
В 2018 году мы оборудовали сложный участок платной дороги М-4 новыми катафотами с активной подсветкой. Так скоростная магистраль М-4 «Дон» стала первой магистралью для тестирования нового оборудования!
В 2019 году были проведены установки в Буйнакском районе Республики Дагестан. В этом же году мы тестировали наши новые устройства в Республике Карелия на участке региональной дороги 86К-10 Петрозаводск — Суоярви.
Наш проект по внедрению инноваций на автодорогах поддержали: Федеральное дорожное агентство «Росавтодор», ГБУ МО «Мосавтодор», Переславский филиал ГП Ярославской области «Ярдормост», Министерство транспорта и дорожного хозяйства Республики Дагестан, ГКУ «Дагестанавтодор», МВД России, МВД по Республике Дагестан, ООО «ДЭП №45», ГК «Карелавтодор», ГУ Тульской области «Тулаавтодор».
Совместно с нашим партнером, компанией ООО «СНАБСТРОЙ», установили наше инновационное оборудование на опасном участке федеральной автомобильной дороги А-181 «Скандинавия» (Ленинградская область, пос. Торфяновка).
Новые устройства с активной подсветкой, установленные на опасных участках дорог, способны обеспечить «световой коридор» для улучшения ориентации водителя и обозначения края обочины. Эти устройства полностью автономны и способны работать 24 часа в сутки круглый год, вне зависимости от времени года и погодных условий.
Корпуса исполнительных элементов не подвержены воздействию химических реагентов и механизированной уборки дорожного оборудования спецтехникой.
Применение новых направляющих устройств способствует повышению экономической эффективности за счет уменьшения операционных затрат на обслуживание электросети.
На протяжении всего расчетного срока службы (5 лет) не требуется никаких затрат на замену и/или восстановление световозвращателей, что сокращает эксплуатационные расходы. Отсутствует потребность в утилизации аккумуляторных батарей, т.к. источник энергии экологически безопасен.
Хочется отметить, что при эксплуатации СДА и КДА требуется стандартное регламентное техническое обслуживание.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Теллурические батареи могут быть использованы в неэлектрофицированных местах как источник электрической энергии для:

- Маломощных устройств для подсветки, обозначения границ (опасная обочина дороги, отпугивание животных), сейсмо- и других датчиков, радиосигнализации, навигации;
- Для питания низкоэнергетических потребителей: LED-дорожный знак, фотокамера, газовый спектрометр, счетчик проезжающих автомобилей и др.;
- Длительного накапливания цифровой информации (энергозависимые ОЗУ) и ее выдачи – GSM-модули или непосредственный контакт (USB-разъем);
- Мониторинга состояния трубопроводов, экосистем, сооружений, etc.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Современная жизнь со своими девайсами и гаджетами диктует нам правила игры. Наш проект «Эко Энергия» с новыми разработками идет в ногу со временем, а иногда и опережая его. Для многих непосвященных в хемотронику и электрофизику все наши изобретения кажутся научной фантастикой. Но через каких-то 5-10 лет для них «энергия Земли» будет обыденной, как сегодня используют энергию солнца, воды и воздуха.
Применяя новый вид альтернативной энергии — теллурические токи — в дорожной инфраструктуре, мы стремимся сделать наши дороги передовыми, инновационными и безопасными. ■

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Будьте в курсе и принимайте решения на основе полной информации!

ЖУРНАЛ «МИР ДОРОГ» ЭТО:

Ежемесячное издание с тематическими номерами | Журнал является официальным информационным партнером Министерства транспорта РФ (*www.mintrans.ru*, «Отраслевые СМИ») | Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается на портале *elibrary.ru*

3 900 Р

электронная версия издания на 12 месяцев

До 5 e-mail адресов при электронной подписке!

7 200 Р

печатная версия издания на 12 месяцев

9 600 Р

электронная+печатная версии издания на 12 месяцев

Преимущества:

Электронная версия — оперативное получение свежих номеров, возможность указать адреса не только сотрудников компании, но и партнеров, потенциальных заказчиков.

Бумажная версия — удобно читать статьи «с карандашом», обсуждать и использовать при переговорах — всегда можно открыть на нужной странице и показать мнения экспертов.

Для оформления подписки необходимо:

1. Выбрать подходящий для вас вариант и оплатить счет, который находится на обороте;
2. Отправить на электронную почту **podpiska.mirdorog@yandex.ru** контактные данные для отправки издания:

электронная версия: ФИО и телефон контактного лица, до 5 e-mail адресов получателей
печатная версия: ФИО и телефон получателя, почтовый адрес, количество экземпляров издания

Если у вас остались вопросы, свяжитесь с нами по телефонам
+7 (812) 200-48-45 +7 (909) 691-21-00

bauma CTT RUSSIA

Innovation Area

Впервые в рамках bauma CTT RUSSIA будет представлена площадка, которая даст возможность производителям акцентировать внимание на последних разработках.

Посетители bauma CTT RUSSIA одними из первых увидят новинки отрасли от ключевых игроков рынка.

www.bauma-ctt.ru

Территория инноваций