



**НАУКА –  
АВТОДОРОЖНОМУ  
ХОЗЯЙСТВУ**

**Материалы  
I Международной  
научно–практической конференции**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

# НАУКА – АВТОДОРОЖНОМУ ХОЗЯЙСТВУ

Материалы I Международной научно-практической конференции  
аспирантов, магистрантов, студентов и учащихся колледжей

Под общей редакцией канд. техн. наук *Д. И. БОЧКАРЕВА*

Гомель 2019

УДК 625.7/.8.001.2

Изложены материалы докладов I Международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов, студентов и учащихся колледжей «Наука – автомобильному хозяйству».

Для научных работников, магистрантов, аспирантов, студентов старших курсов технических вузов, а также инженерно-технических работников автомобильных предприятий и проектных организаций.

Рецензенты: генеральный директор РУП «Гомельавтодор» *С. Н. Лазбекин*;  
д-р техн. наук, профессор *А. К. Головнич* (БелГУТ)

Редакционная коллегия:

*Д. И. Бочкарев* (отв. редактор), *П. В. Ковтун* (зам. отв. редактора),  
*Д. Ю. Александров* (секретарь), *Г. В. Ахраменко*, *И. М. Царенкова*,

**МАЛЫЙ БИЗНЕС УЗБЕКИСТАНА:  
НОВАЯ НАЛОГОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ –  
ГАРАНТИЯ РАЗВИТИЯ БИЗНЕСА**

*А. АБДУХАКИМОВ, Ф. ТУРСУНОВ, Ш. СУВОНОВ (261-18 УП)*

*Научный руководитель – доц. И. А. РАХИМБЕРДИЕВ*

*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Интенсивное развитие любого государства подразумевает создание условий, в которых свободно могут развиваться предприятия различных масштабов и форм собственности. Одним из факторов, влияющих на этот процесс, является государственная концепция налогообложения.

Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017–2021 годах явилась важнейшим программным документом, определившим приоритетные направления государственной политики на среднесрочную перспективу.

При реализации Стратегии действий в 2017 году особое внимание было уделено практическому воплощению в жизнь принципа «Интересы человека – превыше всего» и благородной идеи «Не народ должен служить государственным органам, а государственные органы должны служить народу», прежде всего, путем установления прямого диалога с народом и обеспечения реальной защиты прав, свобод и законных интересов граждан.

Согласно этому Указу, сроком на два года объявлен мораторий на проведение проверок финансово-хозяйственной деятельности субъектов предпринимательства, которые могли бы спокойно осуществлять свою деятельность, без отвлечения своего времени и ресурсов на проверки со стороны контролирующих органов.

По итогам 2017 года в Узбекистане доля малого бизнеса и частного предпринимательства в ВВП составила 53,3 %, или 119301 млрд суммарно (в Японии – 55 %, Германии – 54, США – 52, Казахстане – 25,6, России – 20).

В малом бизнесе на этот период уже работает 78,3 % занятого населения страны, тогда как в 2000 году данный показатель составлял всего лишь 49,7 %.

В 2017 году доля малого бизнеса в производстве промышленной продукции составила 39,6 % против 12,9 в 2000 году, сельского хозяйства – 99 %,

строительстве – 65,1 %, розничном товарообороте – 88,4 %. Доля малого бизнеса в общем объеме экспорта республики составляет 27 %, импорта – 50 %, инвестиций – 32 %.

В республике для развития малого бизнеса и частного предпринимательства были созданы следующие условия:

1 Упрощенная система регистрации субъектов малого бизнеса и предпринимательства (время для регистрации составляет 30 минут: для индивидуального предпринимателя необходимо подготовить один документ, при открытии малого предприятия с юридическим лицом – два документа).

2 Ставка единого налогового платежа малых предприятий составляет 5 % от объема реализованных товаров и услуг. Это является важным фактором создания благоприятных условий для развития малого бизнеса.

3 Вновь созданным производственным предприятиям с иностранными инвестициями предоставляется право применения в течение пяти лет ставок налогов и других обязательных платежей, действовавших на дату их регистрации. Начиная с 2018 года, субъекты малого бизнеса, владеющие свыше 1 га земли, выплачивают единый земельный налог.

4 Финансовая поддержка субъектов малого предпринимательства осуществляется посредством выдачи банками кредитов с субсидированной ставкой, поручительства Государственного фонда поддержки развития предпринимательской деятельности субъектам бизнеса в размере до 50 % от суммы получаемого кредита и представления Фондом компенсации процентных расходов по кредитам коммерческих банков.

5 Интересы бизнеса защищены институтом Уполномоченного по защите прав и законных интересов субъектов предпринимательства. В Узбекистане отменены внеплановые проверки деятельности малого бизнеса, субъекты предпринимательства, совершившие впервые финансово-хозяйственные правонарушения, освобождены от всех видов ответственности.

6 Во всех регионах страны созданы центры содействия предпринимательству с их дислокацией в помещениях, где функционируют единые центры по оказанию государственных услуг субъектам предпринимательства по принципу «одно окно». Начинающим предпринимателям созданы бизнес-инкубаторы, которые оказывают правовую и консультативную поддержку в подготовке бизнес-планов, получении необходимой информации.

7 Повсеместно в стране организованы учебные курсы для предпринимателей по ведению бизнеса, осуществляющих проекты на базе приватизированных объектов, созданы кластеры молодежного предпринимательства, где молодым начинающим предпринимателям предоставлены в аренду площадки по нулевой ставке сроком на 5 лет.

По состоянию на 1 апреля 2018 в республике количество действующих субъектов малого бизнеса без учета дехканских и фермерских хозяйств уже составило 238,5 тысяч против 99,4 в 2001 году. Из общей численности субъектов малого бизнеса 8,2 % составляют малые предприятия, 91,8 % – микрофирмы.

В разрезе отраслей 9,1 % субъектов малого бизнеса осуществляют деятельность в сельском хозяйстве, в промышленности – 20,9 %, строительстве – 11 %, торговле и питании – 34,1 %, перевозке грузов – 5,2 % и в других сферах деятельности – 19,7 %.

Высокий вклад субъектов малого бизнеса в производство промышленной продукции в регионах приходится на город Ташкент – 71,3 %, Наманганскую – 68,4 %, Джизакскую – 61,3 % и Самаркандскую – 55,5 % области. Аналогичный показатель малого бизнеса Ташкентской области составляет 29,6 %, Кашкадарьинской – 23,1 % Навоийской области – 18,8 %, Республики Каракалпакстан – 18 %.

Вместе с тем следует отметить проблемы, которые ограничивают полную реализацию потенциальных возможностей малого бизнеса.

1 Более 62 % занятых в малом бизнесе страны занимаются индивидуальным предпринимательством и лишь около 16 % приходится на малые предприятия и микрофирмы. Низкая доля занятых в малых предприятиях отмечена в Навоийской (11,3 %), Кашкадарьинской (12,4 %) и Ташкентской (13,2 %) областях.

2 В структуре занятых в малом бизнесе 34,2 % занято в сельском хозяйстве, а в промышленном производстве – 12,7 %, в строительстве – 11,6 %, в торговле – 13,4 % и в сфере услуг – 28,1 %.

Данная структура занятости по отраслям свидетельствует о низком уровне концентрации деятельности малых предприятий в сфере промышленного производства, где производительность созданных рабочих мест относительно выше, чем в других отраслях. Сохранение данной тенденции в перспективе может вызвать проблемы, связанные с ростом реальных доходов населения от оплаты труда и предпринимательской деятельности, что ограничивает возможности государства в предоставлении населению социальных гарантий.

3 Высокая доля численности субъектов малого бизнеса сохраняется в торговле (26,7 % от общего количества, или 63,7 тысячи субъектов). В розничном товарообороте на долю малых предприятий и микрофирм приходится 20,2 %, на долю индивидуальных предпринимателей – 69,4 % от их общего количества, что негативно сказывается на поступлении денежных средств в банковский сектор и искажает потенциал налогооблагаемой базы субъектов малого бизнеса.

4 В региональном разрезе наибольшее количество субъектов малого бизнеса осуществляет свою деятельность в городе Ташкенте (22,6 %), Ташкентской (9,6 %), Ферганской (8,8 %) и Андижанской (8,7 %) областях. В данных четырех регионах осуществляют свою деятельность около 50 % субъектов малого бизнеса от их общего количества, что свидетельствует о наличии неиспользованного потенциала развития малого бизнеса в других регионах, в таких как Сырдарьинская (3,2 %), Навоийская (3,3 %) и Джизакская (4,2 %) области.

5 Транспортные расходы при международных перевозках грузов. К примеру, отправка одного контейнера составляет примерно 3100 дол. США, в

Центральной Азии составляет 1582 дол. США, если сравнивать с китайскими экспортерами – 500 дол. США, пакистанскими – 611 дол. США, немецкими – 872 дол. США и т. д. Кроме того, в Узбекистане продолжительность экспортного процесса составляет 44 дня (это не связано с территориальным размещением), в то время как в развитых странах составляет 29 дней.

6 В Узбекистане таможенные платежи (акциз, налог на добавленную стоимость и таможенный платеж) составляют 41,7 %, это свидетельствует о высоком уровне импортного протекционизма.

Высокий потенциал в развитии малого бизнеса в стране имеют такие сферы, как производство строительных и отделочных материалов, приборов, запасных частей и инструментов для машиностроения, электротехнической, химической, фармацевтической продукции, многих видов потребительских товаров и др.

При этом следует отметить, что согласно существующему законодательству, к малым предприятиям относятся предприятия, предельная численность работников которых в сельском, лесном и рыбном хозяйстве составляет до 50 человек, в промышленности варьирует от 100 до 270 человек в зависимости от видов деятельности, в торговле и сфере услуг – от 25 до 50 человек.

В 2019 году намечается продолжение работы по совершенствованию и оптимизации налоговой и таможенной политики, снижению налоговой нагрузки, упрощению налогового и таможенного администрирования.

Особое внимание будет уделено развитию сферы туризма, стимулированию развития въездного и внутреннего туризма, упрощению административных и визовых процедур для туристов.

Так, будут приняты конкретные меры по созданию открытой экономики, коренному улучшению деловой среды и инвестиционного климата, сокращению государственного присутствия в экономике, на новом уровне будет продолжена работа по укреплению здоровья населения.

«...Только активно привлекая инвестиции, вводя новые производственные мощности, мы добьемся ускоренного развития нашей экономики. А положительные результаты в экономике позволят последовательно решать накопившиеся проблемы в социальной сфере», – сказал глава государства.

Начиная с 2019 года:

1 Снизится налоговая нагрузка на фонд оплаты труда.

2 Совершенствуется налогообложение плательщиков общеустановленных и упрощенных налогов с оптимизацией налогов с оборота (выручки), а также критерии перехода на упрощенный режим налогообложения.

3 Реализуются меры по снижению негативного воздействия совершенствования налоговой политики на плательщиков упрощенного режима налогообложения.

4 Совершенствуется порядок исчисления и уплаты налога на добавленную стоимость и акцизного налога.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Информация о состоянии и развитии малого бизнеса и частного предпринимательства в Узбекистане [Электронный ресурс] / Министерство экономики и промышленности Республики Узбекистана. – Режим доступа: <http://mineconomy.uz/ru/node/2089>. – Дата доступа: 20.03.2019.

УДК 625.84

### ПРОБЛЕМЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НОРМАТИВНОГО СОДЕРЖАНИЯ ВОЗДУХОВОВЛЕЧЕНИЯ В ДОРОЖНОМ БЕТОНЕ

*Т. Ж. АМИРОВ*, д-р философии по техн. наукам (PhD)  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Представлены аналитические материалы по исследованию влияния содержания вовлеченного воздуха на физико-механические показатели дорожных цементобетон. Дан график экспериментальной установки, и показано влияние содержания воздуха на снижение прочности при сжатии бетона.

Содержание воздуха в бетонной смеси является одним из самых важных параметров. Для каждой смеси существует минимальный объем пор, необходимый для обеспечения морозостойкости.

В соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 26633–2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» в бетоне дорожных покрытий следует одновременно применять пластифицирующую и воздухововлекающую добавки.

Согласно этому стандарту объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха должен соответствовать  $6 \pm 1 \%$  [1].

Главная цель воздухововлечения – повышение морозостойкости бетона в условиях попеременного замораживания и оттаивания, а также обеспечение долговечности и долговечности поверхностной части покрытия [2, 3].

Применение добавок делает бетон более стойким к поверхностному разрушению. Вместе с тем следует отметить, что при введении воздухововлекающей добавки в бетонную смесь, заметно снижается прочность бетона пропорционально объему воздуха в бетоне.

По данным исследований общая потеря прочности на сжатие может составлять 3–5,5 %, на растяжение при изгибе 2–3 % на каждый процент содержания воздуха (рисунки 1).



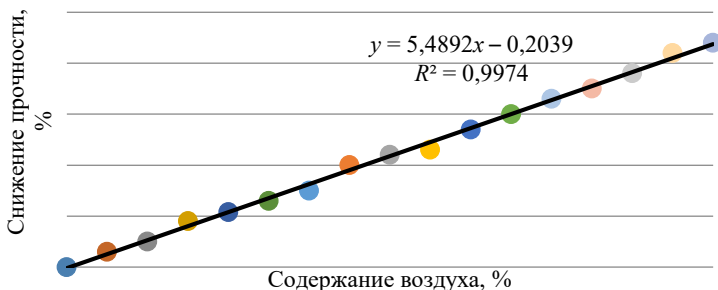


Рисунок 1 – Влияние содержания воздуха на снижение прочности при сжатии бетона

Общеизвестно, что механизм воздухововлечения состоит в том, что вовлечение воздуха происходит на стадии перемешивания смеси, причем добавки лишь стабилизируют воздушные пузырьки, образовавшиеся в смеси при ее перемешивании.

При этом происходит захват воздуха из смеси и диспергация на пузырьки меньших размеров. Заполнитель обеспечивает пространственный заслон и фиксацию пузырьков воздуха в процессе перемешивания.

Таким образом, сам термин «воздухововлекающие добавки», по нашему мнению, не вполне удачен потому, что введение так называемых воздухововлекающих добавок обеспечивает повышение содержания пузырьков воздуха по сравнению со смесью без добавок и уменьшение их размеров, а также способствует их сохранению в бетоне.

За счет вовлеченного воздуха в бетоне создается объем свободного порового пространства с размерами воздушных пор в пределах 0,05–1 мм, с расстоянием между отдельными порами не более 0,25 мм, чтобы противостоять давлению, возникающему вследствие изменения объема при замораживании насыщенной водой.

При замораживании избыточная вода выжимается во всех направлениях, но преимущественно в ту сторону, где гидравлическое сопротивление меньше. Этот процесс носит название «гипотеза гидравлического давления».

Согласно гипотезе, разрушение вызывает не непосредственно образовавшийся лед, а давление выжимаемой им воды в тех капиллярах, где оно превышает критическое, соответствующее прочности бетона при растяжении.

Следовательно, главная задача, которую необходимо решить с помощью воздухововлечения в бетон, – создание системы из большого числа маленьких пузырьков, куда может выжиматься часть воды при замораживании.

Следует особо отметить, что морозостойкость бетона главным образом зависит от степени насыщения водой в момент замерзания.

Исследованиями доказано, что ниже критического уровня насыщения бетон без поровой структуры также обладает высокой морозостойкостью, а сухой бетон вообще не разрушается.

Нужно заметить, что даже в случае насыщения водой образцов при лабораторных испытаниях на морозостойкость, не все поры заполняются водой, вследствие чего эти образцы не разрушаются от первого же замораживания.

Бетон при твердении в естественных условиях теряет влагу и при повторном увлажнении уже не может поглотить то же количество воды, какое было им потеряно.

Воздухововлечение не влияет на сроки схватывания цементов в бетонной смеси, повышая подвижность смеси, улучшает технологичность: ее легче транспортировать, укладывать и формировать без расслоения.

Этот эффект вызван «подшипниковым» действием пузырьков воздуха, которых содержится около четверти миллиона в  $1 \text{ см}^3$  цементного теста.

Наличие в бетонной смеси воздуха уменьшает опасность водоотделения и расслоения, а также уменьшает опасность сегрегации (разделения крупных частиц) бетонной смеси при транспортировании и вибрировании, хотя этот прием нельзя рассматривать как основной метод борьбы с расслоением.

Бетонные смеси, содержащие воздух благодаря введению добавок, обычно труднее поддаются отделке, так как они обладают большей «связностью» и выделяют меньше воды.

Там, где технологическое оборудование, материалы и условия производства работ ограничивают возможность варьирования факторами для регулирования воздухововлечения в бетонной смеси при ее приготовлении, следует регулировать режим перемешивания, количество вводимых воздухововлекающих добавок, соотношение между крупным и мелким заполнителями.

Практикой установлено, что увеличение времени перемешивания оказывает более эффективное влияние на объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, чем повышение расхода воздухововлекающей добавки.

Однако нужно иметь в виду, что увеличение сроков перемешивания сначала приводит к повышению воздухововлечения, но дальнейшее перемешивание может вызвать его снижение в связи уменьшением подвижности смеси.

Увеличение объема вовлеченного воздуха может быть достигнуто повышением расхода воздухововлекающей добавки, если продолжительность перемешивания достигнет своего максимума.

С увеличением содержания добавок возрастает и количество в бетоне вовлеченного воздуха. Для большинства добавок эта зависимость носит параболический характер и имеет тенденцию к достижению определенного уровня при значительном их содержании. Однако не существует строгого соотношения между количеством введенной добавки и степенью воздухововлечения.

Практика строительства цементобетонного покрытия показала, что стабильное обеспечение нормируемого стандартом содержания в бетонной смеси воздуха очень сложно, так как оно зависит от множества факторов.

Например, на содержание воздуха влияет подвижность бетонной смеси, и чем выше осадка конуса бетонной смеси, тем больше воздухововлечение.

Установлено, что с повышением максимальных размеров заполнителя содержание воздуха в бетоне снижается.

Воздухововлекающая добавка вызывает очень слабое воздухововлечение в цементном тесте и максимальное – в цементно-песчаном растворе.

Следовательно, содержание воздухововлекающей добавки, необходимое для достижения требуемого объема вовлеченного воздуха, может существенно колебаться в зависимости от В/Ц, содержания песка в бетонной смеси и его зернового состава.

Многочисленными исследованиями определено, что фракция заполнителя размером от 0,14 до 0,63 мм является главным фактором, влияющим на воздухововлечение. Кроме того, было найдено, что частицы размером от 0,07 до 0,15 мм не оказывают никакого влияния, а меньше 0,07 мм – фактически тормозят воздухововлечение, как и частицы цемента.

Так как заполнитель размером меньше 0,07 мм ослабляет воздухововлечение, бетон с избытком этой фракции заполнителя в отдельных случаях нуждается в большем количестве воздухововлекающей добавки и возможно его 3–4-кратное увеличение.

Соответственно, при использовании загрязненного песка может возникнуть проблема и его применение также приведет к необходимости существенного увеличения дозировки воздухововлекающих добавок.

Форма зерен песка также имеет некоторое значение. Естественно, что округлые песчинки создают более благоприятные условия для проникания вовлеченного воздуха, чем остроугольные.

Следует отметить, что песок – наиболее важный фактор воздухововлечения, и подчеркнуть необходимость контроля над однородностью.

Иногда влияние различных характеристик песка на содержание воздуха в бетонной смеси труднообъяснимо, и в некоторых случаях проблему можно решить путем применения песка других месторождений.

Результаты наблюдений дают основание утверждать, что одной из основных причин значительных колебаний содержания воздуха в бетонной смеси является применение щебня и песка разных карьеров, с разными гранулометрическими составами и качеством, а также частые изменения соотношения крупного и мелкого заполнителя.

Температура бетонной смеси также влияет на содержание воздуха, и чем выше температура бетонной смеси, тем меньше в ней воздуха. Практикой установлено, что влияние температуры особо заметно в высокоподвижных бетонных смесях, а для смесей с осадкой конуса до 4 см изменение температуры практически не влияет на содержание воздуха.

Химический состав цемента также влияет на процесс воздухововлечения. Цементы с высоким содержанием щелочей легче вовлекают воздух, чем с низким. Поэтому для смесей на таких цементах требуется меньше воздухововлекающих добавок.

Вибрация снижает содержание воздуха, поскольку при этом возможно слияние крупных пузырьков и содержание воздуха при этом ощутимо уменьшается.

Необходимо отметить, что количеством воздухововлекающей добавки, определенным в лабораторных условиях, в производственных условиях получить требуемый объем вовлеченного воздуха на месте укладки практически невозможно.

Поэтому в выдаваемом рецепте на состав бетонной смеси следует указать, что расход воздухововлекающей добавки по лабораторному подбору подлежит уточнению при фактическом расходе добавки в производственных условиях, который обеспечивает требуемое воздухововлечение на месте производства работ.

При строительстве цементобетонных покрытий практически всегда обеспечивается требование стандарта ГОСТ 26633–2012 для дорожного бетона по  $V/C < 0,45$ , но не всегда удается стабильно обеспечить содержание воздуходо-содержания в пределах  $6 \pm 1 \%$ .

Не опровергая роль воздухововлечения, следует отметить, что требуемую марку морозостойкости можно обеспечить, регулируя  $V/C$  без воздухововлекающих добавок, и это подтверждается данными исследований (таблица 1) [4].

*Таблица 1 – Значения водоцементного отношения*

По методу расчета	Значение $V/C$ при марке по морозостойкости F		
	100	200	300
Г. И. Горчакова	0,52	0,46	0,43
О. В. Кунцевич	0,5	0,45	0,42
ЕКБ-ФИП	0,6	0,58	0,5
Г. В. Несветаева	0,67	0,55	0,39
Среднее	0,57	0,51	0,43

Результаты исследования подтверждены на практике строительства цементобетонного покрытия на объекте «Реконструкция автодороги А-380 «Гуззар-Нукус-Кунгират-Бейнеу».

Неоднократные испытания вырезанных кернов с участков с наименьшим содержанием воздуха в пределах 2,5–3,5 %, подтвердили морозостойкость марки не ниже F100.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 26633–2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. ГОСАРХИТЕКТУРСТРОЙ РУз. – Ташкент, 2014.

2 Шейнин, А. М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий / А. М. Шейнин. – М. : Транспорт, 1991. – 151 с.

3 Пинус, Э. Р. Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог / Э. Р. Пинус. – М. : Высш. шк., 1985. – 303 с.

4 Баженов, Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2003. – 500 с.

5 Adilkodjaev, A. I. Some aspects of the entrained air on the physico-mechanical and technological properties of road concrete / A. I. Adilkodjaev, T. J. Amirov // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : International Conference, 2018, April 26. Part 1 / Minzu University of China. – Beijing. – 2018. – P. 167–171.

УДК 69.059.32

## **К МЕТОДОЛОГИИ УСИЛЕНИЯ ТАВРОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С УГЛЕПЛАСТИКОВЫМИ ВОЛОКНИСТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*Ш. Б. АХМЕДОВ* (ст. науч. сотр.- иссл.)

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *А. А. АШРАБОВ*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Работа посвящена методологии усиления тавровых железобетонных балок с помощью наклеенных на их поверхность листов углепластиковых волокнистых материалов. Определены виды разрушения и характер трещинообразования при предельной нагрузке, а также выявлена степень повышения несущей способности при данном виде усиления. Выяснено, что использование систем полос УПВМ как метод усиления является наиболее эффективным для реабилитации поврежденных балок, работающих в реальных условиях, и позволяет увеличить несущую способность железобетонных балок при срезе.

Вопросы оценки технического состояния и усиления железобетонных мостов и сооружений являются основными при их эксплуатации, так как во многих из них при обследовании обнаруживаются серьезные повреждения от совместного действия эксплуатационных нагрузок и окружающей среды. Эти повреждения, накапливаясь и развиваясь со временем, снижают их несущую способность и могут привести к катастрофическим последствиям. Наиболее опасными дефектами являются сокращения площади сечения арматуры в результате её коррозии и трещины, развивающиеся в приопорных наклонных сечениях балочных пролетных строений мостов.

В связи с этим конструктивные системы должны непрерывно диагностироваться во время эксплуатации и при необходимости быть усилены при помощи доступных средств. Следует отметить, что до сих пор строительные нормы или стандарты для новых конструктивных методов ремонта и усиления отсутствуют. В связи с этим требуется проведение экспериментально-теоретических исследований для создания основных нормативных документов и

стандартов на методы проектирования и расчета ремонта и усиления таких конструкций. Известны многие традиционные методы усиления, в т. ч. распространенный метод усиления стенки балок стальной пластиной или усиление растянутой зоны с использованием стальных накладок и тяжей. Вместе с тем в последние годы наиболее эффективным методом усиления бетонных конструкций является использование полимерных, в т. ч. углепластиковых волокнистых материалов (УПВМ), которые, отличаясь высокими прочностными и технологическими характеристиками, используются для внешнего усиления поврежденной зоны конструкций.

Для изучения механизма разрушения и оценки несущей способности поврежденных и усиленных железобетонных изгибаемых элементов (прямоугольных и тавровых балок) при срезе нами были проведены комплексные экспериментальные исследования [1, 2]. Данная работа является частью этих исследований и посвящена методологии усиления тавровых железобетонных балок с помощью наклеенных на их поверхность листов УПВМ, состоящих из двух основных компонентов – эпоксидной смолы и волокон с взаимноортогональной ориентацией [3, 4]. Когезионная прочность эпоксидной смолы равна 4 МПа, прочность при растяжении – 30 МПа, модуль упругости – 3,80 МПа, прочность листа волокна при растяжении – 3,80 МПа и модуль упругости – 230,0 МПа (согласно спецификации изготовителя). УПВМ представлялись компанией Sikadur-330 (Швейцария) в форме рулонного листа толщиной 0,09 мм, шириной 600 мм и длиной 5 м с ориентацией волокон под углом 0/90°. Листы УПВМ приклеивались на поверхность бетона, предварительно покрытой эпоксидной смолой, прикатывались роликом, а затем покрывались заключительным слоем эпоксидной смолы.

Оценка сопротивления балок при срезе проводилась в зависимости от процента продольного рабочего армирования –  $\mu$ , отношения пролета среза к рабочей высоте сечения –  $a_v/h_0$ , интервала, количества и ориентации полос УПВМ.

Данная серия (серия Т) состояла из шестнадцати балок. Они были разделены на две группы: ТТ ( $\rho = 1,69\%$ ) и ТS ( $\rho = 1,08\%$ ) – отличавшиеся процентом продольного рабочего армирования. Все балки были армированы поперечными стальными хомутами с различным интервалом. Группы ТТ и ТS включали по две подгруппы, отличавшиеся отношением пролета среза к рабочей высоте,  $a_v/h_0$ . Все образцы были испытаны при статическом нагружении. Каждая подгруппа имела по четыре образца. Из них одна балка перед испытанием была усилена листами УПВМ, т. е. оставалась «неповрежденной», а две другие аналогичные балки были подвержены предварительному нагружению (60 % от разрушающего) или «повреждены» для получения основной системы трещин, характерных для балок, работающих в реальных условиях эксплуатации мостов, и после разгрузки были усилены листами УПВМ [5]. Одна балка из каждой подгруппы оставалась контрольной, т. е. без

какого-либо усиления. Кроме того, были изготовлены и испытаны шесть цилиндров диаметром 150 мм и высотой 300 мм и шесть кубов ребром 150 мм. В таблице 1 приведена ведомость испытанных образцов.

**Таблица 1 – Ведомость испытанных тавровых балок**

Описание образцов	Шаг и ориентация полосы УПВМ, мм-градус	R, МПа	$a_0/h_0$	Диаметр растянутой арматуры, мм	Количество, диаметр-шаг хомутов, мм
<sup>1)</sup> TS1a	—	16,73	2,5	16	2; 8–210
<sup>2)</sup> TS1–1	U–полоса 150–0/90				
<sup>2)</sup> TS1–2	U–полоса 200–0/90				
<sup>3)</sup> TS1–1I	U–полоса 200–0/90				
<sup>1)</sup> TT1a	—	27,38	2,5	20	4; 6–120
<sup>2)</sup> TT1–1	U–полоса 150–0/90				
<sup>2)</sup> TT1–2	U–полоса 200–0/90				
<sup>3)</sup> TT1–1I	U–полоса 200–0/90				
<sup>1)</sup> TS2a	—	16,73	4,0	16	2; 8–145
<sup>2)</sup> TS2–1	U–полоса 200–0/90				
<sup>2)</sup> TS2–2	L–полоса 150–45/135				
<sup>3)</sup> TS2–2I	L–полоса 150–45/135				
<sup>1)</sup> TT2a	—	27,38	4,0	20	4; 6–90
<sup>2)</sup> TT2–1	U–полоса 150–0/90				
<sup>2)</sup> TT2–2	L–полоса 150–45/135				
<sup>3)</sup> TT2–2I	L–полоса 150–45/135				
<sup>1)</sup> Контрольные образцы без усиления. <sup>2)</sup> Усиленные образцы с повреждениями. <sup>3)</sup> Усиленные образцы без повреждений.					

Все образцы рабочей арматуры были испытаны при одноосном растяжении на разрывной машине. Средняя прочность при растяжении стержня из высокопрочной стали диаметром 16 мм – 311,22 МПа, диаметром 20 мм – 554,17 МПа, а стержня из мягкой стали диаметром 6 мм – 660,82 МПа, диаметром 8 мм – 620,31 МПа.

Образцы группы BT1, BS1, TT1 и TS1 были подвергнуты двухточечным изгибам, а образцы группы BT2, BS2, TT2 и TS2 – сосредоточенной нагрузкой в середине балки. При испытании на каждой ступени нагрузки были измерены прогиб в середине пролета и деформации в растянутой рабочей арматуре и хомутах, деформации на боковой поверхности в среднем нормальном сечении балки и вдоль наклонного сечения, а также в наклеенных полосах УПВМ. По результатам испытаний были определены виды разрушения и характер трещинообразования при предельной нагрузке, а также выявлена степень повышения несущей способности при данном виде усиления.

Для измерения величины деформаций внутренней стальной арматуры были использованы тензодатчики с базой измерения 10 мм, а на поверхности бетона и в полосах УПВМ – тензодатчики с базой измерения 30 мм. Кроме того, были также измерены деформации на поверхности бетона в пределах середины пролета тавровых балок с помощью реперных точек L1–L6 с базой измерения 150 мм, расположенных на расстоянии соответственно 10, 40, 73, 135, 220 и 310 мм от верхней поверхности балки. На образцах также были установлены в центр балки один линейный преобразователь деформаций и два циферблатных индикатора.

Во время загрузки было зафиксировано образование первых трещин, критическое раскрытие трещин, отрыв листов от поверхности бетона или разрыв армирующих полос с выкрашиванием бетона. Распространение трещин четко прослеживалось на каждом приращении нагрузки в течение всего испытания. Результаты испытаний были представлены в виде зависимостей «нагрузка-прогиб» в середине пролета, «нагрузка-деформация» растянутых арматур и поперечных хомутов, в полосах УПВМ и на поверхности бетона.

Результаты эксперимента показывают, что полосы УПВМ с волокнами, ориентированными в двух направлениях, могут использоваться для существенного увеличения несущей способности балок при срезе. Для подгрупп ТТ1, ТS1, ТТ2 и ТS2 несущая способность при срезе увеличилась соответственно на 38,08–60,94 %, 19,74–39,51 %, 17,98–44,93 % и 12,29–36,9 %. В целом несущая способность при срезе тавровых балок была больше на 12,29–60,94 % по сравнению с контрольными балками.

Результаты показывают, что увеличение количества внутреннего (стальных хомутов) и внешнего (полосы УПВМ) армирования не столько пропорционально увеличивает несущую способность балок при срезе, сколько изменяет вид их разрушения со сдвигового механизма на изгибный (с разрывом полос усиления) из-за наличия большого количества арматуры среза.

В тавровых балках повышение несущей способности усиленных образцов без повреждения было на 7–17 % по сравнению с усиленными образцами с повреждениями. По результатам эксперимента выяснено, что использование систем полос УПВМ как метод усиления, является наиболее эффективным для реабилитации поврежденных балок, работающих в реальных условиях, и позволяет увеличить несущую способность железобетонных балок при срезе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Ашрабов, А. А.** О передаче напряжений в трещинах железобетонных элементов, усиленных полимерными волокнистыми материалами / А. А. Ашрабов, А. А. Ишанходжаев, Ч. С. Раупов // Проблемы механики. – № 4. – 2006. – С. 7–11.

2 **Раупов, Ч. С.** Исследование сдвиговой прочности и жесткости железобетонных балок, усиленных волокнистым полимерным материалом / Ч. С. Раупов // Материалы Респ. науч.-техн. конф. – Ташкент : ТашИИТ (12–13 мая 2006 г.). – С. 114–119.



3 **Ашрабов, А. А.** Несущая способность балок железобетонных мостов, усиленных тканевыми полимерными материалами / А. А. Ашрабов, Ч. С. Раупов, Ш. Б. Ахмедов // Вестник ТАДИ. – Ташкент, 2010. – № 1. – С. 50–56.

4 External Shear Strengthening Strategies of RC Beams with Bi-Directional Carbon Fibre Reinforced Polymer Sheet / J. Jayaprakash [et al.] // Proceedings of International Conference on Bridge and Hydraulic structures. – P. 219–224.

5 **Ashrabov, A. A.** Rehabilitation of Pre-cracked RC Push-off Specimens with CFRP Fabrics / A. A. Ashrabov, J. Jayaprakash // First International Conference on Advances in Bridge Engineering, 26–28 June 2008 / Brunel University. – West London, UK. – 2008. – P. 309–312.

УДК 625.85

## **УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ КАК ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА**

*А. В. БАРСУКОВ, Н. Д. ЖУКОВ (С-52)*

Научный руководитель – ст. преп. *Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рост уровня автомобилизации в Беларуси приводит к постоянному поиску специалистами отрасли путей решения сопутствующих проблем: преждевременное разрушение дорожных покрытий, повышение пропускной способности и т. д. Для оценки эффективности принимаемых в таких условиях решений необходимо использовать более широкий круг критериев, которые на сегодняшний день не отражены в отраслевых нормативных документах.

В условиях постоянного роста интенсивности дорожного движения и нагрузки на ось автомобиля традиционные физико-механические свойства асфальтобетона не позволяют в полной мере оценить возможность применения различных типов асфальтобетонов в различных условиях эксплуатации. Асфальтобетонные покрытия постоянно находятся в сложнапряженном состоянии, так как, кроме подвижной нагрузки, на него действует и комплекс факторов внешней среды (температура, влажность покрытия, основания и земляного полотна и пр.). При движении автомобиля под каждым его колесом образуется чаша прогиба. В пакете асфальтобетонных слоев возникают сжимающие, растягивающие и сдвигающие напряжения. Своего максимума сжимающие напряжения достигают у поверхности, растягивающие – по подошве слоя, сдвигающие – на глубине около 4 см [1]. Такой композиционный материал в силу природы вяжущего не способен на постоянные упругие деформации, со временем большая часть деформаций становится необратимой. Активные напряжения существенно меньше критических, однако локальные напряже-

ния, связанные с неоднородностью материала, могут отклоняться от среднего значения и в местах, где они превышают предел прочности пленок битума, связи рвутся. Так как отличительной особенностью дорожных покрытий является их циклическое нагружение непостоянной массой, то усталость материала, или усталостная долговечность, требуют уже сегодня повышенного внимания со стороны ученых, исследователей и специалистов отрасли.

Усталостная долговечность асфальтобетонного покрытия – это снижение прочности материала дорожного покрытия под воздействием повторяющейся нагрузки по сравнению с прочностью при единичном нагружении. Исследованию усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий посвящены работы А. О. Салль, Б. С. Радовского, А. В. Руденского, Г. С. Бахрах и др. [2–4]. Дефектом процесса усталостного разрушения является усталостная трещина. Различают восходящее и нисходящее усталостное трещинообразование. Восходящее усталостное трещинообразование характеризуется магистральной трещиной, прорастающей от подошвы покрытия к его поверхности за 5–6 лет. При наличии дефектов этот процесс идет быстрее. Нисходящее трещинообразование проявляется большим количеством мелких волосяных трещин, растущих в глубь покрытия от его поверхности. Подобные дефекты появляются на полосах наката.

Усталостная долговечность зависит от большого числа факторов: состав и структура материала (содержание битума, зерновой состав, пористость, адгезия и т. д.), характеристика транспортного потока (интенсивность движения, нагрузка на ось), климатические факторы (температура окружающего воздуха, вид и количество осадков), конструкция дорожной одежды (толщина слоев асфальтобетона, вид материала основания и пр.) и т. д. Классификация методов повышения усталостной долговечности пред-полагает их группировку в следующие группы:

- материаловедческий подход – модификация битумов полимерами, активационные технологии [5], повышение адгезии битума к поверхности минерального материала и т. д.;

- конструкционный подход – повышение толщины слоя, использование геосинтетических материалов, устройство дорожных одежд повышенной надежности и долговечности [2] и др.;

- технологический подход – обеспечение надежного сцепления на границе слоев асфальтобетона в покрытии и сращивание слоев «горячий по горячему».

К сожалению, из всех представленных вариантов повышения усталостной долговечности только модификация битумов полимерами и использование поверхностно-активных веществ при приготовлении асфальтобетонных смесей на сегодняшний день имеют под собой нормативную базу. Само понятие «усталостная долговечность» до сих пор отсутствует в нормативно-правовых технических актах, действующих на территории Беларуси. В то время как в Российской Федерации подобный документ существует. Отсутствие норма-

тивных документов не позволяет использовать какие-либо стандартные методы в пределах Беларуси. Результат лабораторных испытаний асфальтобетонных смесей вариации перечисленных факторов приводят к различным результатам, что не позволяет определить оптимальное решение. Возможным вариантом решения подобной проблемы может стать использование лабораторных стендов, моделирующих реальный физический контакт расчетной оси и покрытия.

Также стоит рассмотреть и технологию сращивания слоев «горячий по горячему», или *Compact Asphalt*, которая уже применялась в Российской Федерации и странах Прибалтики. Это позволило обобщить опыт ее использования в близких к нашим условиям. При рассмотрении возможности применения технологии *Compact Asphalt* при строительстве участка автомобильной дороги «Подъезд к г. Гомелю от автомобильной дороги М-10 граница Российской Федерации (Селище) – Гомель – Кобрин» км 3,305 – км 6,50 установлено, что итоговая стоимость рассматриваемой технологии составляет 302757 тыс. руб., а традиционной – 317653 тыс. руб. (+ 5 %). При оценке затрат технологии *Compact Asphalt* использовались нормы и расценки объектов аналогов, построенных в Российской Федерации. Расчет стоимости работ по традиционной технологии произведен согласно методике и нормам, действующим в Республике Беларусь. Снижение стоимости обусловлено двумя факторами: уменьшением затрат на асфальтобетон за счет уменьшения толщины верхнего слоя на 2 см и снижением расходов на заработную плату за счет сокращения одного отряда на асфальтоукладку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Веренько, В. А.** Надежность дорожных одежд : пособие / В. А. Веренько. – Минск : БГПА, 2002. – 120 с.
- 2 **Илиополов, С. К.** Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств : [моногр.] / С. К. Илиополов, Е. В. Углова // Автомобильные дороги и мосты: обзорн. информ. – М. : ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2007. – Вып. 4. – 84 с.
- 3 **Радовский, Б. С.** Проблема повышения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США / Б. С. Радовский // Дорожная техника 06. – СПб., 2006. – С. 108–119.
- 4 **Дровалева, О.В.** Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О. В. Дровалева. – Ростов н/Д, 2009. – 202 с.
- 5 **Ковалев, Я. Н.** Активационные технологии дорожных композиционных материалов: (научно-практические основы) : [монография] / Я. Н. Ковалев. – Минск : БелЭн, 2002. – 336 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ COMPACT ASPHALT В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ БЕЛАРУСИ

*А. В. БАРСУКОВ, Н. Д. ЖУКОВ (С-52)*

Научный руководитель – ст. преп. *Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приведена краткая характеристика технологии Compact Asphalt. Отмечены положительные стороны и факторы, сдерживающие широкое внедрение технологии в практику дорожного строительства в Беларуси.

Развитие дорожной отрасли Республики Беларусь неизбежно сопряжено с попытками адаптации успешных зарубежных технологий строительства, содержания и ремонта автомобильных дорог. Цель подобных мероприятий – поиск и внедрение технологических процессов пониженной ресурсоемкости и получение конструкций с повышенными сроками службы. За последние десятилетия в практику успешно внедрены аналоги технологий Slurry Seal, Novachip (слои ТОНФРИЗ), мембранная технология, холодная регенерация и др. Интерес к технологии Compact Asphalt обусловлен, прежде всего, повышением усталостной долговечности пакета из двух асфальтобетонных слоев за счет их одновременной укладки и уплотнения. Асфальтоукладчик Дупарас способен, благодаря своей модульной конструкции, производить одновременную укладку двух слоев асфальтобетона из различных типов смесей. В этом случае происходит взаимное проникновение зерен верхнего и нижнего слоя друг в друга и прочная «сшивка» двух слоев.

К преимуществам этой технологии можно отнести уменьшение потребности в более дорогом асфальтобетоне для верхнего слоя, так как его толщина может уменьшаться с 4 до 2 см, а также то, что устроенный слой повышенной толщины меньше подвержен образованию усталостных и температурных трещин. В процессе укладки слоя важно обеспечивать бесперебойную подачу асфальтобетонных смесей. Если учесть изменяющееся расстояние от асфальтобетонного завода до места укладки, возможное появление осадков и вероятность отказа техники для транспортировки, необходима разработка автоматизированной системы контроля приготовления и доставки смесей, которая позволяла бы регулировать объемы производства смесей и строить маршруты движения в зависимости от различных факторов внешней среды.

К факторам, сдерживающим внедрение технологии Compact Asphalt, относятся: отсутствие методик расчета конструкций дорожных одежд, содержащих слоистые неравнопрочные по толщине слои, необходимость обеспечения ритмичных и бесперебойных производства и доставки различных типов асфальтобетонных смесей, необходимость разработки корректировки существующей отраслевой нормативной документации.

## **ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*А. Н. ВАРАКИНА* (магистрант)

*Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация*

Проблеме обеспечения гидроизоляционной защиты не уделяют должного внимания, не задумываясь, что при подборе качественного материала и соблюдения технологии устройства можно избежать ряда проблем, связанных с коррозией железобетонных конструкций. В данной статье рассматриваются гидроизоляционные материалы, различные технологии устройства, положительные и отрицательные стороны.

Транспортные сооружения являются важными объектами инфраструктуры, соединяющими различные области и позволяющими беспрепятственно перемещать людей, материалы и оборудование из одного места в другое. Ухудшение состояния мостового полотна является одной из наиболее серьезных проблем эксплуатации транспортных сооружений, влияющих на срок службы. Разрушение железобетонных конструкций нарушает движение транспорта и оказывает серьезное влияние на социальное и финансовое положение региона.

Незначительные причины, такие как утечка и просачивание воды или противогололедного раствора соли даже на слегка проницаемую бетонную поверхность, негативно сказываются на состоянии дорожной одежды. Проникновение влаги и хлоридов солей в железобетон могут привести к последующей коррозии стальной арматуры, что приводит к ослаблению арматуры или растрескиванию бетона, в итоге ухудшается несущая способность, а также качество дорожной одежды [1].

Проблему можно решить в значительной степени, если бетонная поверхность будет защищена от попадания влаги и солей. Другими словами, если защитный слой наносится на бетонную поверхность конструкции пролетного строения транспортного сооружения в виде надежной системы гидроизоляции.

Гидроизоляционные материалы подразделяют по признаку физического состояния и внешнему виду (мастичные, порошковые, растворы, рулонные, листовые, пленочные, полимермембранные и пр.); по виду вяжущего (битумные, дегтевые, битумно-полимерные, полимерные, резинобитумные, минеральные); по способу устройства (распыляемые, наклеиваемые, мастичные).

Вид гидроизоляционного материала выбирают в зависимости от условий эксплуатации сооружений. Гидроизоляция должна быть влагостойкой, гибкой, эластичной, чтобы не давать трещин во время эксплуатации, иметь хорошее сцепление с покрываемой поверхностью, а также должна быть легкой.

Для мостовых сооружений, включая деформационные швы, гидроизоляция является одним из важных элементов, так как наибольшая часть конструкций моста подвержена воздействию воды, водяного пара, реагентов, противогололедных жидкостей и солей, морозов, что приводит к коррозии и повреждению стальных и бетонных конструкций. При миграции CO<sub>2</sub> может произойти карбонизация, а следствием этого будет ослабление бетонных конструкций.

В основном используется двухслойная система гидроизоляции, для обеспечения защитного слоя, так как уменьшается риск появления локальных дефектов.

Основные функциональные требования к гидроизоляции следующие [2]: водо- и воздухонепроницаемость при любых условиях; хорошая адгезия между конструкцией моста и асфальтобетонной смесью; механическое сопротивление (действию нагрузки и теплового расширения); сопротивляемость действию противогололедных реагентов; совместимость с асфальтобетонной смесью; устойчивость к воздействию высоких температур в процессе укладки горячей асфальтобетонной смеси.

Напыляемая, или как еще ее называют бесшовная напыляемая «жидкой резиной», гидроизоляция нашла свое применение в результате развития технологии производства традиционных битумных материалов. Основная особенность заключается в способности соединения с любыми материалами на уровне молекулярных связей [3].

Одни из самых популярных современных производителей напыляемой гидроизоляции: ООО «РесурсСтрой» – «Polyurea», ЗАО «Растро» – «Славянка», ООО «Нова-брит» – «Брит», ТехноНИКОЛЬ – «Мастика 33», Vodicem – «Vodipren», Pazkar Ltd – «Rapidflex».

К преимуществам такой гидроизоляции относятся: удобство перевозки материала (материал фасуют в бочки, в которых она долго хранится и легко транспортируется); способ ее нанесения не требует использования огня, а это, в свою очередь, исключает требования и сложности, связанные с пожарной безопасностью; отсутствуют швы и нахлесты, что уменьшает трудозатраты, в отличие от рулонной гидроизоляции; сохранение рабочих характеристик при большом диапазоне перепадов температур; отсутствие растворителей (при испарении выделяется только вода, а это означает, что материал экологичный).

К недостаткам относятся: высокочувствительность к воздействию растворителей и составов с нефтепродуктами; тонкий слой материала, что может принести к повреждению его поверхности и снижению качества материала; удалить напыляемую гидроизоляцию с поверхности можно только механически; не все типы обладают хорошей устойчивостью к УФ-излучениям; имеют низкую адгезию с асфальтобетонным покрытием, что может привести к отслоению покрытия от гидроизоляции и повреждению мостового сооружения.

Несмотря на множество положительных отзывов и преимуществ, имеется неудачный опыт использования данного вида гидроизоляции в России, описанный в статье [4].

К числу прогрессивных отечественных материалов, применяющихся для изоляции железобетонных пролетных строений, относятся рулонные битумно-полимерные наплавляемые гидроизоляционные материалы: «Изопласт», «Изоэласт», «Мостопласт» (и его модификации – «Мостопласт Лит» и «Техноэластмост С») [5].

К преимуществам такой гидроизоляции относятся: высокая адгезия с железобетонной плитой, что означает хорошее сцепление и совместную работу; простота применения и низкие трудозатраты при производстве работ на дорожном полотне; высокая эластичность; стойкость к механическому воздействию на материал; низкая стоимость материала; высокая скорость монтажа; долговечность и практичность материалов.

К недостаткам такой гидроизоляции относятся: наличие швов и нахлестов; высокая трудоемкость при нанесении на подземные и опорные части мостовых сооружений; присутствие работы с огнем – это означает дополнительные требования по пожарной безопасности; низкая сопротивляемость гниению.

Что же касается рулонной гидроизоляции фирмы «Sika», то здесь имеется информация об отрицательном опыте ее применения. На мосту через реку Волга в Астрахани гидроизоляция этой фирмы через 1,5 года перестала выполнять свои функции.

Битумная мастичная гидроизоляция может применяться в различных климатических зонах. Она состоит из четырех слоев битумной мастики, наносимой в горячем состоянии, и трех слоев армирующего материала из стеклоткани. Распространенные производители битумно-мастичной гидроизоляции: ТехноНИКОЛЬ («Aquamast»), ИзоАрт (МБУ), Грида (МГХ), Декарт (Эксперт).

К положительным аспектам относятся: повышенная вязкость и значительное содержание наполнителей; высокий диапазон температурных перепадов; высокая теплостойкость, что позволяет устраивать различные виды асфальтобетонов с применением высокой температуры; гибкость при низких температурах; высокая адгезия как к железобетону, так и к металлу; стойкость в агрессивной среде; возможность нанесения состава на влажную поверхность, если нужна гидроизоляция ростверка или опоры.

К отрицательным аспектам относятся: высокая трудоемкость при нанесении на конструкции мостовых сооружений; масло, входящее в состав мастики имеет свойство омыливаться от соприкосновения с водой, в которой растворены щелочи, что может повредить покрытие материала и понизить его качество.

Для каждого типа гидроизоляционного материала существует своя технология нанесения, несоблюдение которой может привести к снижению качества продукции, повреждению гидроизоляционной системы и, как следствие, к разрушению конструкции [6].

Иногда повреждения дорожного полотна характеризуются видом вызывающих их причин [5]. Например, они могут быть вызваны уменьшением сцепления между плитой пролетного строения и дорожного полотна, старением битума, деградацией материала заполнителя (химической деструкцией, вызванной кислородом, водой, перепадами температуры и УФ-излучением) и снижением прочности битумных материалов из-за низкой вязкости при высоких температурах.

Стремление фирм, предлагающих конструкции и материалы, стремятся указать наиболее эффективные области их применения, но не указывают случаи неудовлетворительного применения гидроизоляции, что может привести к отрицательному результату.

В заключение хотелось бы еще раз отметить высокую необходимость в корректном выборе типа гидроизоляции для тех или иных условий. Разнообразие материалов обширное и подходить к выбору нужно серьезно, оценивая все факторы. Также необходимо выполнять работы по ее нанесению с особым вниманием и точно соблюдать технологию ее нанесения, так как от этого зависит долговечность возводимой конструкции и время, которое она прослужит без необходимости в ремонте или реконструкции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Rautela, S.** Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material / Singh Rautela // National research council. NBMCW, January, 2008; Bridge Decks Solutions Hanoi, Shell Bitumen, 15 December 2005.

2 **Хвалев, П. С.** Гидроизоляция мостовых сооружений жидкой резиной / П. С. Хвалев, К. Н. Мельник, А. В. Головин // Тенденции развития науки и образования. – Самара : LJournal, 2017. – № 31-1. – С. 61–66.

3 Систематизация и сравнительный анализ различных типов гидроизоляции, применяемых на автодорожных мостовых сооружениях / И. И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение» [Электронный ресурс]. – 2013. – № 5. – С. 56.

4 Эффективные конструкции дорожных одежд с применением асфальтобетона на мостовых сооружениях / И. Г. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение» [Электронный ресурс]. – 2014. – № 1. – С. 76.

5 ВСН 32–81 Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах. – Взамен ВСН 32–60, ВСН 107–64, ВСН 177–72 ; введ. 01.03.1982. – М. : ВНИИ транспортного строительства, 1982. – 118 с.



## **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ ГОРНЫМ СПОСОБОМ**

*О. Н. ГЕРАСИМОВ (м11-СТЗС11)*

*Научный руководитель – доц. Е. К. СУРНИНА*

*Саратовский государственный технический университет  
им. Ю. А. Гагарина, Российская Федерация*

При проектировании и строительстве транспортных тоннелей одной из основных проблем является обеспечение надежного крепления выработки при проходке. Существует много разных способов решения этой проблемы. В данной статье рассмотрены основные положения двух современных технологий крепления выработок, которые широко применяются в мировой практике тоннелестроения.

В последние годы в России активно ведутся работы по проектированию и строительству автодорожных и железнодорожных тоннелей. Много тоннелей сооружается закрытым горным способом, при котором проходка выработки производится без вскрытия земной поверхности.

Во время проходки тоннелей приходится сталкиваться с множеством трудностей: сложными геологическими условиями, наличием оползневых участков, плотной городской застройкой или особо охраняемыми землями. Сложные условия строительства требуют использования самых передовых технологий проектирования и строительства искусственных сооружений.

Так, для крепления выработок транспортных тоннелей в России часто стали использовать технологию НАТМ (новоавстрийский способ проходки тоннелей), которая получила также широкое распространение и в мировой практике тоннелестроения.

Главное отличие этой технологии от других заключается в максимальном использовании несущей способности окружающего грунтового массива и вовлечении его в работу в качестве защитной конструкции, предохраняющей тоннельную выработку от обрушения.

Основными положениями данной технологии являются:

1 Создание податливого свода (первичной обделки), который включает в себя тонкую оболочку из набрызг-бетона и слоя грунтов, прилегающих к этой оболочке. Оболочка из набрызг-бетона плотно наносится на разработанный грунт и армируется, при необходимости, металлической сеткой или арками. Грунты включаются в работу податливого свода путем установки в него анкеров различной длины. В таком искусственно созданном своде именно грунт, закрепленный анкерами, принимает на себя основное горное давление, а гибкая оболочка из набрызг-бетона воспринимает лишь незначительные изгиба-

ющие нагрузки. При этом в слабоустойчивых грунтах выработку необходимо крепить как можно быстрее после разработки грунта для того, чтобы максимально использовать естественную устойчивость грунта до перехода его в неустойчивое состояние.

2 Обделка тоннеля возводится не сразу до проектных размеров. Вначале устраивают временную облегченную обделку, которая служит для крепления выработки на первое время. Также эта временная обделка позволяет разгрузить грунтовый массив путем допущения небольших деформаций.

3 Устроенное временное крепление удлиняет время сохранения устойчивости грунта выработки до тех пор, пока не будет возведена постоянная обделка тоннеля. При этом сечение тоннеля освобождается и появляется возможность применения высокопроизводительных горнопроходческих машин. Постоянную обделку можно возводить на значительном удалении от забоя и сразу по всему сечению с использованием механизированной опалубки бетоноукладочных машин.

4 Если в качестве первичной крепи используется набрызг-бетон, то толщина этой крепи учитывается при расчете постоянной обделки, которая получается меньшей толщины, чем при традиционных горных способах проходки.

5 Основным требованием при строительстве тоннелей методом NATM является проведение постоянного мониторинга за поведением грунтового массива как внутри горной выработки, так и на земной поверхности. Для этого по длине тоннеля устраивают измерительные створы. По результатам измерений устанавливают необходимость усиления крепи дополнительными анкерами или дополнительным слоем набрызг-бетона, определяют время для возведения постоянной обделки и ее замыкания обратным сводом.

6 Постоянная бетонная или железобетонная обделка возводится тогда, когда уже в значительной степени исчерпывается несущая способность временной крепи. Поэтому обделка работает на меньшую нагрузку по сравнению с тем, если бы она возводилась до того, как произошла основная разгрузка грунтового массива.

Технологию NATM использовали при строительстве транспортных тоннелей в Сочи, где залегают слабые, неустойчивые грунты. В качестве временного крепления использовали податливую арочно-набрызгбетонную крепь. На рисунке 1 показана конструкция временного крепления тоннеля № 2 в составе Дублера Курортного проспекта.

При проектировании и строительстве Мамайского тоннеля в составе Дублера Курортного проспекта была применена новая итальянская технология крепления неустойчивого грунта ADECO-RS, что означает «Анализ и контроль деформации грунта». В нашей стране она была применена впервые, хотя уже давно широко используется в Италии и Швейцарии.

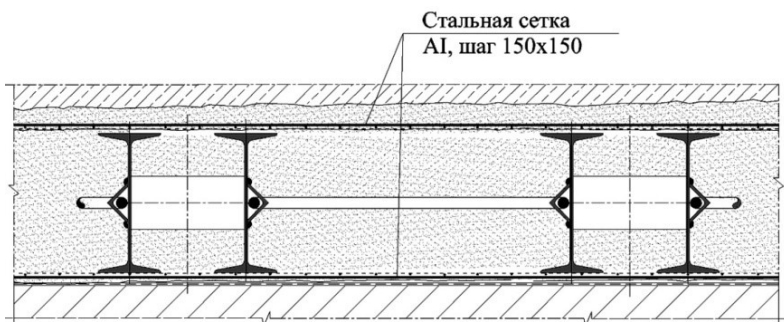


Рисунок 1 – Конструкция арочно-набрызгбетонной крепи с арматурными сетками

Сущность этой технологии заключается в том, что стабильность выработки увязывается с воздействием на деформационные процессы, происходящие в зоне лба забоя. А благодаря тому, что основное внимание уделяется деформациям, происходящим в грунте под воздействием проходческих работ, возможно тщательное отслеживание и своевременное укрепление грунтового массива.

На первом этапе работ методом ADECO-RS производится бурение горизонтальных и слабонаклонных скважин из забоя строящегося тоннеля, равномерно, по всей его площади, в которые помещают стекловолоконные элементы и инъецируют стабилизирующий состав. Чаще всего в качестве стабилизирующего используется цементный раствор. Длина скважин должна составлять  $(2,0-3,0)D$ , где  $D$  – диаметр выработки тоннеля. Закрепленный таким образом грунтовый массив позволяет вести проходку тоннеля способом сплошного забоя. Когда вся плоскость обурена и проармирована, производится разработка грунта, при которой тоннелепроходческая машина снимает грунт и скалывает стекловолоконную арматуру. Из вновь образованного забоя забуривают следующую серию скважин и устанавливают армирующие элементы, обеспечивая перекрытие ранее установленных элементов на 5–6 м. После того, как плоскость забоя будет выровнена, а выработке предан проектный контур, для снижения напряжения в массиве на плоскость забоя и прилегающей к ней свод и стены наносится слой торкрет-бетона толщиной 50 мм.

В качестве временной крепи возводятся стальные арки с шагом равным 1 м и отставанием от забоя 3 м. Они используются для восприятия расчетных временных нагрузок от воздействия горного давления и исключения вертикальных деформаций. В продольном направлении оси тоннеля арки связывают между собой при помощи стальных канатов. По установленной временной крепи в три приема наносится слой набрызг-бетона толщиной 150 мм. К завершающим этапам производственного цикла можно отнести выемку и заливку боковых стен, заливку дна тоннеля вблизи лба забоя, работы по бетонированию постоянной обделки тоннеля.

Использовать технологию ADECO-RS можно в связных и малосвязных, слабоустойчивых и неустойчивых грунтах естественной влажности с небольшим количеством каменистых включений, чтобы можно было обеспечить заданное направление скважин. Но наибольшую эффективность технология приносит в грунтах с очень низкими прочностными характеристиками, так как при разработке и качественном проведении работ технология улучшает характеристики деформативности забоя, что позволяет рассматривать его как структурный элемент с предсказуемой и контролируемой реакцией на деформацию, способный обеспечивать устойчивость окружающего массива.

Стекловолоконные элементы, которые стали использоваться при армировании вместо металлического арматурного стержня, существенно упрощают технологию ведения проходческих работ, так как стекловолокно сочетает в себе достаточно высокое сопротивление на изгиб и хорошую ломкость при работе на срез. Поэтому при разработке грунта оно легко скалывается обычным проходческим инструментом, который используется при проходке неармированного грунта.

Также значительно повышается технологичность и безопасность проведения работ из-за отсутствия необходимости срезания металлической арматуры с применением газовой резки. Исключается проведение работ с использованием газа в замкнутом пространстве.

При работе со стекловолокном появляется возможность вести проходческие работы с раскрытием выработки на полное сечение, что значительно упрощает и облегчает разработку грунта.

При раскрытии выработки на полное сечение можно возводить временную крепь непосредственно после выемки грунта. Конструкция временной крепи при этом быстрее вступает во взаимодействие с прилегающим массивом и воспринимает на себя горное давление, что значительно снижает деформации дневной поверхности.

Если технология НАТМ при расчетах рассматривает двумерную (плоскую) задачу и определяет, как закрепить грунт выработки, не затрагивая ядра забоя, то технология ADECO-RS учитывает при проектировании и третье измерение – продольное направление выработки. Изучив геомеханические свойства грунтового массива, тоннель разбивают на участки с однородным напряженным состоянием, определяют возможное развитие деформаций при проходке тоннеля и типы нагрузок. Затем проектировщик должен решить, какой вид крепления грунта наиболее подходит для каждого отдельного участка тоннеля. Далее выбирают технологию устройства крепления, основной задачей которого является полностью стабилизировать выработку. Ядро забоя, которое входит в объект изучения, включает в себя объем грунта, находящегося впереди лба забоя на расстоянии, равном примерно диаметру тоннеля [2].

При использовании технологии ADECO-RS, как и при использовании технологии НАТМ, обязательным условием является проведение постоянного

мониторинга за поведением грунтового массива и армирующих элементов, измеряют осадки поверхности земли и конвергенцию контура выработки. В Италии проводятся теоретические исследования и расчеты с использованием метода конечных элементов для возможности установления оптимальных параметров армирующих элементов. По результатам теоретических и экспериментальных исследований устанавливают закономерности взаимодействия армирующих элементов с грунтовым массивом, а во время строительства корректируют основные конструктивно-технологические параметры.

В зависимости от вида пересекаемого грунта, степени его устойчивости зону перед забоем тоннеля армируют или без дополнительного крепления, или в сочетании с опережающей крепью по контуру выработки. Например, для усиления забойной зоны в г. Сочи применяли опережающую контурную крепь в виде экрана из труб.

Одной из самых ответственных операций является устройство врезок тоннелей, так как работы ведутся в наиболее нарушенных грунтах с повышенной опасностью образования оползня на поверхности склона и вывала грунта оползня внутри выработки. Врезки сочинских тоннелей были осуществлены с предварительным устройством защитных опережающих экранов из стальных труб диаметром до 114 мм или анкеров. Опережающий свод из труб устраивался в сводовой и полусводовой части горной выработки, где наиболее вероятны были обрушения грунта. При проектировании защитного экрана на врезке некоторых тоннелей вместо металлических труб были использованы самозабуривающиеся металлические анкера.

Выводы:

1 Рассмотренные технологии крепления грунтового массива могут применяться в разнообразных горно-геологических условиях.

2 Они позволяют увеличить несущую способность крепи без ее утолщения за счет установки усиливающих элементов (арок, анкеров).

3 Крепление позволяет производить разработку грунта любым способом: буровзрывным, механизированным с применением экскаваторов и различных тоннелепроходческих машин. А применение технологии ADECO дает возможность вести проходку тоннеля практически в любых грунтах способом сплошного забоя.

4 Использование рассмотренных технологий позволяет сочетать проходку со специальными способами упрочнения грунтов осушением, закреплением инъекционными методами, замораживанием и др.

5 Технология ADECO позволяет не только защитить зону выработки в процессе проходки тоннеля, но и сделать этот процесс более контролируемым и управляемым.

6 Применение передовых методов и слаженная работа специалистов позволяют выполнять строительство тоннелей со значительными опережениями графиков, обеспечивают максимальную безопасность и надежность строительно-монтажных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Баклашов, И. В.** Механика подземных сооружений и конструкции крепей : учеб. для вузов / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – 3-е изд. стер. – М. : Студент, 2012. – 543 с.
- 2 **Ветрова, И. Н.** Свет в конце тоннеля / И. Н. Ветрова // Дороги. Инновации в строительстве. – 2014. – № 3. – С. 58–61.
- 3 **Герсеванов, Н. М.** Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин. – М. : Стройиздат, 1948. – 248 с.
- 4 **Гольдштейн, М. Н.** Механика грунтов : [монография] / М. Н. Гольдштейн, Н. М. Герсеванов, З. Г. Тер-Мартirosян. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. – 552 с.
- 5 **Либерман, Ю. М.** Давление на крепь капитальных выработок / Ю. М. Либерман. – М. : Наука, 1969. – 119 с.
- 6 **Маковский, Л. В.** Строительство автодорожных и городских тоннелей : учеб. / Л. В. Маковский, Е. В. Щекудов, Е. Н. Петрова; под ред. Л. В. Маковского. – М. : ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА, 2019. – 397 с.
- 7 **Меркин, В. Е.** Прогрессивный опыт и тенденции развития современного тоннелестроения / В. Е. Меркин, Л. В. Маковский. – М. : ТИМР, 1997. – 192 с.
- 8 **Руппенейт, К. В.** К вопросу о разработке инженерной теории давления горных пород на крепь выработок / К. В. Руппенейт, Ц. Гомес, Л. Н. Кислер // Вопросы горного давления / Сиб. отд. ин-та горного дела АН СССР. – Новосибирск : АН СССР. – 1962. – Вып.13.
- 9 **Сивцов, А. А.** Разработка метода расчета обжатых обделок подземных сооружений с учетом контактного взаимодействия с массивом пород: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.18 / А. А. Сивцов. – Тула, 1992. – 18 с.

УДК 625.089.4

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ

*М. В. ГОРЛЕНКО, В. О. ФАЛЕЦКАЯ (С-42)*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Г. В. АХРАМЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Коэффициент сцепления колес транспортных средств с дорожным покрытием является многофакторным параметром. На его величину влияют: вид и состояние дорожного полотна, разновидность и состояние шин транспортного средства, скорость его движения, наличие посторонних веществ в зоне контакта (грязь, масло и др.), наличие продольных уклонов автомобильной дороги.

Дорожные условия оказывают значительное влияние на сцепные качества покрытий автомобильных дорог, на режим и безопасность движения как отдельных автомобилей, так и всего потока транспортных средств в целом. Большая роль в обеспечении безопасности движения принадлежит основным технико-эксплуатационным показателям автомобильных дорог [1]. К числу

таких показателей, в частности, относятся ровность и шероховатость дорожного покрытия, влияющие на коэффициент сцепления.

Необходимость в определении коэффициента сцепления возникает при расчете замедления при экстренном торможении транспортного средства, решении ряда вопросов, связанных с маневром и движением на участках с большими углами наклона. Величина его зависит главным образом от типа и состояния покрытия дороги, поэтому приближенное значение коэффициента для конкретного случая может быть определено по таблице 1 [1].

**Таблица 1 – Значения коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия**

Вид дорожного покрытия	Состояние	Коэффициент сцепления $\varphi$
Асфальт, бетон	Сухой	0,70–0,80
	Мокрый	0,50–0,60
	Грязный	0,25–0,45
Бульжник, брусчатка	Сухие	0,60–0,70
	Мокрые	0,40–0,50
Грунтовая дорога	Сухая	0,50–0,60
	Мокрая	0,20–0,40
	Грязная	0,15–0,30
Песок	Влажный	0,40–0,50
	Сухой	0,20–0,30
Асфальт, бетон	Обледенелый	0,09–0,10
Укатанный снег	Обледенелый	0,12–0,15
Укатанный снег	Без ледяной корки	0,22–0,25
Укатанный снег	Обледенелый, после россыпи песка	0,17–0,26
Укатанный снег	Без ледяной корки, после россыпи песка	0,30–0,38

Существенное влияние на величину коэффициента сцепления оказывают скорость движения транспортного средства, состояние протекторов шин, давление в шинах и ряд других неподдающихся учету факторов. Наибольшее влияние оказывают вид и состояние покрытия, а также скорость движения.

Табличными значениями коэффициента сцепления можно пользоваться только для оценочных расчетов. В таблице 2 приведены значения коэффициента сцепления при скорости движения 20 км/ч для шин с нормальным протектором. Коэффициент сцепления при других скоростях определяется по формуле

$$\varphi_v = \varphi_{20} - \beta_\varphi (v - 20), \quad (1)$$

где  $\beta_\varphi$  – коэффициент изменения сцепных качеств от скорости (принимается в зависимости от типа и состояния покрытия по таблице 2).

Таблица 2 – Значения коэффициентов сцепления и изменения сцепных качеств

Покрытие	Состояние покрытия									
	эталонное (сухое)		мокрое (чистое)		рыхлый снег		уплотненный снег		гололед	
	$\varphi_v$	$\beta_\varphi$	$\varphi_v$	$\beta_\varphi$	$\varphi_v$	$\beta_\varphi$	$\varphi_v$	$\beta_\varphi$	$\varphi_v$	$\beta_\varphi$
Ц/б	0,80	0,002	0,65	0,0035	0,20	0,003	0,30	0,0025	0,10	0,002
А/б	0,80	0,0035	0,65	0,0035	0,20	0,003	0,30	0,0025	0,15	0,002
Щебеночное и гравийное	0,65	0,004	0,55	0,0045	0,25	0,0025	0,35	0,0025	0,10	0,002
Грунтовое улучшенное	0,45	0,005	0,32	0,005	0,20	0,003	0,35	0,0025	0,13	0,002

Результаты расчета коэффициентов сцепления для различных скоростей, материала покрытия и его состояния представлены в табличной форме (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты расчетов

Покрытие	Коэффициент сцепления $\varphi_v$ при состоянии покрытия				
	эталонное (сухое)	мокрое (чистое)	рыхлый снег	уплотненный снег	гололед
<i>Скорость движения – 40 км/ч</i>					
Ц/б	0,76	0,58	0,14	0,25	0,06
А/б	0,73	0,58	0,14	0,25	0,11
Щебеночное и гравийное	0,57	0,46	0,2	0,3	0,06
Грунтовое улучшенное	0,35	0,22	0,14	0,3	0,09
<i>Скорость движения – 60 км/ч</i>					
Ц/б	0,72	0,51	0,08	0,2	0,02
А/б	0,66	0,51	0,08	0,2	0,07
Щебеночное и гравийное	0,49	0,37	0,15	0,25	0,02
Грунтовое улучшенное	0,25	0,12	0,08	0,25	0,05
<i>Скорость движения – 80 км/ч</i>					
А/б	0,68	0,44	0,02	0,15	-0,012
Ц/б	0,59	0,44	0,02	0,15	0,03
Щебеночное и гравийное	0,41	0,28	0,10	0,2	-0,012
Грунтовое улучшенное	0,15	0,02	0,02	0,2	0,01
<i>Скорость движения – 100 км/ч</i>					
А/б	0,64	0,37	-0,04	0,1	-0,06
Ц/б	0,52	0,37	-0,04	0,1	-0,01



Окончание таблицы 3

Покрытие	Коэффициент сцепления $\varphi$ , при состоянии покрытия				
	эталонное (сухое)	мокрое (чистое)	рыхлый снег	уплотненный снег	гололед
Щебеночное и гравийное	0,33	0,19	0,05	0,15	-0,06
Грунтовое улучшенное	0,05	-0,08	-0,04	0,15	-0,03
<i>Скорость движения – 120 км/ч</i>					
А/б	0,6	0,3	-0,1	0,05	-0,1
Ц/б	0,45	0,3	-0,1	0,05	-0,05
Щебеночное и гравийное	0,25	0,1	0	0,1	-0,1
Грунтовое улучшенное	-0,05	-0,18	-0,1	0,1	-0,07

Одним из факторов, снижающих коэффициент сцепления, что увеличивает потенциальный риск ДТП, являются неблагоприятные погодные условия. Статистические данные подтверждают, что во время осадков число ДТП увеличивается. Выявлены закономерности, что неожиданные осадки после продолжительного сухого периода вызывают резкое увеличение риска ДТП, а затяжные осадки вызывают адаптацию водителей, в результате чего число ДТП постепенно уменьшается. На скользком дорожном покрытии, сразу после наступления гололеда, риск возникновения ДТП возрастает. По мере адаптации водителей к сложным дорожным условиям число ДТП постепенно уменьшается, влияние неблагоприятного внешнего фактора снижается [3] на опорных поверхностях, покрытых снегом и льдом, коэффициент сцепления увеличивается с уменьшением температуры. Особенно значительные изменения происходят в диапазоне температур от 0 °С до -15 °С [3] (рисунок 1).

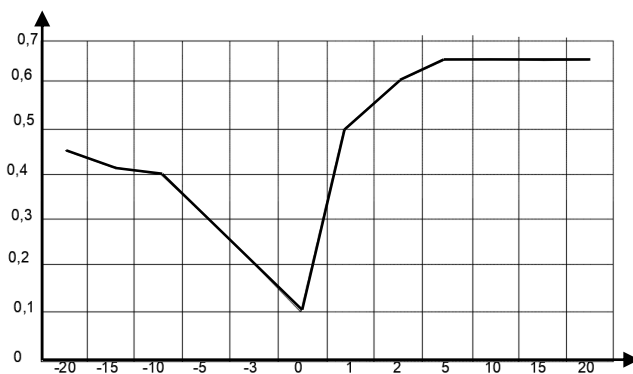


Рисунок 1 – Влияние температуры дороги на коэффициент сцепления

Значительное влияние коэффициент сцепления оказывает на длину тормозного пути автомобиля. На основании результатов расчетов длины тормозного пути построен график зависимости  $S_T = f(\varphi)$  при различных температурах – рисунок 2.

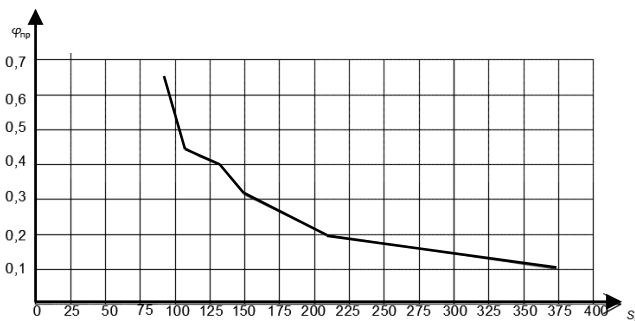


Рисунок 2 – График зависимости  $S_T = f(\varphi)$  при различных температурах

Таким образом, к факторам, влияющим на коэффициент сцепления относятся [1]:

- *скорость движения* (с увеличением скорости движения  $\varphi$  снижается);
- *неровности дороги* (неровности увеличивают частоту вертикальной нагрузки –  $\varphi$  снижается из-за изменяющихся условий в месте контакта шины с дорогой и из-за подпрыгивания колес на неровностях);
- *пропитка вяжущими материалами поверхности дорог* (избыток вяжущих материалов делает поверхность скользкой, в жаркую погоду вяжущий материал размягчается, выступает на поверхность дороги, при этом  $\varphi$  уменьшается);
- *увлажнение покрытия* (в начале дождя  $\varphi$  уменьшается из-за того, что влага, дорожная пыль, частицы резины, капли нефтепродуктов и т. п. образуют жидкую грязь, по которой, как по смазке, скользят колеса);
- *продолжительность эксплуатации дорожного покрытия* (при увеличении срока эксплуатации покрытия  $\varphi$  уменьшается из-за уменьшения шероховатости);
- *шероховатость покрытия* (чем больше шероховатость, тем значительнее площадь контакта дороги с шиной, при этом улучшается зацепление и  $\varphi$  возрастает. Наибольшая высота неровностей покрытия не должна превышать 4–5 мм. Слишком большая шероховатость покрытия приводит к уменьшению  $\varphi$ );
- *обледенение поверхности дороги*, образование на ней снежного покрова ( $\varphi$  при этом очень мал; он несколько увеличивается при понижении температуры воздуха от 0 до  $-15$  °С);
- *замасливание поверхности дороги* (замасливание дороги нефтепродуктами резко снижает  $\varphi$ . Как на сухих, так и на мокрых дорогах к середине полосы движения  $\varphi$  почти на 30 % меньше);

- *характер сцепления колеса с дорогой* (наибольший  $\phi$  наблюдается при продольном качении без бокового скольжения при продольном проскальзывании порядка 10–15 %. При заблокированном колесе (юз)  $\phi$  несколько снижается);
- *увеличение нагрузки на колесо* (на твердых покрытиях дорог при увеличении нагрузки  $\phi$  снижается);
- *повышение давления в шинах* (при увеличении давления воздуха в шинах  $\phi$  первоначально повышается, затем начинает убывать);
- *повышение температуры шины* (с увеличением температуры шины сцепление на бетонных поверхностях несколько ухудшается, на асфальтобетонных – улучшается,  $\phi$  в этом случае увеличивается из-за прилипания элементов протектора к поверхности дороги, что наблюдается при высокой температуре в зоне контакта в случае интенсивного торможения);
- *износ протектора шины* (при полном истирании рисунка протектора шины  $\phi$  снижается на 35–45 %. Особенно сильно он уменьшается при движении на мокрых и грязных дорогах (примерно еще на 20–25 %);
- *тип рисунка протектора шин* (шины с рисунком протектора повышенной проходимости на мягком снеге и неуплотнённом грунте имеют больший  $\phi$ , чем шины с дорожным рисунком. На мокром покрытии шины с рисунком протектора, имеющим большую расчлененность, обеспечивают более высокий коэффициент сцепления);
- *вид материала* (шины из высокогистерезисных резин обеспечивают больший  $\phi$ );
- *шероховатость покрытия* (чем больше шероховатость, тем значительно более площадь контакта дороги с шиной, при этом улучшается зацепление и  $\phi$  возрастает. Наибольшая высота неровностей покрытия не должна превышать 4–5 мм. Слишком большая шероховатость покрытия приводит к уменьшению  $\phi$ );
- *погодные условия*.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Евтюков, С. А.** Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог / С. А. Евтюков // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал [Электронный ресурс]. – 2012. – № 3.
- 2 **Бабков, В. Ф.** Проектирование автомобильных дорог : в 2 ч. / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1987. – Ч. 1. – 368 с. Ч. 2. – 415 с.
- 3 Исследование влияния погодных условий на величину коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием / Н. Ю. Ботвинава [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11–3. – С. 407–411.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТЯЩЕЙСЯ КРАСКИ В ТРАНСПОРТНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

*Н. Ю. ГУБЕНСКИЙ* (МС-51), *К. С. РАЗВODOV* (ЗМС-51),

*Е. С. САМАЛЬ* (ЗМТ-54)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *П. В. КОВТУН*,  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приведены сведения об использовании светящейся краски, позволяющей идентифицировать и сделать легко заметными в транспортном потоке машины экстренных и специальных служб.

Жизнь человека невозможна без экстренных служб: пожарной, милиции, скорой помощи, газовой и др. Для оперативной работы машины экстренных служб, помимо особенного технического оснащения, имеют специальные знаки и яркую отличительную окраску. Она необходима для привлечения внимания к транспорту на дорогах для приоритетного проезда, а возле мест назначения – для быстрого реагирования окружающих. Экстренные выезды машин данных служб делаются круглосуточно и в различные регионы, в том числе на плохо освещенные места. Машина должна быть хорошо видима, так как есть ситуации, что ее ждут для дальнейшего сопровождения на место происшествия.

Машины скорой помощи имеют различную специализацию: бригады интенсивной терапии, реанимационные, кардиологические, неврологические, токсикологические и т. д. – и все имеют свое обозначение. Применение окрашивания автомобилей в ярко желтые и оранжевые цвета делает их заметными и днем, и ночью, а обратная надпись «Ambulance» используется для впереди едущих водителей, чтобы можно было ее прочесть в зеркале заднего вида.

Преимущество светящихся поверхностей в том, что светящаяся поверхность после подзарядки от естественного или искусственного освещения начинает светиться и эффект свечения держится от 6 до 8 часов.

Пожарные машины окрашиваются согласно цветографическим схемам страны нахождения. В большинстве стран сама машина красная, а опознавательные знаки делаются белыми, их также можно сделать светящимися.

Машины газовой службы имеют специальный окрас: ярко желтый или оранжевый цвет как основной с красными полосами по обеим сторонам авто с белым обозначением названия службы.

Машины милиции, ГАИ, МЧС, аварийных служб теплосети, горводоканала, служб контактной сети и другие также имеют специальные надписи, которые можно сделать светоотражающими.

Светоотражающую краску также следует применять для разметки на дорогах, тротуарах, дорожных знаках и т. д. для обеспечения безопасности водителей и пешеходов.

Такие усовершенствования транспорта специального назначения помогут сделать работу экстренных служб более оперативной.

УДК 625.85

## **ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

*В. А. ДУДОРГА, Е. С. МАРЧЕНКО (С-52)*

Научные руководители – канд. техн. наук, доц. *П. В. КОВТУН*,  
ст. преп. *Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Обозначена проблема обеспечения должного транспортно-эксплуатационного состояния сети местных дорог. Определен критерий надежности регенерированных слоев. Приведены сведения о возможных подходах к повышению долговечности регенерированных асфальтобетонных смесей.

Большая протяженность сети местных автомобильных дорог и их непостоянное народнохозяйственное значение затрудняют выбор технологии и сроков проведения ремонтных мероприятий. При этом существует и фактор недостаточного финансирования. Задачей исследователей и ученых отрасли на данном этапе её развития становится поиск наименее ресурсоемких технологий, конструкций и материалов, отвечающих требованиям стандартов. Степень дефектности (заплаты, выбоины, частые трещины, сетка трещин, разрушения кромок и др.) многих местных дорог приводит к тому, что единственным целесообразным вариантом становится восстановление сплошности покрытия путем полной замены слоев или регенерации существующих. Технология регенерации имеет главное преимущество – использование существующего материала слоев покрытия. Выбор из группы технологий горячей и холодной регенерации при наблюдаемых дефектах практически всегда сводится к методам холодной регенерации, так как сетка трещин или частые трещины свидетельствуют о нарушении сплошности покрытия и его старении, которое можно только ускорить методами горячей регенерации.

Основопологающим критерием качества ремонтных работ следует считать долговечность отремонтированного покрытия. Как такового критерия отказа для дорожных покрытий по сути не существует. Даже сквозная трещина от кромки до кромки позволяет использовать дорожное покрытие по своему назначению и после её появления. Долговечность регенерированного асфаль-

тобетонного покрытия следует рассматривать с позиций снижения прочности покрытия и уровня его дефектности. Слабым местом регенерированных асфальтобетонов является неоднородность зерна асфальтогранулята, что в разы снижает его прочностные характеристики и особенно усталостную долговечность по сравнению с традиционными асфальтобетонами. Оптимизация структуры регенерированных мелкозернистых смесей может быть достигнута за счет армирования дисперсным волокном. Тип волокна, его характеристики и его потребность определяются экспериментально.

УДК 681.5

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОМ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ**

*Н. Д. ЖУКОВ, А. В. БАРСУКОВ (С-52)*

*Научный руководитель – ст. преп. Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Изложены основные сведения, необходимые для начального этапа разработки подсистемы управления средствами механизации при производстве дорожных работ. Определены основные задачи и функции подсистемы.

Внедрение передовых технологий для получения более качественной продукции подразумевает наличие квалифицированных специалистов и систем, обслуживающих данные технологические процессы. К таким технологиям относятся и системы автоматизированного управления средствами механизации. В Республике Беларусь некоторыми дорожно-строительными управлениями используется система PaveSmart 3D, которая позволяет добиться полного соответствия реального положения дорожного полотна проектному. На основе цифровой модели проекта с использованием высокоточного позиционирования рабочие органы асфальто- или бетоноукладчика занимают необходимое положение в пространстве. Программное обеспечение систем управления дорожно-строительными машинами позволяет отслеживать в реальном времени на одном мониторе весь парк дорожно-строительной техники с привязкой к географическим координатам и отображением операций рабочего цикла.

Рассредоточенные дорожные работы подвержены неравномерному воздействию климатических явлений и других факторов. Эффективная информационно-управляющая система должна обеспечивать перераспределение машин и людей по участкам работ в зависимости от складывающихся условий.

Например, при выполнении работ по укладке бетонной смеси и прогнозе интенсивного ливня на определенном участке заблаговременно необходимо прекратить производство цементобетонной смеси на притрассовых заводах, выработать существующие объемы смеси, произвести ее отделку и укрыть от дождя. Интервал времени от прекращения производства смеси до окончания её отделки может занять более 1 часа, в течении которых необходимо переориентировать бетонные заводы на другой технологический процесс или прекратить их работу. В этой задаче ее объектам (дорожно-строительным машинам, транспортным средствам и пр.) присваиваются координаты, определяется направление перемещения, скорость перемещения, оцениваются различные варианты изменения ситуации и т. д.

УДК 625.7/8

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РАСЧЕТНОЕ РАССТОЯНИЕ ВИДИМОСТИ**

*Д. С. ИВЧЕНКО, А. Е. ПОРТНОЙ (С-42)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Г. В. АХРАМЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Производится анализ влияния величины продольного уклона, коэффициентов сцепления и трения качения на расстояние видимости при различных скоростях движения. Приводится дополнительная классификация расстояний видимости, а также рекомендации по обеспечению необходимого расстояния видимости при проектировании автомобильных дорог.

Видимость дороги перед автомобилем на расстоянии, необходимом для остановки перед препятствием на полосе движения или для постепенного снижения скорости и его последующего объезда, является одним из важнейших показателей безопасности движения и устанавливаемой на дороге средней скорости движения. При этом имеется в виду не нормативная видимость для дорог разных категорий, предусматривающая экстренные действия водителя в возникшей сложной ситуации, а видимость, необходимая для спокойного выполнения маневра без повышенной напряженности, соответствующей сложившемуся режиму движения на предшествующем участке дороги. С недостаточной видимостью обычно бывают связаны столкновения при обгонах на кривых в плане и продольном профиле. Особенно опасны отдельные участки с недостаточной видимостью на дорогах, обеспечивающих на большей части протяжения высокие скорости движения.

Данные многочисленных зарубежных и отечественных исследований показывают, что недостаточная видимость в плане менее отражается на количес-

тве дорожно-транспортных происшествий, чем недостаточная видимость в продольном профиле [1]. Многие старые дороги этим нормам не удовлетворяют. Поэтому обеспечиваемое расстояние видимости является одной из важнейших характеристик безопасности движения.

В современном проектировании дорог за рубежом исключительно большое значение придается обеспечению видимости из условия обгона, соответствующей частично связанным режимам движения транспортных потоков. Считается, что при расчетной скорости 100 км/ч не менее 50 % общей протяженности дороги должно обеспечивать видимость из условия обгона, равную примерно 650 м. При расчетной скорости 80 км/ч не менее чем на 35 % протяженности дороги видимость должна быть не менее 525 м, а при скорости 60 км/ч более 25 % протяжения должно иметь видимость 400 м.

Большие расстояния видимости, соблюдаемые при проектировании новых дорог, не входят в противоречия с физической возможностью увидеть автомобиль на таких расстояниях. Днем в ясную погоду человек с нормальным зрением видит грузовые автомобили на расстоянии до 1600 м, автобусы – до 1800 м и легковые – до 1300 м [2]. Большое значение имеет контрастность окраски автомобиля и фона, на который он проецируется при взгляде водителя. Летом снижается видимость зеленоватых, серых и просто запыленных автомобилей, зимой – светло-серого и бежевого цветов. В дожди и снегопады видимость дороги для водителя ухудшается из-за помутнения ветрового стекла в зоне, не очищаемой щетками.

Несмотря на большие значения видимости для обеспечения безопасности движения, в практике проектирования и эксплуатации дорожные организации не уделяют этому вопросу должного внимания: не устраивают срезки видимости на внутренних откосах выемок и у кривых малых радиусов, располагают у них декоративные аллеи, на пересечениях и примыканиях дорог размещают павильоны автобусных остановок, будки автоинспекции, декоративные посадки и статуи так, что они закрывают видимость; продольный профиль проектируется, а иногда строители, отступая от проектов, отсыпают земляное полотно насыпью, параллельной естественной поверхности земли, нарушая требования к вписыванию вертикальных кривых. На дорогах IV и V категорий видимость нередко не превышает 60–100 м. В результате этого происходят столкновения легковых автомобилей при попытках обгона грузовых автомобилей, преодолевающих подъемы с пониженной скоростью; на больших по протяженности прямых участках дороги допускаются местные (на коротких участках) понижения продольного профиля, зрительно сливающиеся издали с продолжением дороги. Остановившийся в них автомобиль или ведущиеся дорожные работы можно увидеть лишь в момент, когда уже трудно осуществить торможение; при реконструкции дорог, когда проектируются обходы крупных населенных пунктов, часто допускаются не видимые издали крутые повороты основной дороги в сторону, не перестраивая становящийся подъездом к населенному пункту участок старой дороги. Нередко, особенно



ночью, водители принимают его за основную дорогу и при запоздавшем осуществлении поворота случаются дорожно-транспортные происшествия. Правильное решение примыкания требует перестройки участка старой дороги, маскировки ее растительными посадками или установки на проезжей части видимых издали знаков направления поворота. В большинстве перечисленных случаев обеспечение видимости не представляет никакой трудности и может быть осуществлено силами дорожно-эксплуатационных организаций.

Ограничения видимости часто создаются также на пересечениях в разных уровнях для водителей, автомобилей, следующих в прямом направлении, из-за неудачной конструкции путепроводов пересекающих дорог – близким расположением к проезжей части массивных устоев с конусами, наличием промежуточных опор на разделительной полосе. В этом отношении наиболее удачную конструкцию имеют часто применяемые в последнее время рамные железобетонные путепроводы типа «бегущая лань» [3]. Особенно неудачны случаи расположения путепроводов на вогнутых кривых, где их пролетное строение ограничивает видимость дороги водителям. Улучшить в таких случаях условия видимости без капитальной перестройки дороги невозможно.

Таким образом, существенное влияние видимость оказывает на безопасность дорожного движения, пропускную способность, комфорт при движении.

Различают два типа расстояний видимости: наблюдаемые непосредственно водителем и устанавливаемые инженером-проектировщиком в проекте. Дополнительно различают следующие расстояния видимости:

– *физиологически воспринимаемое расстояние видимости* – расстояние, на котором может восприниматься объект с заданными характеристиками (контраст, форма, размер) водителем с заданной остротой зрения. Наблюдается непосредственно водителем;

– *метеорологическое расстояние видимости* – расстояние видимости, зависящее от погодных условий. Наблюдается непосредственно водителем;

– *расстояние видимости днем и ночью* – расстояние видимости, зависящее от освещения. Наблюдается непосредственно водителем;

– *психологически воспринимаемое расстояние видимости* – воспринимаемое водителем пространство, которое он может охватывать для оценки ситуации на дороге. Задается проектом дороги. Геометрическое расстояние видимости – длина луча видимости до целевого объекта (препятствия, встречного автомобиля). В проекте в той или иной степени могут быть учтены различные факторы, влияющие на видимость [2].

Переменными параметрами при определении расчетного расстояния видимости являются скорость, коэффициент продольного сцепления, так как он зависит от состояния покрытия, коэффициент трения качения (зависит от скорости) и величина продольного уклона дороги.

Результаты расчетов расстояния видимости при различных исходных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетное расстояние видимости при различных исходных данных

Скорость движения, км/ч ( $v$ ) / коэф. трения качения ( $f_v$ )	Элементы продольного профиля							
	Спуски, ‰				Подъемы, ‰			
	3	6	9	12	3	6	9	12
Расчетное расстояние видимости $S_p$ при коэффициенте сцепления $\phi_{пр} = 0,2$ (проезжая часть покрыта льдом)								
60/0,011	106,47	107,47	108,47	109,47	104,60	103,65	102,74	101,83
70/0,012	136,19	137,54	138,89	140,24	133,62	132,69	131,16	129,93
80/0,013	169,40	171,16	172,92	174,68	166,10	164,49	162,88	161,27
90/0,014	206,09	208,32	210,55	212,78	201,95	199,95	197,95	195,95
100/0,015	246,19	248,92	251,65	254,38	241,16	238,72	236,28	233,84
110/0,016	289,65	292,96	296,27	299,58	283,62	279,69	275,76	271,83
120/0,017	336,42	340,38	344,34	348,30	329,37	326,81	324,25	321,69
Расчетное расстояние видимости $S_p$ при коэффициенте сцепления $\phi_{пр} = 0,4$ (мокрая проезжая часть)								
60/0,011	72,09	73,33	74,57	75,81	72,56	72,32	72,08	71,84
70/0,012	91,06	91,41	91,76	92,11	90,38	90,04	89,70	89,36
80/0,013	110,89	111,35	111,81	112,27	110,01	109,57	109,13	108,69
90/0,014	132,58	133,16	133,74	134,32	131,47	130,93	130,39	129,85
100/0,015	156,10	156,82	157,54	158,26	154,75	154,08	153,41	152,74
110/0,016	181,42	182,30	183,18	184,06	179,80	179,00	178,20	177,40
120/0,017	208,57	209,61	210,65	211,69	206,65	205,70	204,75	203,80
Расчетное расстояние видимости $S_p$ при коэффициенте сцепления $\phi_{пр} = 0,6$ (сухая проезжая часть)								
60/0,011	61,64	61,76	61,88	62,00	61,41	61,30	61,19	61,08
70/0,012	75,57	75,72	75,87	76,02	75,26	75,11	74,96	74,81
80/0,013	90,74	90,95	91,16	91,37	90,35	90,14	89,93	89,72
90/0,014	107,19	107,45	107,71	107,97	106,68	106,41	106,20	105,96
100/0,015	124,88	125,11	125,54	125,87	124,27	123,96	123,65	123,34
110/0,016	143,81	144,20	144,59	144,98	143,07	142,70	142,33	141,96
120/0,017	163,98	164,46	164,94	165,42	163,11	162,67	162,23	161,79

Результаты исследования позволяют определить необходимое расстояние видимости на продольном уклоне  $i$ , ‰ от  $-12$  до  $12$  в зависимости от скорости движения автомобиля, коэффициента продольного сцепления. Так, например, на скорости  $v = 100$  км/ч, коэффициенте продольного сцепления  $\phi = 0,2$  и продольном уклоне  $i = -9$  ‰ расчетное расстояние видимости  $S = 251,63$  м.

## **ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ УЗБЕКИСТАНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТАХ**

*И. А. КАДЫРОВ* (базовый докторант)

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *А. И. АДЫЛХОДЖАЕВ*,  
*Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта,*  
*Республика Узбекистан*

В статье предоставлен краткий анализ некоторых работ, выполненных в различных странах с использованием цеолитсодержащих горных пород в качестве активных минеральных добавок целевого назначения.

В настоящее время на предприятиях строительного комплекса Узбекистана внедряются инновационные технологии, обеспечивающие значительную экономию материалов и затрат на изготовление продукции.

Сегодня минеральные добавки стали почти обязательным компонентом при разработке различных видов строительных материалов. В сравнении с другими компонентами они оказывают наибольшее влияние на процессы формирования структуры и требуемые показатели свойств проектируемого материала с гарантированными параметрами.

В практике создания различных строительных композитов используются порошкообразные материалы природного и техногенного происхождения – активные и инертные. Выполненные исследования доказали эффективность такого приема.

Как видно из краткого анализа выполненных работ, на основе применения микронаполнителей разработаны и широко внедряется целая гамма композитов: бетонные и железобетонные изделия и конструкции, керамические стеновые, теплоизоляционные и др. Наибольшее распространение и эффективность достигнута при производстве материалов на основе различных видов неорганических вяжущих, в частности цементов. Инновационные разработки в данном контексте ведутся в двух направлениях: производство специальных цементов путем замены части клинкера минеральными добавками и разработки бетонов нового поколения [1–3].

Целесообразность введения минеральных добавок в бетон объясняется практикой получения композитов различной прочности на цементе одной марки. Как известно [1, 2], при низком расходе вяжущего в бетоне имеется дефицит мелкодисперсных частиц, который и компенсируется введением минеральных добавок.

Как показывает практика, за счет введения минеральных добавок с оптимальной дисперсностью можно снизить расход цемента до 30–40 % с одновременным повышением прочности на 8–15 % [1, 2].

В качестве минеральной добавки для бетона наиболее эффективны кремнекислородные и алюмокислородные соединения, обладающие способностью к самостоятельному гидратационному твердению. К таким минеральным добавкам относятся природные цеолиты.

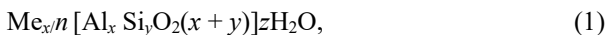
Уникальные свойства цеолитовых пород, его пуццолановая активность предопределяют возможность применения в качестве активной минеральной добавки в производстве долговечных, морозо-, кислото-, сульфатостойких бетонов. Такие бетоны применяются при строительстве гидротехнических сооружений, мостов, эстакад, автомобильных дорог, портовых сооружений.

В цементной промышленности природный цеолит применяется во многих странах мира. Так, в Китае для получения смешанных цементов используется до 30 млн т в год. Вторым ведущим потребителем цеолитов является Республика Корея (230000 т), за ней следуют Турция (150000 т), далее США, Куба и др. [4].

Природные цеолиты – это водные алюмосиликаты щелочных и щелочно-земельных металлов, обладающие открытой каркасно-полостной структурой. Трехмерный каркас цеолитов сформирован алюмокремнекислородными тетраэдрами и пронизан в нескольких направлениях крупными полостями (поры, каналы), связанными друг с другом и с поверхностью кристалла посредством более узких отверстий, так называемых входных окон.

Классификация цеолитов основывается на различии их химического состава, прочности кристаллической решетки, структурных элементов, состоящих из  $\text{SiO}_4$  и  $\text{AlO}_4$  в тетраэдрах, молекулярно-ситовых свойств, термо- и кислотостойкости.

Общая химическая формула цеолитов:



где Me – металл;  $x$  – число атомов алюминия;  $n$  – степень его окисления;  $y$  – число атомов кремния;  $z$  – число молекул воды.

Цеолиты классифицировали К. Ф. Фишер, В. М. Мейер, С. Т. Амиров, Х. С. Мамедов, И. А. Белицкий и мн. др. [5]. Они предложили цеолиты классифицировать по термической устойчивости Al-Si каркаса следующим образом:

– наименее термостойкие – десмин, гейландит, эпистилбит, ломонтит, леонгардит, филлипсит, стеллерит (необратимое изменение структуры происходит при 150–250 °С);

– средней термостойкости – томсонит мезолит, скодецит, натролит, эддингтонит, гормотом, гмелинит, брюстерит (разрушение структуры происходит при 300–600 °С);

– высокой термостойкости – шабазит, левинит, феррерит, морденит, клиноптилолит и все синтетические (разрушение происходит при 600–800 °С).

В растворах кислот цеолиты растворяются. По кислотостойкости добавки такого типа предложено разделять на четыре группы [6]: высокоустойчивые

(ферриерит, морденит); устойчивые (стеллерит, гейландит, десмин, эпистильбит, брюстерит, ломонтит); малоустойчивые (эрионит, левинит, гмелинит, шабазит, гармотом, филлипсит); неустойчивые (жисмондин, натролит, мезолит, сколецит, томсонит, эддингтонит, леонгардит).

Природные цеолиты распространены по всему земному шару, и в частности в Узбекистане. Крупные месторождения находятся в России, Новой Зеландии, Японии, США, Исландии.

Сведения о многочисленных находках цеолитов в Узбекистане приведены в работах геологов А. И. Пак (1969), А. С. Михайлова (1970), К. А. Рахимова (1980), М. С. Карабаева (1985), Н. Ф. Челишева (1986), А. А. Колдаева (1989) и мн. др. [7].

В соответствии с данными этих исследователей отдельные находки цеолитов и их проявления относятся по своему генезису к четырем типам: гидротермальному, вулканогенно-осадочному, гипергенному, осадочно-диагенетическому.

Цеолиты первого генетического типа отмечаются в пределах Алмалыкского рудного поля, в районе Чаткала, в Кураминском хребте [5, 6], второго – выявлены в разрезе нижпалеозойских образований Северного Нуратау [5]. Третий отмечается при разрушении анортоклаза, что способствует развитию натролита в зонах коры выветривания мезозойского возраста, в интрузивных породах (г. Бельтау), где обнаружено наиболее крупное накопление из известных в настоящее время.

Четвертый генетический тип – осадочно-диагенетические образования с цеолитовой минерализацией, которые отмечаются в кайнозойских отложениях в районе Кермине [5].

На территории Узбекистана к настоящему времени диагностировано 13 минералов, из них самый крупный запас (примерно 57 млн т, содержание натролита в породе от 20 до 40 %.) имеет натролитовый тип Бельтауского месторождения [7].

Перспективность применения цеолитсодержащих пород для производства строительных материалов определяется главным образом их природными качествами, которые регламентируются основным минералом – цеолитом. Размер цеолитовых кристаллов составляет единицы и десятки микрон. Равномерное распределение таких микрокристаллов, а также вторичная пористость туфов определяет их высокую реакционную способность основной кристаллической компоненты пород. Кроме цеолитовых минералов породы содержат другие высокореакционные вещества (таблица 1).

**Таблица 1 – Химический состав цеолитсодержащей породы**

Соединения	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Прочие
Количество, %	44,96	0,73	22,88	4,41	0,13	1,24	9,17	1,30	14,72

Пористая структура самих цеолитов приводит к связыванию больших количеств  $\text{CaO}$  и  $\text{SO}_3$  в известковых и известково-гипсовых системах. Разложение цеолитов на гидроалюминаты и гидросиликатный гель происходит гораздо быстрее, чем у других алюмосиликатов. Это обусловлено тем, что алюмо- и кремнекислородные тетраэдры в цеолитах располагаются поочередно, легче освобождаются и более легко встраиваются в структуры гидратов. В цементных композитах за счет этого наблюдается быстрый синтез гидросульфалоюминатных фаз с дополнительным образованием геля гидросиликатов [8].

Изучение бетонов модифицированными цеолитсодержащими породами проводилось рядом ученых ближнего и дальнего зарубежья.

Например, в работе [9] исследовались основные свойства и структурообразование бетонов, наполненных природными цеолитами клиноптилолитового типа, приготовленных по интенсивной раздельной технологии. Установлена возможность снижения расхода цемента на 30–60 % для бетонов класса В12,5–В25 без снижения их физико-технических характеристик. При этом отмечается, что наполнитель играет активную роль в избирательном обмене «ион–ион» минерала и поровой жидкости.

В работе А. М. Харитонова [10] цеолитовые туфы клиноптилолитового типа изучались как наполнитель вяжущего и мелкого заполнителя. Автором отмечается, что при применении такого мелкого заполнителя в количестве 10 % прочность на сжатие увеличивается на 5 %, а на изгиб до 25 %. Также отмечается увеличение пластичности бетонной смеси. Однако при наполнении 20 % наблюдается резкая потеря подвижности бетонной смеси.

Н. Н. Морозова [11] с целью создания нового смешанного вяжущего на базе промышленных портландцементов исследовала их модификацию цеолитсодержащей породой с малым содержанием цеолитового минерала клиноптилолита – 14–28 %. Установлено, что наибольшая пуццолановая активность цеолитсодержащей породы проявляется при повышенных температурах тепловлажностной обработки (95–100 °С). Тепловлажностная обработка приводит к упрочнению композита на 55 % при сжатии и 33 % при изгибе. Сульфатостойкость бетона на смешанном вяжущем увеличивается в 4–6 раза, а щелочестойкость – в 1,15 раза, что, очевидно, связано с изменением фазового состава продуктов гидратации, уменьшением интегральной пористости (на 5–7 %). Морозостойкость бетонов, изготовленных из модифицированных портландцементов, обеспечивает марку F100 и F150.

В исследованиях [12] отмечают, что при введении 15 % цеолита клиноптилолитового типа, удастся достичь роста прочности на сжатие в интервале от 97 до 110 МПа. Автор утверждает, что природные цеолиты считаются более эффективными добавками, чем микрокремнеземы.

Структурные особенности и молекулярно-ситовые действия, как показал анализ физико-химических параметров цеолитсодержащих пород натролитового типа, определяют их высокую эффективность при модификации цементных композитов.

Представляет определенный интерес проведение широких исследований модифицирования структуры и свойств цементных бетонов на основе использования цеолитсодержащих пород натролитового типа Западного Узбекистана.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Адылходжаев, А. И.** Классификация минеральных наполнителей для цементных бетонов и растворов по показателю приведенной гидратационной активности / А. И. Адылходжаев, И. М. Махаматалиев, В. М. Цой // Вестник ТашИИТ. – 2016. – № 2–3. – С. 3–13.

2 **Адылходжаев, А. И.** О новом методологическом подходе к исследованию поверхности активных свойств минеральных наполнителей в цементных системах / А. И. Адылходжаев, И. М. Махаматалиев, В. М. Цой // Архитектура и строительство Узбекистана. – 2016. – № 4–5. – С. 79–81.

3 **Адылходжаев, А. И.** Структурно-реологические характеристики керамических масс на основе лёссовидных суглинков и цеолитсодержащих пород Узбекистана с технологической добавкой из гузапаи / А. И. Адылходжаев, И. М. Махаматалиев, А. Т. Ильясов // Архитектура. Строительство. Дизайн / ТАСИ. Спец. выпуск. – Ташкент. – 2018. – С. 55–59.

4 2012 Minerals Yearbook [Electronic resource] : Science for changing world. Zeolites (Advance release). – 2013. – Mode of access: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/myb1-2012-zeoli.pdf>. – Date of access: 10.01.2019.

5 **Колдаев, А. А.** Цеолитсодержащие породы Западного Узбекистана и проблема их использования / А. А. Колдаев. – Ташкент : Фан, 1989. – 120 с.

6 **Колдаев, А. А.** Кора выветривания габброидов, гранитоидов Бельтау и приуроченная к ней цеолитовая минерализация (центральные Кызылкумы) : дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А. А. Колдаев. – Ташкент, 1973. – 226 с.

7 Неметаллические полезные ископаемые Узбекистана / Р. А. Хамидов [и др.]. – Т. : ГП «ИМР», 2017. – 262 с.

8 **Свиридов, В. Л.** Строительные материалы и изделия на основе природных цеолитов Сибири и Дальнего Востока : дис. ... д-ра техн. наук / В. Л. Свиридов. – Барнаул, 2000. – 423 с.

9 **Полюдова, С. В.** Особенности свойств и структурообразования бетона наполненного цеолитом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. В. Полюдова. – М., 1995. – 26 с.

10 **Харитонов, А. М.** Модификация структуры и регулирование свойств цементных бетонов на основе использования отходов и попутных продуктов промышленности дальнего востока : дис. ... канд. техн. наук / А. М. Харитонов. – Хабаровск, 2001. – 147 с.

11 **Морозова, Н. Н.** Модификация портландцемента цеолитсодержащей породой для получения смешанного вяжущего : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. Н. Морозова. – Казань, 1997. – 18 с.

12 **Chan, S. Y., Ji, X.** Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes / S. Y. Chan, X. Ji // Cem. Concr. Compos. 1999. – № 21. – С. 293–300.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА  
В КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЯХ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ  
В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С РАЗРАБОТКОЙ  
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА  
АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА**

*К. С. КОВАЛЕВА (ДС-41)*

Научный руководитель – преп. *И. Е. ИЛБИНА*

*Филиал «Гомельский государственный дорожно-строительный колледж  
имени Ленинского комсомола Белоруссии» учреждения образования  
«Республиканский институт профессионального образования»,  
Республика Беларусь*

Приведена краткая характеристика технологического процесса холодной регенерации. Отмечены достоинства и недостатки холодного ресайклинга. Описан метод повышения активности зерна асфальтогранулята.

Эффективной технологией восстановления покрытий, усиления нежестких дорожных одежд автомобильных дорог в сравнении с традиционными методами является холодный ресайклинг «на месте».

Технология холодного ресайклинга «на месте» предусматривает процесс восстановления и улучшения качественных, а также прочностных характеристик нежесткой дорожной одежды путем измельчения и дробления материалов существующих слоев, введения в измельченный материал вяжущего, нового скелетного материала и добавок, распределения полученной смеси в виде слоя и его уплотнения.

В Республике Беларусь эту технологию стали применять на территории Гомельской области при ремонте дорог в 2001–2007 годах [1].

Ресайклинг на месте выполняется специальными машинами (ресайклерами) на гусеничном или колесном ходу. Машинами на гусеничном ходу фрезерованный материал сразу же укладывается с помощью шнека (финишера) и предварительно уплотняется с помощью вибробруса. За ресайклерами на колесном ходу финиширование поверхности материала осуществляется автогрейдером.

Наиболее часто холодный ресайклинг применяется при восстановлении поврежденных асфальтобетонных покрытий. Восстановление слоя может быть выполнено двумя способами:

- холодный ресайклинг относительно тонкого слоя (толщиной не более 100 мм) с добавкой вяжущего в виде битумной эмульсии;
- ресайклинг фрезерованного асфальтобетона на большую глубину (более 100 мм с добавкой цемента, битумной эмульсии, вспененного битума).



Начиная с 2006 года, технология холодного восстановления асфальтобетонных дорожных одежд на месте стала применяться при капитальном ремонте улиц города Минска. Ремонт дорожных одежд был произведен с применением технологии холодной регенерации «на месте» на улицах Шафарнянская (2006 год) и Лещинского (2007 год). На улице Сурганова была произведена регенерация на крайних, наиболее загруженных, полосах движения.

Широкое применение асфальтогранулята при устройстве асфальтобетонных покрытий ограничено. Практические исследования влияния асфальтогранулята на физико-механические свойства и коррозионную стойкость асфальтобетонных смесей с различным его содержанием показал, что асфальтобетонные смеси с использованием асфальтогранулята обладают следующими достоинствами [2]:

- сдвигоустойчивостью;
- повышенным пределом прочности при сжатии и растяжении по сравнению с обычными плотными асфальтобетонами.

Недостаток – недостаточная трещиностойкость, что обусловлено повышением вязкости вяжущих веществ в результате старения.

Одной из причин снижения долговечности асфальтобетона является недостаточная «активность» используемого асфальтогранулята. Таким образом, возникает необходимость повышения активности асфальтогранулята, что приведет к экономии денежных средств и природных ресурсов.

Активность асфальтогранулята может быть повышена улучшением свойств битума. Одним из возможных вариантов является обработка поверхности асфальтогранулята «омолаживающим» составом Sylvaroad RP 1000. Данная добавка является разработкой компании Arizona Chemical и изготавливается из сырого таллового масла и сырого сульфата терпентина, продуктов переработки сосны, которые используются в целлюлозно-бумажной промышленности. Может вводиться непосредственно в мешалку асфальтосмесительной установки одновременно с асфальтогранулятом.

Были проведены предварительные исследования влияния добавки на физико-механические свойства асфальтобетона типа Б по СТБ 1033 с различным содержанием асфальтогранулята.

Таким образом, эффективность рассматриваемой технологии основана на следующих преимуществах [2]:

- использование в полном объеме материалов старой дорожной одежды и, как следствие, сохранение невозобновляемых природных ресурсов;
- отсутствие загрязнения окружающей среды благодаря снижению количества отходов;
- нет необходимости в площадках для отвалов, перевозки очень невелики, так как объем привозных материалов минимален;
- поскольку не требуется нагрев материалов, расход энергии значительно снижается, так же как и разрушительное влияние транспортных средств на существующую дорожную сеть;

– достигается значительная экономия затрат по сравнению с традиционными методами ремонта за счет экономии средств на дополнительную технику, оборудование и людские ресурсы, сокращаются сроки проведения ремонта дорожных одежд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Об утверждении Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2015–2019 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 31 декабря 2014 г., № 1296.

2 **Костенко, А. К.** Использование отходов производства и вторичных ресурсов в дорожном строительстве / А. К. Костенко, Е. В. Кашевская // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – № 2. – С. 30–33.

УДК 625.73-192 (075.8)

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

*А. В. КИСЕЛЕВА* (магистрант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Г. В. АХРАМЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассмотрены основные методы повышения надежности дорожных одежд, включающие совершенствование методики подбора составов, улучшение качества исходных материалов и технологии приготовления смесей, применение новых эффективных материалов и технологий. Рассмотрено применение новых материалов, таких как асфальтобетоны на модифицированных битумах; бетоны на органигидравлических вяжущих; асфальтобетоны на битумах повышенной вязкости и твердых битумах; щебеночно-мастичные асфальтобетоны.

Асфальтобетон является наиболее распространённым материалом для устройства дорожных покрытий. Однако под воздействием возрастающих нагрузок и факторов окружающей среды срок службы асфальтобетонных покрытий недостаточно высок. В связи с этим основной целью проектирования составов асфальтобетона является создание оптимальной структуры с заранее заданными свойствами, которые позволили бы обеспечить требуемые характеристики и долговечность устраиваемого дорожного покрытия.

В связи с этим проблема повышения надежности и долговечности дорожных покрытий и одежд в целом является актуальной.

Существует несколько основных методов повышения надежности дорожных покрытий: совершенствование методики подбора составов; улучшение качества исходных материалов; применение новых эффективных материалов и технологий.

Состав материалов дорожных покрытий является многокомпонентным и включает: щебень, песок (природный и искусственный), минеральный порошок, вяжущее, различные добавки. На основе данных исходных компонентов можно подобрать несколько тысяч составов, удовлетворяющих требованиям действующих стандартов. Однако каждый из этих составов будет иметь свои преимущества и недостатки.

Структуру материала дорожного покрытия можно считать оптимальной, если она имеет максимальную надежность по всем факторам внешнего воздействия (сдвиги- и трещиностойкости, морозостойкости, усталости). То есть при подборе состава оцениваются частные и общие уровни надежности, а затем вычисляется общий уровень надежности. Состав с максимальным общим уровнем надежности и будет оптимальным. При этом частные уровни надежности должны быть не меньше проектного.

Качество материалов дорожных покрытий во многом определяется качеством составляющих их компонентов. К исходным компонентам можно отнести: крупный заполнитель (щебень), мелкий заполнитель (песок), структурирующие добавки (минеральный порошок), вяжущие.

Щебень является одним из основных материалов при приготовлении смеси. От его качества зависят такие потребительские свойства покрытия, как ровность, коэффициент сцепления, прочность, долговечность.

Качество щебня определяется его формой, размерами, состоянием (чистой) поверхности, прочностью.

С целью оценки влияния формы щебня были выполнены исследования надежности асфальтобетона на щебне двух видов [1]:

- кубовидном щебне, полученном на дробилке «Рагкег»;
- щебне ПО «Гранит» с содержанием лещадных частиц 35 %.

Оказалось, что кубовидный щебень в 1,3–1,5 раза увеличивает надежность по устойчивости к колеобразованию.

Количественное содержание щебня по-разному сказывается на величине частного и общего уровня надежности. С увеличением содержания щебня растет уровень надежности по устойчивости к пластическим деформациям и температурным трещинам, устойчивости к усталостным трещинам и коррозии. Такая ситуация требует правильного подхода к применению многощебенистых бетонов в дорожной одежде путем проведения определенных конструктивных мероприятий.

Важнейшим компонентом органно-минерального композита, во многом определяющим его физико-механические характеристики, является минеральный порошок, который совместно с битумом образует структурированную дисперсную систему, выполняющую роль вяжущего в асфальтобетоне. Поэтому регулировать свойства дорожного композита можно за счет использования в его составе наполнителей, способных обеспечивать устойчивые связи на границе раздела фаз «битум–минеральный материал».

Установлено, что ввод пылеватых фракций может привести к снижению коррозионной стойкости. Особенно резкое ее падение наблюдается при содержании минерального порошка 4–5 % и отсева 10–20 %, что соответствует как раз наиболее распространенным составам в РБ. Это явление обусловлено агрегированием пылеватых частиц. При увеличении количества минерального порошка выше оптимального предела в системе минеральный порошок – вяжущее появляется воздушная фаза, увеличивается пористость, битума не хватает для обволакивания минеральных зерен, появляются контакты по твердой поверхности.

Наличие частиц доломита, имеющих знак «+», и гранита со знаком «-» приводит к усилению агрегирования пылеватых частиц.

С целью ликвидации этих негативных явлений было решено заменить доломитовый минеральный порошок цементом.

Исследования показали, что ввод цемента увеличивает коррозионную стойкость независимо от количества отсева.

Наряду с видом и состоянием тонкодисперсных наполнителей асфальтобетонных смесей существенное влияние оказывает и технология ввода различных наполнителей. Так при предварительном смешении порошка и битума существенно повышается и качество асфальтобетона [3].

В связи с этим было проверено четыре технологических варианта получения смеси [1]:

- после сухого перемешивания щебня, песка, отсева, минерального порошка добавлялся битум, и смесь перемешивалась;
- после перемешивания щебня, песка и битума добавлялся отсев, минеральный порошок, и смесь перемешивалась;
- после перемешивания щебня, песка, отсева и битума добавлялся минеральный порошок, и смесь перемешивалась;
- после сухого перемешивания щебня, песка, отсева и цемента добавлялся битум, и смесь перемешивалась.

Состав смеси был одинаков, кроме четвертого варианта (с добавлением цемента). Образцы были подвергнуты циклическому замораживанию – оттаиванию с последующим определением уровня надежности по коррозионной устойчивости и общего уровня надежности.

В результате наибольший эффект имеют смеси с цементом; на втором месте – смесь, изготовленная по варианту 3; на третьем – по варианту 1. Подобная тенденция сохранилась и при оценке общего уровня надежности. Таким образом, для практической реализации можно рекомендовать технологии ввода по вариантам 3 и 4.

Для изучения влияния вида битума и его количества на надежность покрытия изготавливались опорные смеси, где варьировались количество щебня, отсева, минерального порошка, битума и свойства битума.

Для каждого состава оценивались уровни надежности. Установлено, что общий уровень надежности асфальтобетона растет с ростом вязкости и коли-

чества битума, что объясняется увеличением уровня надежности по сопротивлению коррозии, усталостным и в определенной степени – пластическим деформациям. Но максимальная вязкость ограничивается требованиями температурной трещиностойкости и предотвращения старения битума. Анализ уровня надежности асфальтобетона по температурной трещиностойкости показал, что максимальную вязкость битума следует ограничить пенетрацией в 70° в условиях Республики Беларусь.

К новым материалам, обеспечивающим повышение надежности дорожных покрытий, можно отнести [1]:

- асфальтобетоны на модифицированных битумах;
- бетоны на органиогидравлических вяжущих;
- асфальтобетоны на битумах повышенной вязкости и твердых битумах;
- щебеночно-мастичные асфальтобетоны.

Модифицированные дорожные битумы – это битумы, содержащие различного количества добавок в виде полимеров – веществ, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев (к ним относятся пластмассы, каучуки, резины, смолы). Высокомолекулярные полуфабрикаты, из которых получают полимеры, называются олигомерами. Модифицированные битумы отличаются рядом положительных свойств: более широкий интервал пластичности, пониженная температура хрупкости, эластичность и т. д.

Бетоны на композиционных органиогидравлических вяжущих (ОГВ) – это искусственные строительные материалы, сочетающие в своей структуре свойства термодинамически несовместимых органических (битумов, дегтей) и гидравлических (цемент, гипс, зола и т. д.) вяжущих. Такие бетоны могут быть трех видов:

– асфальтобетон и органоминеральные смеси на наполнителях гидравлического действия. Их получают путем замены минерального порошка и части песка гидравлическим вяжущим. Смеси готовят как обычный асфальтобетон, но в процессе смешения или на стадии укладки подают воду с целью активизации процессов гидратации. В качестве гидравлического вяжущего используют цемент, цементную пыль, сланцевую золу. Достаточно эффективны комбинированные наполнители, состоящие из смеси гипсосодержащих отходов и сланцевой золы или цемента;

– материалы, получаемые способом раздельного смешения. В этом случае асфальтовую и цементную составляющую готовят отдельно, затем объединяют. К данному виду относят асфальтобетоны с добавками цементного теста и цементного молока. Цементное тесто подают в смеситель либо перемешивают с холодной асфальтобетонной смесью;

– блочные бетоны, получаемые путем объединения в одно целое по технологии крупных агрегатов асфальто- и цементобетона. Бетоны данного вида позволяют получить высокую продольную жесткость при практически полном сохранении высокой релаксационной способности покрытия. Влияние минерального вяжущего проявляется на уровне макроструктуры.

Хотя приведенная классификация достаточно условна, она все же позволяет объединить и сгруппировать по наиболее важным признакам всю огромную гамму бетонов на ОГВ.

Классификация бетонов на ОГВ свидетельствует, что минеральное вяжущее в зависимости от технологии приготовления участвует в структурообразовании на уровне микро-, мезо- или макроструктуры.

Асфальтобетоны на битумах повышенной вязкости и твердых битумах. Одним из перспективных направлений повышения надежности и долговечности асфальтобетона является применение твердых и многослойных (multigrade) битумов.

Многослойные битумы по своим свойствам занимают промежуточное положение между обычными и модифицированными полимерами – битумами. Установлено, что асфальтобетоны на таких битумах обладают повышенной надежностью и долговечностью.

Исследований по применению твердых и многослойных битумов в условиях РБ практически не проводилось. В этом плане более перспективно говорить о применении битумов повышенной вязкости в структуре щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

Щебеночно-мастичные асфальтобетоны содержат в своем составе до 80 % дробленых частиц фракции более 2 мм. Пустоты заполняются битумом повышенной вязкости. Для обеспечения требуемых технологических свойств дополнительно вводятся структурирующие добавки (волокна, природные асфальты и т. д.), но с увеличением вязкости битума отрицательно сказывается на трещиностойкости, а в некоторой степени и на коррозионной стойкости. Здесь большую роль играет толщина пленки. Исследования показали, что при применении битумов повышенной вязкости гранулометрия асфальтобетона должна быть такой, чтобы обеспечить толщину пленки битума около 8–10 мкм.

Таким образом, повышение надежности дорожных одежд возможно за счёт использования качественных исходных материалов, обеспечивающих требуемые свойства асфальтобетона, в том числе минеральных порошков, битумов, соответствующих стандартам и рекомендациям для условий Республики Беларусь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Веренько, В. А.** Надежность дорожных одежд : пособие / В. А. Веренько. – Минск : БГПА, 2002. – 120 с.

2 **Носов, В. П.** Увеличение сроков службы дорожных одежд – стратегическая задача дорожной науки / В. П. Носов // Автомобильные дороги. – 2006. – № 12. – С. 81–85.

3 Сравнительный анализ эффективности применения стабилизирующих составов и полимерных добавок в конструкции дорожных одежд автомобильных дорог / под ред. А. Т. Максимова. – СПб. : ООО «Никель». – 2006. – 24 с.

4 **Осиновская, В. А.** Методика проектирования жестких дорожных одежд при учете вибрационного нагружения / В. А. Осиновская // Интернет-журнал «Наукоедение» [Электронный ресурс]. – 2012. – № 4. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/4vn412.pdf>. – Дата доступа: 02.03.2019.

5 Илиополов, С. К. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств : [моногр.] / С. К. Илиополов, Е. В. Углова // Автомобильные дороги и мосты: обзорн. информ. – М. : ФГУП «ИН-ФОРМАВТОДОР», 2007. – Вып. 4. – 84 с.

УДК 625.72

## **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГИ М10 «ГРАНИЦА РФ (СЕЛИЩЕ) – ГОМЕЛЬ – КОБРИН»**

*К. Н. КОЛЕСНИКОВИЧ, А. А. ЛУГИН (С-52)*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Г. В. АХРАМЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приводится обоснование необходимости реконструкции автомобильной дороги М10, а также характеристика автомагистрали после реконструкции и состав проекта, в рамках которого представлены основные моменты по реконструкции.

10 мая 2016 года на заседании Совета управляющих Европейского банка реконструкции и развития было подписано соглашение между правительством Беларуси и ЕБРР по подготовке инфраструктурного проекта «М10» к реализации на принципах государственно-частного партнерства (ГЧП). На завершающей стадии находится подготовка документов, включающих технико-экономическое обоснование, паспорт проекта, проект соглашения о ГЧП и проект подтверждающего нормативного правового акта.

Трасса является транспортным коридором, пересекающим территорию Беларуси с запада на восток, и альтернативным маршрутом между ЕС, Беларусью, Россией и Китаем. В результате реконструкции планируется удвоить пропускную способность модернизированного участка, увеличить максимально допустимую нагрузку на ось до 11,5 т, сократить время поездок и сделать их более комфортными.

Планируется, что данный проект станет первым в Беларуси реализованным по концессионной схеме государственно-частного партнерства. При этом концессионер осуществит проектирование, строительство, эксплуатацию и обслуживание реконструированного участка дороги, а взамен получит плату за эксплуатационную готовность автотрассы.

Магистраль М10 – дорога в Беларуси, которая проходит с востока на запад по территории Гомельской и Брестской областей, соединяя между собой районные центры Полесья. Протяженность дороги – 526 км. Первые 50 км от Гомеля дорога имеет 4 полосы, далее, в районе населенного пункта Волчья Гора, дорога сужается до 2 полос и так тянется до самого Кобрина, с местными расширениями в районе перекрестков.

Участок автомобильной дороги, который находится в Гомельской области, обеспечивает связь Речицы с Калинковичами. В этом районе находится большое количество населенных пунктов, в которых ведется интенсивное сельскохозяйственное производство. Параллельно рассматриваемому участку проходит железная дорога, создающая многочисленные локальные транспортные связи, которые приводят к появлению на магистральной дороге медленно движущихся автомобилей, сельхозтехники, в результате создается неоднородность транспортного потока, состоящего как из транзитного транспорта, так и местного. Участок запроектирован по нормам I-в категории согласно ТКП 45-03.03-19-2006 [1]. Проектирование осуществлялось по национальным нормам Республики Беларусь (без применения требований Еврокодов).

Особенностью реконструкции автомобильной дороги М10 является применение иглопробивного геотекстильного полотна в качестве прослойки между рабочей площадкой земляного полотна и основанием дорожной одежды [2].

Иглопробивное полотно – нетканый текстиль из направленно или хаотично ориентированных волокон в виде рыхлого рулонного материала. Иглопробивной геотекстиль используется в различных областях, начиная от строительства дорог, заканчивая применением геотекстиля в качестве основы для производства линолеума.

Основные функции иглопробивного геотекстиля:

- разделение слоёв – слой геотекстиля предотвращает взаимопроникновение материалов, контактирующих в разделительных и технологических прослойках;

- защита – полотно предотвращает или замедляет процесс эрозии грунтов, препятствует повреждению грунтом гидроизоляционных мембран;

- фильтрация – слой геотекстиля предотвращает или замедляет проникновение частиц грунта в дренажи или их вынос;

- теплоизоляция и звукоизоляция – иглопробивной нетканый материал уменьшает потери тепла и поглощает звук при использовании в строительстве.

Иглопробивное геотекстильное полотно обладает следующими свойствами: долговечность, фильтрующая способность, устойчивость к агрессивным природным факторам, устойчивость к биологическим угрозам (корни растений, насекомые, грызуны, грибок, гниение), пожаробезопасность, экологичность.

Земляное полотно запроектировано из условий: возвышения бровки обочин над расчетным уровнем снежного покрова; обеспечения устойчивости откосов насыпи; обеспечения отвода воды с верхнего слоя земляного полотна; возможности безопасного съезда автомобилей в случае аварийной ситуации.

Проектом предусмотрены следующие типы поперечного профиля:

- тип 1* – устраивается на участках насыпи с использованием существующего полотна с его уширением (влево или право). При высоте насыпи до 2 м



предусматривается рыхление существующих откосов, при высоте насыпи более 2 м нарезка уступов. Крутизна откосов при высоте насыпи до 3 м принята – 1:3, при высоте более 3,0 м – 1:1,5;

*тип 2* – устраивается на участках прохождения по новому направлению при высоте насыпи до 6,0 м. Насыпь высотой до 3,0 м устраивается с крутизной откосов 1:3, при высоте более 3,0 м – 1:1,5. При высоте насыпи (по бровке) менее 1,5 м для обеспечения снегонезаносимости предусматриваются кюветы шириной 3,0 м при продольном уклоне до 3 ‰, шириной 1,0 м при продольном уклоне более 3 ‰;

*тип 3* – устраивается при высоте насыпи более 6,0 м;

*тип 4* – устраивается при прохождении по заторфованным участкам. При высоте насыпи до 2,5 м все земляное полотно отсыпается из дренирующих грунтов, а при высоте насыпи более 2,5 м дренирующим грунтом отсыпается нижняя часть, возвышающаяся над торфом на 0,5 м.

Для отсыпки верхней части земляного полотна толщиной 0,80 м используется непучинистый песчаный грунт с  $K_{\phi} \geq 0,2$  м/сут, засыпки выторфовывания – дренирующий песчаный грунт  $K_{\phi} \geq 0,5$  м/сут из месторождения «Лесное» общим объемом 508 417 м<sup>3</sup>. Для отсыпки нижней части земляного полотна используется грунт из месторождения «Ямпольское-2» в объеме 521 823 м<sup>3</sup>, «Лесное-2» – 181 931 м<sup>3</sup>; от срезки существующего земляного полотна – 118023 м<sup>3</sup>, объездов – 50398 м<sup>3</sup>, бросовых участков – 98640 м<sup>3</sup>, из кюветов – 6723 м<sup>3</sup>.

Растительный грунт, снимаемый с откосов насыпи и подошвы в объеме 72082 м<sup>3</sup>, складировается в полосе отвода; в объеме 16630 м<sup>3</sup> (при параллельном прохождении магистральных трубопроводов на расстоянии 26–50 м) – перевозится на площадки складирования на км 111,7 и км 122,6 для дальнейшего использования на укрепительные работы по дороге. Снимаемый растительный грунт с корневыми остатками в объеме 28242 м<sup>3</sup> перевозится на площадки складирования на км 111,7 и км 122,6 для дальнейшего использования на рекультивацию месторождений «Ямпольское-2» и «Лесное».

Торф в объеме 22595 м<sup>3</sup> перевозится на площадки складирования на км 111,7 и км 122,6 для дальнейшего использования на укрепительные работы по дороге (16397 м<sup>3</sup>), на рекультивацию бросовых участков и объездов (4200 м<sup>3</sup>) и рекультивацию месторождений «Ямпольское-2» и «Лесное» (1998 м<sup>3</sup>). Откосы земляного полотна укрепляются засевом трав по слою плакировки толщиной 15 см.

На участках с высотой насыпи  $\geq 6,0$  м предусмотрено укрепление откосов перфорированной георешеткой 40 х 40 см высотой 10 см с заполнением растительным грунтом и засевом трав.

Для предотвращения размыва откосов земляного полотна на участках с высотой насыпи  $\geq 3,0$  м, перед мостом и путепроводами, при затяжных продольных уклонах более 3 ‰ предусматривается устройство прикромочных и водосборных лотков закрытого типа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. ТКП 45-3.03-19–2006 (02250). – Минск : М-во архит. и строит. Респ. Беларусь, 2006. – 42 с.

2 Проектирование земляного полотна автомобильных дорог. П2-01. – Минск : Комитет по автомоб. дорогам при М-ве трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, 2001. – 90 с.

УДК 502.3:629.73

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕТИ ДОРОГ СПОСОБОМ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

*П. А. КОЦУР (С-42)*

Научный руководитель – ст. преп. *Н. В. БАНДЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Представлена характеристика технологии горячей регенерации. Рассмотрены варианты горячей регенерации на дороге и на заводе, отмечены их положительные и отрицательные стороны.

С увеличением количества автомобилей и их массы, приходящейся на ось автомобильной дороги, ее поверхность подвергается разрушению. Природно-климатические факторы также имеют значительное влияние на ускоренное разрушение поверхности дорог. При совместном воздействии климатических факторов и нагрузок транспорта дорожная поверхность деформируется. Большой урон автомобильным дорогам наносят большегрузные и тяжелые автомобили, у которых нагрузка на одну ось превышает допустимые нагрузки от оси на поверхность дороги.

Целью регенерации является устранение дефектов покрытия, тем самым обеспечивает нужное качество дорожной одежды и безопасность дорожного движения, также обеспечивает долговечность дорожной одежды в условиях растущего грузооборота и интенсивности движения.

Существующий слой асфальтобетона является дорогостоящим материалом и вторичным сырьем.

Регенерация подразумевает под собой восстановление свойств материала, таких как ровность покрытия, прочность и т. д., и также позволяет использовать его повторно.

Способ горячей регенерации подразумевает разогрев и переработку старого асфальта. Задача – плавно и аккуратно разогреть обрабатываемый слой асфальтобетона до температуры его переработки и при этом не перегреть вяжущее, которое при высокой температуре ухудшает свои свойства за счет ис-

парения легких фракций и выгорает, если нагрев превышает температуру вспышки вязущего, равную 180–220 °С для вязких и не ниже 230 °С для жидких битумов. При этом температура переработки асфальтобетонных слоев на вязких битумах находится в пределах от 100 до 150 °С, возможно также колебание до 180–200 °С.

Нагрев асфальтобетонного покрытия осуществляется при помощи газовых горелок инфракрасного излучения, объединенных в блоки или панели разогревателя. Разогрев слоя регулируют изменением давления в газовой системе, изменением положения панелей над поверхностью покрытия или скорости движения разогревателя.

Исходя из ограничений по температуре вспышки битума, максимальная продолжительность непрерывного нагрева поверхности асфальтобетона не должна превышать 2–3 минуты при температуре воздуха 20 °С. После этого необходимо понизить температуру нагревания или сделать перерыв в подаче тепла и после этого продолжить нагрев до тех пор, пока температура всего слоя на глубину рыхления не достигнет требуемых значений. Обычно разогрев производится при медленном движении блока горелок в 2 или 3 ступени. Первым делом разогрев производят самоходным асфальтозагреевателем для предварительного разогрева до температуры поверхности 90–100 °С, затем в 1 или 2 ступени окончательного разогрева до необходимой температуры.

Глубину рыхления, которую разогревают до рабочей температуры, принимают не менее толщины слоя регенерации, которая зависит от фракции щебня в асфальтобетоне, но не менее:

- 20 мм для песчаных смесей;
- 25 мм для щебеночных смесей с зернами размером до 15 мм;
- 35 мм для щебеночных смесей с зернами размером до 20 мм.

Как правило, глубину разогрева принимают 30–60 мм в зависимости от толщины верхнего слоя асфальтобетона и максимальной глубины рыхления, которую способен обеспечить термосмеситель.

По месту осуществления регенерации различают два метода:

- 1) регенерация на заводе;
- 2) регенерация на дороге.

При регенерации на заводе соблюдается следующая последовательность: снятие старого покрытия холодным или горячим фрезерованием или разломом; доставка автотранспортом старого материала на передвижной или стационарный асфальтобетонный завод; приготовление новой асфальтобетонной смеси из материала старого покрытия с добавлением каменного материала и битума в соответствии с требованиями рецептуры; доставка новой асфальтобетонной смеси автотранспортом на ремонтируемый участок; распределение асфальтобетона асфальтоукладчиком, автогрейдером или вручную (заделка выбоин); уплотнение.

Снятие старого покрытия целесообразно реализовывать с помощью фрез фирмы Wirtgen. Сфрезерованный и измельченный до гранулята асфальтобе-

тон автосамосвалами доставляется на стационарный или передвижной АБЗ. Там в точном соответствии с разработанными формулами готовится новая асфальтобетонная смесь с добавлением щебня (гравия) и битума.

Приготовленный горячий асфальтобетон требуется транспортировать на строительную площадку. Автомобильный транспорт, предназначенный для транспортировки горячей асфальтобетонной смеси, обязан быть оборудован тентами для предотвращения остывания и обеспечения предусмотренной технологией температуры смеси.

Распределение и уплотнение транспортированной смеси производится по общепринятой технологии с использованием современных асфальтоукладчиков «Vogele», «Dinaparc» и пневмоколёсных и гладковальцевых катков.

КУП «Гродноблдорстрой» в своей практике уже применял технологию горячей регенерации. Первая партия регенерированной асфальтобетонной смеси была выпущена предприятием на собственном заводе с использованием добавки «ANT» и была направлена на ремонт участка переулка Янки Купалы (г. Гродно). Инновационное покрытие оправдало заявленные обещания. Технология «ANT» разработана российской научно-производственной компанией. Важнейшей особенностью технологии является использование вторичных ресурсов, поскольку она предполагает собой переработку старого дробленого асфальтобетона. Технология позволяет производить новое дорожное покрытие из асфальтогранулята – асфальтовой крошки, которая на сегодняшний день в основном применяется только для отсыпки обочин и гравийных покрытий дорог. При этом решение российских ученых в корне отличается от существующих в мире способов вторичного использования данного сырья.

В 100 тоннах старого асфальта содержится примерно 4–6 тонн битума. Вместе с тем асфальтогранулят является источником других ценных материалов: щебня и гравия. За эти материалы при производстве нового асфальта также необходимо платить разным организациям. Экономия при применении такой регенерированной смеси, по отношению к другим затратам, составляет от 200 до 300 тысяч рублей на 1 тонну. В себестоимость входят все затраты городских служб, в том числе остаточная стоимость асфальтогранулята, его перевозка и погрузка. В итоге можно сэкономить до 30–40 %. Основная цель технологии – экономить бюджетные средства. А самое главное для нашей страны заключается в том, что производство смеси возможно на всех типах и моделях АБЗ.

По опыту КУП «Гродноблдорстрой» можно сделать вывод, что внедрение технологии регенерирования асфальтобетона является необходимым, но необходимо понимать, что ремонт дорог производится за счет средств бюджета в соответствии с существующими нормативными документами и утвержденной проектно-сметной документацией, вследствие этого для использования этой технологии в будущем на стадии проектирования и производства работ должна разрабатываться нормативно-техническая документация учреждениями, в обязанности которых входит разработка этой документации,

которая позволит использовать рассматриваемую технологию при ремонте и восстановлении эксплуатационных качеств автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

Асфальтогранулят, который получают от фрезерования асфальтобетонных покрытий, содержит недостаточное количество щебня, гравия и остаточного вяжущего. Для получения переработанного асфальтобетона, соответствующего требованиям, предъявляемым к асфальтобетонным покрытиям, в начальную смесь необходимо добавлять недостающий щебень, гравий и битум, а также специальный реагент, предлагаемый «АТ-Нинжиниринг», который является дорогостоящим. В итоге конечный продукт (асфальтобетон) с учетом всех затрат экономической выгоды не имеет.

Данная технология позволяет экономить при строительстве покрытий из асфальтобетонных смесей, но с учетом затрат на её реализацию в нашей стране является экономически невыгодной. В зарубежных странах показала себя лучше и экономичнее, в Германии эта технология имеет широкое распространение и повсеместное использование.

УДК 528

## **РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

*М. А. КРАСНОВ (СП-21)*

Научный руководитель – ст. преп. *Н. С. СЫРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приведен перечень работ, выполняемых при изыскании мостовых переходов. Отмечены особенности производства работ.

Для проектирования мостового перехода выполняют следующие топографо-геодезические работы: разбивку и привязку, производство гидрологических работ, съемку района перехода, длину мостового перехода. Если в районе изысканий ранее производилась съемка соответствующих масштабов, ситуационный план не снимают заново, а обновляют имеющиеся материалы, дополняя их специальными элементами, к которым относятся постоянные и временные водомерные посты, геодезические пункты, геологические выработки, гидрометрические створы, границы разлива и др. При построении разбивочных сетей мостовых переходов, длину моста по высоте на каждом берегу должно быть установлено не менее двух реперов.

При пересечении мостом острова на нем также устанавливают два репера. Средняя квадратическая ошибка взаимного расположения реперов по высоте не должна превышать 3 мм. Разбивочная сеть служит основой для выноса проекта в натуру и должна отвечать следующим требованиям:

1 Обеспечить необходимую точность разбивочных работ.

2 Создать максимальные удобства для разбивки и контроля положения центров опор.

3 Обеспечить сохранность пунктов в процессе строительства.

Измерения имеют особенности, связанные с сильным влиянием рефракции – искривлением светового луча при прохождении его через среды с разными подстилающими поверхностями, это может быть вода или земля.

При светодальномерных измерениях через большие водные преграды следует учитывать изменение условий, таких как влажность, температура и давление, на протяжении всей линии, не ограничиваясь их показателями лишь на ее концах. При разбивке опор принимают следующие допуски: центры фундаментов опор должны быть определены относительно пунктов разбивочной сети со средней квадратической ошибкой 50 мм, а на уровне и выше обреза фундамента – 12 мм.

Наблюдение за опусканием основания опоры в плане на острове ведутся путем периодических измерений расстояний от осевых знаков до опускаемого контура, а по высоте – контрольным нивелированием от рабочих реперов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Пуркин, В. И.** Проектирование мостовых переходов : учеб.-метод. пособие / В. И. Пуркин, А. С. Холин. – М. : МАДИ, 2002. – 36 с.

2 **Андреев, О. В.** Проектирование мостовых переходов : учеб.-метод. пособие / О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1980. – 215 с.

УДК 625.72

### О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*А. С. КУРБАТОВА* (магистрант)

Научный руководитель – канд. техн. наук *Б. И. ГОРОХОВЦЕВ*  
*Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), г. Москва*

Развитие вычислительной техники и технических средств автоматизации предопределило не только фундаментальное переосмысление и видоизменение технологии проектно-изыскательских работ, но и методов проектирования. В частности, широкое распространение в практике проектирования автомобильных дорог получили методы оптимизации и моделирования, применение которых определяет заметное снижение материалоемкости и стоимости строительства и резкое повышение качества проектируемых объектов.

Реализация методов оптимизации и математического моделирования в связи с их исключительной многодельностью немислима при ручной тради-

ционной технологии, и именно в связи с этим эти методы до недавнего времени не находили применения при проектировании автомобильных дорог.

Бурное развитие прикладной математики, связанное с научно-технической революцией, и широкое внедрение компьютерной техники в практику проектирования определили процесс изменения методов решения основных задач проектирования автомобильных дорог: плана трассы, продольного профиля, земляного полотна, дорожных одежд, малых водопропускных сооружений, мостовых переходов, системы поверхностного и подземного дорожного водотока, транспортных развязок движения, оценки проектных решений.

Современные автомобильные дороги представляют собой сложные инженерные сооружения. Тенденция изменения протяженности автомобильных дорог по своим техническим характеристикам, соответствующих современным стандартам по безопасности, скорости, нагрузкам, интенсивности движения и качеству показывает в большинстве случаев несоответствие нормативным требованиям, поэтому в настоящее время актуален вопрос повышения качества строительства с перспективой наращивания сети автомобильных дорог.

Одним из комплексных действий, влияющих на качество дорожной сети, является оптимизация проектных решений. Проектирование автомобильных дорог должно быть направлено на достижение высоких транспортно-эксплуатационных качеств при минимуме строительных затрат. В проектировании автомобильных дорог при оценке вариантов проектных решений предпочтение отдается как экономичным инженерным решениям, так и тем, которые обеспечивают наиболее гармоничное вписывание полотна дорог в окружающий ландшафт и оказывают наименьшее отрицательное влияние на окружающую среду.

Современная автомобильная дорога должна обеспечивать удобное, безопасное, экономичное движение автомобилей и в тоже время обладать высокими эстетическими качествами. Обеспечение этих требований достигается соблюдением принципов ландшафтного проектирования, требований нормативно-технической документации и правового сопровождения.

Определенный интерес представляет проектирование автомобильной дороги и конструкций дорожных одежд, рассчитанных автоматизированно в программном комплексе «Топоматик Robur» (далее – ПК), применение которого при разработке квалификационной работы на проектируемом участке Марино-Уральская (Красноярского края) позволило значительно сократить строительную стоимость за счет точного определения объемов земляных работ.

Моделирование позволяет рассматривать исследуемые объекты на разных уровнях взаимодействия, когда важным аспектом является оценка качества функционирования разнообразных систем.

Данный ПК можно рассмотреть как модель взаимодействия системы «человек – техника – среда» (далее – ЧТС). Система ЧТС существует во всех сферах жизнедеятельности, поэтому ее изучение играет одну из важнейших ролей в жизни человека.

Человек всегда находится во взаимодействии с техникой (приборы, оборудование, компьютеры, средства связи и т. д.) и средой, в которой осуществляется процесс деятельности. Звенья этой системы, взаимодействующие между собой, рассмотрим как единое целое, где ведущее звено принадлежит человеку. Поэтому представим систему как совокупность взаимосвязанных элементов, которые направлены на достижение единой поставленной цели.

Как бы ни была сложна работа с моделью, описывающей реальный мир, сама модель должна быть описана четко и основные постулаты не должны допускать произвольных интерпретаций. Любая фундаментальная наука, изучающая тот или иной аспект физического мира волей или неволей должна выделить некий набор первичных данных.

В работе мы рассмотрим три модели системы: монадную (человек, техника, среда), диадную (человек – техника, техника – среда, человек – среда), триадную (единство трех моделей во взаимосвязи простых монад) – в области проектирования дорожных одежд на автомобильных дорогах.

Зададим ограничения, которые помогут нам уменьшить объемы вариантов подбора дорожной конструкции. Рассмотрим систему «человек – техника – среда» для проектирования дорожной одежды III категории с капитальным покрытием, район проектирования относится к III дорожно-климатической зоне (Красноярский край).

Базовой моделью подхода является монада (элементарная модель, имеющая свою иерархическую конструкцию), на которую могут оказываться воздействия извне и которая сама может оказывать воздействия. В области проектирования элементарной единицей будет являться человек (проектировщик, поставщик, строитель, изготовитель и т. д.), техника (компьютерное и нормативное обеспечение, машины и механизмы, технологии устройства и т. д.), среда (место проведения работ, тип сооружения, геодезические инженерные изыскания и т. д.)

Каждая единица системы ЧТС имеет свои функции:

1 Человек – последовательное взаимодействие лиц от выбора проектной организации до распределения работы внутри отдела при проектировании. С использованием средств автоматизации разрабатывает отдельные части проекта (проектирование ДО); участвует в сборе исходных данных для проектирования; увязывает принимаемые проектные решения с проектными решениями по другим частям проекта; обеспечивает соответствие разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам по проектированию и строительству, а также заданию на их разработку.

2 Техника – взаимосвязь выбора нормативных документов, программ и способов расчета, приводящая к конкретному получению конструктивных слоев. Техника (функции ПК) осуществляет расчет нежестких дорожных одежд автомобильных дорог общей сети и городских дорог и улиц; позволяет



запроектировать вновь сооружаемую дорожную одежду или произвести оценку прочности существующей конструкции; произвести расчет на прочность (по упругому прогибу, по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев, на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению на растяжение при изгибе, на статическую нагрузку), морозоустойчивость; автоматически произвести оптимизацию подбора толщин конструктивных слоев дорожной одежды в заданных пределах и с заданным шагом; подобрать варианты конструкций, отвечающим условиям прочности и упорядочить по критерию стоимости.

3 Среда позволяет подобрать дорожную конструкцию в соответствии с заданной дорожно-климатической зоной, заданным типом местности по увлажнению, типом местности по рельефу и типом земляного полотна; позволяет выполнить требования по условию надежности и коэффициентов уплотнения, соответствию условиям приложенной нагрузки (интенсивности движения).

Диадная модель позволяет рассмотреть две отдельных «монады» в их взаимосвязи, при этом их результаты в каждом конкретном случае будут иметь как положительные, так и отрицательные значения (опыт).

Триадная модель также позволяет рассмотреть «монады», но уже с большим количеством воздействий и результатов. Данная модель формирует наиболее полное представление об проектируемом объекте. Для триадной модели характерны нагружения (дополнительные воздействия), которые оказывают вспомогательную функцию (например, визуализация автомобильной дороги в ПК, что недоступно при ручном проектировании).

Таким образом, для решения задач требуется:

- определить ограничения, в рамках которых будет рассматриваться «монадная» модель, и структурировать до получения необходимой элементарной единицы;

- проанализировать основные процессы, происходящие на этапах проектирования;

- выбрать три основных компонента системы ЧТС (в нашем случае: человек – инженер, техника – компьютерная программа для расчета дорожной одежды, среда – автомобильная дорога (дорожно-климатическая зона – III-1; тип местности по увлажнению – I; тип местности – равнинный; тип земляного полотна – насыпь));

- рассмотреть воздействия компонентов системы;

- рассмотреть нагружения на воздействия.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при правильном построении структуры ЧТС и автоматизированном проектировании можно спрогнозировать опасные явления и последствия как процесс восприятия и осознания явлений объективной реальности (процессов, объектов, среды).

Комплексное использование монадного, диадного и триадного подходов инфографического моделирования в автоматизации проектирования, по-ви-

димому, может обеспечить эффективность системы ЧТС, так как позволяет выбрать из множества вариантов один или несколько для осознанного понимания структур управления и взаимодействия на различных этапах.

Представленная деятельность участников, выполняющих инфографическое и автоматизированное моделирование, осуществляющих отдельные процессы целенаправленного изменения среды, в том числе развитии индустрии проектирования, является важной комплексной оценкой организационно-технологической надежности и обеспечения качества проектирования с использованием базовой инфографической модели функциональной системы ЧТС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лёвин, Б. А. Инфография антропо-технического менеджмента : науч. издание : в 3 т. / Б. А. Лёвин, Р. Р. Казарян, В. О. Чулков ; под ред. В. О. Чулкова. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016.

2 СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\* / Росавтодор. – М., 2013. – 139 с.

3 ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд (утв. распоряжением Минтранса РФ от 20.12.2000 № ОС-35-Р).

4 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2018).

5 Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон 08.11.2007, № 257-ФЗ.

УДК 625.7

## СНИЖЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗНЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

*Б. Э. КУРБОНОВ* (магистрант)

Научный руководитель – ст. преп. *Ё. И. КУЧКАРОВ*

*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Дана краткая характеристика условий эксплуатации автомобильных дорог Республики Узбекистан. Приведены рекомендации по совершенствованию действующих нормативных документов

В экономическом развитии нашей страны существенную роль играют автомобильные дороги. Доля перевозимых грузов автомобильным транспортом составляет примерно 85 %. Протяженность автомобильных дорог общего пользования в Узбекистане 42530 км, из них 97 % проезжей части покрыто

смесями, состоящими из минеральных и органических вяжущих материалов (асфальтобетон 52 %, черный щебень 40,9 % и гравийные дороги составляют 3,9 %).

В процессе глобализации производственных процессов рост автомобилизации с увеличением грузоподъемности, скоростей и других показателей неизбежен. Результатом являются повышенные требования к дорогам для большегрузных и тяжеловесных автомобилей (с нагрузкой на ось 13,5 т).

В настоящее время в Узбекистане автомобильные дороги проектируются с учетом нагрузки 13 т на ось. Практически эти нагрузки предельно превышаются, особенно в летнее время с повышением температуры воздуха стойкость (прочность) асфальтобетонных покрытий от нагрузок грузовых автомобилей снижается. Таким образом, в весенний период с повышением уровня грунтовых вод понижается прочность земляного полотна, а летом понижается прочность покрытия, и в каждом случае восприятие асфальтобетоном нагрузок от тяжелых автомобилей будет значительным. Для решения этих проблем требуется изучение роста интенсивности грузовых потоков и их совершенствование, разнообразности естественных природных условий на местах, а также взаимосвязанности этих показателей [2].

В летнее время, когда температура воздуха поднимается до 40 °С (иногда доходит и до 50 °С), поверхность покрытия нагревается до 60–70 °С, а в отдельных случаях и выше. Впоследствии покрытие принимает липучую-пластическую форму, образуя продольные и поперечные волны (по ГОСТу 22245 предел смягчения вязкого битума 33–52 °С) [1].

Требование для материалов, денежных средств, выделенных для строительства, ремонта и для содержания дорог, год за годом увеличивается. Умелое пользование каждым конструктивными элементами приводит к увеличению сроков службы и сохранению покрытия в исправном состоянии [2].

На практике причины преждевременного разрушения дорог еще не совсем изучены и исследованиями не подтверждены. Сложность исследований заключается в разнообразии условий работы дорог, основными из которых являются: изменчивость состава транспортных потоков и постоянное изменение природно-климатических условий [2].

Основные проблемы при эксплуатации автомобильных дорог – это предотвращение преждевременного выхода из строя дорог, преодоление этих проблем, научное и практическое решение, обеспечивающее надежную безотказную их работу.

Требование испытаний асфальтобетонных покрытий по ГОСТ 9128–13 проводится при +50 °С, а в самом деле для нашего климата должно проводиться при температуре не менее +70 °С. Это показывает, что устойчивость к сдвигу не соответствует требованиям, в этом случае прочность дорожной одежды не обеспечивается и конструкции не обеспечивают требуемую надежность [2, 3].

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что при погодных условиях, свойственных для нашего климата, необходимо сохранение устойчиво-

сти покрытия на сдвиг и предотвращение различных деформаций. Требуется разработать нормы для материалов, и желательно принять предел температуры от +60 °С и на основании этого произвести расчеты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Саидов, З. Х.** Автомобиль йўллари: материаллар, қопламалар, сақлаш ва таъмирлаш Ўқув қўлланма / З. Х Саидов, Т. Ж. Амиров, Х. З Фуломова. – Тошкент, 2009.

2 **МҚН 41–2008** Отраслевые нормы межремонтных сроков службы нежестких дорожных одежд, покрытий и поверхностных обработок / Государственно-акционерная компания «Узавтойул».

3 **ГОСТ 9128–2013** Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимер асфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 9128–2009 ; введ. 2014-11-01. – М. : Стандартиформ, 2014.

УДК 624.21

## ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРЕИМУЩЕСТВА МОДУЛЬНЫХ НАДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

*В. С. ЛЕБЕДЕВ (ИСМмп18-1)*

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *И. Г. ОВЧИННИКОВ*  
*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,*  
*Российская Федерация*

Отмечены транспортные проблемы безопасного пересечения автомобильных и пешеходных потоков в больших городах. Приведена краткая характеристика модульных надземных пешеходных переходов.

Города растут, с ними растет и дорожный трафик. Пешеходы подвергаются все большей опасности. Для осуществления безопасности пешеходов зачастую применяется классический подход – разделение потоков транспорта и пешеходов друг от друга. В связи с этим появляется необходимость строительства большого количества надземных пешеходных переходов.

Надземные пешеходные переходы, как правило, строятся на оживленных улицах города, что неизбежно окажет влияние на трафик. Для минимизации влияния на него придумали конструкции модульного типа. Они довольно популярны и уже используются по всему миру.

Конструкции данного типа привозятся в виде отдельных элементов на строительную площадку. Далее производится укрупненная сборка пролетного строения на стапелях с помощью крана. После завершения сборки пролетного строения осуществляется его погрузка на автобалковоз, который перемещает ее на монтаж. Производится монтаж пролетного строения на опоры

с помощью нескольких кранов. Движение автотранспорта на время монтажа полностью перекрывается.

Метод модульного строительства мостов является более эффективным и безопасным. Он практически не требует от строителей подвергать себя риску работы на высоте, не грозит проезжающему транспорту падением поднимаемых кранами грузов, а также минимизирует время закрытия проезжей части.

Стоит отметить и простоту монтажа таких конструкций. Компоненты моста соединяются только при помощи болтов без необходимости выполнения сварочных работ. Соответственно, не нужно привлекать специально обученных людей для монтажа, с этим может справиться и низкоквалифицированный персонал.

Вес всего моста и отдельных его элементов очень мал, что позволяет без труда доставить его на строительную площадку.

В условиях строительства надземных пешеходных переходов необходимо производить строительство в кратчайшие сроки. Модульные конструкции обладают быстрой эксплуатационной готовностью, что является также большим преимуществом по сравнению с другими.

УДК 625.089.23

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

*И. С. ЛОХМАНКОВ (С-32)*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Н. В. ДОВГЕЛЮК*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При эксплуатации дороги под воздействием нагрузки транспортных средств, климатических и гидрологических факторов происходит снижение прочности дорожной одежды. Чтобы не допустить разрушения дорожной конструкции, проводят четырехэтапную диагностику и на основании полученных результатов назначают варианты ремонтных мероприятий.

В республике Беларусь за последние 5 лет инвестиции в дорожную отрасль уменьшились в 2–3 раза, что привело к ухудшению транспортно-эксплуатационного состояния дорог. По результатам диагностики дорог выявлено, что из их общей протяженности 16 % имеют прочность, не в полной мере соответствующую нормативным требованиям. В данной ситуации одним из важнейших условий, позволяющим продлить эксплуатацию дорожной конструкции, является регулярный сбор информации о состоянии автомобильной дороги, а также своевременное проведение мероприятий по повышению прочности дорожных одежд.

Прежде чем выбрать тот или иной вариант ремонтного мероприятия, выполняется диагностика состояния дорожной одежды. Диагностику автомобильных дорог следует разделять на сетевую и детальную. Сетевая диагностика проводится на сети автомобильных дорог или на отдельных дорогах с определением эксплуатационных параметров. Детальная диагностика проводится на автомобильных дорогах или на отдельных участках с обследованием дорожной конструкции. Диагностику автомобильных дорог следует производить в четыре этапа: подготовительные работы; проведение измерений и обследований на дорогах; камеральная обработка результатов, их анализ и формирование базы данных; оценка ТЭС АД и формирование отчета с указанием видов ремонтных мероприятий.

Подготовительные работы включают в свой состав: подготовку технического задания, предварительный анализ данных, содержащихся в базе данных, и подготовку испытательного оборудования и средств измерения к выполнению обследования.

Проведение измерений должно осуществляться с линейной привязкой к местоположению на дороге и полосе движения, где выполнялись измерения.

Камеральная обработка результатов обследования предусматривает расчет параметров дорог по данным обследований, анализ результатов расчета параметров и внесение информации в базу данных.

Оценка состояния дорог предусматривает оценку ТЭС АД по параметрам, определение полной потребности в ремонтно-восстановительных мероприятиях и определение первоочередных участков ремонтов автомобильных дорог.

Виды работ по повышению прочности назначаются в зависимости от состояния дорожной одежды, определяемого коэффициентом надежности существующей дорожной одежды  $K_n$ , ровностью покрытия по индексу  $IRI$  и фактическим модулем упругости конструкции  $E_\phi$ . Если  $K_n < K_{ндоп}$ ,  $IRI_\phi > IRI_{доп}$ , а  $E_\phi < 0,7E_{тр}$ , в таком случае выделяют 3 варианта ремонтных мероприятий:

1 Устройство нового покрытия при сохранении старой дорожной одежды.

2 Демонтаж и замена всех слоев покрытия с устройством несущих слоев основания.

3 Полный демонтаж дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна.

*Устройство нового покрытия при сохранении старой дорожной одежды.*

Это наиболее часто применяемый вариант усиления дорожной одежды с целью обеспечения дренирующей способности и морозостойкости существующей дорожной одежды. В нем предусматривается устройство выравнивающего слоя, нижнего слоя покрытия и слоя износа. Перед укладкой слоев необходимо устранить все выбоины и трещины на старом дорожном покрытии. Данный способ применяется только в тех случаях, когда существующая дорожная одежда не имеет каких-либо серьезных повреждений.

*Демонтаж и замена всех слоев покрытия с устройством несущих слоев основания.* При таком варианте усиления дорожной одежды сохраняют суще-

ствующее основание дорожной одежды, но при этом производят замену всех слоев покрытия. Его следует применять только тогда, когда дорожное покрытие имеет множество различных повреждений (трещины, выбоины и др.) в связи с потерей прочности и отсутствия морозостойкости его слоев.

*Полный демонтаж дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна.* Последний вариант применяется в случаях отсутствия дренажной способности и морозостойкости слоев существующей дорожной одежды и при низкой прочности грунтов земляного полотна, что предусматривает полный демонтаж и замену всей дорожной одежды.

В процессе усиления дорожной одежды по одному из трех вариантов необходимо по максимуму использовать материал существующей дорожной одежды.

Старые дорожные одежды, как правило, имеют больший поперечный уклон, чем у дорожных одежд современных дорог. Поэтому при проведении усиления необходимо уменьшать уклон путем укладки по краям покрытий слоев выравнивания. Существуют случаи, при которых старую дорожную одежду оставляют в роли дополнительного слоя основания из-за ее малой прочности и непригодности использования как основания для нового покрытия. С учетом этого зарубежные страны используют различные варианты восстановления старых покрытий, которые направлены на повышение связи между новыми и существующими слоями покрытия.

В Соединенных Штатах Америки одним из способов является разогрев, разрыхление и так называемое «омоложение» уже существующего асфальтобетона розливом эмульсии. Разогрев и разрыхление производится определенной машиной со скоростью движения от 5 до 10 м/мин. После разрыхления и обработки эмульсией старого асфальтобетона укладывают новую смесь толщиной 5 см. Битумная эмульсия, проникая в старый асфальтобетон, создает прочное соединение между слоями.

В Германии при разогреве и разрыхлении слоев старого асфальтобетона используют специальную машину «Wirtgen», которая, в свою очередь, оснащена горелками инфракрасного облучения. После снятия верхнего слоя трещины, оставшиеся на старом покрытии, при нагреве «заплывают», тем самым образуя более ровную поверхность. На эту поверхность производится укладка нового слоя, и тем самым обеспечивается наилучшая связь между старым и укладываемым слоем.

В Англии для срезания верхнего слоя покрытия используют машину «Пэйн». Для лучшего сцепления слоев данная машина способна делать продольные резы различного размера глубиной до 2 см. После этого по поверхности разливают жидкий битум и укладывают новый слой. Уложенный асфальтобетон плотно соприкасается с резами, тем самым обеспечивая лучшее сцепление со старым покрытием.

Таким образом, своевременная реализация мероприятий по повышению уровня долговечности, работоспособности и прочности позволяет продлить эксплуатацию дорог.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ТКП 140-2015(33200). Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики / Департамент «Белавтодор» М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – 44 с.

2 **Шведовский, П. В.** Изыскание и проектирование автомобильных дорог : в 2 ч. Ч. 1. План, земляное полотно : учеб. пособие / П. В. Шведовский, В. В. Лукша, Н. В. Чумичева. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2016. – 445 с.

3 Автомобильные дороги Беларуси : Энциклопедия / под общ. ред. А. В. Минина. – Минск : БелЭН, 2002. – 672 с.

4 **Веренько, В. А.** Надежность дорожных одежд : пособие для студентов специальности «Стр-во дорог и трансп. объектов» вузов / В. А. Веренько. – Минск : Бел. гос. политехн. акад., 2002. – 118 с.

5 **Кашевская, Е. В.** Регенерация асфальтобетонных : [монография] / Е. В. Кашевская // под ред. И. И. Леоновича. – Минск : Дизайн ПРО, 2003. – 192 с.

УДК 528

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ

*П. О. МАЗЫНСКИЙ (СП-21)*

Научный руководитель – ст. преп. *Н. С. СЫРОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приведено краткое описание геодезических работ, выполняемых при строительстве тоннелей, при различных условиях производства работ и характеристиках возводимого сооружения.

Геодезические работы при сооружении тоннелей должны обеспечить проектирование, вынос трассы в натуру, разбивочные работы при строительстве, исполнительные съемки, наблюдения за осадками и деформациями. Основой служит тоннельная триангуляция, которая может быть заменена трилатерацией, линейно-угловой сетью или определением пунктов с помощью спутниковых навигационных систем. Ее сгущают построением ходов или сетей основной полигонометрии.

Для обеспечения требуемой точности сбоек встречных тоннелей и правильной организации основных геодезических работ следует подсчитывать среднюю квадратическую ошибку взаимного положения конечных точек сети триангуляции.

Ходы основной полигонометрии служат для передачи координат от пунктов триангуляции к шахтным и строительным площадкам. Длина хода между пунктами триангуляции не должна превышать 3 км, а между узловыми точками – 1 км. При средней длине стороны 250 м (максимальной – 500 м и минимальной – 150 м) средняя квадратическая ошибка измерения угла не должна превышать 3 мин. Допустимая относительная невязка хода при длине тоннеля более 0,5 км не должна превышать 1:30 000, менее 0,5 км – 1:20 000.



Подходную полигонометрию строят в стесненных условиях строительной площадки. Длины ее отдельных ходов или полигонов не должны превышать 300 м. Точность измерения углов и линий рассчитывают так, чтобы обеспечить относительную невязку хода не более 120 000. При рекогносцировке приствольных точек их закрепляют с учетом возможности передачи дирекционного угла к стволу шахты непосредственно с пунктов триангуляции или через вспомогательную точку на крыше здания вблизи ствола.

Требуемая точность сооружения тоннеля по высоте при длине трассы до 5 км может быть обеспечена нивелированием IV класса. Однако необходимость периодического наблюдения за осадками земной поверхности под влиянием подземных выработок требует выполнения нивелирования третьего класса. Нивелирные сети представляют собой вытянутую систему замкнутых полигонов, охватывающих всю полосу возможных деформации местности. От реперов нивелирования III класса передают отметки к стволам шахт, а затем через стволы – в подземные выработки.

При сооружении горных тоннелей в сложных топографических условиях порталы при длине тоннеля более 2 км должны быть связаны нивелированием II класса. При меньшей длине тоннеля используют те же приборы, но работают с допусками нивелирования III класса. Нивелирование выполняют двумя независимыми ходами или сетью замкнутых полигонов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Левчук, Г. П.** Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений : учеб. для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев ; под ред. Г. П. Левчука. – М. : Недра, 1983. – 400 с.
- 2 **Черемисин, М. С.** Геодезические сети при крупном подземном строительстве / М. С. Черемисин. – М. : Геод. лит. – 1960. – 223 с.

УДК 69.009

#### СПЕЦИФИКА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА В УЗБЕКИСТАНЕ

*А. А. МАЛИКОВ (216-18 ИЧ), И. АЗАМАТОВ (174-18 КИ)*  
Научный руководитель – ст. преп. *Л. А. ВИЛЬДАНОВА*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству*  
*и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Важнейшей особенностью дорожной отрасли является ее высокая социальная и экономическая значимость, от эффективного функционирования этой системы зависят качество жизни всех слоев населения и развитие экономики в целом.

За годы независимости в республике Узбекистан проведена масштабная работа по развитию дорожно-транспортной инфраструктуры, обеспечиваю-

щей безопасные межгосударственные транспортные перевозки, а также разветвленное транспортное сообщение между административными центрами областей и районов.

Вместе с тем остается целый ряд нерешенных проблем, связанных с системой управления автомобильными дорогами общего пользования, повышением эффективности использования средств, направляемых на содержание, ремонт, реконструкцию и строительство автомобильных дорог. Сложившееся фактическое состояние и уровень развития сети автомобильных дорог в республике обуславливают выработку конкретных и эффективных мероприятий по всем направлениям дорожного хозяйства, принятие дополнительных мер по управлению автомобильными дорогами и качественному изменению состояния дорожной сети страны в соответствии с потребностями экономики и населения.

Дорожное строительство имеет присущую только ему специфику: его продукция (автомобильные дороги и все сооружения на них) – составная часть автомобильного транспорта, а значит, ее потребление возможно только в процессе перевозок по возведённой автомобильной дороге.

Анализ состояния дорожного хозяйства выявляет следующие особенности:

- практически вся продукция имеет линейное расположение, а это, в свою очередь, предполагает линейный принцип организации работ, требующий создания передвижных подразделений и применения мобильных машин, перемещающихся вместе с обслуживающими их рабочими с одного участка дороги на другой или внутри данного участка;

- все сооружения, даже однотипные по назначению, могут серьезно отличаться друг от друга в зависимости от интенсивности движения, рельефных, гидрогеологических и климатических условий территории;

- ограничивается возможность применения типовых проектов, требуется их тщательная привязка к конкретным условиям;

- большие денежные затраты, высокая трудо- и материалоемкость;

- в общем объеме затрат значительная доля приходится на транспортные работы;

- сезонность выполнения дорожно-строительных и ремонтных работ, вызванная зависимостью их технологии от климатических условий в регионе, что, в свою очередь, вызывает неравномерное использование рабочих кадров и их текучесть.

Климат Узбекистана резко континентальный. Он выражается в резких амплитудах дневных и ночных, летних и зимних температур. Характерной особенностью природы республики является засушливость, выражающаяся в малом количестве атмосферных осадков, низкой относительной влажности воздуха в летнее время, малой облачности и в связи с этим в большом количестве времени солнечного сияния.

Проблему перехода от сезонного строительства к непрерывному можно решить за счёт разработки специальных технологий, которые позволят выпол-

нять работы при низких температурах, и роста объемов заготовительных и транспортных работ в зимнее время. Это требует своеобразных форм организации, управления, технологий, а учет стоимости земли заставляет тщательно обосновывать местоположение объекта; строительство ведется в разнообразных природных условиях со своими климатическими, топографическими, гидрологическими и геологическими особенностями, что требует различных конструктивных решений, материально-технических ресурсов (МТР), организационных способов строительства.

В условиях рыночной экономики важное значение приобретает конкурентоспособность предлагаемой продукции. В мировой практике конкурентоспособность организации определяется следующими элементами:

- соответствием качества продукции требованиям конкретного потребителя (заказчика) и рынка;
- совокупными затратами на закупку и доставку материально-производственных ресурсов;
- строительством и вводом в эксплуатацию объектов в установленные договором сроки, удобные для потребителя, репутацией фирмы на рынке.

Согласно Указу № 4954 от 14.02.2017 г. Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления дорожным хозяйством», преобразованы территориальные дорожно-эксплуатационные организации ГАК «Узавтойул» в Республике Каракалпакстан и областях в территориальные главные управления Государственного комитета Республики Узбекистан по автомобильным дорогам; созданы инжиниринговые компании «Служба заказчика региональных дорог» при территориальных главных управлениях Государственного комитета Республики Узбекистан по автомобильным дорогам в Республике Каракалпакстан и областях; созданы при территориальных главных управлениях Государственного комитета Республики Узбекистан по автомобильным дорогам в Республике Каракалпакстан и областях специализированные предприятия по ремонту региональных автомобильных дорог.

В соответствии со статьей 10 Закона Республики Узбекистан «Об автодорогах» финансирование дорожных работ (проектирование, строительство, реконструкция, ремонт и содержание автодорог общего пользования) до января 2019 года производилось за счет средств Республиканского дорожного фонда при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Республиканский дорожный фонд являлся государственным органом, аккумулирующим целевые финансовые ресурсы на строительство, ремонт и содержание автомобильных дорог общего пользования.

Доходы и расходы Фонда включались в состав консолидированного бюджета Республики Узбекистан с сохранением целевой направленности формирования и расходования средств и отражались в специальном сводном балансе Фонда.

Обязательные отчисления и сборы в Республиканский дорожный фонд приравниваются к государственным налогам и сборам с ежегодным установлением их размеров одновременно с утверждением Государственного бюджета (таблица 1).

**Таблица 1 – Ставки отчислений и сборов в Республиканский дорожный фонд при Министерстве финансов Республики Узбекистан**

Плательщик	Объект обложения	Ставка в % к объекту обложения
Предприятия и организации, оказывающие посреднические услуги по договорам комиссии (поручения) и другим договорам по оказанию посреднических услуг	Сумма комиссионного вознаграждения, за вычетом НДС	1,0
Заготовительные, снабженческо-сбытовые организации	Объем товарооборота, за вычетом НДС	1,0
Республиканские специализированные оптовые базы-конторы и их территориальные (областные, межобластные и межрайонные) базы, входящие в систему Ассоциации предприятий оптовой торговли	Валовой доход	1,0
Республиканские специализированные оптовые базы-конторы и их территориальные (областные, межобластные и межрайонные) базы, входящие в систему Ассоциации предприятий оптовой торговли	Валовой доход	1,0
Предприятия АК «Уздонмахсулот» (хлебоприемные предприятия и зерноперерабатывающие предприятия, имеющие хлебоприемную деятельность)	Снабженческо-сбытовая наценка и скидка, за вычетом НДС	1,0
Кредитные и страховые организации	Доход	1,5
Предприятия, оказывающие услуги по финансовой аренде (лизингу)	Процентный доход	1,5
Предприятия тепло-, водо- и газоснабжения системы коммунального хозяйства	Объем реализации продукции (работ, услуг), за вычетом НДС и покупной стоимости соответственно для предприятий тепло-снабжения – тепловой энергии, водоснабжения – воды, газоснабжения – природного газа	1,5

Окончание таблицы 1

Плательщик	Объект обложения	Ставка в % к объекту обложения
Строительные, строительномонтажные, ремонтно-строительные, пусконаладочные, проектно-изыскательские и научно-исследовательские организации	Объем работ, выполненных собственными силами, за вычетом НДС	1,5
Предприятия автотранспорта	Объем реализации продукции (работ, услуг), за вычетом НДС	2,5
Предприятия остальных отраслей экономики	Объем реализации продукции (работ, услуг), за вычетом НДС и акцизного налога	1,5

В среднем отчисления предприятий в Республиканский дорожный фонд составляли около 1,4 % с оборота. Начиная с января 2019 года, с утверждением Новой налоговой концепции Республики Узбекистан, эти отчисления отменены и финансирование строительства, реконструкции будет осуществляться за счет средств государственного бюджета в размере 3711,8 трлн сум. в год. За счет отмены отчислений около 2,8 трлн сум. будут оставлены в распоряжении предприятий, которые можно будет направить на материальное стимулирование сотрудников, обновление материально-технической базы и на другие нужды.

УДК 625.85

## **ДИСПЕРСНОЕ БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ**

*Е. С. МАРЧЕНКО, В. А. ДУДОРГА (С-52)*

Научные руководители – канд. техн. наук, доц. П. В. КОВТУН,

ст. преп. Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассмотрены основные проблемы дисперсного армирования песчаных асфальтобетонов волокнистым отходом производства.

Дисперсное армирование – один из наиболее эффективных способов улучшения прочностных свойств именно мелкозернистых материалов. Большинство исследований в этой области как в странах СНГ, так и зарубежом было посвящено армированию цементобетонов. Для асфальтобетонов такие исследования носят несистемный характер, и, как следствие, отсутствует литера-

тура, где бы в полной мере было отражено влияние различных видов волокон на прочностные показатели асфальтобетонов. Исследования дисперсно-армированных мелкозернистых и особенно песчаных асфальтобетонов, проведенные в различных странах, имеют схожие результаты и свидетельствуют о том, что содержание волокна в пределах не более 1 % значительно повышает транспортно-эксплуатационные качества таких покрытий.

В качестве армирующих волокон можно использовать отходы производства плит минералватных «БЕЛТЭП», которые образуются ежегодно в объеме около 13 тыс. т. Их использование возможно при решении двух проблем: перерасхода битума и необходимости предварительной подготовки. Увеличение удельной поверхности заполнителя влечет за собой и увеличение расхода вяжущего, что требует совершенствования технологии производства смесей.

Для равномерного распределения дисперсного волокна по объему асфальтовяжущего необходимо разработать промышленную установку. Вторым важным технологическим решением является приготовление смеси минерального порошка и вспушенного дисперсного волокна в этой же установке. В таком случае технология подготовки волокна будет включать следующие этапы: загрузки отходов в емкость промышленной установки; наполнения емкости раствором для травления; продолжительного травления с периодическим перемешиванием; сушки травленного волокна; перемешивания волокна с минеральным порошком. Суммарная стоимость подготовки волокнистого отхода и приготовления асфальтобетонной смеси окажется больше, чем стоимость приготовления традиционного асфальтобетона типа Г и Д.

УДК 625.711.812

## **ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА**

*М. М. МАХМУДХОДЖАЕВ* (магистрант)

Научный руководитель – доц. *А. М. КАРАБАЕВ*

*Ташкентский институт инженеров транспорта, Республика Узбекистан*

В статье приводятся данные эксплуатации автомобильных дорог в горных условиях. Вместе с хлористыми солями на блоки ограждения отрицательно действует минусовая температура. Исследованы разрушения блоков ограждения автомобильной дороги А-373 «Ташкент-Ош». Разработаны способы защиты бетонных и железобетонных изделий.

В горных условиях Узбекистана эффективность функционирования экономики и социальное развитие общества во многом определяется развитием и состоянием сети автомобильных дорог.

Подавляющая часть перевозок грузов и пассажиров осуществляется автомобильным транспортом, а автомобильные дороги в большинстве случаев являются главными транспортными артериями, соединяющими города и населенные пункты республики, прежде всего в горной части, в единое целое.

Условия проектирования, строительства, ремонта и содержания горных автомобильных дорог намного отличаются от их создания и содержания в обычных условиях [1].

Блоки ограждения, выполненные из железобетона с соблюдением разных технологий, обладают отменными эстетическими и эксплуатационными характеристиками, что обуславливает их популярность, в частности, обеспечение безопасности движения транспортных средств.

Блоки ограждения отличаются от других видов бортового камня большей высотой и прочностью [2]. В таблице 1 представлены основные типы и характеристики блоков ограждения, используемых на автомобильных дорогах через перевал Камчик.

*Таблица 1 – Типы и характеристики блоков ограждения*

Характеристики	Типы блоков ограждения	
	БДО-3.100	БДО-5.84
Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	От 2200 до 2500	От 2220 до 2500
Класс бетона по прочности на сжатие	В 22,5	В 22,5
Марка по морозостойкости	F 200	F 200
Марка по водонепроницаемости	W 6	W 6
Объем бетона, м <sup>3</sup>	0,892	1,35
Масса, т	2,29	3,40
Арматура, кг:		
D12 A400 (AIII)	13,80	20,76
D14 A240(AI)	3,1	–
D16 A240(AI)	2,59	–
D22 A240(AI)	–	19,44

Применение химических реагентов для борьбы со снегом и зимней скользкостью основывается на том, что при взаимодействии со льдом и снегом химические реагенты, обладая внутренней энергией, вызывают разрушение кристаллической структуры льда, в результате лед плавится и образует с реагентами раствор. При перемещении раствора и снега колесами транспортных средств раствор распределяется по поверхности кристаллов нерасплавленного снега и создает своеобразную пленку, обволакивающую кристаллы. В настоящее время в качестве химического реагента против скользкости используют смесь песка и хлористого кальция, изготавливаемую химической промышленностью. Хлористый кальций представляет собой кристаллогидрат с шестью молекулами воды, до температуры 30 °С хлорид кальция хорошо растворяется в воде.

Исследования разрушений блоков ограждения проводились на объектах с 108 по 208 км автомобильной дороги А-373 «Ташкент-Ош» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Фрагменты блоков ограждения до и после разрушения

Рассмотрим проблему коррозии железобетона, а также его защиту на примере блоков ограждения барьерного типа, основным предназначением которых является устройство разделительного барьера между встречными полосами движения и ограждением на автомобильных дорогах.

Наиболее удобным для борьбы с зимней скользкостью принято считать хлористый кальций в чешуированном виде. Применение реагентов (в первую очередь хлоридов) при зимнем содержании вызывает интенсивную коррозию транспортных средств, бетонных изделий, металлических частей искусственных сооружений, обустройства дорог и дорожной техники [3].

В горных условиях эксплуатации автомобильных дорог вместе с хлористыми солями на блоки ограждения отрицательно действует минусовая температура. При заполнении пористой структуры бетона влагой и многократном ее замерзании и оттаивании, в порах бетона образование льда со временем неизбежно приводит к его растрескиванию.

Первоочередная защита бетона от коррозии – это влагозащита, устранение вредного влияния атмосферных осадков. Для этого прибегают к первичной и вторичной защите от коррозии, заключающейся в изготовлении бетона повышенной плотности, структура такого бетона непористая. Вторичная защита заключается в нанесении на поверхность готовых конструкций из бетона защитных покрытий.

Совместно с Ташкентским научно-исследовательским институтом химической технологии разработаны способы защиты бетонных и железобетонных изделий на основе хлорсульфированного полиэтилена и модификатора [4], а также хлорсульфированного полиэтилена и аддукта мочевины [5], которые относятся к промышленности строительных материалов и могут быть использованы при защите бетонных и железобетонных изделий от коррозии при низ-



ких температурах, в частности блоков ограждения автомобильных дорог. Основные физико-механические свойства этих смесей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства смеси

Наименование показателей	Образец	
	№ IAP – 05604	№ IAP – 05605
Цвет	Горчичный	Молочный
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,2	1,1
Температурный диапазон эксплуатации, °С	–40 ... +100	–40 ... +100
Степень эластического восстановления, %	90–100	95–110
Стойкость к нефтепродуктам	Стойкий	Стойкий
Химическая стойкость (кислотам, щелочам, солям)	Стойкий	Стойкий
Водостойкость	Отличная	Отличная
Износостойкость	Отличная	Отличная
Стойкость к ультрафиолетовым лучам	Отличная	Отличная
Грибостойкость	Отличная	Отличная
Стойкость к коррозии	Отличная	Отличная
Адгезия, балл	1	1

Вторичная защита осуществляется следующим образом. После набора бетонными и железобетонными изделиями марочной прочности на предварительно подготовленную и пропитанную глицерином поверхность наносят второй слой – композицию на основе хлорсульфированного полиэтилена и модификатора или хлорсульфированного полиэтилена и аддукта мочевины. Предварительная подготовка поверхности заключается в удалении неровности и выступов. При наличии мелких раковин и углублений их выравнивают путем затирки цементно-песчаным раствором, затем проводят ее механическую зачистку.

В отличие от трехслойного глицеринового покрытия, которое растрескивается при образовании трещин в бетонных и железобетонных конструкциях за счет усадочных, температурных и других деформаций, покрытия на основе хлорсульфированного полиэтилена, эпоксидной смолы и полисульфидного каучука и хлорсульфированного полиэтилена и аддукта мочевины, обладая большей эластичностью, выдерживают без разрыва трещины размером 0,2–0,3 мм. Прочность и морозостойкость пропитанных образцов приведены в таблице 3.

Таким образом, совокупность признаков в предложенном способе позволила получить положительный эффект, заключающийся в том, что пропитанные глицерином и последующей пропитке композицией – хлорсульфированного полиэтилена и модификатора, хлорсульфированного полиэтилена и аддукта мочевины, бетонные и железобетонные изделия повышают прочность и морозостойкость в хлористых солях.

**Таблица 3 – Прочность и морозостойкость пропитанных образцов**

Наименование показателей	Образец			
	№ IAP – 05604		№ IAP – 05605	
Прочность на сжатие, МПа	365	385	390	400
Прочность при изгибе, МПа	5,0	6,1	5,9	7,1
Морозостойкость по второму базовому методу, цикл	260	275	280	290

Данный способ также способствует увеличению срока службы бетонных и железобетонных изделий, снижению эксплуатационных затрат, импортозамещению и экономии твердой валюты.

Экономическая эффективность предлагаемой разработки достигается за счет увеличения срока службы бетонных и железобетонных изделий, снижения эксплуатационных затрат, импортозамещения и экономии валюты.

Научно-исследовательская работа по повышению долговечности бетонных изделий выполнена на уровне изобретения.

Мировая практика накопила большой опыт строительства дорог в горных регионах. Постоянное развитие сети горных автомобильных дорог должно являться обязательной целью дорожной администрации страны, так как наличие дорог в горной местности – это основа не только решения социальных проблем населения, но и развития горнодобывающей промышленности и такого доходного вида бизнеса, как туризм.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Магомедов, М. М.** Горные дороги. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации на примере Дагестана / М. М. Магомедов. – М. : Техполиграфцентр, 2006. – 247 с.

2 ОДМ 218.6.58–2011. Ограждения дорожные удерживающие парапетного типа из железобетона и монолитного цементобетона.

3 **Садиков, И. С.** Благоустройство и обустройство автомобильных дорог / И. С. Садиков, К. Х. Азизов, А. А. Артиков. – Ташкент : ТИПСЭАД, 2010. – 368 с.

4 Способ защиты бетонных и железобетонных изделий / А. Т. Джадилов [и др.] // Патент РУз. № IAP – 05604. – Ташкент : Патентный бюллетень Узбекистана. – 29.06.2018. – № 6.

5 Способ защиты бетонных и железобетонных изделий / А. Т. Джадилов [и др.] // Патент РУз. № IAP – 05605. – Ташкент : Патентный бюллетень Узбекистана. – 29.06.2018. – № 6.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕСТНОЙ СЕТИ ДОРОГ СПОСОБОМ ХОЛОДНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ**

*А. В. НОСКО (С-42), Е. Н. ШВАЧИЧ (С-52)*

Научный руководитель – ст. преп. *Н. В. БАНДЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Накопившийся за многие годы так называемый «недоремонт» существующей сети автомобильных дорог пагубно отражается на состоянии покрытий дорог и условиях движения транспорта. Перспективным способом решения подобных задач является использование ресурса старых дорог при восстановлении их работоспособности.

В настоящее время в мировой практике известны способы ремонта с использованием материалов старых дорожных одежд и покрытий.

Одним из таких способов является способ холодной регенерации (ресайклинг), который предусматривает максимальное использование материалов старой дорожной одежды для строительства новой. При этом затраты на транспортировку материалов уменьшаются, так как на дорогу транспортируются только добавки, объемы которых малы, что позволяет снизить негативное воздействие на существующую дорожную сеть и экологию.

Помимо вышперечисленного, данный способ позволяет решать проблемы так называемых отраженных трещин и существенно продлевать срок службы дорожных одежд.

Задачей холодного ресайклинга является восстановление верхнего слоя дорожной одежды с использованием материала, полученного от разборки старого покрытия. Имеющиеся разрушения удаляются вместе со слоем асфальтобетона, а высота покрытия практически не изменяется, что позволяет использовать данный метод на городских дорогах, где увеличение вертикальных отметок нежелательно.

Метод холодной регенерации представляет собой укрепление (стабилизацию) грунтов, каменных материалов и асфальтогранулята вяжущими материалами путем предварительного фрезерования и смешения на дороге.

Главным преимуществом холодного ресайклинга перед традиционными способами ремонта дорог является значительная экономия средств на дорожно-строительных материалах. При традиционной технологии разрушенное покрытие фрезеруется, после чего производится укладка дополнительных слоев из асфальтобетонной смеси. После фрезерования остается асфальтовый гранулят, область применения которого значительно ограничена. Холодный ресайклинг же позволяет использовать весь материал от разборки покрытия для устройства регенерированного слоя. Регенерированный слой, полученный в результате ресайклинга обладает высокими прочностными характери-

стиками, что позволяет сэкономить на толщине асфальтобетонного покрытия. Поэтому в условиях постоянного увеличения дефицита и стоимости дорожно-строительных материалов при реконструкции или ремонте дорог метод холодного ресайклинга наиболее рентабельный.

Рассматриваемая технология включает в себя ряд операций, одна из основных – измельчение покрытия посредством холодного фрезерования, в результате чего образуется асфальтобетонный гранулят (АГ). В полученный асфальтобетонный гранулят (АГ) вводят необходимые компоненты, такие как скелетный материал, вяжущее, вода и минеральный порошок. Затем происходит смешивание всех компонентов с получением асфальтогранулобетонной смеси (АГБ-смеси), ее распределение в виде конструктивного слоя и уплотнение. Уложенная, уплотненная и полностью сформированная АГБ-смесь называется асфальтогранулобетон (АГБ). Эта технология позволяет восстановить монолитность пакета асфальтобетонных слоев дорожной одежды на всю толщину или ее часть без разогрева асфальтобетонного покрытия. Поверх регенерируемого слоя обычно укладывают одно- или двухслойное асфальтобетонное покрытие или устраивают поверхностную обработку. Кроме того, разрушение старого покрытия позволяет ликвидировать источник возникновения новых отраженных трещин в вышеукладываемых слоях покрытия (копирование трещин), что неизбежно при традиционном методе усиления дорожной одежды. В зависимости от вида нового вяжущего, вводимого в АГ при приготовлении АГБ-смесей, разделяют 6 типов: А – без добавления вяжущего; Э – с добавлением битумной эмульсии; В – с добавлением вспененного битума; Б – с добавлением разогретого битума; М – с добавлением минерального вяжущего (чаще всего цемента или извести); К – с добавлением комплексного вяжущего (чаще всего битумной эмульсии и цемента).

Физико-механические свойства смеси типа А определяются структурно-механическими свойствами АГ. Вследствие пониженной уплотняемости смеси АГБ имеет высокую пористость (8–14 %) и низкую прочность. Преимуществом применения такого типа смеси является возможность открытия движения для транспортных средств сразу после уплотнения регенерируемого слоя.

Смесь типа Э наиболее технологична, ее чаще всего применяют для регенерации слоев, преимущественно состоящих из АГ. При применении такого типа смеси открытие движения возможно сразу после уплотнения регенерируемого слоя.

Прочностные свойства АГБ с добавлением минерального вяжущего значительно выше, чем у АГБ с добавлением органического вяжущего. Причем прочность в этом случае возрастает со временем.

Главным недостатком этого типа является то, что открытие движения возможно только после набора минимальной требуемой прочности.

Высоких прочностных качеств отремонтированных покрытий добиваются за счет использования смесей типа К. Данный тип подразумевает укрепление

АГ комплексным вяжущим, т. е. укрепление материала одновременно минеральным и органическим вяжущими, что позволяет получить ряд преимуществ: предотвращает склонность смесей, приготовленных только с добавкой цемента, к трещинообразованию, а битумные эмульсии придают покрытию необходимую упругость. Применение этого типа смеси позволяет снизить толщину регенерированного слоя.

В зависимости от массовой доли щебня или гравия (зерна каменного материала крупнее 5 мм), входящего в состав асфальтобетона, из которого получен АГ, АГБ-смеси подразделяют на щебеночные с содержанием щебня 35 % и более и песчаные – менее 35 % содержания щебня.

Для дорог I-II категорий применяют щебеночные смеси, а для дорог III-IV категорий допускается применение песчаных. Если в АГ, используемом для приготовления щебеночных смесей, содержание щебня меньше 35 %, при приготовлении АГБ-смеси необходимо добавление недостающей фракции щебня.

Гранулометрический состав АГБ-смеси должен соответствовать требованиям, установленным в ГОСТ 9128–2013 для пористых и высокопористых щебеночных смесей, за исключением частиц мельче 0,071 мм, содержание которых не нормируется.

Способы холодной регенерации отличаются между собой материалом, используемым для укрепления гранулята: органическим, минеральным или комплексным.

Работы по устройству оснований дорожных одежд методом холодной регенерации при использовании неорганических вяжущих следует проводить при температуре воздуха не ниже 5 °С, а материалов с применением органических вяжущих – не ниже 10 °С.

Полученный при холодном фрезеровании гранулят может быть повторно использован без переработки или с переработкой на месте в передвижной установке или на стационарном заводе с добавлением или без добавления минерального материала (щебня).

В режиме холодного ресайклинга широко используют обработку гранулята битумной эмульсией, жидким или вспененным битумом.

При необходимости улучшить гранулометрический состав смеси или усилить дорожную одежду к полученному грануляту добавляют необходимое количество щебня. В этом случае работа выполняется в такой последовательности:

- на очищенное старое покрытие вывозится и автогрейдером распределяется слой щебня;

- машиной для холодного фрезерования снимается старое покрытие и полученный гранулят перемешивается в самой машине со щебнем. В момент перемешивания смеси добавляется вода для смачивания щебенки и битумная эмульсия в необходимом количестве;

- смесь окончательно разравнивается автогрейдером и уплотняется.

На уложенный слой укладывается защитный слой или слой нового покрытия из асфальтобетона.

Холодный ресайклинг с применением в качестве вяжущего цемента обычно используется для устройства основания из гранюлята, полученного при фрезеровании старого асфальтобетонного покрытия. При этом добавка цемента составляет 3–5 % от массы гранюлята. Для достижения оптимальной влажности одновременно добавляется необходимое количество воды. Обработанная смесь разравнивается и уплотняется.

Основной парк машин для ремонта, реконструкции и усиления дорожных покрытий по методу ресайклинга асфальтобетонных дорог представлен зарубежными производителями, такими как «Wirtgen», «Caterpillar», «Bomag», «MAN», «Hammm», «Bagela», отечественным производителем – «МАЗ». В настоящее время крупнейшие машиностроительные компании производят и расширяют выпуск моделей ресайклеров

Компания Caterpillar одной из первых разработала и представила на рынок ресайклеры – специальное оборудование, заменяющее собой несколько единиц дорожно-строительной техники и способное за один проход полностью восстановить поврежденную проезжую часть. Машины для холодного ресайклинга и регенерации грунтов Caterpillar RM-300 и RM-500 оборудованы ротором, который срезает пласты грунта или старую дорожную «одежду» (глубиной до 0,51 м и шириной 2,44 м), производит измельчение, перемешивает и снова распределяет переработанную фракцию по поверхности дороги. Поставляемые по выбору дозировочные системы способны вводить в переработанную смесь битумные эмульсии, вспененный битум, водяные суспензии, воду или другие связующие вещества. Процесс стабилизации грунта при строительстве новых дорог позволяет в значительной степени снизить затраты на дорожно-строительные материалы. Эта техника введена в эксплуатацию в г. Бресте, КУП «Брестоблдорстрой».

ОАО «ДСТ-2 г. Гомель» располагает всем необходимым нормативным, лабораторным и техническим обеспечением для реализации технологии холодной регенерации. Технология полностью отработана специалистами треста при реконструкции автомобильной дороги М-1 «Беларусь», а также реконструкции автомобильной дороги М-10 на участке Гомель-Речица.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Васильев А. П. Реконструкция автомобильных дорог: Технология и организация работ : учеб. пособие / А. П. Васильев, Ю. М. Яковлев, М. С. Коганзон ; Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (Техн. ун-т). – М. : МАДИ, 1998. – 125 с.

2 Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. – М. 2002. – 58 с.

## TYPES OF COATINGS AND METHODS OF THEIR APPLICATION

*Kh. I. NURMETOV*, 2nd year of Post-Doctoral degree of PhD

*M. MALIKOV*, trainee-researcher

*Kh. A. SHARIFKHODJAEVA*, Candidate of Technical Sciences, Docent  
*Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automobile Roads,*  
*Republic of Uzbekistan*

According to the mechanism of fixing of a thin modifying layer on the surface of articles, diffusion and layered coatings are distinguished.

*Diffusion coatings* are embedded into the surface layer of an article and practically do not change its dimensions, that is formation of coatings of this type occurs according to the mechanism of coating material atom diffusion into the article surface layer. Diffusion layer depth normally does not exceed 200  $\mu\text{m}$ , but sometimes is up to 2–3 mm.

*Layered coatings* are a thin layer of a coating material which is adhesively fixed on the article surface. Thickness of layered coatings differs within a wide range: from fractions of a micrometre to tens of millimetres. Diffusion coatings are formed under a long-time contact of volatile compositions of metals and nonmetals in active gas media and also of pastes, liquid melts, and solid powders with heated articles the surface layer of which absorbs substances in contact with it intensively. If such conditions fail to be realised, layered coatings are formed, and if intermediate modes occur, diffusion-layered coatings are formed.

According to the application, corrosion, heat, wear resistant, antifriction, and decorative coatings are most widely spread in mechanical engineering.

There exist many principally different ways of application of coatings on articles. Selection of a definite method depends on the shape and dimensions of articles, admissible limits of their heating, the nature of a coating material, and so on.

Coating synthesis out of a gas-vapour phase is limited to controlled processes of condensation, deposition, and sorption of substances in the form of single atoms and molecules in vacuum.

Using physical methods of *evaporation* and *condensation* any substances which evaporate without decomposition may be applied. The process is usually carried out in high vacuum which provides linearity of a migration trajectory of atoms from an evaporator to a substrate and cleanliness of the condensed layer. The required substance is transited into vapour through intensive heating (thermal, electrothermal, electron-beam, and laser heating), using gas-discharge methods (cathode and ion-plasma spraying, spraying in a high-frequency discharge), and also methods which combine intensive heating of a substance and electric discharges in its vapours (electron-beam plasma, electric-arc ones).

On the heated surface of parts of materials capable to dissolve (absorb) a substance in a gas-vapour phase coatings are formed through the *adsorption-diffusion* mechanism. Sorption of vapours may occur both in contacting and without a contact of a condensed substance being sublimed with the article surface. When sorption saturation occurs through the contact process and temperatures of the contacting materials are the same, vapour pressure of the substance being evaporated has to exceed vapour pressure of the metal on which the coating is being applied to. Saturation of iron with aluminium, chromium, silicon, manganese, and zinc, for example, meet this condition. Article surface saturation with metals possessing low vapour density is carried out in high vacuum under separated heating of the metal being processed and the diffusing one (non-contact process). The metal being evaporated is heated to a higher temperature than the article has. Particularly, niobium, molybdenum, and tungsten coatings are applied to steel parts under such conditions.

Gas-sorption methods also include the ones of oxide film formation on metal and silicon articles through direct article surface oxidation using oxygen (thermal oxidation and plasma anodising).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Riskulov, A. A.** Materials Science. Textbook / A. A. Riskulov ; Under the General Editorship of professor V. A. Struk. – Tashkent, Uzbekistan : “Navro’z”, 2018.

2 **Higgins, R. A.** Materials for Engineers and Technicians / R. A. Higgins, W. Bolton. 6th edition. – Routledge, the UK : “Taylor & Francis Group”, 2015.

3 *Материаловедение : учеб. / В. А. Струк [и др.]*. – Минск : ФИНИЗДАТ, 2008. – 519 с.

УДК: 625.7/.8.05

#### ДОРОЖНЫЙ ЦЕМЕНТОБЕТОН: ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

*Е. А. ПАНТЕЛЕЕВА* (ПКП «Гомельдорпроект», г. Гомель)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Г. В. АХРАМЕНКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Статья посвящена преимуществам применения цементобетонных покрытий в сравнении с асфальтобетонными, рассмотрены преимущества и недостатки, изучен мировой опыт использования цементобетона.

Автомобильные дороги являются характерным признаком уровня развития стран или отдельных регионов. Кроме сухих цифр, показывающих плотность автомобильных дорог или их протяженность, все большее значение приобретает уровень удобства дорог для тех, кто ими пользуется, главное, уровень эксплуатационных показателей покрытия (ровности, сцепления, шероховатости) фактически является визитной карточкой страны.



Состояние дорожных покрытий является предметом первоочередной заботы дорожных организаций. На дорогах применяются два вида капитальных покрытий: асфальтобетонные и цементобетонные. В нашей стране наиболее распространены дороги с асфальтобетонным покрытием (44 %), на долю дорог с цементобетонным покрытием приходится всего 1 %. Основными причинами этого являются гораздо более доступные технологии ремонта, возможность повторного использования асфальтобетона, короткий период формирования покрытия после укладки и ряд других факторов, включая экономические. Увеличение интенсивности движения, рост осевых нагрузок, изменение состава транспортных потоков требуют более прочных дорожных конструкций и новых типов покрытий.

Для сравнения: протяженность дорог с цементобетонным покрытием в странах, некоторые из которых входят в десятку рейтинга стран по качеству дорог, представлена на рисунке 1.

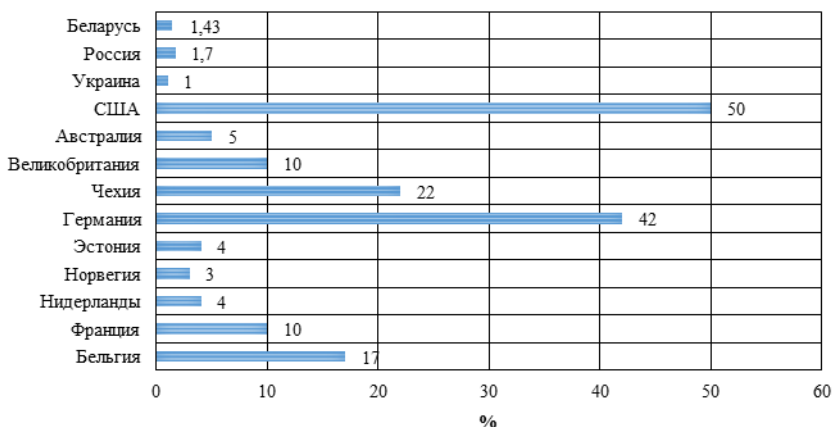


Рисунок 1 – Протяженность автомобильных дорог с цементобетонным покрытием в разных странах

Колейность асфальтобетонных покрытий, трещины и неровности на дорогах свидетельствуют об исчерпании несущей способности дорожных одежд.

Цементобетон более вынослив к действию знакопеременных нагрузок. В решении задач повышения срока службы дорожных одежд могут найти отражение новые типы цементобетона, например, цементобетон с пониженным модулем упругости в основаниях автомобильных дорог. Такие бетоны могут быть получены при использовании специальных демпфирующих и полимерных добавок [1].

Основным показателем высокого качества бетона является его прочность на сжатие. Основные способы увеличения прочности бетона сводятся к введению в бетонную смесь различных добавок, которые обладают разным действием.

К таким добавкам относятся следующие модифицирующие добавки [2]: суперпластификатор С-3; суперпластификатор РЕЛАМИКС СП-1 (промышленная смесь роданида и тиосульфата натрия и полинафталинметилсульфоната натрия, содержит примеси сульфата натрия и смолистых веществ); микрокремнезем, который применяется для получения высокопрочных бетонов.

Однако бетон более чувствителен к воздействию противогололедных реагентов. Пренятая техническая документация даже запрещала в течение года после укладки обрабатывать дорогу реагентами, чтобы бетон мог набрать прочность. Но сейчас в бетон добавляют воздухововлекающие и гидрофобизирующие составы, предохраняющие его от коррозии и растрескивания.

Молекулы порообразующей (воздухововлекающей) добавки адсорбируются на границе воздух–вода, поверхностное натяжение воды существенно понижается и возникает микропена, при этом большое количество мельчайших воздушных пузырьков заключено между тонкими слоями жидкости. Таким образом, в бетонной смеси объем цементного теста увеличивается до 6–8 %. Поскольку реологические и технологические свойства бетонной смеси в основном зависят от объема цементного теста и его вязкости, то в этом случае подвижность бетонной смеси увеличивается, при этом наиболее значительно в смесях с относительно малым расходом цемента.

Кроме того, эти добавки несколько понижают прочность бетона (1 % вовлеченного воздуха снижает прочность бетона на сжатие на 3 %), поэтому не следует в бетонную смесь с целью ее пластификации вводить большое количество воздухововлекающей добавки. В случае, если содержание вовлеченного воздуха составляет 4–5 %, прочность бетона практически не снижается, так как отрицательное влияние вовлеченного воздуха нейтрализуется повышением прочности цементного камня вследствие уменьшения водоцементного отношения за счет пластифицирующего эффекта добавки. Воздухововлекающая добавка гидрофобизирует поры и капилляры бетона, а воздушные пузырьки служат резервным объемом для замерзания воды без возникновения больших внутренних напряжений. В результате значительно повышается водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

В результате обработки гидрофобизатором на поверхности материала появляется тонкослойное покрытие. Свойства гидрофобизаторов разнообразны в зависимости от требований, предъявляемых к выполняемым работам, возможны увеличение или уменьшение адгезии, водонепроницаемости, газо- и паропроницаемости, глубины проникновения раствора. Дополнительными существенными свойствами гидрофобизатора может стать защита покрытий от агрессивного воздействия солей, масел, соединений хлора, других химических соединений – вредоносных для бетона и арматуры. На объекте «Национальный аэропорт «Минск» нашли применение составы проникающего действия: на цементной основе для уплотнения структуры бетона Мастерсил 501; для упрочнения и обеспыливания бетонных покрытий SANISEAL 100.

Внедрение новых технологий строительства и добавок для бетонов открывает новые перспективы для развития грунтобетонов. Применение современных химических добавок существенно расширяет границы видов грунтов для укрепления. Такие материалы могут применяться как в основаниях, так и в покрытиях. В строительстве цементобетонных покрытий и оснований могут быть с успехом использованы мелкие и очень мелкие пески в смеси с отсевами дробления. Введение отсевов дробления в мелкий заполнитель значительно повышают прочность и износостойкость бетона; при этом бетоны с отсевами дробления могут иметь экономическое и экологическое преимущество за счет предоставления экономических предпочтений предприятиям, потребляющим отходы промышленности. Эффективному развитию цементобетонных покрытий должна способствовать технология скоростного ремонта и усиления цементобетона с использованием новых материалов на фосфатной и цементно-полимерной основе, которые позволяют открывать движение через 45–60 мин [1].

Бетонки шумнее по сравнению с асфальтовыми дорогами, однако современные технологии позволяют снизить разницу до минимальных 2–4 дБ. Например, в Германии активно применяют технологию шумопонижения и одновременного повышения коэффициента сцепления бетонного покрытия – Waschbeton («мытый бетон»): при укладке верхнего слоя используют замедлитель, позволяющий затем на несколько миллиметров обнажить заполнитель – каменный щебень.

Изначально строительство цементобетонной дороги может быть дороже на 10–30 %. Но если посмотреть на затраты спустя 30 лет эксплуатации, то цементобетон будет дешевле на 30–40 %. Иногда цементобетонные дороги даже дешевле асфальтобетонных – очень многое зависит от доступности и цены на основные материалы: щебень, битум, цемент.

Межремонтный срок цементобетонных трасс равен 30 годам. После этого срока требуется полная замена покрытия. Такой период службы возможен при надлежащем содержании дороги. Необходимо ухаживать за швами и менять их раз в 5–10 лет, своевременно устранять локальные дефекты и трещины в покрытии и менять отдельные плиты с использованием стандартных или быстротвердеющих бетонов. Других работ данное покрытие обычно не требует.

В США, Канаде, Аргентине, Нидерландах, Великобритании на основании технико-экономического обоснования и сравнения вариантов с учетом затрат на эксплуатацию при строительстве грузонапряженных и скоростных магистралей, как правило, выбирают цементобетон. Опыт Германии показывает, что после 28 лет эксплуатации в ремонте нуждаются только 5% бетонных покрытий и 100 % асфальтобетонных [1].

Участок автобана Берлин – Штеттин, цементобетонное покрытие которого датируется 1936 годом, функционирует по сей день. В Германии под бетонной дорогой подразумевается идеально ровная поверхность с алмазной твердостью и сроком службы, которому асфальт может лишь позавидовать.

Примером экономической целесообразности может выступить проект бетонной дороги для участка протяженностью 54 км в Ферзиковском районе Калужской области России. Проектная стоимость строительства цементобетонного полотна превысила стоимость асфальтобетонного на 5 %, но затраты на обслуживание при сроке эксплуатации в 25 лет оказались в 2 раза меньше эксплуатационных расходов на содержание и ремонт асфальтовой дороги: 65 млн российских рублей (цементобетон) против 130 млн российских рублей (асфальтобетон) на 1 км дороги.

Современная техника позволяет укладывать 750 метров полотна в сутки. Стоимость строительства цементобетонных покрытий может составлять от 95 до 130 % цены асфальтобетонных, но через три десятка лет эксплуатационные затраты окажутся ниже на все 30–40 %. Требуется уход, однако дорога все равно сохранит долговечность. Главное, чтобы укладывали ее из качественных материалов и с соблюдением технологии.

К уникаму относится федеральная трасса М-4 «Дон» в России, построенная в шестидесятые годы и имеющая повреждения, которые, как считают эксперты, появились не только за давностью лет, но и из-за нарушения технологии строительства.

В Новосибирской области, одной из первых в России, где широкое применение нашли покрытия из цементобетона, в 60-х годах построены дороги с цементобетонным покрытием: «Чуйский тракт», «Новосибирск – Колывань». Покрытия этих дорог отработали без ремонта более 30 лет. Как показал опыт, такому покрытию нужна только его защита.

Экономичность бетонных дорог кроется в низких затратах на содержание и эксплуатацию. Цементобетон позволяет экономить топливо, так как это настолько жесткое покрытие, что практически не проседает под колесами большегрузного транспорта, а это позволяет снизить расход топлива. Меньше сжигается топливо – меньше выбрасывается вредных веществ в атмосферу, чем в аналогичных условиях на асфальтобетоне. Это дает экологический эффект. В Европе считают, что количество выбросов на дорогах с цементобетонным покрытием уменьшается на 6 %, в Америке и Канаде называют лишь 3 %. Также следует помнить, что бетон на 100 % подлежит повторному использованию.

Большая безопасность данного покрытия также является прямым следствием его жесткости. Например, на таких дорогах не образуется колея, что снижает риск скольжения автомашин на мокрой трассе. Кроме того, от бетонных поверхностей свет отражается лучше, что способствует большей безопасности в темное время суток [2]. В летний период цементобетонные покрытия меньше нагреваются, что снижает тепловое загрязнение окружающей среды. А о пожаробезопасности таких дорог говорит тот факт, что в Евросоюзе действует единое требование, согласно которому дороги, проходящие в туннелях, могут иметь исключительно цементобетонное покрытие. Бетон – негорючий материал, и он не выделяет токсичные газы при нагревании.

В сравнении с асфальтобетонными покрытиями цементобетонные имеют ряд преимуществ.

Экономические преимущества цементобетонных дорог: экономия электроэнергии до 20 % для освещения туннелей и дорог за счет лучшей отражательной способности бетона; экономия средств и материалов при эксплуатации и ремонте дороги, снижение цикла обслуживания; переработка отслужившего бетонного покрытия в заполнитель и его повторное использование для укрепления основания дороги или строительства нового дорожного полотна; снижение затрат на транспортировку природных инертных материалов за счет рециклинга бетона; использование отечественных материалов для строительства дорог.

Эксплуатационные преимущества цементобетонных дорог: повышенная видимость на дороге во время плохих погодных условий, а также в ночное время суток; улучшенное отведение воды с бетонного полотна; высокая прочность и долговечность дорог; отсутствие колеиности и волнообразности; увеличение грузоподъемности автострад; высокая стойкость к химическим воздействиям.

Экологические преимущества цементобетонных дорог: улучшение микроклимата в городах за счет меньшей способности бетона поглощать тепловую энергию; возможность вторичной переработки бетонного полотна; снижение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

На рынок дорожного покрытия необходимо привнести конкуренцию. Здоровая конкуренция приведет к снижению общей стоимости как цементобетонных, так и асфальтобетонных покрытий. Выбор покрытия при строительстве или реконструкции дорог должен основываться на аспектах жизненного цикла, а не на строительных затратах. Главное правильно принимать решения: какой тип покрытия в той или иной ситуации предпочтительнее и целесообразнее.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Актуальность и перспективы применения цементобетона в дорожном строительстве / М. Я. Якобсон [и др.] // Системные технологии. – 2016 – № 1 (18). – С. 132–140.
- 2 Бусел, А. В. Цементобетонные покрытия на местных автомобильных дорогах / А. В. Бусел, В. М. Домненко, Р. Г. Кротов // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – № 2 (16). – С. 109–112.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИЗНОСА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ**

*А. В. ПОНОМАРЕНКО (ДС-31)*

Научный руководитель – преп. *М. М. КУРЧИЧ*

*«Республиканский институт профессионального образования» филиал  
«Гомельский государственный дорожно-строительный колледж  
имени Ленинского комсомола Белоруссии», Республика Беларусь*

Производится анализ визуальных и автоматизированных методов оценки дорожной разметки. Приводятся их достоинства и недостатки. Для оценки степени износа дорожной разметки на современном уровне рассматривается новая информационно-измерительная система, представляющая собой планшетный компьютер с операционной системой Google Android и установленным на нем программным обеспечением по определению степени износа горизонтальной дорожной разметки.

Автомобильный транспорт играет важную роль в жизни общества. Вместе с тем быстрый рост автомобильного парка и, как следствие, интенсивности движения создает серьезные транспортные проблемы: заторы движения, загазованность окружающей среды, дорожно-транспортные происшествия.

Для повышения уровня безопасности дорожного движения используются технические средства организации дорожного движения – устройства, конструкции и изображения, применяемые на дорогах для регулирования дорожного движения, обеспечения его безопасности и повышения пропускной способности дорог. Именно их правильное и грамотное использование помогает в значительной мере сократить количество дорожно-транспортных происшествий, повысить безопасность на дорогах и, таким образом, обеспечить сохранность жизни и здоровья граждан. Среди технических средств организации дорожного движения разметка дороги занимает особое место.

Разметка дорожная – элемент системы организации дорожного движения, включающий линии, стрелы, надписи и другие обозначения на проезжей части автомобильных дорог общего пользования, городских дорог и улиц с усовершенствованным покрытием, а также на элементах дорожного обустройства и инженерных сооружений, применяемые самостоятельно или в сочетании с дорожными знаками и светофорами. В соответствии с ГОСТ [1] условия нанесения и эксплуатации разметки должны обеспечивать ее хорошую видимость и функциональную долговечность. Функциональная долговечность разметки определяется периодом, в течение которого разрушение разметки из термопластика не превышает 25 %, а износ разметки из краски не превышает 50 % ее площади.

Для определения степени износа дорожной разметки применяются как визуальные, так и автоматизированные методы контроля. При визуальных методах контроля используются 2 метода [2, 3]:

1 – определение износа разметки с использованием специализированной палетки;

2 – определение износа разметки с использованием специализированного шаблона.

Первый метод основан на визуальном определении износа разметки по специальной палетке. Палетка представляет собой сетку с ячейками  $10 \times 10$  мм, нанесенную на прозрачную пленку размером  $180 \times 240$  мм. Данная палетка накладывается в месте измерения. В каждом квадрате палетки визуально определяют износ разметки в процентах. Процент износа разметки в месте измерения определяется как сумма величин износа разметки в каждом квадрате палетки, деленное на общее число квадратов.

Второй метод заключается в визуальном определении износа разметки с использованием шаблона. Шаблон представляет собой металлическую пластину размером  $400 \times 100$  мм, в котором равномерно высверлено 50 отверстий диаметром 10 мм. На место измерения накладывается шаблон и визуально определяется и подсчитывается число отверстий, в которых износ разметки более 50 %. Процент износа разметки в месте измерения определяется умножением количества отверстий с износом разметки более 50 % на 2.

Данные методы дают точность  $\pm 5$  %, но требуют больших временных затрат на измерения и не позволяют проконтролировать износ разметки на всей протяженности дороги.

Автоматизированные методы контроля разметки основаны на электронном представлении схемы разметки и на видеосъемке дорожного полотна. Для видеосъемки используются специализированные лаборатории с установленными на них видеокамерами или обычный автомобиль с видеорегистратором. Результаты видеосъемки кадрами обрабатываются на компьютере, и на основе видеоанализа определяется степень износа дорожной разметки.

В настоящее время существует новая информационно-измерительная система для определения степени износа дорожной разметки (ИСП-1), которая предназначена для автоматизированного определения степени износа горизонтальной дорожной разметки из лакокрасочных и пластичных материалов в соответствии с ГОСТ Р 51256–99 [1].

Измерительная система представляет собой планшетный компьютер с операционной системой Google Android и установленным на нем программным обеспечением по определению степени износа горизонтальной дорожной разметки. Для определения степени износа разметки достаточно с помощью внешней цифровой камеры планшетного компьютера выполнить несколько снимков участка дороги, после чего происходит автоматическое кадровое распознавание области разметки и расчет степени износа по каждому кадру и

общий износ по характерному участку дороги. Процент износа дорожной разметки по каждому сделанному снимку отображается в правом верхнем углу.

При получении кадра с установленной на компьютере цифровой камеры автоматически определяется область и степень износа дорожной разметки, производится привязка к GPS-координатам. Предусмотрена возможность покадрового редактирования автоматически выделенной области разметки.

Достоинства, выявленные в ходе изучения нового метода оценки степени износа дорожной разметки несравнимы по сравнению с палеткой или шаблоном: удобный интерфейс программы (использование сенсорного дисплея с поддержкой Multi-touch); компактность, мобильность и портативность системы измерения; простота в использовании, работа не требует специализированных навыков; возможность оценки состояния разметки на участках с выраженными дефектами покрытия при дневном освещении; интеллектуальное покадровое распознавание области разметки и удобный инструмент экспертного редактирования; возможность оценки состояния дорожной разметки на месте проведения испытания; получение высокоточных результатов (погрешность измерений менее 3 %) в соответствии с действующими нормативными требованиями; возможность оперативной передачи результатов обработки в центральный офис по беспроводным каналам связи (Wi-Fi, Bluetooth); структурирование и хранение данных с возможностью переноса архива на персональный компьютер через интерфейс USB.

Данный ПК является необходимым инструментом для инновационного изучения степени износа горизонтальной дорожной разметки на дорогах.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 ГОСТ Р 51256–99 Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Типы и основные параметры. Общие технические требования.

2 Система экспресс оценки степени износа горизонтальной дорожной разметки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [titul2005.ru/index.php](http://titul2005.ru/index.php). – Дата доступа: 20.02.2019.

3 Методические рекомендации по определению износа горизонтальной дорожной разметки по площади [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gosthelp.ru/text](http://www.gosthelp.ru/text). – Дата доступа: 21.02.2019.



## ИНТЕГРАЦИЯ ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА И АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

*А. Е. ПОРТНОЙ (С-42)*

*Научный руководитель – канд. экон. наук, доц. И. М. ЦАРЕНКОВА  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приведён анализ работ о необходимости создания и развития единого информационного пространства с целью эффективного управления дорожным хозяйством и улучшения качества обслуживания дорог, развития информационного обмена. В статье рассмотрены возможности использования информационных систем (Big Data) в управлении дорожным хозяйством в Республике Беларусь и развитии цифровой экономики.

В последнее время все чаще и чаще мы слышим термины цифровая экономика, Big Data, BIM-технологии применительно к объектам дорожного хозяйства и автомобильного хозяйства.

Республика Беларусь в настоящее время переживает рост цифровой экономики, во многом благодаря декрету Президента Республики Беларусь № 8 «О развитии цифровой экономики». Так как были облегчены создание и работа компаний в области больших данных и других современных технологий [1].

В настоящее время, среди специалистов, проектировщиков автомобильных дорог и сооружений широко применяется термин BIM-технологии, который означает «информационная модель здания» (Building Information Model) или «информационное моделирование зданий» (Building Information Modelling) [2].

Применяя BIM-технологии при моделировании всего жизненного цикла объекта, вносят в программные комплексы конструкторскую, экономическую, техническую и другую информацию, что помогает сделать взаимосвязь между разрозненной информацией и в автоматическом режиме получить чертежи и отчёты, выполнить анализ проекта, моделировать график выполнения работ, управлять эксплуатацией объектов и т. д.

Таким образом, проектные и строительные организации получают максимальные возможности для принятия эффективного решения с учетом всех имеющихся данных. В очередной раз подчеркиваем, что к этому моменту уже объединена и собрана информация:

- цифровая модель местности (рельеф, геология, инженерные коммуникации, ситуация и т. д.);
- используемые конструкции дорожной одежды и участки их применения;
- местоположение и описание объектов инженерного обустройства;
- другая информация, позволяющая автоматизировать рабочие процессы на разных стадиях жизненного цикла автомобильной дороги и повышать производительность сотрудников, имеющих доступ к ИМД [3].

По окончании проекта созданная информационная модель объекта (ВІМ) должна объединяться с геоинформационной системой (ГИС). Это необходимо, чтобы связать небольшие (до десятка километров) участки в общую модель.

При проведении инвентаризации (паспортизации) или кадастровому учету в систему попадают уточненные данные о существующих дорожных сооружениях, а также данные об обновлении придорожной полосы. При наличии у новых объектов информационных моделей – они должны объединяться в одной системе.

При проведении диагностики транспортно-эксплуатационного состояния покрытий объектов улично-дорожной сети дорожной лабораторией мониторинга образуется большой массив данных активной макрошероховатости дорожного покрытия на основе модели учета возмущений от неровностей покрытия.

Может сложиться обманное впечатление, что, обладая таким большим массивом данных (ВІМ, ГИС, макрошероховатости дорожного покрытия и т. д.), мы можем принимать решения по управлению дорожным хозяйством с минимальным риском. Однако это не так: пока эти и другие массивы данных находятся в различных структурах и не связаны между собой, говорить об эффективности не приходится. Необходимо объединить данную информацию в единую базу данных, что позволит получить на ее основе статистическую транспортную модель города.

Такая база данных должна удовлетворять следующим требованиям:

- интегрировать уже имеющиеся прикладные программы и базы данных в единую информационную среду;

- система должна быть открытой, легко расширяемой как по составу АРМ-ов, так и по числу рабочих мест;

- система должна включать в себя интерфейс пользователя, включающий в себя электронные карты и возможность работы с видеоинформацией;

- информационная система должна быть территориально распределенной, включать в себя Центр управления движением, систему отображения информации на основе ГИС, централизованное хранилище данных, гибкие средства анализа информации и прогнозирования, автоматизированные метеорологические посты на автомобильных дорогах, подсистемы видеопаспортизации и весового контроля, учета интенсивности и состава движения, оперативного управления движением, оценки состояния дорог, управления ходом их ремонта;

- для организации устойчивого и эффективного взаимодействия с территориально распределенной информационной системой следует реализовать ее на Интернет технологиях. Это обеспечит простое сопряжение данной системы со службами ГИБДД, МЧС, Гидрометецентр, а также транспортными организациями [4].

Статическая транспортная модель позволяет прогнозировать ситуацию на долгосрочный период с учетом различных вариантов изменения дорожной об-

становки. С ее помощью можно рассчитывать сценарии в масштабах всего города, будь то долгосрочные перекрытия движения или ввод в эксплуатацию новых путепроводов.

Все эти мероприятия проводятся для обеспечения комфортных и безопасных условий для участников дорожного движения, эффективного использования выделяемых средств, обеспечения высоких показателей надежности и безопасности перевозок за счет улучшения качественных характеристик и технического состояния улично-дорожной сети.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Декрет Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Pd1700008&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 05.04.2019.

2 **Скворцов, А. В.** ВІМ для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? / А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. № 1 (2). – С. 8–11.

3 **Петренко, Д. А.** ВІМ-решение «ИНДОРСОФТ» для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог / Д. А. Петренко, С. А. Субботин // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. № 2 (5). – С. 100–107.

4 Информационное обеспечение системы ремонта улично-дорожной сети мегаполиса / Ю. Э. Васильев [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – Вып. 3. – Май – июнь 2014. – № 3. – С. 1–20.

УДК 502.3:629.73

### АНАЛИЗ ПРИЧИН ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*А. Е. ПОРТНОЙ (С-42)*

Научный руководитель – канд. экон. наук, доц. *И. М. ЦАРЕНКОВА*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Приведены результаты исследований воздействия авиационного шума на окружающую среду. Основные технические характеристики авиационного шума свидетельствуют о его негативном воздействии на организмы детского и взрослого населения. Установлены основные причины негативного воздействия авиационного шума и выбросов, выполнен содержательный анализ программ по снижению уровня авиационного шума и выбросов загрязняющих веществ в мировой практике.

Современная гражданская авиация оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду. В настоящее время при эксплуатации самолетов в районе аэропорта наиболее важными факторами негативного воздействия считаются авиационный шум и выбросы загрязняющих веществ [1].

Известно, что шум двигателя увеличивается при разбеге и взлете, а именно эти режимы и влияют на акустический комфорт жилых кварталов. В России и в зарубежных странах решению этой задачи уделяется много внимания. В настоящее время действует, например, программа «Silence», цель которой снизить до 2019 года уровень шума в окрестностях аэропортов до уровня шума наземного транспорта, но, несмотря на достигнутые успехи в шумоглушении, силовые установки по-прежнему остаются определяющим источником шума самолета на местности.

Основные причины шума лежат в области аэродинамики рабочего тела двигателя. Из-за огромной скорости реактивная струя турбулизует окружающий ее воздух, вследствие чего возникает шум. Кроме того, шумят механические детали (компрессор и турбина), лопатки которых тоже создают значительную турбулентность.

Ранее большие резервы по уменьшению шума дала замена обычного турбореактивного двигателя двухконтурным турбореактивным двигателем. Шум турбины в принципе вызывается теми же причинами, что и шум вентилятора, но имеет специфические особенности, главная из которых связана с высокой крупно и мелкомасштабной неравномерностью и флуктуациями потока, выходящего из камеры сгорания. Это значительно усиливает все широкополосные и дискретные составляющие шума турбины. В результате турбина создает широкополосный шум как в области низких, так и высоких частот. Дискретные составляющие возникают на частотах следования лопаток турбин компрессора и вентилятора, а также на кратных им комбинированных частотах. Высокая степень турбулизации и неоднородности, значительная скорость, а иногда и закрутка потока за турбиной являются причинами появления шума выходного канала двухконтурного турбореактивного двигателя.

В настоящее время ученые разных стран прилагают значительные усилия по снижению шума турбин существующих и перспективных гражданских самолетов. Сейчас повсеместно применяются способы внешнего глушения. При этом важным способом снижения шума двигателя стало широкое использование так называемых звукопоглощающих конструкций. Благодаря их установке на авиадвигателях удалось снизить шум самолетов семейства Ту-204 и Ил-96 до норм Международной организации гражданской авиации, действующих с 2001 года. К сожалению, применение звукопоглощающих конструкций не только удорожает строительство самолета, но и утяжеляет его конструкцию и соответственно ухудшает экономические показатели из-за повышения расхода топлива. Применение различных методов шумоглушения привело в настоящее время к тому, что шум вентилятора, компрессора, турбины, камеры сгорания газотурбинных двигателей значительно снизился, но при этом шум дозвуковой реактивной струи стал более заметным. Однако тенденция к постоянному ужесточению требований по шуму привела к тому, что методы снижения шума вентилятора и турбины сравнивали их уровни с уровнями шума струи и шум реактивной струи снова вышел на первый план.

В населенных пунктах, тяготеющих к аэропортам, ведущим физическим фактором, воздействующим на население, является интенсивный шум. По данным исследований, проведенных в РФ, существенному воздействию авиационного шума вблизи аэропортов подвержено около 3 % населения России, при этом численность населения, подверженного воздействию с превышением установленных стандартов уровней вблизи крупных аэропортов федерального значения, достигает 1,5 млн человек, а суммарная площадь территорий, охваченных этим воздействием, оценивается величиной 5,8 тыс. кв. км.

Аэропорты также являются источниками генерации электромагнитного излучения, опасного для здоровья. Отдельные исследования, выполненные в рамках социально-гигиенического мониторинга, отмечают ясно выраженные негативные тенденции в показателях здоровья населения: снижение рождаемости, рост смертности, низкую среднюю продолжительность жизни, увеличение частоты хронических заболеваний.

К наиболее частым и значимым экологически обусловленным проявлениям вредного воздействия авиационного шума относятся: развитие хронических неспецифических болезней органов дыхания, патологии репродуктивной функции у новорожденных, аллергические заболевания, новообразования, болезни кожи, крови и сердечно-сосудистой системы.

Размещение аэропортов вблизи селитебных территорий крупного промышленного города способствует созданию неблагоприятной экологигиенической ситуации: величина комплексной техногенной нагрузки на среду обитания в жилых зонах, приближенных к аэропортам на расстояние до 2 км, в 1,4 раза превышает загрязнение отдаленной от аэропортов территории города.

Круглосуточная эксплуатация аэропортов является источником интенсивного шумового воздействия: эквивалентные уровни звука на жилой территории на расстоянии до 2 км достигают в дневное время 80 дБ, в ночное время – 78 дБ, при колебании максимальных уровней от 92 до 108 дБ. Население, проживающее в зоне влияния аэропортов, получает суточную дозу шума, в 3 раза превосходящую допустимую величину. Шумовой фактор – главный фактор риска в окружении аэропортов.

Функционирование аэропортов связано с выбросом в атмосферный воздух 28 ингредиентов. В окружении аэропортов на расстоянии до 2 км приоритетными токсическими загрязнителями атмосферы являются: диоксид азота и серы, оксид азота и углерода, а также взвешенные вещества. Обнаруженное в окружении аэропортов выпадение пыли составляет 422–649 кг/км<sup>2</sup> в год. В составе пыли имеются тяжелые металлы: цинк, свинец, медь, марганец, хром, ванадий и др. У населения, проживающего в зонах влияния аэропортов, отмечены нарушения состояния здоровья, повышенная общая смертность населения (16,4 на 100 тыс. чел.), превышающая средний городской показатель (15,3 на 100 тыс. чел.).

У детского населения наблюдаются более частые функциональные отклонения со стороны сердечно-сосудистой системы (в 1,3 раза), пониженный индекс

здоровья (в 2–3,2 раза), снижение умственной работоспособности (в 2,3 раза), повышение кровяного давления (110–120 мм рт. ст. против 86–110), повышенные показатели заболеваемости врожденными аномалиями (в 2,1 раза), костно-мышечной и мочеполовой системы (в 2,2 раза), органов кровообращения, кожи и подкожной клетчатки (в 1,8 раза), органов пищеварения (в 1,5 раза), органов дыхания (в 1,2 раза). У взрослого населения – повышенная заболеваемость, рост заболеваемости по классам болезней органов кровообращения, дыхания, пищеварения, новообразований. Приоритетными заболеваниями являются гипертоническая болезнь и вегето-сосудистая дистония.

В структуре причин смертности населения на территории влияния аэропортов ведущие ранговые места принадлежат сердечно-сосудистым заболеваниям (62,7 %), злокачественным новообразованиям (15 %), травмам и отравлениям (14 %). Темп прироста смертности от сердечно-сосудистых заболеваний составляет +2,4 %, в том числе от ишемической болезни сердца +1,5 %, и от злокачественных новообразований +9,1 % [2]. Показатель общей смертности в 1,3 раза выше, чем в «условно чистой зоне». Аналогичные результаты получены по смертности от сердечно-сосудистой патологии. Смертность от ишемической болезни сердца на территории влияния выше в 1,4 раза. Относительный риск для здоровья, с учетом комплексного загрязнения среды химическими веществами и шума, в зонах влияния аэропортов в 1,4 раза больше, чем в условно «чистой» зоне.

По результатам социально-гигиенических исследований российских ученых – 72 % населения, проживающего в зонах влияния аэропортов, предъявляют жалобы на нарушение условий отдыха, труда и быта [3]. Количество жалоб, в 3,5 раза превышающее полученные в условно «чистом» районе города, находится в прямой зависимости от величины эквивалентного уровня звука на жилой территории. Уменьшение неблагоприятного воздействия самолетов на окружающую среду является важной научно-технической проблемой.

В условиях массовых полетов отдельные шумовые воздействия при взлетах и посадках воздушных судов обладают эффектом суммарного воздействия авиационного шума на жителей прилегающих селитебных территорий. Этот эффект суммарного воздействия шума оценивается эквивалентным (по энергии) уровнем авиационного шума  $L_{АЭЖВ}$ . Допускаемые уровни авиационного шума указаны в ГОСТ 17228–87 [4].

Согласно современным нормам и правилам вновь строящиеся аэродромы или их отдельные элементы следует размещать за пределами городов и населенных пунктов. При этом расстояния от границ аэродрома до границ селитебной территории следует определять на основании расчетов в каждом конкретном случае с учетом: обеспечения безопасности полетов, типов воздушных судов, эксплуатируемых или предполагаемых к эксплуатации на данном аэродроме, интенсивности их полетов, количества ВПП на аэродроме, рельефа, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, а также других местных условий. В качестве расчетного следует принимать наиболь-

шее расстояние, полученное на основе учета следующих факторов: обеспечения безопасности полетов, допустимого уровня авиационного шума, допустимой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и допустимого уровня электромагнитного излучения от передающих радиотехнических средств, устанавливаемых на аэродроме [5].

Комплексный подход предусматривает уменьшение вредных воздействий в источнике их возникновения, применение специальных приемов пилотирования, рациональную организацию воздушного движения, внедрение строительно-планировочных мероприятий, ограничение вредных воздействий вблизи аэропортов и контроль за их соблюдением.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Мунин, А. Г.** Аэродинамические источники шума / А. Г. Мунин, В. М. Кузнецов, Е. А. Леонтьев. – М. : Машиностроение, 1981. – 248 с.
- 2 Человек и авиационный шум / С. К. Солдатов [и др.]. – М. : Новые технологии, 2012. – 24 с.
- 3 **Цыплухина Ю. В.** Воздействие авиационного шума на здоровье населения / Ю. В. Цыплухина, Е. В. Манченко. – Воронеж : Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, 2016. – С. 356–360.
- 4 Изыскания и проектирование аэродромов : учеб. для вузов / Г. И. Глушаков [и др.]; под ред. Г. И. Глушакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1992. – 463 с.
- 5 **СП 121.133302012** – Аэродромы (актуализированная редакция СНиП 32-03-96). – М. : 2012. – 102 с.

УДК 625.7:656.08

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

*А. Е. ПОРТНОЙ, Д. С. ИВЧЕНКО (С-42)*

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Г. В. АХРАМЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Проанализировано изменение скорости движения транспортного средства в зависимости от длины вертикальной кривой и максимального продольного уклона проектной линии автомобильной дороги. Представлены статистические данные об аварийности в Республике Беларусь за ряд лет на участках кривых проектной линии автомобильных дорог.

Транспорт играет центральную роль в процессе развития. Он обеспечивает передвижение товаров и услуг. Однако наряду с тем, что транспортные инве-

стиции способствуют экономическому развитию страны, они создают определенные угрозы и риски. В первую очередь это угроза потерь, связанных с дорожно-транспортными происшествиями (ДТП).

На территории Республики Беларусь по данным Государственной инспекции безопасности дорожного движения ежедневно происходит примерно 5–6 аварий, в которых гибнут или получают ранения люди. За четыре последних года произошло порядка 1800 аварий, в которых погибло около 2400 человек. Не все ДТП находят отражение в сводках – в некоторых случаях люди умирают уже в больнице.

Согласно данным ГАИ, только за январь–сентябрь 2017 года в Беларуси произошло порядка 2241 ДТП, в которых погибли или пострадали люди. И хоть количество ДТП снижается, последствия их все так же ужасают. Статистика утверждает, что чаще всего ДТП со смертельным исходом происходят вблизи крупных городов Беларуси: Полоцк-Новополоцк, Бобруйск, Орша, Лида, Молодечно, Слуцк, Смолевичи, Береза и другие. Больше всего ДТП со смертельным исходом происходит в Минске и в Минском районе. На втором месте – Гомель и Гомельский район, затем следует Могилев и Могилевский район [1]. Из них около 20 % дорожно-транспортных происшествий произошло по причине неудовлетворительного состояния дорог, к которому можно отнести и несоответствие существующих трасс требованиям нормативных документов.

Существующие методы оценки аварийности во многом морально устарели, поскольку разрабатывались в 70–80-е гг. XX века и ориентировались на транспортные потоки малых интенсивностей и скоростей движения. Многие из них имеют недостатки не только в качественном плане (точность прогнозов, возможность прогноза на разные периоды времени), но и в количественном плане (отсутствие учета важных параметров, элементов и ситуаций). Корректировка этих методов или разработка новых не проводится в настоящее время. Снижение точности прогноза количества ДТП при помощи таких методов, как метод «итоговых коэффициентов аварийности», свидетельствует также о возможной необходимости корректировки конкретных коэффициентов и введении новых.

Возникновение ДТП является следствием, как правило, нескольких причин. Официальная статистика считает, что ДТП, непосредственной причиной которых являются дорожные условия, не превышают 10 %. Однако к этому добавляются те ДТП, в которых дорожные условия в определенной степени явились способствующим фактором их возникновения [2].

Автомобильная дорога оказывает влияние на процесс движения двумя составляющими факторами [2]:

- постоянными (геометрией трассы и земляного полотна);
- переменными (метеорологическими условиями, временем года и суток).

Очевидно, что действие переменных факторов на процесс движения тем меньше, чем выше качественный уровень постоянных факторов, формирую-



щих у водителя необходимый режим движения. В данном случае исследуется влияние продольного уклона и радиусов вертикальных кривых на безопасность дорожного движения.

ДТП на участках дорог, имеющих большие продольные уклоны, бывают связаны с особенностями складывающихся на них режимов движения.

Для крутых подъемов и спусков характерны следующие виды происшествий:

- столкновения спускающихся автомобилей с автомобилями, вышедшими на обгон на подъеме (24 % общего числа аварий на участках дорог, имеющих большие продольные уклоны);

- съезд с дороги из-за порчи тормозов или чрезмерной скорости на спуске (40 %);

- столкновение идущего на подъем автомобиля с встречным при обгоне грузовых автомобилей, значительно снижающих скорость на подъеме, или обезде остановившихся (18 %).

Количество происшествий, связанных с автомобилями, движущимися под уклон, в 1,5–3 раза больше, чем с идущими на подъем, причем разница в условиях движения начинает сказываться уже при малых продольных уклонах. Это объясняется увеличением длины тормозного пути на спусках при необходимости экстренного торможения и со случаями отказа тормозов, составляющих 40 % от всех происшествий, вызванных неисправностями авто. На крутых затяжных спусках этот процент еще выше [2].

ДТП на участках с большими продольными уклонами происходят в верхней части подъемов и сразу за вершинами выпуклых вертикальных кривых, а также в нижней части спусков, на вогнутых переломах продольного профиля, на которые авто въезжают, развив высокие скорости. Происшествиям способствует повышенная скорость авто в нижней части вертикальных кривых, которая требует более широкой ПЧ. Однако предусмотренное ТКП уширение ПЧ на 1–1,5 м, как правило, отсутствует, что усложняет разезд встречающихся авто. На рисунке 1 представлена зависимость изменения скорости от величины продольного уклона и его протяженности для грузового автомобиля [3].

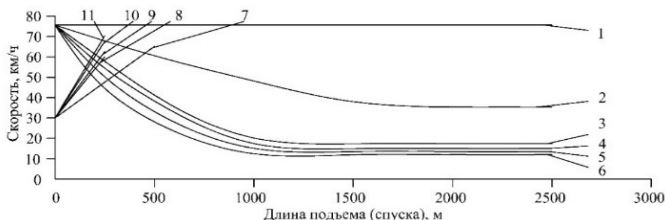


Рисунок 1 – Зависимость скорости грузового автомобиля от величины продольного уклона и его длины:

1 – при  $i = 0\%$ ; 2 – 20%; 3 – 40%; 4 – 50%; 5 – 60%; 6 – 70% (подъемы);  
7 – 20%; 8 – 40%; 9 – 50%; 10 – 60%; 11 – 70% (спуски)

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента аварийности от величины продольного уклона.

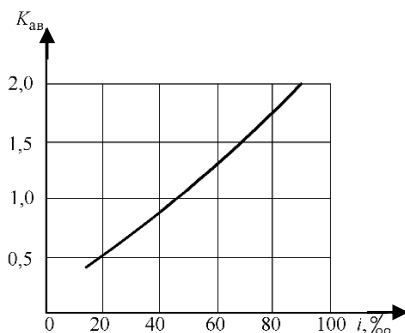


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента аварийности от величины продольного уклона

Одна из причин ДТП на вертикальной кривой в продольном профиле автомобильной дороги и в зонах ее влияния – это возникновение на таких участках центробежной силы [4]. Показатели аварийности на улично-дорожной сети Беларуси на вертикальной кривой в продольном профиле с 2000 по 2012 г. представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели аварийности на улично-дорожной сети Беларуси на вертикальной кривой в продольном профиле

Наименование		Год				
		2000	2002	2004	2011	2012
Вертикальная кривая в продольном профиле	ДТП, к-во/%	52/0,8	51/0,7	35/0,5	84/1,4	39/0,7
	Погибшие, чел./%	13/0,8	18/1,0	29/1,7	29/2,4	7/0,7
	Раненые, чел./%	64/1,0	73/1,0	58/0,8	77/1,2	45/0,8
Вершина подъема	ДТП, к-во/%	21/0,3	19/0,3	25/0,3	11/0,2	5/0,1
	Погибшие, чел./%	10/0,6	9/0,5	11/0,7	4/0,3	1/0,1
	Раненые, чел./%	27/0,3	26/0,3	22/0,3	13/0,2	4/0,1
Конец спуска	ДТП, к-во/%	21/0,4	29/0,4	27/0,4	10/0,2	8/0,2
	Погибшие, чел./%	16/1,0	14/0,8	16/0,9	4/0,3	4/0,3
	Раненые, чел./%	28/0,4	23/0,3	25/0,3	8/0,1	9/0,2
Всего по элементам плана и продольного профиля	ДТП, чел.	6413	7204	7218	5897	5187
	Погибшие, чел.	1600	1728	1688	1200	1039
	Раненые, чел.	6492	7472	7522	6334	5569

Центробежная сила равна нулю при движении транспортных средств по прямолинейным участкам продольного профиля автомобильной дороги. При

переходе перелома и переходе от прямого продольного профиля к вертикальной кривой или от вертикальной кривой к прямому продольному профилю транспортные средства испытывают удар, прижатие к покрытию и ослабление давления на покрытие. Радиус кривизны квадратичной параболы увеличивается по мере удаления от вершины кривой (таблица 2) и определяется по формуле [4]

$$\rho = R \left( 1 + \frac{l^2}{R^2} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус вертикальной кривой, м;  $l$  – расстояние от вершины кривой до начала (конца) кривой, м.

**Таблица 2 – Изменение радиуса кривизны и центробежной силы на вертикальной кривой на автомобильных дорогах I–V категорий**

Наименование показателей	Категория дороги				
	I	II	III	IV	V
Максимальный продольный уклон, %	40	40	50	60	70
Минимальный радиус вертикальной выпуклой кривой, м	25000	15000	8000	4000	1500
Максимальная длина вертикальной выпуклой кривой, м	1000	600	400	240	105
Радиус кривизны в начале и конце вертикальной выпуклой кривой, м	25060	15036	8030	4021	1523
Центробежная сила в начале и конце вертикальной выпуклой кривой, кг	109,8	134,5	174,9	223,5	331,9
Центробежная сила в вершине вертикальной выпуклой кривой, кг	110,1	134,8	175,5	224,7	337,0
Минимальный радиус вертикальной вогнутой кривой, м	8000	6000	4000	2500	1500
Радиус кривизны в начале и конце вертикальной вогнутой кривой, м	8030	6014	4021	2514	1523
Центробежная сила в начале и конце вертикальной вогнутой кривой, кг	342,8	336,2	349,2	357,5	331,9
Центробежная сила в вершине вертикальной вогнутой кривой, кг	344,0	337,0	351,1	359,5	337,0

Центробежная сила, приведенная в таблице 2, увеличивается в случае, когда:

- фактическая скорость больше расчетной скорости для дорог I–V категорий;
- фактический радиус вертикальной кривой меньше нормативного значения;
- полная масса автомобиля больше расчетной массы.

Вид геометрического очертания проектной линии, отметки и радиус кривизны поверхности дорожного покрытия вертикальной кривой в местах кон-

центрации ДТП указывают на наличие центробежной силы в вершине кривой, вызывающей изменение сдвигающей и удерживающей сил, действующих на транспортное средство.

При проектировании, строительстве и приемке построенной автомобильной дороги в эксплуатацию необходимо контролировать соответствие ее участка на вертикальной кривой безопасности движения, а при эксплуатации – информировать водителя о безопасной скорости проезда вертикальной кривой.

Для определения зависимости величины радиуса вертикальных кривых были произведены расчеты, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

Расчетное расстояние видимости $S_1$ , м	Радиус выпуклой кривой, м		Радиус вогнутой кривой, м		
	$d$ , м	$R_{\text{вып.}}$ , м	$h_{\text{ф.}}$ , м	$\alpha$ , град	$R_{\text{вог.}}$
120	1,2	6000	0,75	2,0	2535
140		8170			3070
160		10670			3620
180		13500			4170
200		16670			4720

По результатам расчетов построены графики зависимости  $R_{\text{вып. (вог.)}} = f(S_1)$  (рисунок 3).

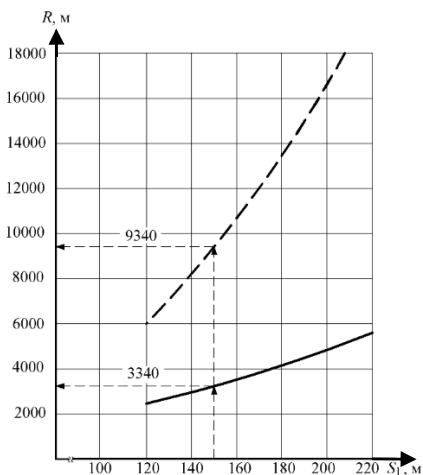


Рисунок 3 – Зависимость радиуса вертикальной кривой от расчетного расстояния видимости:

- радиусы выпуклых вертикальных кривых;
- радиусы вогнутых вертикальных кривых

Полученные графики позволяют при разработке проекта новой автомобильной дороги определять радиусы вертикальных кривых для обеспечения заданного расстояния видимости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Белорусский портал TUT.BY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://auto.tut.by/news/exclusive/567622.html>. – Дата доступа: 19.03.2019.

2 **Бабков, В. Ф.** Дорожные условия и безопасность движения / В. Ф. Бабков. – М. : Транспорт, 1982. – 288 с.

3 **Ренкин, В. У.** Автомобильные перевозки и организация дорожного движения : справочник / В. У. Ренкин, П. Клафи, С. Халберг, пер. с англ. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.

4 **Силиков, Д. Д.** Влияние вертикальной кривой на безопасность движения по автомобильной дороге / Д. Д. Силиков, Н. В. Виняков // Наука и Техника. – Т. 17. – № 3. – 2018. – 255 с.

УДК 625.7

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

*А. И. СКРЫПНИКОВ (СДС-31)*

Научный руководитель – преп. *Г. Г. МОРОЗОВА*

*Филиал «Гомельский государственный дорожно-строительный колледж им. Ленинского комсомола Белоруссии» учреждения образования «Республиканский институт профессионального образования», Республика Беларусь*

Рассмотрены основные возможности программных продуктов Credo и AutoDesk, используемых для разработки проектов автомобильных дорог. Отмечены их достоинства и недостатки.

Инновационная технология BIM – это информационное моделирование зданий и сооружений, осуществление качественного и тщательного контроля всех производимых операций на каждом этапе жизненного цикла объекта. BIM-технологии (Building Information Modeling, информационное моделирование строительного объекта) используются для достижения различного спектра задач, начиная детальной визуализацией интерьеров и экстерьеров зданий по изображениям и завершая автоматизированным управлением строительной техникой [1].

В данном случае рассматривается возможность применения технологии BIM при разработке проекта новой автомобильной дороги в рамках курсового проектирования. При этом были поставлены следующие задачи:

- моделирование в программном комплексе Credo, AutoDesk с созданием цифровой модели рельефа;
- импорт модели в программный комплекс Credo для выполнения анализа и выбора вариантов трассы;
- получение чертежей, ведомостей и визуализация объектов с получением цифровой модели проекта;
- оценка эффективности процесса проектирования при использовании средств ГИС и САПР.

На стадии изысканий данных съемки участка в цифровом виде с электронных регистраторов оказалось недостаточно, поэтому за основу был принят бумажный картографический материал. Выполнена привязка к координатной сетке и произведена сшивка планшета в масштабе 1:10000. Данные экспортированы в два программных комплекса Credo и AutoDesk для сравнения возможностей сокращения времени на проектирование участка автомобильной дороги. Работа велась одновременно в программных комплексах Credo и AutoDesk, что позволило использовать вариантное проектирование на всех этапах работы над проектом. Выполнена визуализация запроектированного участка автомобильной дороги по рабочим чертежам. Создание 3D-модели искусственных сооружений и автобусной остановки выполнено в AutoDesk AutoCad Civil 3D.

Применение программных продуктов AutoDesk, комплекса программ: Credo\_Топограф, Credo\_Трансформ, Credo\_Дороги – для комплексного проектирования поверхностей и объектов строительства позволило оптимизировать процесс проектирования автомобильной дороги. Получена возможность экспортировать проектные результаты в системы автоматизированного управления строительной техникой и в регистраторы геодезического оборудования. Использование BIM-технологий на стадии проектирования и строительства дороги позволяет получать данные объемов работ и их сметной стоимости. На протяжении всего срока службы автомобильной дороги возможно вносить корректировки в 3D-модель запроектированного участка при выполнении строительных работ, сезоном обследования дорог.

Таким образом, использование BIM-технологий на основе AutoCAD Civil 3D и Credo дает следующие преимущества [2, 3]:

- использование программ комплекса Credo для оцифровки топографического плана и работы с картографическим материалом;
- использование Credo\_Дороги для создания ЦМР и вариантного проектирования автомобильных дорог;
- привязка цифровой и аналитической моделей в AutoDesk AutoCad Civil 3D;
- снижение сроков проектирования и моделирования автомобильной дороги, возможности в перспективе работы с проектом на протяжении длительного времени;

– возможность создания многовариантных проектных решений на основе цифровых моделей, выполнения учебных задач с учетом построения из созданных цифровых пространственных 3D-моделей;

– использование САПР и ГИС уменьшает риск возникновения грубых и систематических ошибок;

– применение BIM-технологий дает возможность корректировки цифровой модели запроектированного участка дороги на всех этапах: от создания ЦМР до оценки эффективности процессов проектирования, строительства и эксплуатации автомобильной дороги.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Григорьева, М. И.** Использование BIM технологий в строительстве / М. И. Григорьева // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2017. – № 3. – С. 100–123.

2 **Талапов, В. В.** Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования здания / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 410 с.

3 **Игнатов, В. П.** Эффективное использование информационной модели строительного объекта / В. П. Игнатов, Е. В. Игнатова // Вестник МГСУ. – 2011. – Т. 1. – С. 321–324.

УДК 625.711.812

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УХОДЕ ЗА СВЕЖЕУЛОЖЕННЫМ БЕТОНОМ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

*Ф. Ш. РУЗМЕТОВ* (докторант)

Научный руководитель – проф. *И. М. МАХАМАТАЛИЕВ*

*Ташкентский институт инженеров транспорта, Республика Узбекистан*

В статье обоснована необходимость и эффективность применения пленкообразующих материалов при уходе за свежеложенным бетоном при возведении монолитных конструкций зданий и сооружений, а также приведены особенности применения данного способа ухода за бетоном в условиях сухого и жаркого климата Узбекистана.

В последние годы в Республике Узбекистан высокими темпами развивается монолитное домостроение. В основном возводятся многоэтажные здания жилищно-гражданского и общественного назначения из железобетона с использованием разборно-переставной опалубки [1]. В связи с тем, что все работы выполняются на строительной площадке, качество строительных работ зависит от каждого технологического этапа. В условиях сухого жаркого климата Узбекистана (средняя температура воздуха в 13 часов дня выше 25 °С и

относительная влажность воздуха меньше 50 %) качество возводимых конструкций из монолитного бетона зависит от следующих факторов: качества приготовления бетонной смеси, ее транспортирования, подачи, укладки, а также ухода за ним [2]. В данной статье рассматриваются вопросы ухода за свежеуложенным бетоном в условиях сухого жаркого климата Узбекистана.

В практике современного строительства применяется широкий спектр методов по уходу за свежеуложенным бетоном [3]. В настоящее время принято, что уход, помимо поддержания оптимального температурно-влажностного режима в бетонной конструкции в течение всего периода твердения, должен еще предохранить выполненные элементы от пересушивания, перегрева на солнце, размыва дождем и др. Однако основным требованием по-прежнему остается необходимость защиты от чрезмерного изменения начального водосодержания. Рассмотрим один из способов создания таких условий – нанесение пленкообразующего материала. По результатам проведенных нами исследований установлено, что оптимальным временем нанесения состава является появление матового цвета на поверхности бетона. Уже в первые часы твердения пленка, нанесенная на поверхность тела бетона, начинает защищать его от отрицательного воздействия повышенных температур, ветра и низкой относительной влажности воздуха окружающей среды. Наиболее интенсивное испарение влаги с поверхности свежеуложенного бетона происходит в начальный период времени и увеличивается под воздействием атмосферных факторов. Следовательно, необходимо как можно дольше «удерживать» воду поверхностном слое бетона. Проведенные нами исследования показали, что существует непосредственная зависимость конечной прочности бетона от времени, прошедшего с момента окончания бетонирования конструкции до начала технологических операций по уходу за бетоном. Опоздание с началом ухода может привести к значительной потере прочности. Особенно сильно влияет изменение продолжительности начального ухода на высокомарочные бетоны, где недобор прочности может достигать 38 %. Видимо, существует определенный промежуток времени оптимального начала основного периода влажностного ухода. С увеличением водоцементного отношения (В/Ц) бетона продолжительность начального периода ухода увеличивается, что объясняется более медленным формированием его структуры. Вода в бетоне выполняет две функции. Первая (положительная) способствует гидратации цемента и нарастанию прочности бетона. Вторая (отрицательная) участвует в увеличении пористости бетона вследствие миграции воды к поверхностным слоям и испарения в окружающую среду. Степень влияния второй функции зависит от времени протекания процесса, условий выдерживания бетона и параметров окружающей среды. Путем регулирования массопереноса внутри бетона и массообмена его с окружающей средой можно уменьшить отрицательное влияние второй функции и получить бетон высокого качества. Одним из таких способов является применение пленкообразующих материалов. Применение



пленкообразующих материалов началось в середине XX века в странах СНГ, Европе и в США одновременно.

В странах СНГ применение пленкообразующих составов началось в 50-е годы прошлого века. Одним из первых таких материалов был лак-этиноль и битумные эмульсии. Но эффективность их была на низком уровне [4].

Лишь в 1989 году в СоюздорНИИ (г. Москва, Россия) был разработан водоразбавляемый пленкообразующий материал (ВПМ), представляющий собой дисперсию бутадиенстирольного каучука, минерального наполнителя и добавок, регулирующих его технологические свойства. ВПМ – это самый широко применяемый материал при строительстве цементобетонных дорожных и аэродромных покрытий. Позже институтом ВНИИЖелезобетон был разработан ряд материалов под общим названием ВПС-Д. Состав ВПС-Д представляет собой вододисперсную композицию парафиносодержащих углеводородов со спецприсадками. Данные материалы (ВПМ и ВПС-Д) по водонепроницаемости практически равноценны. ВПМ образует светлую пленку через 1,5–2 часа после нанесения. ВПС-Д образует бесцветную или слабо беловатую более скользкую пленку. Пленка ВПМ обладает более высокой светоотражающей способностью и лучше защищает свежесуложенное покрытие в случае выпадения дождя, дольше сохраняется на поверхности покрытия. ВПС-Д является более технологичным при работе с ним в отличие от ВПМ, требующим предварительного перемешивания и процеживания.

Большое значение для ухода за свежесуложенным бетоном имеет правильный выбор момента нанесения пленкообразующего материала. Критерием наступления этого момента является отсутствие прилипания свежесуложенной бетонной смеси к ладоням. Растекаемость пленкообразующего материала характеризует его способность равномерно распределяться и удерживаться на поверхности свежесуложенного бетона, образуя сплошную пленку даже на сильно увлажненной поверхности. Этому технологическому требованию хорошо соответствуют пленкообразующие материалы на гидрофильной основе и особенно водные эмульсии. Пленкообразующие материалы на гидрофобных органических растворителях плохо растекаются по влажной поверхности и не образуют сплошной пленки. При применении таких материалов необходимо ждать, пока поверхность бетона подсохнет, и во избежание испарения влаги на это время поверхность покрытия следует укрывать влажной мешковиной и (или) передвижными тентами. Выбор правильного момента нанесения материала обеспечивает качество образовавшейся сплошной пленки, которая благодаря своей сплошности и эластичности хорошо притягивается к поверхности под действием вакуума, образованного контракционным эффектом твердеющего бетона. Поэтому опоздание с нанесением пленкообразующего материала резко снижает эффективность ухода за бетоном, а также приводит к пластической усадке на поверхности покрытия и снижению паро- и водонепроницаемости пленки. Таким образом, взаимодействие пленкообразующих

материалов с поверхностью свежесушеного бетона и окружающей средой охватывает широкий спектр физико-химических и технологических процессов, исследования которых в настоящее время являются очень актуальными. Данный вопрос является предметом исследований научно-исследовательских работ, которые ведутся магистрантами и докторантами под руководством ведущих ученых кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта. В частности, в рамках выполнения Государственной научно-технической программы № А-14-008 авторами статьи были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния покрытия из местного пленкообразующего материала «Унифлок» на приповерхностную гидратацию бетона. Исследования проводились на трех образцах бетона: № 1 – образец, твердевший в сухих условиях без покрытия; № 2 – образец, твердевший в нормальных условиях без покрытия; № 3 – образец, твердевший в сухих условиях с пленкообразующим покрытием (покрытие нанесено по всем граням). Проводился рентгенографический анализ проб, отобранных из вышеуказанных образцов. Отбор частных проб осуществлялся путем последовательного по глубине высверливания проб в центре образца. Всего из каждого образца отбиралось по 3 г проб, отобранных в интервалах глубин 0–10 мм, 10–20 и 20–30 мм. Такой отбор был обусловлен необходимостью устранения неоднородности проб, возникающих при формировании образца. Рентгенографический анализ проводился на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с использованием автоматической регистрации спектра. В качестве частного критерия уровня гидратации цемента было выбрано содержание портландита  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в исследуемых образцах.

Проведенными исследованиями было установлено [5], что содержание портландита в слое 0–10 мм в образце без покрытия, твердевшем в сухих условиях, в интервале глубины от поверхности 0–10 мм присутствует 2,0 % портландита и отмечается незначительная карбонизация с образованием 1–2 %  $\text{CaCO}_3$ ; в том же образце в интервале глубин 10–20 мм отмечается рост содержания портландита до 2,5–3 %, а в интервале 20–30 мм глубины от поверхности образца содержание портландита увеличивается до 8,0 %. Для образца с покрытием, твердеющим в таких же условиях, содержание портландита в интервале 0–10 мм составляет 6,5 %, а начиная с интервала 10–20 мм колеблется около 8,2 %. Для образцов, твердевших в нормальных условиях, содержание портландита на всех анализируемых глубинах изменялось в пределах 8–8,5 %. Следовательно, можно утверждать, что пленкообразующее покрытие обеспечивает гидратацию цемента в поверхностном слое, близком к нормальным условиям хранения. Исследования также показали резкое снижение степени гидратации цемента в поверхностном слое бетона без пленкообразующего покрытия. Таким образом установлено, что покрытие из местного пленкообразующего материала «Унифлок» существенно улучшает условия гидратации цемента в

бетоне и создает благоприятные условия для его твердения. При этом защитное покрытие сильно замедляет испарение влаги и исключает процесс преждевременного обезвоживания бетона. Обезвоживание главным образом происходит в поверхностном слое толщиной 2 см, т. е. соизмеримом с толщиной защитного слоя, который в первую очередь подвергается морозной деструкции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Махаматалиев, И. М.** О важности и способах ухода за свежееуложенным бетоном монолитных конструкций в условиях сухого жаркого климата Узбекистана / И. М. Махаматалиев // Инновационные технологии в строительстве : сб. науч. тр. Республиканской науч.-техн. конф. с участием зарубежных ученых. – Ташкент : ТашИИТ, 2016. – Вып. 11. – С. 26–28.
- 2 **Заседателев, И. Б.** Массообмен с внешней средой при твердении бетона в воздушно-сухих условиях / И. Б. Заседателев, С. В. Богачев // Бетон и железобетон. – 1971. – № 8.
- 3 **Хаютин, Ю. Г.** Монолитный бетон / Ю. Г. Хаютин. – М. : Стройиздат, 1991. – 561 с.
- 4 Исследование прочностных характеристик защитно-отделочных покрытий / А. Н. Бобрышев [и др.] // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : сб. науч. тр. МНТК. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2004.
- 5 **Махаматалиев, И. М.** О гидратации цемента на поверхностном слое бетона, покрытом плёнкообразующим материалом / И. М. Махаматалиев, Ф. Ш. Рузметов // Инновационные технологии в строительстве : сб. науч. раб. Республиканской науч.-техн. конф. – Ташкент : ТАСИ, 2017. – С. 119–123.

УДК 625.731.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА СТЕПЕНЬ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

*Р. Р. СОАТАЛИЕВ* (магистрант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *А. Х. УРОКОВ*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Анализируется взаимосвязь между методами, основанными на плотности и модуле упругости грунта, используемых при оценке степени уплотнения земляного полотна. Было исследовано влияние влажности грунта на оценку степени уплотнения с помощью установки динамического нагружения (LWD-light weight deflectometer) и была определена множественная регрессионная зависимость между тремя факторами: коэффициентом уплотнения, модулем упругости и влажности грунта.

Основным показателем, характеризующим качество уплотнения земляного полотна автомобильных дорог, является коэффициент уплотнения (степень уплотнения) грунта. Коэффициент уплотнения грунта – это отношение плотности сухого грунта в контролируемом слое земляного сооружения к

максимальной плотности сухого грунта, определенной в приборе стандартного уплотнения по ГОСТу 22733. Несмотря на то, что этот показатель поддерживается в процессе строительства в соответствии с действующими нормами, он сталкивается с различными трудностями в обеспечении коэффициента уплотнения. Основной причиной этого является разнообразие факторов, влияющих на степень уплотнения: это влажность и тип грунта, тип уплотняющих механизмов, количество проходок и т. д.

Грунтовые составы состоят из трех частей: твердых, жидких, газовых (воздушных) фаз, что приводит к плотности грунтового каркаса из-за уменьшения объема воздушного пространства в результате уплотнения. В этом процессе влажность грунта уменьшает трение твердых частиц, образующихся при уплотнении. Он покрывает твердые частицы и обеспечивает их максимальное уплотнение [1]. Когда влажность грунта увеличивается с оптимальной влажностью, плотность грунтового скелета увеличивается и достигает наибольшего значения в оптимальном влажном состоянии. Естественная влажность грунта часто недостаточна для обеспечения максимальной плотности во время строительства. Поэтому содержание влаги в грунте оптимизируется перед уплотнением во время строительства земляного полотна.

В настоящее время расширяется использование методов, основанных на модуле упругости вместо методов, основанных на плотности для определения и оценки коэффициента уплотнения грунта в развитых странах, включая Германию, Великобританию и США. Эти новые методы включают определение прогиба, вызванного легким (10 или 15 кг) грузом и оценку модуля упругости слоя, использованием установки динамического нагружения. Но необходимо найти решение ряда проблем, возникших в результате широкого внедрения этих новых методов, таких как:

- требуется разработка индивидуальных настроек для каждого устройства, так как современные устройства разрабатываются разными компаниями и имеют разные компоненты;

- устройства с разными импульсными измерительными приборами (акселерометры, геофонические датчики) и разными условиями их позиционирования представляют разные значения в одинаковых условиях;

- различные факторы, влияющие на результаты работы устройства (такие как неровности почв, температура, влажность и т. д.), препятствуют широкому использованию устройств.

Важнейшей же из вышеупомянутых проблем, основанной на анализе литературы [2, 3], является влажность грунта, которая влияет на плотность грунта и меняет ее механические свойства.

Результаты, приведенные в данной статье, основаны на эксперименте, работы по которому проводились на небольшом испытательном участке и на участке новой автомобильной дороги, соединяющей автодороги М396 и 4Р12 с ПК36 до ПК58 в г. Ташкенте, чтобы обследовать влияние влаги на плотность

грунта и модуля упругости. В этих испытаниях модули упругости «Terratest 5000 BLU LWD» и «ПДУ-МГ4 УДАР» использовались для определения динамического модуля упругости грунта.

Небольшая экспериментальная площадка расположена на территории лаборатории ООО НПП «Асфальтобетон». Основные физические свойства материала, используемого для приготовления модели слоя: естественная влажность, оптимальная влажность, максимальная плотность, граница текучести и граница раскатывания и число пластичности – определяются в лабораторных условиях.

Основные физические свойства грунта, использованные при изготовлении модели слоев, определялись по ГОСТу 5180–84 и ГОСТу 22733–2002 (таблица 1).

**Таблица 1 – Физические свойства испытуемого грунта**

Тип грунта	$W_{\text{опт}}$ , %	$\rho_{\text{max}}$ , г/см <sup>3</sup>	$W_{\text{тек}}$ , %	$W_{\text{рас}}$ , %	Число пластичности
Супесь	18	1,76	26,6	20,20	6,4

После определения физических свойств грунта грунт был увлажнён и уплотнение закончилось. Эксперимент проводился на небольшой площадке с размером 1×1×0,3 м. На небольшой экспериментальной площадке на 5 точках с использованием модулей упругости «Teratest 5000 BLU LWD», «ПДУ-МГ4 УДАР» был определен модуль упругости грунта. Процесс определения модуля упругости основан на методах, описанных в руководстве по эксплуатации [4, 5].

После того, как модуль упругости был определен в 5 точках, в каждой точке плотность грунта определялась по методу режущего кольца, образцы отбирались для определения влажности грунта в лаборатории. Полученные результаты испытаний физико-механических свойств грунта приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Основные физико-механические параметры модели слоя**

№	Влажность (в лабораторных условиях), %	Плотность (по методу режущего кольца), г/см <sup>3</sup>	Коэффициент уплотнения	Модуль упругости (ПДУ-МГ4 Удар), МН/м <sup>2</sup>	Модуль упругости (Terratest 5000 BLU), МН/м <sup>2</sup>
1	13,1	1,70	0,97	102	39,8
2	12,3	1,63	0,93	97	30,6
3	12,7	1,63	0,93	90	30,2
4	9,8	1,62	0,92	75	22,4
5	9,3	1,61	0,91	66	25,9

На основании данных, представленных в таблице 2, была определена сле-

дующая регрессионная зависимость между двумя результатами, полученными с использованием модуля упругости «Terratest 5000 BLU LWD» и «ПДУ-МГ4 УДАР» (рисунок 1).

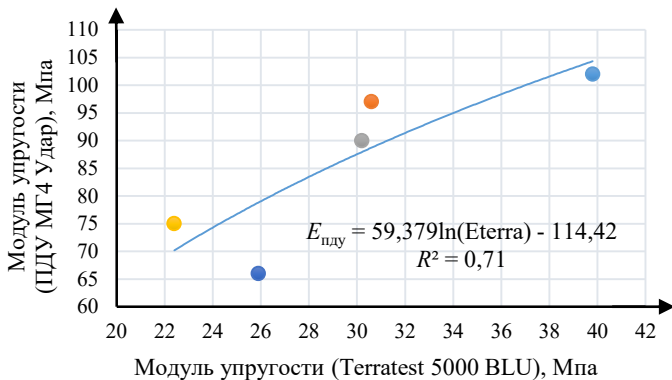


Рисунок 1 – График регрессионной зависимости между результатами устройств ПДУ-МГ4 Удар и Terratest 5000 BLU

По данным таблицы 2 был построен график влияния влажности грунта на величину его модуля упругости и коэффициента уплотнения, а также определена множественная регрессионная зависимость между тремя факторами (рисунок 2).

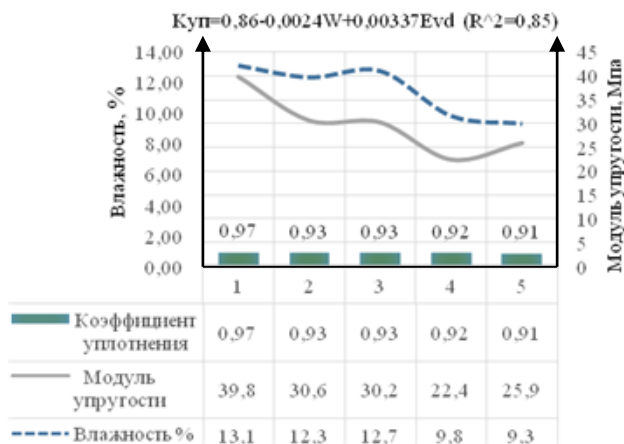


Рисунок 2 – График влияния влажности грунта на величину его модуля упругости и коэффициента уплотнения

Работы по определению коэффициента уплотнения грунта также проводились на новой автомобильной дороге, соединяющей автодороги М39б и 4Р12 в г. Ташкенте. В то же время в 14 точках земляного полотна модуль упругости был определен с использованием Terratest 5000 BLU LWD, плотность грунта определялась с помощью метода режущего кольца, а основные физические свойства образцов, взятых с грунта земляного полотна, определялись в лабораторных условиях. Значения модуля упругости, плотности и влажности грунта земляного полотна, определенные в 14 точках на строительной площадке, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические показатели определены в 14 точках на строительных площадках

Номер точки	Влажность (в лабораторных условиях), %	Коэффициент уплотнения	Модуль упругости (Terratest 5000 BLU), МН/м <sup>2</sup>
1	13,0	1,01	44,6
2	9,6	0,68	11,1
3	9,4	0,74	29,5
4	10,9	0,89	24,0
5	9,6	0,78	33,0
6	10,2	0,80	16,6
7	10,0	0,76	16,7
8	10,2	1,04	52,2
9	11,3	0,71	22,2
10	13,1	0,92	30,6
11	12,3	0,92	39,8
12	12,7	0,97	30,2
13	9,8	0,93	22,4
14	9,3	0,93	25,9

На основании данных, приведенных в таблице 3, был построен график регрессии между коэффициентом уплотнения и модулем упругости земляного полотна (рисунок 4).

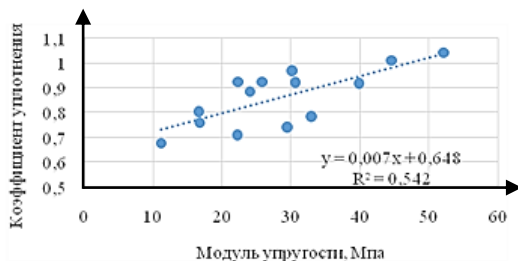


Рисунок 4 – График регрессионной зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем упругости

Из графика, показанного на рисунке 4, можно сделать вывод, что зависимость между коэффициентом уплотнения и модулем упругости является слабой ( $R^2 = 0,54$ ), поэтому трудно оценить коэффициент уплотнения грунта с ее модулем упругости.

В программе MS Excel при использовании данных из таблицы 3 для определения взаимосвязи между тремя показателями было выявлено множество регрессионных взаимосвязей между модулем упругости, влажностью и коэффициентом уплотнения (рисунок 5).

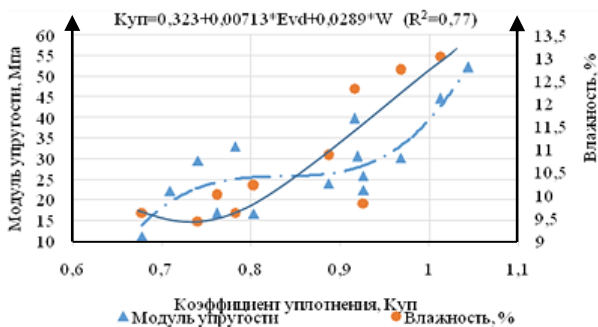


Рисунок 5 – График регрессионных взаимосвязей между модулем упругости, влажностью и коэффициентом уплотнения грунта

На рисунке 5 показана взаимосвязь между коэффициентом уплотнения модуля упругости и влажности грунта, а также обнаруженным уравнением зависимости регрессии с использованием программного обеспечения MS Excel. Здесь видно, что коэффициент достоверности регрессионной зависимости составляет  $R^2 = 0,77$ .

На основе результатов испытаний на небольшом испытательном участке около лаборатории и строительной площадки, коэффициент достоверности регрессионной зависимости составил  $R^2 = 0,71$  между результатами прибора Terratest 5000 BLU и ПДУМГ-4 УДАР, между коэффициентом уплотнения и модулем упругости составил  $R^2 = 0,54$ , а между коэффициентом уплотнения модуль упругости и влажности грунта составил  $R^2 = 0,77$ . Все полученные зависимости были определены в случае, когда влажность грунта была ниже оптимального значения.

Подводя итог, можно сказать, что учет влажности грунта при определении коэффициента уплотнения по ее модулю упругости повышает надежность и точность полученных результатов. Следовательно, необходимо выполнить вышеупомянутые испытания в разных грунтах и при разных условиях влажности, а также разработать рекомендации по определению коэффициента уплотнения по модулю упругости с учетом влажности грунта.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Arora, K. R.** Soil mechanic sand foundation engineering / K. R. Arora // Standard Publisher Distributors : Dehli, 2004. – P. 357. – ISBN:81-8014-028-8.
- 2 **Zhang, J.** Evaluation of mechanistic-based compaction measurements for earthwork QC/QA : Master thesis / Iowa State University Digital Repository, 2010.
- 3 **Tehrani, F. S.** Comparison of Density-Based and Modulus-Based in Situ Test Measurements for Compaction Control / F. S. Tehrani, F. Vahedifard // Article in Geotechnical Testing Journal, May 2012.
- 4 Evaluation of the Lightweight Deflectometer for In-Situ Determination of Pavement Layer Moduli / M. Shabbir Hossain [et al.] // Final Report VTRC 10–R6, March 2010.
- 5 “TERRATEST 5000 BLU” Instruction Manual, October 2014 TERRATEST GmbH.
- 6 Измерители модуля упругости грунтов и оснований дорог ПДУ-МГ4 : Руководство по эксплуатации 7360-028-2010 РЭ. – Челябинск, 2010.

УДК 691.5.:666.943

## ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО РАСТВОРА

*Э. С. СОТТИКУЛОВ* (докторант)

Научный руководитель – д-р техн. наук *М. У. КАРИМОВ*

*Ташкентский институт инженеров транспорта, Республика Узбекистан*

Исследованы деформационно-прочностные и физико-механические свойства геополлимерного бетона. Получено геополлимерное вяжущее на основе золоуноса и золашлака Ангренского ТЭС. Исследовано влияние дозировки разрубленного базальтового волокна на механические свойства геополлимерной композиции. Установлена зависимость прочности при сжатии, изгибе, энергии разрушения и плотности от дозировки фибры в различные сроки твердения.

В настоящее время одним из путей устойчивого развития является разработка эффективных строительных материалов. Актуальным трендом является расширение производства бесцементных вяжущих с низкими затратами энергетических и природных минеральных сырьевых ресурсов и использованием побочных продуктов и отходов промышленности. Наиболее интенсивно ведутся исследования по разработке щелочеактивированных материалов, которые отличаются от клинкерных вяжущих химическим и минеральным составом; эффективностью в решении проблем ресурсо- и энергосбережения и отсутствием выбросов загрязняющих окружающую среду веществ, в том числе CO<sub>2</sub>; широким диапазоном сырьевой базы; повышенной стойкостью к воздействию атмосферной коррозии, химических сред, высокой температуры и радиации; широтой номенклатуры материалов на их основе и областей применения.

Исследователи [1] особенно подчеркивают экономические и экологические преимущества щелочеактивированных материалов (другое название – геополимеры), к классу которых относятся и разрабатываемые высококремнеземистые материалы на жидкостекольном связующем.

Если обратиться к истории технологии, то в 1930-е гг. щелочь изначально использовалась для проведения ускоренных тестов реакции доменного гранулированного шлака с портландцементом. В 1940 г. Артур Пурдон [2] обнаружил, что при добавлении щелочей в шлак образуется новое быстротвердеющее вяжущее. В 1957 г. В. Д. Глуховский [3] разработал шлакощелочные вяжущие и бетоны для применения в строительстве.

Разработка и применение геополимерных вяжущих и бетонов на сегодня рассматривается в качестве наиболее перспективного направления поиска ресурсосберегающей и экологически оптимальной альтернативы портландцементу [4]. Основу таких вяжущих составляют термически обработанные алюмосиликатные горные породы, промышленные отходы – золы и шлаки, твердение которых активируется щелочными соединениями или кислотами.

Согласно литературным данным [5], один из серьезных недостатков цементных вяжущих – это повышенная капиллярная пористость цементного камня и его щелочность ( $\text{pH} > 13,0$ ), которые создают условия для взаимодействия с окружающей средой (карбонизации, растворения), что может привести к разрушению цементного камня. На этом основании некоторые исследователи говорят о невысокой прочности и долговечности цементных вяжущих. Щелочеактивированные материалы, напротив, рассматриваются как наиболее долговечные в силу значительных отличий в химическом, минералогическом и фазовом составе [6]. При создании щелочеактивированных вяжущих моделируются процессы формирования минералов земной коры и камнеподобных горных пород, а именно цеолитов, устойчивых к воздействию атмосферных факторов.

Важными в настоящее время являются вопросы экономии энергии, необходимой для производства различных строительных материалов. Количество энергии, требующейся для производства бетонов, оказывается минимальным по сравнению с количеством энергии (приведенной к единому эквиваленту), необходимой для изготовления стали, алюминия, стекла, кирпича, пластмасс. Производство бетонных материалов, помимо этого, требует меньшего по сравнению с производством стали расхода воды и в меньшей степени влияет на загрязнение окружающей среды. Армирование бетонов приводит к соответствующему повышению энергоемкости материала. Так как применение армированных сталью бетонов осуществляется в широких масштабах, становится существенной проблемой максимальное сокращение расхода металла и наиболее рациональное его использование в бетоне [7].

Кроме преимуществ, геополимерные строительные материалы имеют и некоторые недостатки, к числу которых относятся повышенная усадка, хруп-

кость, низкая прочность на изгиб [8]. Эффективным способом устранения отмеченных недостатков является использование дисперсного армирования. Исследования различных видов фибры показывают, что полипропиленовая фибра относится к числу наиболее эффективных материалов для дисперсного армирования [9]. Однако имеются противоречивые данные о влиянии этого вида фибры на прочностные характеристики геопалимерных материалов. Отмечается [10], что одной из причин снижения прочности бетона на сжатие при использовании такой фибры может являться ее неравномерное распределение, повышение объема вовлеченного воздуха. Некоторые авторы [10] считают, что эффективная дозировка полипропиленовой фибры находится в пределах от 0,3 до 2 % по объему.

В настоящей работе проводились сравнительные исследования влияния базальтовой фибры на характеристики растворов на основе геопалимерных вяжущих – прочность при сжатии и изгибе, ударной прочности, а также плотности.

Для изготовления геопалимерного вяжущего использован измельченный золоунос и золошлак (в соотношении 1:3) – отходы Ангренского ТЭС, строительный песок как инертный наполнитель. Для активации твердения вяжущего использован щелочной активатор на основе жидкого стекла. Активатор представляет собой гидроксид натрия, жидкого стекла, органического модификатора, кремнийсодержащей добавки, пластификатора на основе полиакрилатов и воды.

Количество активатора в геопалимерном вяжущем составляет 20 % от веса твердого вещества. В качестве армирующей добавки применено предварительно разрушенное базальтовое волокно длиной до 6 мм, которое производится в ООО «DXO BAZALT» города Навои. Фибра вводилась в приготовленную растворную смесь в дозировке 0,20, 0,60 и 1 % от массы сухого ингридиента.

Для исследования прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) и изгибе ( $R_{из}$ ) изготовлены образцы размером 40×40×160 мм, для ударной прочности – образцы цилиндров диаметром ( $d$ ) и высотой ( $h$ ) 36 мм. Геопалимерные образцы твердели в нормальных условиях в течение 1 суток и проведена термообработка до 120 °С, продолжительность термообработки составляет 8 ч. Прочность при сжатии и изгибе определена по методике, принятой для цементных образцов по ГОСТ 310.4–81.

Оценка ударной прочности по показателю энергии разрушения произведена на копре КИ. Энергия разрушения ( $E_p$ ) определялась как отношение суммарной работы, отнесенной к площади разрушения образца ( $hd$ ).

Исследования показали, что базальтовое волокно значительно ухудшает текучесть смеси. Расплыв на встряхивающем столике при объемном содержании добавки 1 % уменьшается до 135 мм, в то время как у контрольного бездобавочного состава этот показатель составляет 162 мм. Это обусловлено бо-

лее высокой вязкостью вяжущего теста с дисперсным волокном и увеличением объема вовлеченного воздуха, что подтверждается данными по плотности составов в таблице 1.

**Таблица 1 – Свойства геопалимерных растворов с различным содержанием базальтовой фибры**

Объемное содержание фибры, %	$R_{изг}$ , МПа		$R_{сжт}$ , МПа		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	$E_p$ , кДж/м <sup>2</sup>	Относительная энергия разрушения, %
	14	28	14	28			
	сут						
0	2,4	4,5	12	23,8	2270	3,4	100
0,20	2,6	5,0	12,3	24,3	2227	6,0	175
0,60	2,9	5,6	13,8	27	2226	8,1	245
1,00	3,5	6,4	16,2	28	2217	9,8	298

Как видно из результатов таблицы, добавка фибры повышает прочность при изгибе, а прочность при сжатии повышается только в начальные сроки твердения.

Для ускоренной оценки возможного снижения прочностных характеристик смесей с добавкой фибры в результате ее частичного разрушения под действием щелочной среды геопалимерного камня исследовано влияние выдержки образцов при повышенной температуре (до 120 °С) в течение 8 часов, при температуре в 50 °С с выдержкой 4 часа, а при 80 °С – 3 часа, затем прогрев в течение 1 часа при температуре 120 °С. Результаты показали, что изменение прочностных характеристик при такой выдержке не зависит от дозировки фибры, что свидетельствует о высокой стойкости фибры к воздействию щелочей.

Анализ значений энергии разрушения геопалимерного раствора показал, что введение фибры позволяет повысить последнего более чем в 2,7 раза. Геопалимерные образцы в отличие от цементных обладают меньшей хрупкостью, что делает их более стойкими к воздействию переменных и постоянных нагрузок.

Исследованиями установлено, что механические свойства геопалимерных растворов – прочность при изгибе, энергию разрушения – можно повысить за счет введения в состав базальтового волокна, который сдерживает разрушение материала. Установленные зависимости прочности при сжатии, изгибе, энергии разрушения и плотности от дозировки базальтовой фибры в различные сроки твердения могут учитываться при проектировании конструкций из геопалимерного бетона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Provis, J. L. Advances in understanding alkaliactivated materials / J. L Provis, A. Palomo, C. Shi // Cement and Concrete Research. – 2015.

- 2 **Purdon, A. O.** L'action des alcalis sur le laitier de haut-fourneau / A. O. Purdon // Journal de la Soci t des Industries Chimiques. – Bruxelles, Belgium, 59. 1940. – P. 191–202.
- 3 **Glukhovskiy, V. D.** Soil silicates. Their Properties, Technology and Manufacturing and Fields of Application, Doct. Tech. Sc. Degree thesis. Civil Engineering Institute. – Kiev. – 1965.
- 4 **Davidovits, J.** Geopolymer Chemistry and Applications / J. Davidovits. – 4th ed. – Saint Quentin : Geopolymer Institute, 2015. – P. 644.
- 5 **Provis, J. L.** Alkali-activated materials / J. L. Provis // Cement and Concrete Research. – 2017.
- 6 **Zhang, J.** Durability of alkali-activated materials in aggressive environments: A review on recent studies / J. Zhang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2017. – T. 152. – P. 598–613.
- 7 Применение фибробетона в железобетонных конструкциях / И. В. Белоусов [и др.] // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона» [Электронный ресурс]. – 2017. – № 4.
- 8 **Ranjbar, N.** Mechanisms of interfacial bond in steel and polypropylene fiber reinforced geopolymer composites / N. Ranjbar [et al.] // Composites Science and Technology. 2016. – № 122. – P. 73–81.
- 9 **Страданченко, С. Г.** Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства / С. Г. Страданченко, М. С. Плешко, В. Н. Армейсков // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона» [Электронный ресурс]. – 2013. – № 4.
- 10 **Richardson, A. E.** Compressive strength of concrete with polypropylene fibre additions / A. E. Richardson // Structural survey. – 2006. – Vol. 24. – № 2. – P. 138–153.

УДК 625.76.08

## КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИРОДЕ И ДОРОЖНЫХ МАШИНАХ

*М. Р. ТАДЖИХОДЖАЕВА, Н. Г. ОБИДОВ*

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *Р. У. ШУКУРОВ*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Статья посвящена актуальному исследованию биомеханического моделирования, которое позволяет наиболее экономично дать представление об оперативном и удобном объекте познания конструктивных систем в природе и технике. В работе предлагается модель, которая указывает характер функционирования системы рабочего органа дорожных машин.

Методология биомеханического моделирования позволяет наиболее экономично дать представление об объекте, цели и способе действий. Биомодель, несмотря на ряд присущих ей ограничений, является оперативным и удобным объектом познания и исследования конструктивных систем в природе и дорожных машинах [3].

Наиболее эффективным считается комбинированный метод моделирования в исследовании, который позволяет сочетать изучение систем на моделях с производственным экспериментом. Представление результатов системного анализа моделями различного вида и назначения является новым перспективным методом исследования и характера функционирования, а также оценки эффективности конструктивных систем [1].

Биомеханические модели, которые основываются на принципах бионики, в исследованиях формируются для получения соответствующих знаний, выявления механизмов протекания процесса взаимодействия со средой и др. Оценка процессов осуществляется для выявления характеристик, свойств, возможностей, производительности сравнения и др. Подготовка решений содержит в своей структуре оценки альтернатив, выработку новых альтернатив, подготовку базового варианта решения [2].

Можно без преувеличения сказать, что оценка альтернативных моделей, доведенная в процессе эволюции после многовекового отбора до самой высокой степени совершенства, существует в живой природе.

Применение моделей основано на следующих соображениях. Согласно определению, система – это совокупность элементов, связанных общей функцией. Функционирование системы во времени подчиняется определенному ритму и последовательности, которые для нее характерны и могут быть точно описаны.

Нами предлагается блок схема, которая указывает характер функционирования системы рабочего органа дорожных машин (рисунок 1).

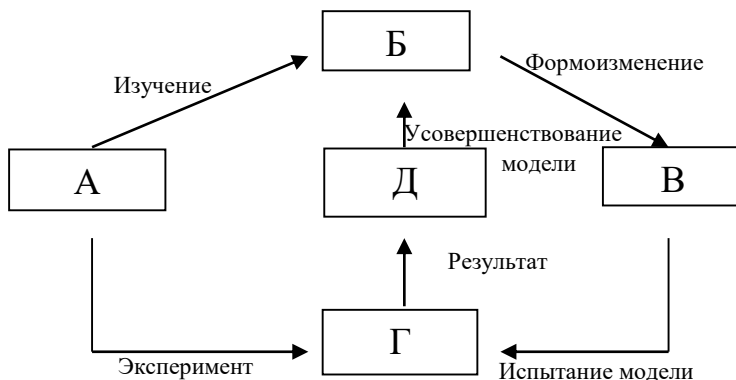


Рисунок 1 – Изучение конструктивных систем при помощи модели:

- А – изучаемая конструктивная система; Б – теоретическая система;
- В – модель (биомодель); Г – сравнение характеристик реальной системы;
- Д – усовершенствование модели на основе полученных результатов

Отдельные этапы работы показаны буквами, заключенными в рамки, а необходимая работа и результаты – стрелками в сочетании элементов (этапов и операций), организованных для достижения цели исследований.

На рисунке 1 показано, что мы от реальной модели А перешли к теоретической системе, созданной в результате глубокого изучения. На основе системы Б происходит упрощение, при необходимости схему можно дополнить гипотезой Д, степень точности которой будет подтверждена и учтена в дальнейшем. На этой стадии мы пытаемся заменить функциональный план, составленный на схеме, цифровыми обозначениями. Эту фазу можно назвать фазой формализации, она отражена в объекте В, который называют моделью.

В области бионики моделирование перекидывает мост через пропасть между инженерами и биологами. В биологии принято оценивать эффективность конструктивных схем живых организмов.

В биологии принято оценивать эффективность конструктивных схем живых организмов по несущей способности – отношением веса скелета организма к весу его тела. Это позволяет также установить влияние сил гравитации на формирование структуры и конструктивных форм живых организмов, обитающих в различных средах. Однако более объективным показателем эффективности биологических конструктивных систем можно считать соотношение между предельной нагрузкой и массой биологической конструкции или ее элемента.

Критерий  $K_c$  является силовой характеристикой биологической конструктивной системы. Он позволяет оценить степень совершенства объекта только по несущей способности и не затрагивает энергетическую область взаимодействия живого организма со средой обитания. Поэтому для оценки эффективности биологических конструктивных систем используется критерий  $K_3$ ,

$$K_3 = \frac{\Pi}{m}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  – производительность или объем механической работы в единицу времени, биологически выполненная объектом в связи с его жизнедеятельностью;  $m$  – масса тела биологического объекта.

В выражение для  $K_3$  не входит энергетический фактор, его место здесь занимает производительность, которая, в конечном счете, и определяет уровень эффективности использования биологической энергии и степени совершенства «рабочего органа» изучаемого живого объекта. Кроме того, использование критерия  $K_3$  позволяет избежать трудностей, связанных с непосредственным измерением величины энергозатрат биологического объекта на выполнение механической работы [4].

Простейший анализ показывает, что критерий  $K_3$  обладает очень важным свойством, которое в данных исследованиях имеет принципиальное значение. Это свойство заключается в инвариантности критерия  $K_3$  по отношению к

природе изучаемых конструктивных систем, т. е. в возможности его применения при энергетической оценке как живых, так и искусственных объектов. Так, у дорожных машин производительность и масса, так же как и у живых объектов, относятся к числу основных параметров, а их отношение показывает, насколько эффективно использован материал, из которого они изготовлены.

В проводимых исследованиях инвариантность критерия  $K_3$  была использована для обоснования метода биомеханического моделирования рабочих органов (или их элементов) дорожных машин. Этот метод формулируется нами в следующем виде: синтез рабочего органа (или его элементов) по совокупности всех характерных признаков роющего аппарата биологического прототипа, т. е. природного животного – землероя, наилучшим образом приспособившегося к среде обитания того региона, в котором предполагается эксплуатация создаваемого механизма [4].

На этапе исследований соответствующую модель и оригинал изготавливают из одинакового материала. Такую модель можно использовать для получения основных показателей функционирования рабочих органов (надежности, безотказности и долговечности, износостойкости).

На этапе системного анализа большой интерес представляют сведения, касающиеся более точной оценки технико-экономических показателей дорожных машин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Баловнев, В. И.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев. – М. : Высшая школа, 1981. – 335 с.
- 2 **Небел, Б.** Наука об окружающей среде / Б. Небел. – М. : Мир, 1993. – 424 с.
- 3 **Браун, Э. Д.** Критерии для оценки долговечности элементов трибосцепления / Э. Д. Браун, И. М. Петров, Г. В. Москвитин // Трение и износ, 1998. – Т.19. – № 2.
- 4 **Густов, Ю. И.** Биомеханическое моделирование в строительной технике / Ю. И. Густов, Р. У. Шукуров // Строительные материалы и оборудование технологии XXI века. – 2007. – № 12.



## ОСОБЕННОСТЬ ОЗЕЛЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ

*Ф. А. ТУРСУНБОВЕВ* (магистрант)

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *И. С. СОДИКОВ*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству*  
*и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Рассмотрена проблема озеленения автомобильных дорог в горных районах. Приведены основные требования к озеленению автомобильных дорог. Отмечены основные достоинства озеленения.

Высокие темпы развития экономики страны сопровождаются ростом автомобилизации, строительства автомобильных дорог, созданием благоприятных условий для водителей, пассажиров. Все это ставит перед учеными специалистами-дорожниками, ряд важных задачи по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог. Сегодня недостаточно обеспечивать технические показатели автомобильных дорог, необходимо думать и о комфортабельности и эстетических вопросах. Автомобильные дороги могут проходить через орошаемые земли, пустыни, равнинные и горные местности, и во всех этих местах нужно обеспечивать комфортабельность и эстетичность, которые в первую очередь важны для пользователей дорог. Строительство автомобильных дорог оказывает существенное влияние на естественную экосистему, нарушает ландшафт, элементы природы. Оптимизация процессов изменения и ландшафтное конструирование могут значительно снизить отрицательное влияние человеческого вмешательства в природу.

Водитель, управляющий любым видом автотранспорта должен доехать до места назначения быстро, безопасно и с максимальными удобствами. При этом определяющими факторами являются, помимо состояния дороги, климатические условия и озеленение вдоль дороги. Этим вопросам посвящен ряд исследований [1, 2].

На психологическое и физиологическое состояние водителя, а также на безопасность движения оказывает влияние расположение деревьев по отношению к проезжей части дороги.

Анализ статистики дорожно-транспортных происшествий (ДТП), связанных с наездом транспортных средств на препятствие, показывает, что чем больше его масса, тем больше частота и тяжесть последствия ДТП. Среди ДТП данного типа столкновение с деревьями занимает второе место. В ряде стран ДТП, связанные с наездом на деревья, составляют 4–5 % от их общего количества. По данным Франции, в среднем смертельные последствия при наездах на деревья бывают в 10,2 % ДТП, в то время как при других видах – только в

2,9 % ДТП. Тяжелые травмы водители и пассажиры получают соответственно в 39,3 % и 12,7 % ДТП. По данным российских ученых на последствия ДТП серьезное влияние оказывают диаметр ствола дерева и расстояние от края дороги до дерева [2].

Состояние придорожных растений не должно мешать работе водителей автомобилей, от этого во многом зависит удобство и безопасность проезда. Обеспечение видимости на поворотах, устранение однообразной картины, формирование привлекательных зрелищ вдоль прямого участка дороги – вот некоторые меры по вмешательству человека в состояние придорожных растений, деревьев и кустарников, которые могут защитить автомобили, водителей и пассажиров от отрицательного влияния ветра, снега и дождя, прямого попадания солнечных лучей, света фар встречных автомобилей [3].

В целом растения вдоль автомобильных дорог должны служить, помимо естественной красоты, безопасному и комфортабельному проезду и эстетичности дорог. При анализе выполненных исследований по озеленению и ландшафтному проектированию автомобильных дорог в горных районах определены следующие основные задачи озеленения:

- обеспечение безопасности движения;
- предотвращение ослепления солнечными лучами;
- защита от боковых ветров;
- защита от снежных лавин;
- защита от эрозий искусственных насыпей и горных склонов;
- гармоничное сочетание дорожных сооружений (мостов, эстакад, сооружений защиты от снежных лавин, ограждений снеговых задержек и др.) с ландшафтом окружающей среды;
- создание привлекательных пейзажей вдоль дороги и заграждений мест, которые выглядят неэстетично (для туристических поездок).

На горных дорогах для удобства водителей и пассажиров придают особое значение планированию и благоустройству кратковременных мест отдыха. Места кратковременного отдыха рекомендуется размещать перед природными родниками и в местах, где открывается красивый вид на горы. Озеленение автомобильных дорог в горных условиях с учетом климатических условий, существующих растений и окружающего ландшафта позволяет обеспечить удобство, комфортабельность движения, эстетичность дорог.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Оптимизация транспортного ландшафта в Крыму : сб. науч. тр. / Ю. В. Плугатарь [и др.]. – ГНБС, 2017. – Том 145.
- 2 **Батракова, А. Г.** Оценка влияния зеленых насаждений на безопасность дорожного движения / А. Г. Батракова // Вестник ХНАДУ. – 2009. – № 47. – С. 12–14.
- 3 **МШН 33-08** Указания по благоустройству и озеленению автомобильных дорог. Тошкент, 2008 г.

## ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПУЧЕНИЕ ПУЧЕНИСТЫХ ГРУНТОВ

*Ш. Р. ХАЛИМОВА, Ш. Б. АХМЕДОВ*

*Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Работа посвящается методам определения пученистых грунтов при воздействии влаги. Нам известно, что при пучении в инженерных сооружениях образуются неровности, трещины, осадки. Развитие пучения зависит от гранулометрического, минералогического состава, от поднятия уровня подземных вод (УПВ). При воздействии влаги на грунты и заложения подземных вод мы произвели анализ о показателях пучения и мероприятия против пучения в автомобильных дорогах.

В настоящее время строится очень много современных инженерных сооружений: автомобильные дороги, мосты, тоннели и различные здания. При прочности и устойчивости грунтов продлевается срок годности использования инженерных сооружений. Но при воздействии таких природных факторов, как атмосферные осадки и подземные воды, прочность грунтов уменьшается. Самые отрицательные водные свойства грунтов – это пучения. Пучение – это свойство грунта при его замерзании увеличиваться в объеме из-за наличия в воды, которая превращается в лед. Чем выше влажность грунта, тем больше пучение грозит грунту при морозе [1].

Пучение грунта представляет собой очень сложное природное явление, которое может привести к серьезным последствиям. Так, во время промерзания нижних слоев грунта фундамент вместе со строением подымается, тогда как при их оттаивании происходит их опускание. Поскольку пучению грунта свойственна неравномерность, то из-за этого постройки приходят в аварийное состояние, а в некоторых случаях такое явление способствует их полному разрушению [2].

В непученистых грунтах (крупных и средних песках, гравелистых грунтах) закладка фундамента не зависит от глубины промерзания. В супесях и мелких, пылеватых песках фундамент может быть заложен выше глубины промерзания, если от глубины промерзания грунта до уровня грунтовых вод не менее двух метров. По общему правилу, рекомендуется закладывать фундамент ниже глубины промерзания грунта. Процесс пучения в основном происходит в пученистых (глинистых, лессовых породах) грунтах. В этих грунтах имеются такие первичные минералы как кварц, полевоый шпат, а также второстепенные минералы группы каолинит, монтмориллонит, гидрослюда. Если в пученистах грунтах содержание группы монтмориллонита больше, при воздействии воды образуется пучение в зимний период. При пучении образуются осадки, деформации, трещины, а также неровности на автомобильных дорогах [5-6].

Пучение грунтов зависит от комплекса многочисленных факторов, происхождение и формирование которых связано с климатическими, гидрогеологическими, литологическими условиями распространения пучинистых грунтов в районах Узбекистана.

К основным природным факторам, количественно характеризующим интенсивность пучения грунтов, относятся: гранулометрический, минералогический и химический состав грунта, его водно-физические свойства и глубина залегания грунтовых вод в период промерзания, плотность грунта и степень его охлаждения, зависящая от температуры воздуха и теплоизоляции на поверхности грунта в зимний период.

Деформирование грунтов обусловлено их осенним (предзимним) увлажнением, на которое оказывает влияние круглогодичный цикл изменения влажностного режима, зависящий от климатических и гидрогеологических условий места обследования.

Основными источниками увлажнения пучинистых грунтов в природных условиях служат жидкие атмосферные осадки и подземные (грунтовые и почвенные) воды, залегающие на достаточно близком расстоянии от поверхности грунта. О количестве атмосферных осадков, выпадающих в осенний период, судят по долгосрочным прогнозам гидрометеослужбы.

При глубоком залегании уровня подземных вод (УПВ) или их отсутствии источником увлажнения грунтов могут быть атмосферные осадки, выпадающие в виде дождей в летне-осенний период.

В районах, где в осенний период выпадает большое количество осадков (как, например, в средней полосе и северной части Узбекистана), грунты перед промерзанием, как правило, водонасыщены, что обуславливает их высокую интенсивность пучения. В районах с умеренным или незначительным количеством осенних осадков, где ощутим большой дефицит влажности воздуха, пучение грунтов, в основном, обуславливается высоким залеганием грунтовых вод.

Наиболее распространенным путем увлажнения грунтов сезонно-промерзающего слоя грунтовыми водами является капиллярное передвижение воды в пределах капиллярного поднятия от зеркала грунтовых вод. Изменение положения УПВ влечет соответствующее перемещение каймы капиллярного поднятия, зона которой в зависимости от состава и сложения грунтов может достигать 3–3,5 м.

Интенсивность пучения грунтов повышается при наличии подземных вод в пределах слоя сезонного промерзания или близком расположении их к границе промерзания. При увеличивающейся с глубиной предзимней влажности интенсивность пучения однородных по составу грунтов приближается к равномерной или несколько возрастает по мере продвижения границы промерзания. В условиях равномерного увлажнения однородного грунта при глубоком залегании грунтовых вод или их отсутствии интенсивность пучения с глубиной понижается [3–4].

Условия, когда подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов сезоннопромерзающего слоя, зависят от глубины залегания УПВ перед началом промерзания, состава, сложения и глубины промерзания грунтов.

Ориентировочное минимальное расстояние между полной глубиной сезонного промерзания и предзимним положением УПВ, при котором эти воды не оказывают влияния на увлажнение промерзающего грунта, для основных видов грунтов приведено в таблице 1 [3].

*Таблица 1 – Влияние УПВ на увлажнение пученистых грунтов*

Наименование грунтов	Минимально безопасное для увлажнения промерзающих грунтов расстояние от их подошвы до УПВ, м
Глины с монтмориллонитовой и иллитовой основой	3,5
Глины с каолинитовой основой, суглинки, в том числе пылеватые	2,5
Супеси, в том числе пылеватые	1,5
Пески мелкие и пылеватые	1,0

Годовой цикл колебаний УПВ в районах с сезонным промерзанием грунтов обычно имеет следующий характер.

Весной УПВ поднимается с началом снеготаяния и достигает своего наивысшего положения в течение непродолжительного времени после протавивания грунтов сезонно промерзшего слоя. В последующий весенне-летний сезон УПВ постепенно снижается, сопровождаясь кратковременным поднятием или замедлением спада грунтовых вод в периоды выпадения атмосферных осадков. С наступлением осеннего дождливого периода УПВ поднимается и в зависимости от количества выпавших осадков может достигать высоких отметок. В период устойчивого промерзания грунтов УПВ неизменно понижается вплоть до достижения своего нижайшего положения в конце зимы.

Режим почвенных вод (верховодка) в течение года весьма неустойчив. Имея сезонный характер, эти воды зависят прежде всего от гидрометеорологических условий. В осенний период дожди пополняют запасы верховодки, а в отдельных случаях и вызывают ее появление. Наиболее часто верховодка образуется в морозоопасных грунтах-суглинках, тяжелых супесях и лессовидных породах, в которых она может существовать продолжительное время. Преимущественным местом образования верховодки являются равнинные участки с плохо обеспеченным поверхностным стоком, блюдца, западины, бессточные котловины.

Промышленное освоение площадей и застройка территории при водят в процессе эксплуатации зданий и сооружений к нарушению природного гидрогеологического режима грунтов, в связи с чем изменяется и влажность оснований, требующая специальных методов прогноза при оценке промерзания и пучения грунтов.

Повышение влажности может происходить в результате: подъема УПВ, прогнозируемого согласно [3]; накопления влаги в поверхностных слоях грунтов за счет нарушения природных условий ее испарения вследствие застройки и асфальтирования территории, устройства водонепроницаемых отстоков и т. п.

При оценке морозоопасности грунтов по их влажностному режиму, помимо определения средней влажности немерзлого грунта  $W$  в пределах сезонно промерзающего слоя и содержания незамерзшей воды  $W_w$ , в промерзшем грунте следует выявлять следующие расчетные показатели влажности, характеризующие начальные условия и интенсивность пучения грунтов:

- $W_{pr}$  – влажность предела пучения немерзлого грунта;
- $W_{cr}$  – критическая влажность пучения немерзлого глинистого грунта;
- $W_{mg}$  – миграционная влажность (удельное миграционное влагонакопление);
- $W_{act}$  – предел активной влажности немерзлого глинистого грунта.

Влажность предела пучения  $W_{pr}$  характеризует такое предельно стабильное состояние немерзлого грунта трехфазной системы (скелет + вода + воздух), при котором заполнение воздушных пор льдом в процессе кристаллизации воды не вызывает возможного увеличения объема грунта.

Критическая влажность пучения  $W_{cr}$  характеризует такое предельно стабильное состояние немерзлого глинистого грунта, при котором содержание связанной воды практически не влияет на ее подвижность в промерзающем и нижележащем талом грунте. Критическая влажность  $W_{cr}$  при  $\rho_s = 2,7 \text{ т/м}^3$  может быть определена по рисунку 1 на основе исходных данных о водно-физических свойствах грунта.

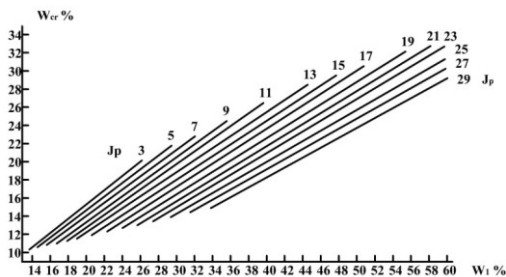


Рисунок 1 – Значение критической влажности  $W_{cr}$  в зависимости от числа пластичности  $I_p$  предела текучести грунта  $W_L$  (при  $\rho_s = 2,7 \text{ т/м}^3$ )

Существует несколько способов решения проблемы пучения дорог:

- замена пучинистого грунта на слой щебня определенной толщины под асфальтобетон;
- проведение работ по отведению воды при возможном затоплении и подтоплении в результате таяния снегов либо после аварий коммуникаций;

– защита дренирующего слоя от засорения геотекстильным фильтрующим полотном (геотекстиль дорнит).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Ташходжаева, Ш.** Влияние пучения на автомобильные дороги и меры против них / Ш. Ташходжаева, Ш. Р. Халимова // Сборник трудов межвузовской научно-практической конференции одарённой молодежи, посвящ. 24-й годовщине независимости Республики Узбекистан. – Ташкент : ТАДИ (22–23 мая 2015 г.). – С. 194–195.

2 **Чернышева, И. А.** К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения / И. А. Чернышева, А. В. Мащенко // Вестник ПНИПУ: Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7. – № 1. – С. 39–46.

3 Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1986. – 72 с.

4 Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах // Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова. – М. : Стройиздат, 1979. – 39 с.

5 **Соколова, О. В.** Оценка морозоопасности крупнообломочных грунтов с пыле-ватоглинистым заполнителем / О. В. Соколова, Н. Б. Горковенко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1997. – № 2. – С. 11–15.

6 **Грицык, В. И.** Земляное полотно железных дорог / В. И. Грицык. – М. : Маршрут. – 2005. – 245 с.

УДК 515.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДПОРНЫХ СТЕН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

*Р. ХОДЖАЕВ (145-17)*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Р. У. СИНДАРОВ*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству*  
*и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Рассматривается проблема выбора конструкции подпорных стен для каждого конкретного случая с учетом рационального ее расположения в пределах откоса насыпи (выемки) автомобильной дороги. Процесс проектирования занимает относительно большой объем, особенно в местностях с большими уклонами, что требует значительных трудозатрат и материалов. Поэтому проблема снижения стоимости и трудоемкости этих конструкций путем оптимального проектирования весьма актуальна. Также в работе сделана попытка поиска эффективной методики проектирования подпорных стен.

Процесс проектирования сборных тонкостенных железобетонных конструкций включает большое число задач, имеющих геометрическую природу:

вычисление объемов и площадей, определение параметров формы и положения при соблюдении ряда ограничений. Кроме того, это неразрывно связано с задачей унификации сборных элементов ПС, которая сводится к минимизации числа различных типозащитных элементов при ограничениях, наложенных на изменения габаритов элементов. При этом рассматривается плоскостная оптимизационная задача – аппроксимация проектной линии (верха) ПС ломаной (в основном ступенчатой) с минимальным числом звеньев, включающих максимальное число однотипных элементов при ограничении на высотные параметры этих элементов.

Процесс проектирования ПС является достаточно сложным не только по постановке задачи, но и по многообразию вариантов решений. Он занимает относительно большой объем, особенно в местностях с большими уклонами, что требует значительных трудозатрат и материалов. Поэтому проблема снижения стоимости и трудоемкости этих конструкций путем оптимального проектирования весьма актуальна.

Важную роль при повышении эффективности устройства ПС играет применение сборной технологии, которая позволяет повысить производительность труда за счет высокой индустриализации изготовления сборных элементов, экономии затрат труда и времени на сооружения опалубки. Однако при этом возникает проблема унификации сборных элементов, которая, в свою очередь, зависит от положения проектной линии ПС.

К настоящему моменту накопилось большое число типов ПС как по конструкции (массивные, тонкостенные, облегченные, анкерные и т. д.), так и по материалу, из которого они возводятся (каменные, бетонные, бутобетонные, железобетонные и др.). Применительно к современным автомобильным дорогам в нашей республике, а также в республиках СНГ наиболее употребимы тонкостенные сборные железобетонные ПС, обладающие высоким уровнем индустриальности.

Однако широкое применение сборной технологии при устройстве ПС связано с некоторыми затруднениями. В частности, при проектировании ПС на участке дороги с продольным уклоном возникают трудности, связанные с унификацией типозащитных элементов, т. е. изменение высоты ПС требует расчленения ее на сборные элементы.

Процесс оптимального геометрического проектирования ПС выбранного конструктивного варианта начинается с выделения в границах откоса земляного полотна дороги т. н. зоны оптимального расположения (ЗОР), в пределах которой размещается ПС в соответствии с заданной системой ограничений.

На криволинейных участках дороги, имеющих продольный уклон, проектная линия ПС может представлять собой пространственную кривую, что усложняет задачу унификации ПС. В таких случаях унификацию можно проводить на развертке по внешней грани ПС, что позволяет заменять проектную линию, имеющую сложную форму более простыми плоскими кривыми (например, кривыми 2-го порядка).



В зависимости от формы бровки земляного полотна дороги проектная линия ПС может иметь различные очертания: горизонтальная и наклонная прямая; ломаная; ступенчатая ломаная; плоская или пространственная кривая.

Задача унификации элементов ПС, как и других объектов, сводится к минимизации числа типозащитных элементов при ограничениях, наложенных на изменение габаритов элементов и на погрешности их взаимного расположения.

При разбиении криволинейной проектной линии ПС на унифицированные элементы возникает задача аппроксимации ее ломаной с заданной длиной звеньев при допустимом изменении разности высот узлов ломаной. В данном случае горизонтальные проекции звеньев ломаной  $\Delta x_i$  представляют длины секций ПС, которые включают в себя целое число одинаковых элементов, а разность высот ломаной  $\Delta h_i$  – разность высот по верхней грани соседних секций ПС, которая имеет определенный интервал изменения.

Предел изменения величины  $\Delta h_i$  зависит от многих факторов (технологических, конструктивных, грунтово-геологических и архитектурных), что определяется в каждом конкретном случае проектирования. Поэтому величина  $\Delta h_i$  может быть постоянной для секций ПС или изменяющейся.

Идентичные задачи затрагивались ранее в работах [1–4], посвященных в основном проектированию и унификации элементов различных конструкций, в т. ч. строительных.

В перечисленных работах рассматриваемая задача разбиения кривой на участки в вышеприведенной постановке не ставилась. Решение данной задачи (см. далее) можно рассмотреть на примерах разбиения дуги окружности и параболы (то же, что и аппроксимация их ступенчатой ломаной) на участки как заданной, так и произвольной длины.

1 Пусть в плоской системе координат  $xOz$  задана окружность с центром на оси  $Oz$  и проходящая через начало координат  $O$  (рисунок 1)

$$x = \sqrt{z(2R - z)}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус окружности.

Взяв на ней некоторую точку  $M(x, z)$ , предположим, что  $OM$  является тем участком заданной кривой, который подлежит разбиению (аппроксимации). Координаты точки  $M(x, z)$  в зависимости от изменения угла  $\alpha$  равны

$$\Delta x = \sin\alpha R, \quad \Delta z = R - \cos\alpha R. \quad (2)$$

Предположим, что вначале рассматривается случай, когда  $\Delta z$  разбивается на  $n$  равных частей и, в зависимости от этого, находятся длины горизонтальных участков, которые определяются из выражения

$$\Delta x_i = \sqrt{z_i(2R - z_i)} - \sum_{i=1}^{j-1} \Delta x_i, \quad (3)$$

где  $j$  – порядковый номер участка;

$\sum_{i=1}^{j-1}$  – сумма длин всех предыдущих участков.

Задавая радиусу окружности  $R$  различные значения по формуле (2), можно определить соответствующие значения  $\Delta x$  и  $\Delta z$ , из которых  $\Delta x$  является областью определения функции (3). Разделяется каждое значение  $\Delta z$  на  $n$  равных частей, для которых определяются соответствующие длины участков  $\Delta x_j$  по формуле (3). В таблице 1 приведены результаты расчета, когда  $n = 5$ .

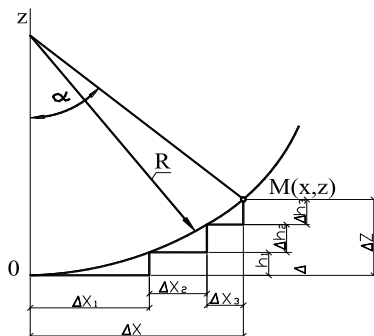


Рисунок 4 – Разбиение кривой на участки

Таблица 1 – Результаты расчета, когда  $n = 5$

$R, \text{ м}$	5,0	10,0	15,0	18,0
$\Delta x$	3,53	7,07	10,6	12,72
$\Delta z$	1,45	2,93	4,36	5,27
$\Delta h$	0,299	0,59	0,87	1,02
$\Delta x_1$	1,67	3,35	5,03	6,71
$\Delta x_2$	0,66	1,32	1,98	2,63
$\Delta x_3$	0,48	0,96	1,45	1,93
$\Delta x_4$	0,39	0,77	1,14	1,53
$\Delta x_5$	0,31	0,64	0,97	1,28
$\Delta x_{\text{max}}$	2,33	4,67	7,01	9,34

Выбор рациональных участков  $\Delta x_j$  осуществляется по условию, которое принято в качестве ограничения на минимальную длину  $\Delta x_j$  из конструктивных соображений,

$$\eta = \frac{\Delta x_j}{\Delta h_j} > 2,0. \quad (4)$$

Из таблицы 1 видно, что условию (4) удовлетворяют только значения  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$ , сумма которых является искомым участком заданной дуги окружности, т. е.

$$\Delta x_{\text{max}} = \sum_{j=1}^n \Delta x_j^{\text{рац}}, \quad (5)$$

где  $\Delta x_j^{\text{рац}}$  – значения  $\Delta x$ , которые удовлетворяют условию (4).

Если конечной целью решения задачи является определение значения  $\Delta x_{\max}$ , то его можно найти по следующей формуле, избегая лишних расчетов:

$$\Delta x_{\max} = \sqrt{2(R \Delta h_j - \Delta z^2)}. \quad (6)$$

В рассмотренном выше примере недостатком является то, что полученные  $\Delta x_j$  невозможно разделить на заданный модуль. Поэтому условие задачи следует изменить, например, задавая различные значения  $\Delta x_j$ , кратные некоторому модулю. Следовательно, можно найти соответствующие значения  $\Delta h_j$ .

Значения  $\Delta h_j$  определяются из выражения

$$\Delta h_j = \left( \sqrt{R^2 - \left( \Delta x_j + \sum_{i=1}^{j-1} \Delta x_i \right)^2} \pm R \right) - \sum_{i=1}^{j-1} \Delta h_i. \quad (7)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2. В каждом отдельном случае задания  $R$  из таблицы 2 выбираются те значения  $\Delta x_j^{\text{пан}}$ , которые удовлетворяют условию (4). В таблице 2 эти значения  $\Delta x_j$  выделены жирно.

Таблица 2 – Результаты расчета по определению значения  $\Delta x_{\max}$

$R, \text{ м}$	5,0		10,0		15,0		18,0	
$\Delta x$	3,53		7,07		10,6		12,72	
$\Delta z$	1,45		2,93		4,36		5,27	
$\Delta x_j$	$\Delta x_j$	$\Delta h_j$	$\Delta x_j$	$\Delta h_j$	$\Delta x_j$	$\Delta h_j$	$\Delta x_j$	$\Delta h_j$
$\Delta x_1$	<b>3,0</b>	<b>1,0</b>	<b>3,0</b>	<b>0,46</b>	<b>4,0</b>	<b>0,54</b>	<b>5,0</b>	<b>0,7</b>
$\Delta x_2$	1,0	1,0	<b>2,0</b>	<b>0,87</b>	<b>2,0</b>	<b>0,71</b>	<b>5,0</b>	<b>0,71</b>
$\Delta x_3$			1,0	0,61	<b>1,5</b>	<b>0,75</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>
$\Delta x_4$					1,0	0,64	1,5	1,08
$\Delta x_5$								
$\Delta x_{\max}$	3,0		5,0		7,5		9,5	

Итак, при каждом значении  $R$  сумма участков дает максимальную длину  $\Delta x_{\max}$  на заданной дуге окружности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бадаев, Ю. И. Аппроксимация плоских кривых ломаной линией / Ю. И. Бадаев, В. И. Залевский // Прикл. геометрия и инж. графика. – 1976. – Вып. 21. – С. 105–108.

2 Мемари, Дж. Проектирование архитектурных оболочек в виде отсеков поверхностей вращения разнотипными элементами : дис. ... канд. техн. наук / Дж. Мемари. – К., 1933. – 145 с.

3 Раковицан, А. Н. Проектирование железобетонных инженерных сооружений / А. Н. Раковицан, В. Б. Сафронеев, В. П. Лисеев. – К. : Госстройиздат, 1962. – 367 с.

4 Сафронеев, И. В. Формообразование поверхностей оболочек из унифицированных элементов с учетом плоскостной аппроксимации сетей пакетирования : дис. ... канд. техн. наук / И. В. Сафронеев. – К., 1987. – 186 с.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЯ  
И ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТРАТ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ РОВНОСТИ  
В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ**

*Б. А. ХОЛИКОВ* (магистрант)

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *И. С. САДИКОВ*  
*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Рассмотрены вопросы прогнозирования ровности покрытия, транспортных затрат, зависимости модуля упругости дорожной одежды, интенсивности движения и начальной ровности покрытия.

Из опыта зарубежных государств известно, что особое внимание уделяется обеспечению высокого показателя первоначальной ровности во время строительства, потому что чем выше будут показатели первоначальной ровности автомобильных дорог, тем меньше деградация состояния покрытия от влияния грузовых автомобилей. В период проектирования, строительства и эксплуатации существующих автомобильных дорог требуется строгое соблюдение используемых нормативов, внесения в них изменения, а также усовершенствование для обеспечения высокого уровня ровности покрытия [2, 5].

Продольная ровность влияет на скорость движения автомобиля, ее ухудшение обуславливает увеличение расхода топлива, ускорение износа шин автомобиля, рост затрат на ремонт агрегатов транспортного средства.

Ухудшение продольной ровности дорожного покрытия ускоряет процесс разрушения конструкции дорожной одежды. Сначала неровности поверхности проезжей части вызывают вертикальные колебания автомобилей, увеличивая нагрузку на конструкцию дорожной одежды, в неровностях задерживается вода при выпадении осадков, что приводит к локальному снижению прочности при водонасыщении материалов дорожной одежды. Из этого следует, что чем лучше показатели продольной ровности, тем медленнее будут развиваться процессы образования и накопления повреждений в слоях дорожной одежды [1].

Анализ исследований показывает, что все зависимости, выражающие изменение ровности во времени, в своём большинстве эмпирические, полученные в результате статистической обработки экспериментальных данных. Следовательно, применение их ограничено регионом исследований и для более широкого их использования требуется каждый раз проводить почти весь комплекс экспериментальных исследований для установления параметров, входящих в эти зависимости. Кроме того, в зависимостях использованы показа-

тели различных толчкомеров, установленных на разных типах автомобилей. Но самым главным недостатком установленных ранее зависимостей является то, что они не учитывают влияние начальной ровности на процесс её последующего изменения. Известно, что чем больше начальных неровностей на покрытии, тем значительнее происходит процесс деградации ровности. Такой вывод подтверждён многими исследователями, в частности [6, 7, 8 и др.].

Профессором О. А. Красиковым предложена математическая модель прогнозирования ровности дорожного покрытия, которая учитывает начальную ровность покрытия, общий модуль упругости дорожной одежды, интенсивность движения, прирост интенсивности движения (1) [3]:

На дорожных одеждах капитального типа:

$$IRI_t = IRI_0 \left\{ 1 + \left[ \begin{aligned} & \left( 7,088 \cdot 10^6 E_{\min}^2 - 0,0049 E_{\min} + 0,815 + \right) \\ & + \left( 0,0394 - 0,000123 E_{\min} \right) k_a n_p N_1 \frac{q^t - 1}{q - 1} \end{aligned} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $IRI_0$  и  $IRI_t$  – международный индекс ровности дорожных покрытий в начальный год и прогнозируемый год, м/км;  $E_{\min}$  – минимальный с заданной надежностью модуль упругости дорожной одежды, МПа;  $n_p$  – количество дней в году (365 дней);  $N_1$  – исходная интенсивность движения в первый год, авт./сут;  $q$  – коэффициент изменения интенсивности движения транспорта;  $k_a$  – коэффициент, учитывающий переход единицы измерения на млн авт.,  $k_a = 10^{-6}$ .

Исходные данные для прогнозирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

$N_1$ , авт./сут	Изменение $q$			Модуль $E_{\min}$ , МПа			$IRI_0$ , м/км
4000	1,06			230			1,15
7000							2,31
15000							1,15
							2,0
			230	260	290	1,8	
	1,06	1,1	1,15	230			2,31

При варьировании интенсивностью движения транспорта от 4000 до 15000 авт./сут деградация состояния покрытия заметно изменяется. Отличия значений ровности по крайним сценариям к шестому году составляет: а)  $IRI_0 = 1,15 \dots 0,43$  м/км (1,35–1,78 м/км); б)  $IRI_0 = 2,31 \dots 0,85$  м/км (2,72–3,57 м/км), или 31 % (рисунок 1).

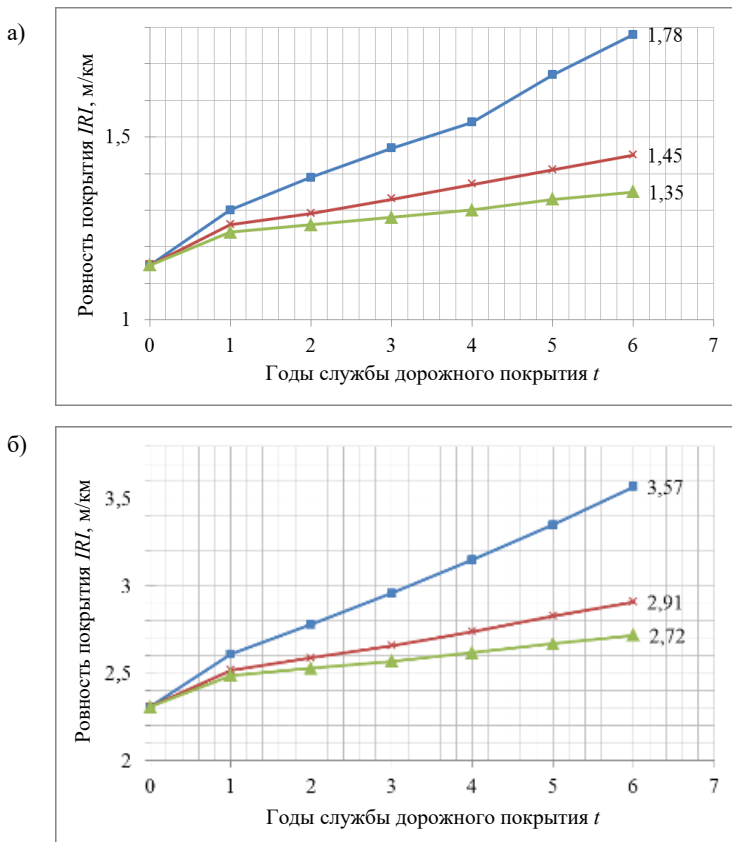


Рисунок 1 – Изменение ровности покрытия на дороге I категории в зависимости от интенсивности движения:

$a - IRI_0 = 1,15$  м/км;  $b - IRI_0 = 2,31$  м/км.

1 –  $N_1 = 4000$  авт./сут; 2 –  $N_2 = 7000$  авт./сут; 3 –  $N_3 = 15000$  авт./сут

При начальной ровности 2,0 м/км, к шестому году она будет составлять 2,97 м/км, т. е. ухудшение ровности составит 0,97 м/км (рисунок 2). Если в период строительства был допущен брак и дорогу сдали в эксплуатацию с начальной ровностью 2,5 м/км (см. рисунок 2, кривая 3), то на шестой год она составит 3,72 м/км, т. е. ухудшится на 1,22 м/км. Это подтверждает гипотезу о том, что чем больше начальных неровностей на покрытии, тем быстрее происходит процесс деградации ровности во времени. В случае повышения качества устройства дорожного покрытия с доведением начального значения ровности до 1,15 м/км на 6-й год она составит 1,78 м/км (см. рисунок 2, кривая 1), т. е. ухудшение составит всего 0,63 м/км.

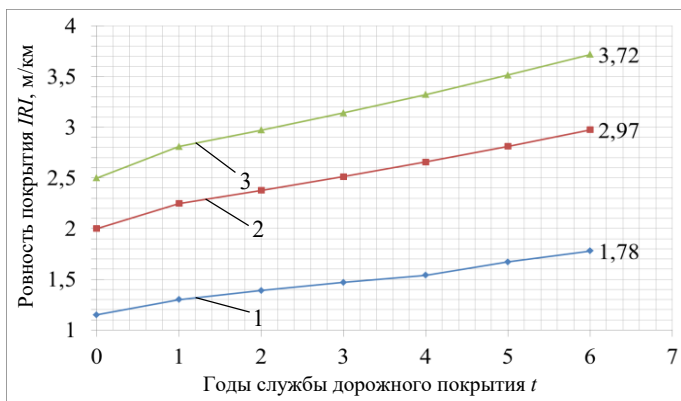


Рисунок 2 – Изменение ровности покрытия на дороге I категории в зависимости от начальной ровности в период эксплуатации:  
 1 –  $IRI_0 = 1,15$  м/км; 2  $IRI_0 = 2,0$  м/км; 3  $IRI_0 = 2,5$  м/км

Модуль упругости также заметно влияет на процесс изменения ровности дорожного покрытия во времени. При варьировании от 230 до 290 МПа значения ровности к шестому году отличаются на 0,62 м/км (2,06–2,68 м/км), или на 33 % (рисунок 3).

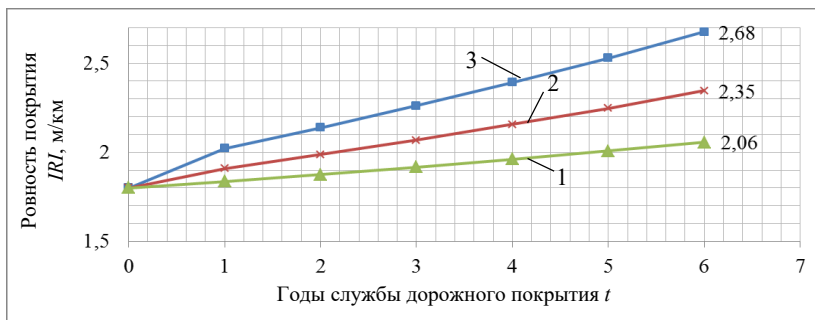


Рисунок 3 – Изменение ровности покрытия на дороге I категории в зависимости от модуля упругости дорожной одежды в период эксплуатации дорог:  
 1 –  $E = 290$  МПа; 2 –  $E = 260$  МПа; 3 –  $E = 230$  МПа

При изменении значений  $q$  от 1,06 до 1,15 отличие ровности по крайним сценариям к шестому году составляет всего 0,12 м/км (2,91–3,03), или всего 4 % (рисунок 4).

Таким образом, начальная ровность дорожного покрытия существенно влияет на процесс её дальнейшего изменения при прочих равных условиях. Это свидетельствует о том, что при строительстве и ремонте дорог следует уделять должное внимание повышению качества покрытия по ровности,

которое окупает себя в эксплуатационных затратах и транспортных расходах (увеличение межремонтного периода, увеличение скорости движения и снижение себестоимости перевозок) [3].

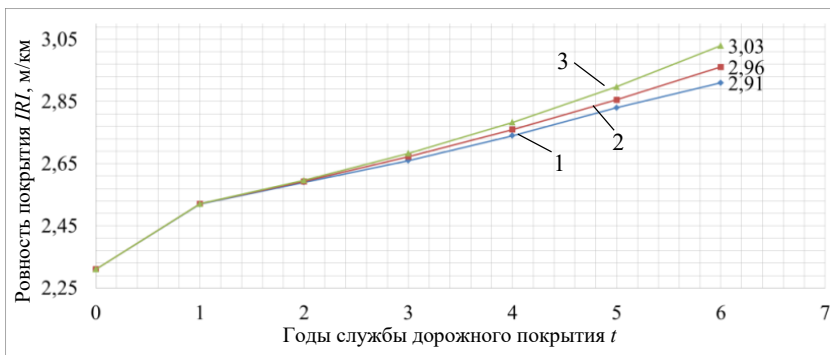


Рисунок 4 – Изменение ровности покрытия на дороге I категории в зависимости от коэффициента прироста интенсивности движения в период эксплуатации дорог: 1 –  $q = 1,06$ ; 2 –  $q = 1,10$ ; 3 –  $q = 1,15$

По данным исследований, проведенных Всемирным банком (The World Bank) в странах Восточной Европы, в результате увеличения показателя *IRI* (International Roughness Index – международный показатель ровности) от 2 м/км до 10 м/км себестоимость движения легкового автомобиля увеличивается примерно в 1,5 раза [1].

Также проанализированы затраты дорожных пользователей в зависимости от ровности покрытия согласно международному индексу *IRI*.

Транспортные эксплуатационные затраты во многом зависят от ровности покрытия. Для прогнозирования транспортно-эксплуатационных затрат использовали формулу, разработанную Всемирным Банком [9],

$$TЗ = e^{(a+bIRI)}, \quad (2)$$

где ТЗ – средние транспортные затраты (ф. ст. на 1000 авто-км);  $a$  и  $b$  – постоянные значения, зависящие от вида транспорта (таблица 2).

Таблица 2 – Значения коэффициентов  $a$  и  $b$

Тип транспорта	$a$	$b$
Легковой автомобиль	5,634	0,06814
Малый грузовой автомобиль	6,337	0,06516
Средний грузовой автомобиль	6,165	0,06766
Автопоезд	6,889	0,05116

Результаты расчета средних транспортных затрат при различных исходных данных представлены в таблицах 3 и 4.



Таблица 3 – Расчет транспортных затрат в зависимости от влияния ровности покрытия

<i>IRI</i>	ТЗ (легковой автомобиль)	ТЗ (малый грузовой автомобиль)	ТЗ (средний грузовой автомобиль)	ТЗ (автопоезд)
1,15	302,58	609,07	514,30	1040,89
2	320,62	643,75	544,74	1087,15
3	343,23	687,10	582,87	1144,22
4	367,43	733,36	623,68	1204,28
5	393,35	782,73	667,34	1267,49
6	421,08	835,44	714,05	1334,03

Таблица 4 – Транспортные затраты при интенсивности движения

<i>IRI</i> , м/км	Затраты дорожных пользователей, \$ на 1000 авто-км			
	$N_1 = 7000$	$N_2 = 10000$	$N_3 = 15000$	Среднее значение
1,15	3536,20	5051,70	7577,55	5388,50
2	3740,21	5343,16	8014,74	5699,37
3	3995,45	5707,77	8561,66	6088,30
4	4268,17	6097,39	9146,08	6503,88
5	4559,61	6513,73	9770,59	6947,98
6	4871,05	6958,64	10437,96	7422,55

Как видно из рисунка 5, с увеличением показателя ровности *IRI* покрытия пропорционально увеличиваются затраты дорожных пользователей.

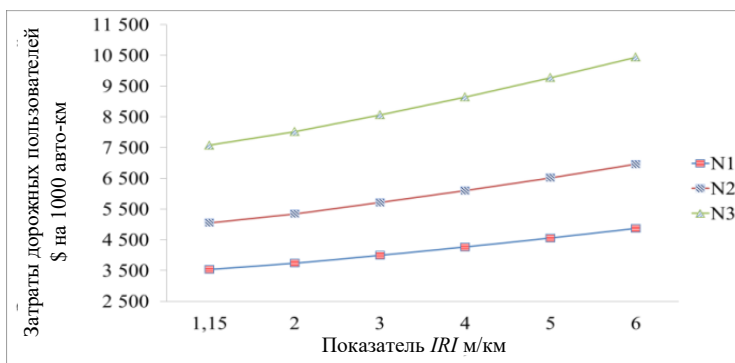


Рисунок 5 – Зависимость затрат пользователей дорог от изменения ровности дорожного покрытия

Суммируя вышеизложенные анализы, можно сделать следующие выводы:

1 Начальная ровность покрытия оказывает существенное влияние на процесс деградации состояния покрытия во времени. Чем выше показатель начальной ровности, тем в меньшей степени она ухудшается во времени при прочих равных условиях.

2 Чем выше показатель начальной ровности, тем больше межремонтный срок службы дорожного покрытия, тем меньше затраты дорожных пользователей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Носов, В. П.** Анализ влияния начальной продольной ровности дорожного покрытия на интенсивность ее ухудшения / В. П. Носов, И. А. Осипов, А. Б. Волков // Дороги и мосты. – 2015. – Вып. 34. – С. 235–246.

2 **Содиқов, И. С.** Автомобиль йўлларини таъмирлаш лойиҳаси босқичида қоплама равоңлигини таҳлили/ И. С. Содиқов, А. Г. Юнусов, Б. А. Холиқов // Вестник ТашИИТ. – № 4, 2018. – С. 70–75.

3 **Красиков, О. А.** Новые математические модели прогнозирования ровности дорожных покрытий / О. А. Красиков // Дороги и мосты. – 2016. – Вып. 35/1. – С. 138–160.

4 **Красиков, О. А.** О требованиях к ровности дорожных покрытий в период эксплуатации / О. А. Красиков, К. В. Могильный // Дороги и мосты. – 2014. – Вып. 31/1. – С. 122–136.

5 **ОДМ 218.11.001-2015.** Методические рекомендации по учету увеличения динамического воздействия нагрузки по мере накопления неровностей и определению коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности. – М., 2015. – 82 с.

6 **Исмаилходжаев, А. И.** Оценка ровности дорожного покрытия автомобильных дорог Узбекистана / А. И. Исмаилходжаев // Строительство и архитектура Узбекистана. – Ташкент. – № 3. – 1972.

7 **Бутлицкий, Ю. В.** Прочность дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием в условиях жаркого и засушливого климата / Ю. В. Бутлицкий, Б. М. Беккер, Б. Б. Каримов // Совершенствование методов проектирования дорожной одежды нежесткого типа : тр. СоюздорНИИ. – 1983. – С. 87–101.

8 **Красиков, О. А.** Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог / О.А. Красиков. – Алматы : КазгосИНТИ, 2004. – 263 с.

10 **Юнусов, А. Г.** Автомобиль йўллари қопламаси равоңлигини баҳолаш услубини такомиллаштириш: дис. ... канд. техн. наук : 05.09.02 : 13.03.19 / А. Г. Юнусов. – Т., 2019. – 134 с. – Библиогр.: С. 122–124.

## ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ: ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ

*Е. Г. ХОМЕНКО, А. Е. ПОРТНОЙ (С-42)*

Научный руководитель – ст. преп. *И. П. ДРАЛОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассмотрено применение методики лазерного сканирования при производстве инженерно-геодезических изысканий для ремонта автомобильных дорог. Также даны рекомендации выполнения полевых работ по наземному лазерному сканированию для повышения точности измерений и эффективности геодезических работ в целом.

На современном этапе развития отраслей планирования, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений начинают активно внедряться методы трехмерного проектирования, которые, в свою очередь, требуют применения новейших технологий и методик выполнения инженерно-геодезических изысканий, отвечающих за достоверность и оперативность определения трехмерных геодезических данных [1, 2].

Чем точнее, объективнее и полнее отображается реальное состояние объекта, тем точнее принимаются инженерами и проектировщиками решения по выбору методов, направленных на достижение поставленных целей. Таким образом, сводится к минимуму степень ошибочности принимаемого решения [3].

Одним из методов, отвечающих данным требованиям, является лазерное сканирование (ЛС), обоснование возможности использования которого приведено в статье [4].

Современные методы определения ровности покрытия, такие как измерение просвета под трехметровой рейкой, нивелирование, измерения при помощи толкочметра и профилометра не позволяют увидеть всей картины о состоянии дорожного полотна.

Использование метода лазерного сканирования позволяет обеспечить получение полной информации о всей поверхности дорожного полотна без образования пробелов в результатах измерений, которые допускают упомянутые выше методы. Получение таких данных достигается за счет тотальной съемки.

Для увеличения точности проводимых измерений могут приниматься следующие изменения в программе полевых работ:

- сокращение интервалов между станциями внешнего ориентирования (до 200 м);
- закрепление НЛС непосредственно на штатив, установленный на земной поверхности, а не на крыше автомобиля;

- увеличение количества специальных марок на станции внешнего ориентирования до 8 штук;
- обеспечение выполнения полевых работ при одних погодных условиях;
- выполнение полевых работ в ночное время.

Доказано, что точность сканирования с одной станции достигает 1,5 мм [5]. Исходя из этого, можно уверенно говорить о том, что при соблюдении определенной методики полевых измерений и камеральной обработки данных лазерное сканирование обеспечивает достаточную точность не только для создания топографических планов, но и для определения ровности дорожного покрытия.

*Лазерное сканирование при инженерных изысканиях.* Инженерные изыскания для проектирования строительства и реконструкции методом мобильного лазерного сканирования особенно эффективны для реконструкции на открытой местности. Это связано с тем, что в этом случае выполнение как полевых работ, так и последующая обработка данных для получения исходной модели существующей дороги наиболее эффективны. При новом строительстве зачастую затруднен проезд лазерного сканера по интересующей местности. В закрытой местности существенно ухудшаются условия приема сигналов ГЛОНАСС/GPS, что негативно сказывается на точности. Результатом лазерного сканирования для проектов строительства и реконструкции должны становиться не просто облака точек, а исходная SD-модель местности в виде ЦМР (триангуляционной) и модели существующей дороги в виде трёхмерных структурных линий.

*Лазерное сканирование при строительном контроле.* Вопрос применимости технологии лазерного сканирования для строительного контроля остается открытым. На текущий момент не существует нормативно-правовой базы для применения лазерного сканирования в строительном контроле. Возможен вариант тотальной съемки объектов строительства лазерным сканером (которая позволит оперативно и дешево получить достоверную, но не имеющую правового статуса «карту» соответствия выполненным работ), и в дальнейшем на выявленных некачественных участках проведение стандартной процедуры строительного контроля, уже имеющей правовой статус.

*Лазерное сканирование при исполнительной съемке.* Использование лазерного сканирования при исполнительной съемке показывает высокую эффективность, так же как и лазерное сканирование при инженерных изысканиях для реконструкции на существующих дорогах. В то же время в результате такой исполнительной съемки должна получаться SD-модель автомобильной дороги, которая содержит и элементы проектных изысканий (ЦММ, структурные линии дороги), и все элементы инженерного обустройства (что характерно для этапа лазерного сканирования при обновлении баз дорожных данных и паспортизации).

*Лазерное сканирование при управлении содержанием.* Периодическое лазерное сканирование при управлении содержанием может дать хороший эффект для контроля исполнения текущих ремонтов, планирования и контроля выполнения шероховатой поверхностной обработки.

Как и для проектирования ремонтов, плюсы здесь – высокая эффективность, точность объемов, сравнение поверхностей до и после ремонта. Существенной оговоркой контрольной функции лазерного сканирования при оценке объемов (как и в строительном контроле) является то, что лазерное сканирование де-юре здесь не истина в последней инстанции, но при сплошной съемке эффективно выявляет места с нарушениями объемов работ, которые можно затем «точно» зафиксировать в установленном порядке.

*Лазерное сканирование при паспортизации.* Под съемкой для паспортизации мы понимаем особый вид съемки, который не требует высочайшей абсолютной точности, но требует охвата всех элементов дороги и придорожной полосы. Материалы такой съемки могут применяться как собственно для паспортизации, так и для инвентаризации имущественного комплекса и для проектирования организации дорожного движения.

При обновлении баз дорожных данных (паспортизации) необходимо также выполнять панорамную видеосъемку, применение которой при оцифровке материалов существенно повысит их семантическую информативность. Результатом работ должна становиться информационная SD-модель автомобильной дороги, пригодная для включения ее в ГИС автомобильных дорог или инфраструктуру дорожных данных [6].

В результате сканирования определены следующие возможности применения наземного лазерного сканирования при контроле строительства и ремонта автомобильных дорог:

- документирование состояния дорожного полотна с представлением отчетных материалов в виде трехмерных моделей и чертежей (горизонтальные сечения, продольный и поперечные профили);
- проектирование строительства и ремонта;
- контроль объемов строительства и ремонта, точный учет затраченных материалов.

Из вышеописанного можно сделать вывод, что чем полнее отображены геометрические данные исследуемого объекта, тем качественнее и точнее будут приниматься проектные решения.

В заключение стоит отметить, что метод лазерного сканирования позволяет выполнить построение цифровой векторной трехмерной модели, максимально близкой к фактической поверхности. В зависимости от поставленной перед инженерами задачи, точность наземного лазерного сканирования может варьироваться от 1,5 до 10 мм. Такие данные дают возможность значительно повысить качество проектирования автомобильных дорог.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Каранеева, А. Д.** Применение лазерного сканирования при инженерно-геодезических изысканиях / А. Д. Каранеева, О. В. Старостина, Е. А. Панасенко // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов : материалы междунар. науч.-техн. инт.-конф. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://kadastr.org/conf/2013/pub/infoteh/lazer-skan-izyskan.htm>. – Дата доступа: 05.02.2019.
- 2 **Карпик, А. П.** Информационная система построения инфраструктуры геопространственных данных для автомобильных и железных дорог / А. П. Карпик, А. В. Никитин // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 7–15.
- 3 **Никитин, А. В.** Оптимальные методы построения инфраструктуры геопространственных данных для транспортных коридоров : [монография] / А. В. Никитин. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015. – 159 с.
- 4 **Середович, В. А.** Обоснование возможности использования лазерного сканирования в инженерных изысканиях линейных сооружений / В. А. Середович, И. С. Камнев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 2. – С. 153–156.
- 5 **Середович, В. А.** Применение наземного лазерного сканирования для контроля строительства и капитального ремонта автомобильных дорог / В. А. Середович [и др.] // Гео-Сибирь. – Новосибирск, 2010. – Т. 1. – № 3. – С. 69–72.
- 6 **Мотуз, В. О.** Применение лазерного сканирования и 3D-моделей в жизненном цикле автомобильных дорог / В. О. Мотуз, Д. С. Сарычев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 1 (2). – С. 12–15.

УДК 539.4, 624.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

*В. К. ЧЕРНЫХ* (аспирант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *И. И. ОВЧИННИКОВ*  
*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,*  
*Российская Федерация*

Статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния и оценке долговечности нагруженной фермы, работающей в условиях коррозионного износа. Предлагается алгоритм, который может применяться для прогнозирования долговечности металлических конструкций транспортных сооружений.

Конструкции мостов и других транспортных сооружений эксплуатируются в различных климатических регионах. На мосты и сооружения в процессе эксплуатации действуют статические и динамические нагрузки (собственный вес, транспорт, пешеходы, ветер и др.), температурные условия, раз-

личные жидкие агрессивные среды. Это пресные речные воды (в зоне опор мостов), грунтовые воды, атмосферные осадки в виде дождей, туманов, промышленные водные стоки, щелочные и кислые среды и т. п. [1], а также минеральные вещества и соли, которые входят в состав антигололедных материалов [2–5].

Металлические конструкции мостовых сооружений весьма разнообразны. Из стали, помимо пролетных строений, изготавливаются лестничные сходы, барьерные и перильные ограждения, деформационные швы и даже опоры.

Одним из самых простых и распространенных пролетных строений является балочное (рисунок 1). Оно применяется как в автодорожных, так и в железнодорожных мостах.

Коррозионные процессы в металлоконструкциях мостовых сооружений можно классифицировать по характеру разрушения поверхности:

- сплошная коррозия, при которой агрессивная среда действует на поверхность элементов конструкции равномерно и сопровождается уменьшением толщины сечения элемента конструкции;
- местная коррозия обусловлена локальным повышением уровня агрессивности среды и развивается на отдельных участках;
- язвенная коррозия, при которой на поверхности металла образуются поражения в виде язв, глубина и поперечные размеры которых составляют до нескольких миллиметров [2].

Для перекрытия пролетов в железнодорожных мостах широкое применение нашли пролетные строения с решетчатыми фермами. Данные пролетные строения наиболее распространены в отечественном мостостроении [5]. Узлы мостовых ферм (рисунок 2) являются наиболее уязвимым местом в пролетных строениях.



Рисунок 1 – Коррозия верхнего пояса балки пролетного строения автодорожного моста через р. Белую в г. Уфе



Рисунок 2 – Коррозия в узле фермы железнодорожного моста

Также стоит отметить такой дефект, как нарушение целостности антикоррозионного покрытия как в процессе длительной эксплуатации (рисунок 3), так и при его устройстве.

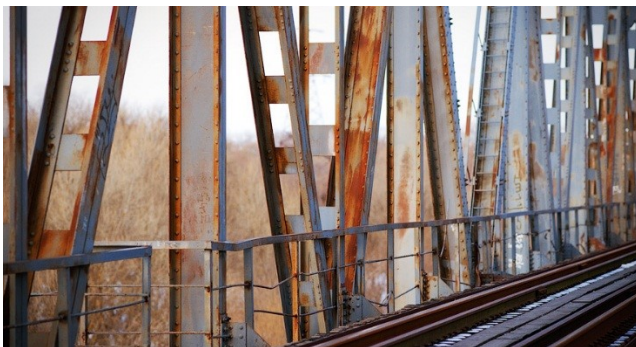


Рисунок 3 – Нарушение целостности антикоррозионного покрытия

Существует необходимость в правильном определении рациональных параметров и срока эксплуатации многоэлементных мостовых конструкций, работающих в агрессивных средах. В связи с этим одним из наиболее перспективных, а зачастую и единственно возможным является подход, основанный на развитии существующих и создании новых моделей и методов проектирования и расчета конструкций, подвергающихся коррозионному износу [6–8].

Рассмотрим некоторую ферму, нагруженную произвольной системой нагрузок, с произвольными граничными условиями, состоящую из  $N$  стержней произвольного поперечного сечения, часть которых работает на растяжение, часть – на сжатие. Конструкция эксплуатируется в агрессивной среде, вызывающей коррозионный износ. Долговечность конструкции определяется моментом выхода из строя какого-либо ее элемента, то есть условиями вида:

$$\begin{cases} \sigma_i(t) \leq [\sigma]; & i = \overline{1, N} \\ \sigma_j(t) \leq \sigma_j(t); & j \in J. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $\sigma_i(t)$  – напряжение в  $i$ -м элементе;  $[\sigma]$  – предельно допустимое значение напряжения;  $\sigma_j(t)$  – критическое напряжение потери устойчивости;  $J$  – множество стержней, работающих на сжатие.

Для описания характера влияния агрессивной среды будем для определенности использовать модель:

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0 [1 + k \sigma_{eq}] \quad (2)$$

где  $\delta$  – параметр поврежденности сечения (глубина коррозии),  $t$  – время;  $v_0$  – скорость коррозии ненапряженного элемента;  $\sigma_{eq}$  – эквивалентное напряжение.

Если для расчета фермы используется метод конечных элементов (МКЭ), то изменяющиеся с течением времени геометрические параметры КЭ могут быть представлены в виде матрицы  $N$  размерностью  $n \times N$ , где  $n$  – максималь-



ное число параметров сечения [9]. Принимая в качестве параметра коррозии величину параметра поврежденности  $\delta$ , систему  $N$  дифференциальных уравнений, описывающую процесс накопления повреждений конструкции, представим в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\delta_1}{dt} = v_0 [1 + k\sigma_1(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N)] \\ \frac{d\delta_2}{dt} = v_0 [1 + k\sigma_2(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N)] \\ \dots\dots\dots \\ \frac{d\delta_N}{dt} = v_0 [1 + k\sigma_N(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_N)] \end{array} \right. \quad (3)$$

Система (3) является связанной и может быть решена только численно. Одним из наиболее очевидных решений, которые позволили бы повысить эффективность алгоритма, является использование неравномерного шага по времени; в данном случае его можно рассматривать как убывающую функцию числа итераций. Остается открытым вопрос о виде такой функции. Рассмотрим подход к решению системы (3), отличающийся от традиционного.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\delta_1}{dt} = v_0 [1 + k\sigma_1(\delta_1)] \\ \frac{d\delta_2}{dt} = v_0 [1 + k\sigma_2(\delta_2)] \\ \dots\dots\dots \\ \frac{d\delta_N}{dt} = v_0 [1 + k\sigma_N(\delta_N)] \end{array} \right. \quad (4)$$

Теперь каждое уравнение системы (4) может быть решено независимо от других, причем для его решения нет необходимости в численных методах решения задачи Коши. Так как промежуток времени  $\tau$  известен, то, зная НДС конструкции в начальный момент времени, можно определить значение параметра поврежденности  $\delta_i$ , соответствующее моменту времени  $\tau$ . Затем, как и в традиционных алгоритмах, происходит пересчет геометрических параметров сечений элементов:

$$H_{ij}^s = H_{ij}^{s-1} - \delta_i; \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Далее решается задача МКЭ, в результате чего происходит учет перераспределения внутренних усилий в стержневых элементах конструкции, и процесс повторяется требуемое число раз. Число итераций, в отличие от известных алгоритмов, является параметром вычислительной процедуры, а долговечность конструкции определяется следующим образом:

$$t^* = \sum_{s=1}^n t^s, \quad (6)$$

Рассмотрим теперь постановку задачи, когда долговечность конструкции определяется, кроме ограничений по прочности и устойчивости, еще и ограничениями по жесткости, то есть по перемещению какого-либо узла (или нескольких узлов) в каком-либо направлении:

$$U_{kl} \leq [f]; \quad k = \overline{1, r}; \quad l = \overline{1, L}. \quad (7)$$

где  $U$  – матрица перемещений узлов конструкции;  $r$  – число узлов;  $L$  – число степеней свободы узла;  $[f]$  – предельное перемещение.

Рассмотрим теперь в качестве объекта исследования статически неопределимую плоскую ферму (рисунок 4). К узлу фермы приложена сила  $P$ , направленная горизонтально. Характеристики материала конструкции и агрессивной среды полагаются известными.

Решение задачи оценки долговечности проводилось с использованием исправленного метода Эйлера. При этом исправленный метод Эйлера использовался для получения эталонного решения задачи. Для этого для заданного уровня нагружения выбирался элемент, напряжение в котором в начальный момент времени по абсолютной величине было максимальным:

$$\sigma = \max \{ |\sigma_i| \}; \quad i = \overline{1, N},$$

и определялась величина усилия  $S$  в данном элементе [10].

На основании анализа полученных результатов определялось значение шага по времени  $\Delta t$ , при котором погрешность численного решения не превышала 0,1 %. Очевидно, что значение долговечности конструкции, определенное численно с использованием полученного значения  $\Delta t$ , не будет отличаться от истинного более чем на 0,1 % и может считаться эталонным.

Численный эксперимент проводился для  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа;  $v_0 = 0,1$  см/год;  $k = 0,005$  МПа<sup>-1</sup>. Для получения эталонного решения использовался шаг по времени  $\Delta t = 0,025$  года. Величина приложенной нагрузки:  $P = 5000$  кг. Нагрузка подбиралась таким образом, чтобы начальные напряжения в максимально нагруженных элементах фермы отличались незначительно.

В таблице 1 приведены численные значения долговечности ферм из пяти стержней в зависимости от длин стержней. При этом растянутые стержни

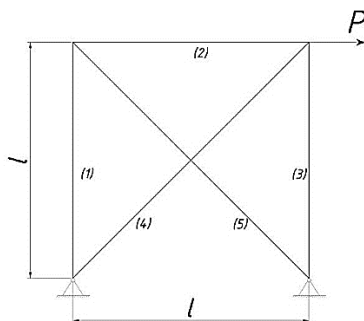


Рисунок 4 – Статически неопределимая ферма

имели круглое сечение, сжатые – круглое, кольцевое и двутавровое (элементы (3) и (5)). Размеры фасонных профилей выбирались из условия равенства их площади сечения площади круглого сечения. Таким образом обеспечивалось приблизительное равенство начальных напряжений в соответствующих элементах конструкции.

*Таблица 1 – Долговечность статически неопределимой фермы*

Профиль	<i>t</i> , лет				
	Круг $R = 1,93$ см	5,782	4,377	3,066	1,835
Труба № 70×6	4,224	4,224	4,224	4,175	4,047
Двутавр № 10	1,808	1,808	1,808	1,808	1,497
<i>l</i> , см	75,0	100,0	125,0	150,0	175,0

Долговечность фермы, все элементы которой имели круглое сечение, определялась долговечностью элемента (5), активными ограничениями являлись ограничения по устойчивости.

На основании анализа результатов численных экспериментов можно сделать вывод о том, что характер и скорость изменения внутренних усилий в элементах фермы зависят от нескольких факторов: степени статической неопределимости фермы, числа элементов в ней, топологии конструкции, скорости изменения жесткости стержней. Последний фактор, в свою очередь, зависит от параметров агрессивной среды, величины механических напряжений и коэффициента слитности сечения.

Данные результаты могут применяться для прогнозирования долговечности металлических конструкций транспортных сооружений, эксплуатирующихся в реальных условиях: металлических ферм железнодорожных и автодорожных мостов, металлической части сталебетонных мостов и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Обеспечение сохранности малых и средних мостов с металлическими пролетными строениями / И. И. Овчинников [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение» [Электронный ресурс]. – 2013. – № 5 (18).
- 2 Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания / И. И. Овчинников [и др.]. – Саратов : Изд-во «Кубик», 2014. – 504 с.
- 3 Раткин, В. В. Разрушительное действие хлоридсодержащей среды на примере обследования железобетонного моста в Новгородской области / В. В. Раткин, В. К. Черных, А. А. Тарасов // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. – № 1 (9). – Режим доступа: trts.esrae.ru/15-62. – Дата доступа: 12.01.2019.
- 4 Раткин, В. В. Хлоридная коррозия и ее влияние на свойства бетона / В. В. Раткин, В. К. Черных // Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности : сб. матер. XVII Междунар. науч.-техн. конф. – Тула : ТулГУ, 2016. – С. 150–151.

5 **Черных, В. К.** Коррозионные повреждения металлических конструкций транспортных сооружений / В. К. Черных // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России : матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. студ., аспирантов и молодых ученых. – Волгоград : ВолгГТУ, 2018. – С. 87–91.

6 **Черных, В. К.** Оценка долговечности металлических конструкций транспортных сооружений в условиях воздействия агрессивных эксплуатационных сред / В. К. Черных // Прогресс транспортных средств и систем : матер. Междунар. науч.-практ. конф. – 2018 : – Волгоград, 2018. – С. 297–298.

7 **Chernykh, V. K.** Bearing capacity and life time of multielement structures exposed to corrosive wear / V. K. Chernykh, I. I. Ovchinnikov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 451. – P. 1–5.

8 **Петров, В. В.** Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой / В. В. Петров, И. Г. Овчинников, Ю. М. Шихов. – Саратов : СГУ, 1987. – 288 с.

9 Метод конечных элементов в механике твердых тел / под общ. ред. А. С. Сахарова и И. Альтенбаха. – К. : Высшая школа, 1982. – 480 с.

10 **Зеленцов, Д. Г.** Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы / Д. Г. Зеленцов. – Днепропетровск: Изд-во УГХТУ, 2006. – 168 с.

УДК 625.841

## ШУМ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

*Н. В. ШКУРАТОВ, А. С. РОМАНОВ (С-52)*

Научный руководитель – ст. преп. *Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Отмечена проблема интенсивной автомобилизации городского населения. Определен оптимальный тип дорожного покрытия. Рассмотрены причины возникновения шума при движении транспортных средств.

По уровню автомобилизации населения Республика Беларусь занимает первое место среди стран СНГ и 50-е в мире. Нагрузка на улично-дорожную сеть городов приводит к необходимости реконструкции ее элементов. Плотность сложившейся городской застройки ограничивает возможности проектных институтов и вынуждает искать более сложные и дорогостоящие пути решения проблемы. Вторым важным критерием является обеспечение максимальной долговечности дорожной одежды реконструируемой или ремонтируемой улицы в условиях постоянно возрастающей интенсивности движения.

Развитие ресурсной базы строительной отрасли Республики Беларусь косвенно сказалось и на дорожном хозяйстве: дорожники опять стали использовать цементобетон для устройства дорожных покрытий. Цементобетонные покрытия обладают высокой прочностью на сжатие, долговечностью и стой-

костью к истирающим нагрузкам. Основными проблемами использования бетонных покрытий в городских условиях являются сложности при зимнем содержании и повышенные уровни шума при традиционном варианте устройства шероховатости.

Уровень шумов, вызванных взаимодействием колес автомобиля с поверхностью проезжей части, зависит от скорости движения, интенсивности движения, наличия воды на проезжей части, состояния шин, ровности и шероховатости покрытия. Согласно данным натуральных замеров уровней шума, уровень шума на цементобетонных покрытиях с бороздками шероховатости превышает значения уровня шума на асфальтобетонных при одинаковых характеристиках транспортного потока. Это объясняется различиями в текстуре и структуре материалов, в частности демпфирующей способностью асфальтобетона. При устройстве шероховатости на бетонных покрытиях по технологии мытого бетона жесткость структуры компенсируется характером взаимодействия колеса с покрытием: большое число точек контакта, малые объемы сжимаемого воздуха и т. д. Замеры уровня шума на таких цементобетонных покрытиях показывают значения на 2–4 Дб больше, чем на асфальтобетонных. Следует отметить и несовершенство методики оценки уровня шума на дорогах: она не учитывает в полной мере структуру материала.

УДК 625.841

## **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ СОДЕРЖАНИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Н. В. ШКУРАТОВ, А. С. РОМАНОВ (С-52)*

*Научный руководитель – ст. преп. Д. Ю. АЛЕКСАНДРОВ  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Рассмотрены основные причины преждевременного разрушения цементобетонных покрытий в условиях Республики Беларусь. Предложены подходы к повышению срока службы бетонных покрытий.

Климатические условия Республики Беларусь способствуют интенсивному разрушению любого композиционного материала дорожного покрытия. Высокие летние температуры, низкие зимние и частые переходы через 0 °С совместно с воздействием атмосферных осадков фактически снижают срок службы покрытия на 30–50 % от его нормативной продолжительности. Ориентировочный срок службы цементобетонных покрытий в идеальных условиях эксплуатации составляет около 50 лет, однако на практике на постсоветском пространстве не дотягивает и до 25. При всех преимуществах цементобетона над асфальтобетоном он имеет два существенных недостатка – капиллярно-пористую структуру и низкую коррозионную стойкость к воздействию традиционных противогололедных материалов.

Современная концепция содержания цементобетонных покрытий предполагает предупреждение возникновения значительных дефектов, однако до сих пор нет достаточно точной и подробной методики оценки всего комплекса факторов на покрытие. Если оценка воздействия транспорта возможна и не вызывает значительных трудностей, то учет второй составляющей значений внутренних напряжений, связанной с комплексом климатических факторов, и возможность разработки различных моделей поведения материала достаточно затруднительны. Любое разрушение материала начинается по слабым связям, прочность которых меньше возникающего в теле напряжения, или в местах дефектов, которые являются концентраторами напряжений. Таким образом, задача дорожников на этапе содержания должна сводиться к снижению напряжений в теле материала прежде всего от действия комплекса климатических факторов. Простейшей технологией содержания цементобетонных покрытий является нанесение кольматирующих составов. Развитие этого направления подразумевает создание сверхтонких защитных слоев на основе органических вяжущих. Задачей этих слоев станет полная изоляция цементобетонного покрытия от непосредственного взаимодействия с колесами автомобилей и жидкостями внешней среды. Проблемой является необходимость в устройстве швов в таких сверхтонких защитных слоях.

УДК 625.7

## **ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТА МАШИН НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОЙ НОРМАТИВНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Н. З. ЮСУПОВА, Т. К. ХАНКЕЛОВ, Т. Б. ИДРИСОВ*

*Научный руководитель – доц. З. Т. МАКСУДОВ*

*Ташкентский институт по проектированию, строительству  
и эксплуатации автомобильных дорог, Республика Узбекистан*

Рассмотрена проблема формирования оптимального звена дорожных машин при выполнении определенного вида работ. Приведены номограммы формирования рационального комплекта машин.

В настоящее время повышение эффективности функционирования дорожного предприятия путем эффективного использования дорожной техники и в целом парка машин на основе разработанной нормативной трудоемкости дорожно-строительных машин, укомплектованной и сформированной с учетом прогрессивной технологии строительства элементов автомобильных дорог, а также взаимоувязанности с основными выходными параметрами машин, является весьма актуальной задачей.

Последнее время резко возросла интенсивность движения транспортных потоков на дорогах. Чтобы держать на высокой технической готовности и безопасности движения машин автомобильные дороги, дорожно-строительные предприятия необходимо укомплектовать разной современной дорожной техникой ведущих фирм и компаний развитых стран мира, и в т. ч. стран СНГ.

В настоящее время в Республику Узбекистан поступают современные высокопроизводительные, высокомоментные и комфортабельные дорожно-строительные машины, а эффективное использование их достигается при строительстве элементов автомобильных дорог комплексно-механизированным способом, т. е. на основе сформированного рационального комплекта машин.

Известно, что к элементам строящихся автомобильных дорог относятся: земляное полотно; гравийное основание и покрытие; щебеночное основание и покрытие; асфальтобетонное покрытие и цементобетонное покрытие. Эти основания и покрытия автомобильных дорог строятся в несколько слоев. На каждом этапе строительства элемента автомобильных дорог используемые строительно-дорожные машины по видам, типам и маркам резко отличаются, с учетом основных проектных параметров и объемам строящихся автомобильных дорог. Этому обстоятельству необходимо уделить особое внимание при формировании рационального комплекта машин для строительства элементов автомобильных дорог, необходимо учесть кратность основных выходных параметров строительно-дорожных машин, которые работают взаимосвязано в комплекте.

Строительство земляного полотна автомобильных дорог производится комплексными механизированными комплектами машин и механизмов. Основные варианты комплексной механизации работ при возведении земляного полотна обозначаются по названию ведущей машины в комплекте, а именно: бульдозерный, скреперный, экскаваторно-отвалный, экскаваторно-транспортный, автогрейдерный и др.

Рациональный комплект машин базируется на основе главной ведущей машины, ее основные сменные эксплуатационные показатели являются основными и для остальных комплектующих (вспомогательных) машин в комплекте.

Комплект машин – это совокупность согласованно работающих и взаимосвязанных по производительности и другим параметрам основных и вспомогательных средств механизации, необходимых для выполнения всех технологически связанных процессов и операций.

Основная ведущая машина в комплекте (бульдозер, экскаватор, асфальтоукладчик, щебнераспределитель и т. п.) по своей производительности должна обеспечивать выполнение объемов работ в заданные сроки с заданным темпом. Производительность комплектующих вспомогательных машин в комплекте (бульдозеров, катков, поливомоечных машин, автосамосвалов и т. п.) должна быть на 5–10 % больше, чем основной ведущей машины.

При этом количество ведущих машин  $N_{в}$ , необходимое для выполнения заданного объема работ в установленный срок, определяют по формуле

$$N_B = \frac{W}{\Pi_{эв} n_{см}} \kappa, \quad (1)$$

где  $W$  – объем работ в физических измерителях;  $\Pi_{эв}$  – сменная эксплуатационная производительность ведущей машины в соответствующих единицах;  $n_{см}$  – регламентированное количество смен использования машин

$$n_{см} = c T_{об}, \quad (1)$$

где  $c$  – число смен в день;  $T_{об}$  – регламентированный срок выполнения работ в рабочих днях;  $\kappa$  – коэффициент, учитывающий загруженность объемами работ ведущей машины в течение смены.

Устройство оснований из щебеночного и гравийного материалов предусматривает выполнение данной дорожной работы комплектами машин, укомплектованными согласно технологии строительства.

Известно, что главной ведущей машиной в комплекте в данном случае может быть щебнераспределитель или погрузочно-транспортная машина, на основе которых формируется рациональный комплект машин.

Расчет нормативных трудоемкостей рационального комплекта машин для устройства дорожных оснований из щебеночной и гравийно-песчаной смеси производят согласно разработанной методике, с учетом основных главных параметров дорожно-строительных машин.

Разработанная номограмма формирования рационального комплекта машин на основе нормативной трудоемкости  $t_i$  машин для строительства щебеночного основания представлен на рисунке 1.

Далее в работе были исследованы рабочие процессы дорожно-строительных машин, входящие в рациональный комплект машин для строительства гравийного основания, и разработаны нормативные трудоемкости  $[t]$  дорожной техники для строительства гравийного основания. На основе полученных результатов разработана номограмма определения трудоемкости  $t_i$  машин, входящей в рациональный комплект машин для строительства гравийного основания, который представлен на рисунке 2.

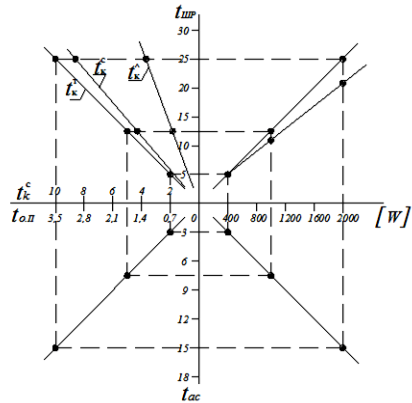


Рисунок 1 – Номограмма формирования рационального комплекта машин для строительства щебеночного основания



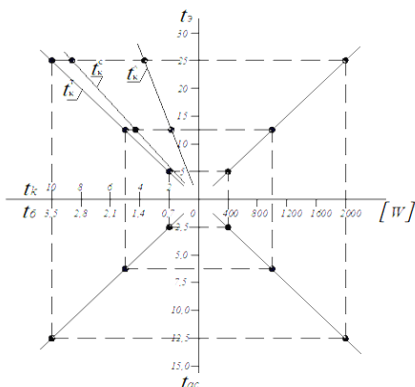


Рисунок 2 – Номограмма формирования рационального комплекта машин для строительства гравийного основания

крытия на основе разработанной нормативной выработки и трудоемкости машин выполнения дорожных работ, которая представлена на рисунке 3.

Разработанные нормативные трудоемкости комплекта машин для строительства асфальтобетонного покрытия представлены в таблице 1.

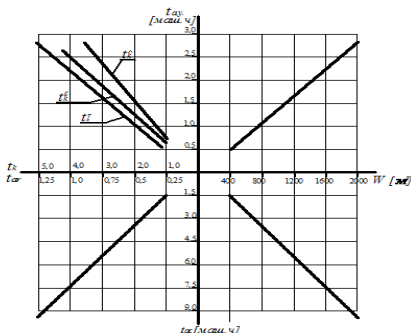


Рисунок 3 – Номограмма формирования рационального комплекта машин для строительства асфальтобетонного покрытия

Таблица 1 – Нормативные трудоемкости комплекта машин для строительства асфальтобетонного покрытия

Наименование машин	Главный параметр	Нормативные измерители, м <sup>2</sup>					
		600	800	1000	1200	1400	1600
Асфальтоукладчик	3,8–8,5 м	0,85	1,13	1,14	1,69	1,97	2,26
Катки легкого типа	До 6,0 т	1,02	1,35	1,69	2,03	2,37	2,70
Катки среднего типа	8–12 т	1,39	1,85	2,31	2,77	3,23	3,70
Катки тяжелые пневматические	Более 14 т	1,53	2,04	2,55	3,06	3,57	4,08
Автогудронатор	7000 л	0,37	0,50	0,62	0,74	0,87	0,99
Автомобиль-самосвал	Более 20,0 т	2,81	3,74	4,68	5,62	6,55	7,49

Как известно, асфальтобетонные покрытия, устраиваемые из горячих и теплых смесей, бывают в один, два или три слоя различной толщины на прочном, ровном и хорошо дренированном основании. Положительным эксплуатационным качеством асфальтобетонных покрытий является бесшумность, относительно длительный срок службы.

По полученным результатам исследования разработана номограмма формирования рационального комплекта машин для строительства асфальтобетонного по-

Полученные результаты данного исследования (таблица 1) позволяют сформировать рациональный комплект машин с учетом нормативной трудоемкости машин для конкретного объема работ при строительстве асфальтобетонного покрытия.

Разработанные номограммы позволяют при разных значениях объемов работ  $[W]$  определить трудоемкость комплектующих-вспомогательных машин, входящих в рациональный комплект, а следовательно сформировать рациональный комплект машин для строительства элементов автомобильных дорог.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Баловнев, В. И.** Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев. – М. : Машиностроение, 2001. – 525 с.

2 **Шейнин, А. М.** Эксплуатация дорожных машин / А. М. Шейнин. – М. : Машиностроение, 1992. – 328 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абдухакимов А., Турсунов Ф., Сувонов Ш.</i> Малый бизнес Узбекистана: новая налоговая концепция – гарантия развития бизнеса .....	3
<i>Амиров Т. Ж.</i> Проблемы по обеспечению нормативного содержания воздуховлечения в дорожном бетоне .....	7
<i>Ахмедов Ш. Б.</i> К методологии усиления тавровых железобетонных балок углепластиковыми волокнистыми материалами .....	12
<i>Барсуков А. В., Жуков Н. Д.</i> Усталостная долговечность асфальтобетонных покрытий как основополагающий критерий качества .....	16
<i>Барсуков А. В., Жуков Н. Д.</i> Применение технологии COMPACT ASPHALT в дорожном строительстве Беларуси .....	19
<i>Варакина А. Н.</i> Гидроизоляционные материалы для защиты железобетонных конструкций транспортных сооружений .....	20
<i>Герасимов О. Н.</i> Современные способы крепления грунта при строительстве тоннелей горным способом.....	24
<i>Горленко М. В., Фалецкая В. О.</i> Анализ влияния различных факторов на коэффициент сцепления.....	29
<i>Губенский Н. Ю., Разводов К. С., Самаль Е. С.</i> Использование светящейся краски в транспортном хозяйстве.....	35
<i>Дудорга В. А., Марченко Е. С.</i> Долговечность регенерированных асфальтобетонных смесей.....	36
<i>Жуков Н. Д., Барсуков А. В.</i> Автоматизированное управление комплексом средств механизации в контексте разработки систем поддержки принятия решений при управлении организацией .....	37
<i>Ивченко Д. С., Портной А. Е.</i> Анализ влияния различных факторов на расчетное расстояние видимости .....	38
<i>Кадыров И. А.</i> Цеолитсодержащие породы Узбекистана и перспективы применения в цементных композитах .....	42
<i>Ковалева К. С.</i> Исследование применения асфальтогранулята в конструктивных слоях дорожной одежды в условиях Республики Беларусь с разработкой рекомендаций по улучшению качества асфальтогранулята .....	47
<i>Киселева А. В.</i> Анализ методов повышения надежности дорожных одежд.....	49
<i>Колесникович К. Н., Лугин А. А.</i> О некоторых особенностях реконструкции земляного полотна дороги М10 «граница РФ (Селище) – Гомель – Кобрин» .....	54
<i>Коцур П. А.</i> Восстановление работоспособности сети дорог способом горячей регенерации .....	57
<i>Краснов М. А.</i> Работы при изыскании мостовых переходов .....	60
<i>Курбатова А. С.</i> О некоторых аспектах моделирования проектирования автомобильных дорог .....	61
<i>Курбонов Б. Э.</i> Снижение срока службы асфальтобетонных покрытий в результате разных внешних факторов .....	65
<i>Лебедев В. С.</i> Особенности строительства и преимущества модульных надземных пешеходных переходов .....	67
<i>Лохманков И. С.</i> Пути повышения прочности дорожных одежд.....	68

<i>Мазынский П. О.</i> Геодезические работы при строительстве тоннелей .....	71
<i>Маликов А. А., Азаматов И.</i> Специфика дорожного хозяйства в Узбекистане .....	72
<i>Марченко Е. С., Дудорга В. А.</i> Дисперсное базальтовое волокно для армирования мелкозернистых асфальтобетонов.....	76
<i>Махмудходжаев М. О.</i> Повышение долговечности бетонных ограждений в горных условиях Узбекистана .....	77
<i>Носко А. В., Швачич Е.Н.</i> Восстановление работоспособности местной сети дорог способом холодной регенерации .....	82
<i>Nurmetov Kh. I.</i> Types of coatings and methods of their application.....	86
<i>Пантелеева Е. А.</i> Дорожный цементобетон: основные преимущества .....	87
<i>Пономаренко А. В.</i> Анализ методов оценки степени износа горизонтальной дорожной разметки .....	93
<i>Портной А. Е.</i> Интеграция дорожного хозяйства и автомобильного транспорта в условиях развития цифровой экономики.....	96
<i>Портной А. Е.</i> Анализ причин вредного воздействия авиационного шума на окружающую среду .....	98
<i>Портной А. Е., Ивченко Д. С.</i> Исследование влияния элементов продольного профиля автомобильных дорог на безопасность дорожного движения .....	102
<i>Скрыпников А. И.</i> Использование BIM-технологий при проектировании участка автомобильной дороги.....	108
<i>Рузметов Ф. Ш.</i> Об особенностях применения пленкообразующих материалов при уходе за свежееположенным бетоном в условиях сухого жаркого климата ..	110
<i>Соаталиев Р. Р.</i> Исследование влияния влажности грунта на степень уплотнения грунта земляного полотна .....	114
<i>Соттикулов Э. С.</i> Влияние базальтовой фибры на механические свойства геополлимерного раствора .....	120
<i>Таджиходжаева М. Р., Обидов Н. Г.</i> Конструктивные системы в природе и дорожных машинах .....	124
<i>Турсунбоев Ф. А.</i> Особенности озеленения автомобильных дорог в горных регионах .....	128
<i>Халимова Ш. Р., Ахмедов Ш. Б.</i> Изучение основных факторов, влияющих на пучение пученистых грунтов .....	130
<i>Ходжаев Р.</i> Исследование геометрических параметров подпорных стен в зависимости от исходных данных .....	134
<i>Холиков Б. А.</i> Прогнозирование ровности покрытия и транспортных затрат в зависимости от первоначальной ровности в период эксплуатации дорог .....	139
<i>Хоменко Е. Г., Портной А. Е.</i> Лазерное сканирование автомобильных дорог: практика применения .....	146
<i>Черных В. К.</i> Моделирование поведения многоэлементных металлических конструкций транспортных сооружений в агрессивных средах.....	149
<i>Шкуратов Н. В., Романов А. С.</i> Шум на цементобетонных покрытиях.....	155
<i>Шкуратов Н. В., Романов А. С.</i> О Некоторых особенностях содержания цементобетонных покрытий .....	156
<i>Юсупова Н. З., Ханкелов Т. К., Идрисов Т. Б.</i> Формирование рационального комплекта машин на основе разработанной нормативной трудоемкости для строительства и ремонта автомобильных дорог .....	157

Научно-практическое издание

**Наука – автодорожному хозяйству**

Материалы I Международной научно-практической конференции  
аспирантов, магистрантов, студентов и учащихся колледжей

Издается в авторской редакции

Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а  
Корректор Т. Л. Ф е д ь к о в а

Подписано в печать 30.12.2019 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 10,23. Тираж 30 экз.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта,  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
№ 3/1583 от 14.11.2017.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель