

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

НАУКА – ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Материалы IV Международной научно-практической конференции
молодых ученых, студентов и учащихся колледжей
(Гомель, 20 марта 2026 г.)

Под общей редакцией канд. техн. наук *П. В. КОВТУНА*

Гомель 2026

УДК 625

Изложены материалы докладов IV Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и учащихся колледжей «Наука – транспортной инфраструктуре».

Для молодых ученых, научных работников, магистрантов, аспирантов, студентов технических вузов, учащихся колледжей, а также инженерно-технических работников транспортных предприятий и проектных организаций.

Р е ц е н з е н т ы: ведущий инженер отдела инфраструктуры РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги» *Е. В. Никитин*;
главный научный сотрудник ИЦ ЖТ БелГУТа д-р техн. наук, доцент *А. К. Головнич*

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

П. В. Ковтун (отв. редактор), *Н. В. Довгелюк* (зам. отв. редактора),
М. Ю. Никитенко (отв. секретарь)

PG-КЛАССИФИКАЦИЯ БИТУМОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А. А. АБРАМЕНКО (СА-41)

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

Качество и долговечность асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в основном определяются свойствами используемых битумных вяжущих материалов. Нормативно на территории Республики Беларусь применяется классификация дорожных битумов по показателям пенетрации, температуре размягчения и растяжимости. Данная классификация недостаточно отражает реальное поведение битума в условиях эксплуатации дорожного покрытия, поскольку не учитывает влияние реальных температурных колебаний и интенсивности транспортных нагрузок.

В мировой практике набирает популярность система классификации Performance Grade (PG). Она основывается на определении эксплуатационных характеристик битумов при различных температурных режимах и транспортных нагрузках, а также учитывает климатические условия региона применения [1]. Использование PG-классификации позволяет более точно прогнозировать устойчивость асфальтобетонных покрытий к колееобразованию, усталостному разрушению и температурному растрескиванию.

PG-классификация представляет собой систему оценки битума по их эксплуатационным характеристикам при определенных температурных условиях. Класс битума обозначается как PG X(Z)-Y, где X – максимальная температура эксплуатации покрытия (°C), при которой битум устойчив к колееобразованию; Z – интенсивность движения (S, H, V, E); Y – минимальная температура (°C), при которой предотвращается образование температурных трещин.

Для определения необходимой классификации проведен анализ средне-суточных температур за период с 1991 по 2020 года для территорий некоторых городов Беларуси по данным ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды». На основе измерений суточной температуры воздуха определяются максимальная средняя температура воздуха за период в семь календарных дней в каждом году и минимальная температура воздуха за каждый год. Также для определения расчетных температур на поверхности покрытия можно воспользоваться формулами, представленными в [2].

В таблице 1 приведены данные о температуре на поверхности покрытия на территории г. Гомеля, Могилева и Витебска, полученные в результате анализа климатических показателей.

Таблица 1 – Температура для территорий региональных центров Беларуси

Региональный центр	Температура воздуха, °С		Расчетная температура поверхности покрытия, °С	
	максимум	минимум	максимум на глубине 20 мм	минимум
Гомель	39	–22	55	–17
Могилев	37	–37	52	–30
Витебск	38	–40	53	–33

По итогам анализа данных таблицы 1 можно определить, что для Гомеля подойдет марка битумного вяжущего PG58-28, для Могилева – PG52-40, для Витебска – PG58-40.

Для определения температурных режимов битумного вяжущего используется оценка его реологических свойств при различных температурах и стадиях старения. Определение верхней расчетной температуры, которая характеризует устойчивость вяжущего к колееобразованию, проводится с использованием динамического сдвигового реометра (DSR-тест). Испытания проводят как для изначального битума, так и после кратковременного технологического старения.

Минимальная температура эксплуатации битумного вяжущего определяется по результатам испытаний на изгиб с помощью реометра изгиба балочки (BBR-тест), в течении которых определяется жесткость при нагрузке ползучести, моделирующей напряжения, возникающие в дорожном покрытии при пониженных температурах. Испытания проводят при нескольких отрицательных температурах, что обеспечивает возможность определить температурный предел, при котором битумное вяжущее сохраняет достаточную трещиностойкость.

PG-классификация битумов адекватно отражает условия эксплуатации дорожных покрытий в Беларуси. Внедрение PG-системы повысит долговечность покрытий, приведет к уменьшению числа дефектов (колеи, трещин) за счет более точного подбора битума под конкретные температурные условия и условий движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Исследование корреляций свойств нефтяных дорожных битумов по методологии Суперпейв / О. Р. Паршукова, А. Г. Егоров, А. А. Андреев [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2020. – № 11. – С. 9–16.
- 2 Leonovich, I. Influence of Temperature on the Formation of Damages in Asphalt Concrete Pavements Under Climatic Conditions of the Republic of Belarus / I. Leonovich, I. Melnikova // The baltic journal of road and bridge engineering. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 42–47.

ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ СЛАБЫХ ОСНОВАНИЙ

А. А. АБРАМЕНКО (СА-41)

*Научный руководитель – ст. преп. М. Ю. НИКИТЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Слабые основания (органические, илистые, торфяные или сильно пылеватые слои) обычно имеют низкую прочность и большую предельную осадку. Без специальных методов такие грунты дают значительную осадку с длительными сроками консолидации. Ускорение консолидации позволит вывести осадкообразование на необходимый уровень за оптимальный срок, повысив несущую способность. Отбор технологии основывается на типе грунта, требуемой скорости уплотнения, а также на экономической целесообразности [1].

Применение вертикальных дренажей (песчаных и геодрен) позволяет предоставить более быстрый отвод поровой воды, сохраняя верхний слой насыпи практически сухим. Метод особенно полезен в водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах и местах, где требуется предотвратить длительное оседание. Из преимуществ можно выделить простоту технологии, сокращение срока консолидации и снижение толщины насыпи. Из ограничений – для работы дрен необходима достаточная нагрузка, а также использование метода запрещено при плотном грунте.

Метод предварительной отсыпки (преднагрузка) представляет собой временную или постоянную насыпь, которая возводится над слабым основанием. Постепенное возведение насыпи позволяет грунту естественно уплотниться под весом насыпи. Метод наиболее эффективен на торфяных грунтах, склонных к упрочнению при уплотнении. Неэффективен в малопроницаемых суглинках, которые практически не уплотняются. Невозможен в стесненных условиях или когда нецелесообразен долгий срок строительства.

При применении технологии вакуумного уплотнения под мембраной укладывают сеть дрен и труб, где создается перманентный вакуум. Пониженное давление заставляет грунтовые воды мигрировать к дренажам и удаляться. К преимуществам данного метода можно отнести то, что он обеспечивает равномерную осадку без осыпаний и эрозии; позволяет работать в стесненных условиях. Недостатком можно считать, что данная технология имеет высокую начальную стоимость, а также зависимость от герметичности мембраны и резервной мощности насосов [2].

Инъекционные технологии представляют собой закрепляющие растворы, которые благодаря скважинам или инъекторам закачиваются в слабые грунты, заполняя поры и трещины грунта. Это может быть цементный рас-

твор (цементация), химические реагенты (силикатизация жидким стеклом) или полимерные смолы (полиуретан). Данные методы имеют сравнительно быстрый эффект, а также возможность работать под уже существующей инфраструктурой, но имеют высокие затраты, сложные расчеты дозировок, а также может формироваться неравномерное укрепление.

Использование геосинтетического усиления (геотекстиля, георешеток и геокомпозигов) для армирования и дренирования слабого основания позволяет предотвратить выпучивание грунтов, а также предупреждает смешивание грунтов. Применимы практически везде, эффективны на слабых глинах и песках для армирования дорожного основания. Не оказывают существенного влияния на время консолидации, но конструктивно улучшают несущую способность, долговечны, и инертны. Часто применяется в комбинации с другими методами.

Сопоставление методов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Технологии ускоренной консолидации слабых оснований

Метод	Ускорение консолидации, %	Примерная стоимость, руб./м ³	Грунты (часто применяемые)	Глубина, м
Вертикальные дренажи	50–80	≈30...90	Любые	–
Предварительная отсыпка	40–60	≈15...60	Глины, илы, торф	15–20
Вакуумное уплотнение	70–100	≈150...300	Торф	До 30
Цементация	90–100	≈300...1500	Песок, суглинки	До 10
Химические реагенты / смолы	80–100	≈300...900	Любые	5–10
Геосинтетика	10–20	≈15...150	Любые	Поверхностная

Применение технологий ускоренной консолидации является эффективным способом повышения несущей способности слабых оснований и сокращения сроков строительства дорожных сооружений. Использование данных методов способствует снижению эксплуатационных деформаций и оптимизации затрат на строительство и последующее содержание автомобильных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Романов, Н. В. Обзор современных методов усиления и стабилизации слабых оснований / Н. В. Романов, Ж. Расинэ // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, № 4 (115). – С. 499–513.
- 2 Вакуумная консолидация // Гидроспецстрой. – URL: <https://www.gss.comany.ru/vakuumnaya-konsolidacziya-mv> (дата обращения: 07.03.2026).

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЁТА ПИКЕТАЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГЛАВНЫХ ТОЧЕК КРИВЫХ В ПЛАНЕ

В. С. АЗЕМША (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В современной практике проектирования линейных сооружений важное значение имеет не только корректное определение геометрических параметров кривой, но и точная привязка её характерных точек к пикетажу. Традиционные методы ручного вычисления трудоёмки и подвержены ошибкам, особенно при многовариантном проектировании. Разработанный модуль является логическим развитием ранее созданной студенткой Бобровник К. А. информационной среды для определения параметров кривых в плане (рисунок 1) [1].

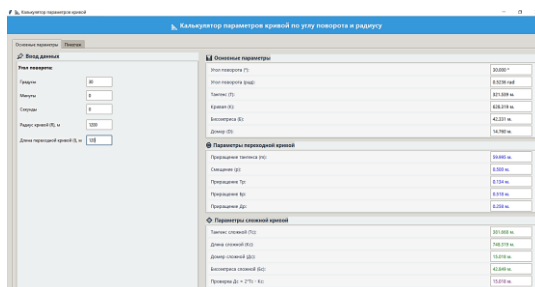


Рисунок 1 – Взятый за основу модуль программы

Приложение интегрировано в виде отдельной вкладки и использует результаты вычислений основной программы. Вычислительное ядро программы реализовано компактным кодом на языке Python (рисунок 2).

```
# Получаем ВП в метрах
vup_picket = float(self.vup_picket_var.get() or 0)
vup_meters = float(self.vup_meters_var.get() or 0)
vup = vup_picket * 100 + vup_meters

# Получаем параметры кривой из основного приложения
Tc = self.app.Tc_max
Kc = self.app.Kc_max
Dc = self.app.Dc_max

# Вычисления
nsk = vup - Tc
ksk = nsk + Kc
ssk_from_nsk = nsk + Kc / 2
ssk_from_vup = vup - Dc / 2
ksk_check = vup + Tc - Dc # контрольная формула

# Форматирование и отображение
self.result_vars['nsk'].set(format_picket(nsk))
self.result_vars['ksk'].set(format_picket(ksk))
self.result_vars['skk'].set(format_picket(ssk_from_vup))
self.result_vars['ssk2'].set(format_picket(ssk_from_nsk))
self.result_vars['ksk_check'].set(format_picket(ksk_check))
```

Рисунок 2 – Листинг программы реализации расчета пикетажных значений

Приложение имеет удобный графический интерфейс, где пользователь вводит пикетажное положение вершины угла поворота (ВУП), а все пикетажные значения НСК (начало), ССК (середина) и КСК (конец) отображаются в структурированной таблице, полностью соответствующей требованиям нормативной документации (рисунок 3).

Формула	Результат	Контроль результатов	Вывод результатов
$ВУП - T_c = НСК$	ПК606+43.33	$ВУП + T_c - D_c = КСК$	ПК613+91.65
$НСК + K_c = КСК$	ПК613+91.65	$ВУП - D_c/2 = ССК$	ПК610+17.49
$НСК + K_c/2 = ССК$	ПК610+17.49		

Рисунок 3 – Результат работы программы

Встраивание пикетажной привязки непосредственно в интерфейс позволяет прослеживать геометрию трассы целиком – от численных параметров кривой до её конкретного положения на местности. Это дает возможность увидеть, как теоретические зависимости T_c , K_c и D_c материализуются в пикетаже НСК, ССК и КСК [2].

На рынке существуют аналогичные программные продукты, включая специализированные геодезические и САПР-системы. В Республике Беларусь инженерами используются такие программы, как «ТИМ Кредо» и «Топоматик Robu». Однако они представляют собой тяжёлые, коммерческие и сложные в освоении комплексы, требующие значительных временных затрат на установку и обучение. Разработанное приложение выгодно отличается лёгкостью, кроссплатформенностью и доступностью: оно не требует установки дополнительного программного обеспечения, работает на любой операционной системе и может быть использовано в учебных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Ахраменко, Г. В.** Анализ современных методов проектирования автомобильных дорог / Г. В. Ахраменко, И. П. Дралова, М. Ю. Никитенко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Гомель, 21–22 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2024. – Ч. 1. – С. 294–296.
- 2 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ РАДИУСА КРИВОЙ

П. Н. БАРАБОЛКИН, Д. Н. ЯРОШЕВСКИЙ,

Л. П. КОНОНОВИЧ (магистранты)

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

Железные дороги являются крупнейшим потребителем энергоресурсов. В России расходуется ежегодно около 5 % электроэнергии от потребления в целом по стране, а дизельного топлива приблизительно 11 % от всего расхода. Наиболее важным фактором экономии энергоресурсов на железнодорожном транспорте является внедрение электрической тяги. Перевод участков на электрическую тягу окупается за 5–6 лет. Переход поездов с дизельного топлива на электроэнергию дает экономию ресурсов в 5 раз.

В Программе развития транспортного комплекса Республики Беларусь уделяется особое внимание использованию большегрузных вагонов в составе грузового поезда и дальнейшей электрификации участков Белорусской железной дороги.

При движении по кривой основное удельное сопротивление поезда увеличивается, что приводит к уменьшению массы состава. Дополнительное сопротивление от кривой вызывается следующими причинами:

- а) возникновением центробежной силы;
- б) продольным и поперечным проскальзыванием колес вследствие неравных путей катания по внутреннему и наружному рельсам;
- в) увеличением трения между частями кузова и тележек при повороте в момент входа и выхода из кривой.

Величина дополнительного сопротивления от кривой зависит от радиуса кривой, ширины колеи, вида подвижного состава, скорости движения, состояния пути, степени возвышения наружного рельса, степени износа колесных пар. Из-за большого числа факторов и сложных зависимостей сил сопротивления движению дополнительное удельное сопротивление от кривых ω_r на эксплуатируемых железных дорогах определяют по эмпирическим формулам.

В соответствии с Правилами тяговых расчетов (далее ПТР) подсчеты дополнительного сопротивления от кривой ω_r на эксплуатируемых дорогах производились по формулам, которые не учитывают скорость движения поезда. Так, при длине поезда менее или равной длине кривой для определения ω используются формулы

$$\omega_r = 700 / R \quad (1)$$

или

$$\omega_r = 12,2\alpha^\circ / s_{кр}, \quad (2)$$

где R – радиус кривой, м; α° – угол поворота, град; $s_{кр}$ – длина кривой, м.

Обычно эти же формулы (или производные от них для случаев, когда длина поезда больше длины кривой) используются и при проектировании железных дорог. Однако, как показали исследования, более достоверные результаты дают формулы, учитывающие при подсчете ω_r скорость движения поезда (при длине поезда менее или равной длине кривой)

$$\omega_r = 200 / R + 1,2\tau_k \quad (3)$$

или
$$\omega_r = 3,5\alpha^\circ / s_{кр} + 1,5\tau_k, \quad (4)$$

где τ_k – непогашенное ускорение в кривой, м/с^2 .

Как указано в ПТР, величина τ_k задается в качестве норматива.

В результате вычислений получено, что формулы (1) или (2) при малых радиусах дают завышенные, а при больших – заниженные значения сопротивления по сравнению с результатами расчетов по формулам (3) или (4). В настоящем исследовании для получения более конкретных данных на первом этапе выполнены расчеты по формулам (1) и (3) при всех стандартных значениях радиусов кривых, применяемых при проектировании новых железных дорог и разной величине непогашенного ускорения τ_k (принято $\tau_k = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 \text{ м/с}^2$).

По результатам расчетов построены кривые $\omega_r = f(R)$, которые приведены на рисунке 1. Очертания кривых и их взаимное расположение позволяют оценить различие в полученных значениях ω_r во всем диапазоне изменения R и τ_k .

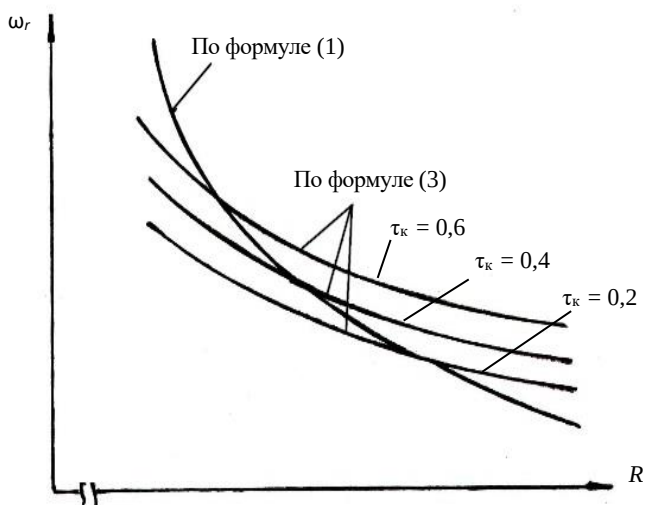


Рисунок 1 – Зависимость $\omega_r = f(R)$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Е. А. БАЧУРИН (СА-41)

Научный руководитель – ст. преп. М. Ю. НИКИТЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В последние годы перед дорожными строителями Беларуси всё острее встаёт задача возведения надёжных насыпей на слабых грунтах, широко распространённых на территории страны. К слабым относятся грунты с низкими механическими свойствами (прочностью на сдвиг менее 0,075 МПа или модулем осадки более 50 мм/м) – торфяники, сапропели, переувлажнённые глинистые отложения. Традиционные методы строительства на таких основаниях требуют полной замены грунта, устройства песчаных или щебёночных подушек, что ведёт к значительным материальным и трудовым затратам. В связи с этим актуален поиск альтернативных технических решений, позволяющих снизить нагрузку на слабое основание без потери несущей способности конструкции.

Одним из наиболее перспективных направлений является применение монолитного пенобетона для устройства облегчённых насыпей и теплоизоляционных слоёв. Пенобетон – ячеистый бетон на основе портландцемента и пенообразователя, объёмный вес которого составляет от 3,3 до 7,6 кН/м³, что в несколько раз меньше плотности обычного грунта [1]. Снижение веса насыпи уменьшает передаваемое на основание давление, предотвращая выдавливание слабого грунта и сокращая общую осадку. При этом материал обладает достаточной прочностью, низкой теплопроводностью и устойчивостью к попеременному замораживанию-оттаиванию. В условиях Беларуси, где сезонное промерзание грунтов достигает значительной глубины, теплоизоляционные свойства пенобетона позволяют предотвратить морозное пучение и сохранить устойчивость земляного полотна.

Пенобетон выпускается в широком диапазоне марок по средней плотности. В дорожном строительстве используют пенобетон марок D600–D1000 (600–1000 кг/м³). Пенобетон также обладает высокими теплоизоляционными характеристиками. При этом он имеет усадку: для марок D600–D1000 она составляет не более 3 мм/м. Остальные характеристики приведены в таблице 1.

Технология укладки пенобетона заключается в следующем: на площадке смешивают цемент с пенообразователем, затем смесь заливают на подготовленное основание слоем толщиной 20–40 см. Перед этим обязательно устраивают дренажный слой из песка средней крупности. Поверхность разравнивают и оставляют до полного застывания [2]. Технология требует чёт-

кого контроля за процессом пенообразования, так как это напрямую влияет на прочность готового материала.

Таблица 1 – Характеристики пенобетона

Марка по средней плотности	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	Класс по морозостойкости	Класс по прочности на сжатие
D600	0,17	0,14	F15	B1
D800	0,23	0,12	F35	B5
D1000	0,31	0,10	F50	B7,5

Несмотря на то, что пенобетон подходит для слабых грунтов лучше, чем щебень, он уступает последнему по ряду характеристик (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение характеристик пенобетона и щебня

Параметр	Пенобетон (монолитный)	Щебень
Плотность, кг/м³	600–1000	2000–2500
Прочность	B0,35–B3,5 (M10–M45)	B15–B25 (M200–M350)
Морозостойкость	F15–F50	F200–F400
Стоимость	Низкая	Высокая
Время укладки	Быстрая	Долгая
Применение	Слабые грунты	Крепкие грунты

Несмотря на высокую хрупкость пенобетона и возможное снижение его свойств при кустарном способе приготовления, анализ преимуществ материала показывает, что его применение в дорожном строительстве на слабых грунтах является технически и экономически обоснованным решением [3]. Для Республики Беларусь, где значительная часть территории занята торфяниками и переувлажнёнными грунтами, внедрение технологии облегчённых насыпей из пенобетона является перспективным. Однако из-за ограниченной прочности пенобетон следует использовать только на ненагруженных дорогах при обязательном контроле качества приготовления смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Применение пенобетона СОВБИ в дорожном строительстве // АзПроект-Строй. – URL: <https://www.azproektstroy.ru/teoreticheskie/penobeton/> (дата обращения: 07.03.2026).
- 2 Лазарева, Т. Л. Ячеистый бетон в дорожном строительстве / Т. Л. Лазарева, Г. В. Котов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : Междунар. сб. науч. тр. / Тихоокеанский гос. ун-т ; под ред. А. В. Каменчукова. – Хабаровск, 2020. – С. 297–300.
- 3 Медрес, Е. П. Современный подход к строительству дорожных насыпей на слабых грунтах с пенобетоном / Е. П. Медрес // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – С. 1–7.

РЕОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Е. А. БАЧУРИН (СА-41)

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

Стратегия успешного развития дорожно-строительной отрасли включает множество аспектов, центральным из которых является закрепление молодых инициативных высококвалифицированных кадров на предприятиях. Успешная реализация кадровой политики требует преобразования как технологических процессов, так и организационной структуры.

Самым распространенным материалом для устройства и ремонта дорожных покрытий является асфальтобетонная смесь. От качества ее приготовления в конечном итоге зависят долговечность и транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги. Ограничения дальности транспортировки смеси, связанные со снижением вязкости при понижении температуры смеси, вынуждают создавать на обслуживаемых территориях сеть асфальтобетонных заводов. Загрузка асфальтобетонных заводов Беларуси в среднем не превышает 50–60 %, причем в районных центрах заводы загружены меньше, чем в областных центрах.

Технологический процесс приготовления асфальтобетонных смесей может быть реорганизован путем:

- расширения номенклатуры асфальтобетонных смесей, производимых для нужд дорожной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства;
- укрупнения производств.

Расширение номенклатуры смесей, производимых на асфальтобетонных заводах [1], необходимо для увеличения числа потенциальных потребителей продукции и вариантов реализуемых дорожниками технологий строительства и ремонта. Со стороны дорожной отрасли существует потенциальный запрос на теплые асфальтобетонные смеси (позволяют работать при пониженных температурах воздуха и имеют более широкий временной интервал для уплотнения), регенерированные смеси (целесообразно использование на местной сети дорог при ремонте покрытий с явными признаками деградации) и иные смеси на органических вяжущих для использования прежде всего на местной сети автомобильных дорог. Со стороны жилищно-коммунального хозяйства существует потенциальный запрос на асфальтобетоны с повышенными декоративными качествами (например, цветные асфальтобетоны). Данный путь приведет к увеличению загрузки заводов, но повлияет на сезонный характер работы.

Укрупнение производств предполагает сокращение количества стационарных асфальтобетонных заводов и увеличение числа мобильных или передвижных. Ключевой элемент данного подхода – переход от традиционного вяжущего к капсулированному [2, 3]. Стационарные асфальтобетонные заводы будут производить не только смеси, но и вяжущее в виде капсул или гранул. На мобильных или передвижных заводах капсулированное вяжущее без предварительного нагрева будет вводиться в смеситель, где при контакте с поверхностью разогретого каменного материала битум перейдет из твердого в жидкое состояние. Производители дорожной и строительной техники предлагают большой выбор смесительных установок разной мощности (рисунок 1). Использование капсулированного вяжущего позволит упростить конструкцию установки – отказаться от битумного хозяйства.



Рисунок 1 – Мобильный маломощный асфальтобетонный завод МАЗ-20 (слева) и высокопроизводительный асфальтобетонный завод Marini (справа)

Реорганизация процесса приготовления асфальтобетонных семей приведет к увеличению числа рабочих мест и заработной платы рабочих и специалистов асфальтобетонных заводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Абраменко, А. А.** Повышение эффективности асфальтобетонных заводов / А. А. Абраменко, Е. А. Бачурин, Д. Ю. Александров // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы V Междунар. науч.-техн. конф., 18–19 дек. 2025 г., г. Минск / сост.: Е. М. Жуковский, О. Б. Дрозд, Л. А. Кирилов, А. А. Кошелева. – Минск : БНТУ, 2026. – С. 24–26.
- 2 **Ковалев, Я. Н.** Активационные технологии дорожных композиционных материалов: Научно-практические основы : монография / Я. Н. Ковалев. – Минск : Белорусская Энциклопедия, 2002. – 334 с.
- 3 **Александров, Д. Ю.** Основы технологии комплексного капсулированного асфальтовяжущего при производстве асфальтобетонных смесей / Д. Ю. Александров, И. С. Лохманков // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 98–101.

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

С. А. БИНДЮК (магистрант)

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

Белорусская железная дорога является критически важной транспортной артерией, обеспечивающей не только внутренние грузовые и пассажирские перевозки, но и значительный объем международного транзита. От бесперебойности ее работы зависит экономическая стабильность и транспортная безопасность страны. Поддержание сложной инфраструктуры – путей, мостов и станционных комплексов – в безопасном и исправном состоянии представляет собой ключевую, но крайне трудоемкую задачу.

Традиционные методы обследования, такие как визуальный осмотр с автовышек, пешие обходы или использование специализированной путеизмерительной техники, имеют ряд ограничений. Они часто требуют выделения «окон» в графике движения (что снижает пропускную способность), сопряжены с риском для персонала (особенно при работе на высоте) и не всегда обеспечивают необходимую детализацию состояния труднодоступных элементов.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дронов) знаменует собой технологический прорыв в области диагностики объектов железнодорожного транспорта. Использование дронов позволяет перейти от эпизодического и субъективного контроля к системному, основанному на точных пространственных данных управлению активами. Данная работа исследует потенциал и практические преимущества применения беспилотных технологий для обследования искусственных сооружений и путей на Белорусской железной дороге.

Искусственные сооружения – мосты, путепроводы и виадуки – являются наиболее сложными и ответственными элементами железнодорожной инфраструктуры. Их диагностика традиционно связана с наибольшими сложностями и рисками. Дрон исключает необходимость подъема человека на десятки метров, работы в люльках под пролетом или спуска к опорам в период ледохода. Мостовой мастер или бригадир управляет аппаратом, находясь на безопасном расстоянии, что сводит к нулю производственный травматизм при обследовании. Оснащенный высококачественной камерой с зум-объективом дрон может приблизиться к любой части конструкции:

опорным частям, деформационным швам, узлам крепления, пролетным строениям. Это позволяет выявить мельчайшие дефекты – волосяные трещины в бетоне, коррозию металла, сколы защитного слоя или нарушение гидроизоляции, которые ранее могли остаться незамеченными при визуальном осмотре с земли.

С помощью технологий лазерного сканирования и фотограмметрии дрон позволяет построить точную 3D-модель моста. Такая модель служит основой для проведения высокоточных геометрических измерений, отслеживания деформаций конструкции в динамике (сравнение моделей разных лет) и планирования ремонтно-восстановительных работ с точностью до миллиметра. БПЛА эффективны для оценки состояния берегов у опор, выявления размывов (водобоев), контроля ледовой обстановки и засорения русел, что особенно актуально в паводковый период.

Для диагностики верхнего строения пути и полосы отвода дроны также предлагают революционные решения, дополняя и частично заменяя традиционные методы. С высоты птичьего полета хорошо видны такие проблемы, как пучины (неравномерное вспучивание грунта), просадки пути, переувлажнение балластной призмы. Дроны позволяют оперативно контролировать состояние кюветов, водоотводных канав и других дренажных систем, заиливание которых ведет к потере несущей способности пути. На основе аэрофотосъемки создаются актуальные ортофотопланы и цифровые карты полосы отвода. Это незаменимый инструмент для кадастрового учета земель, планирования вырубki растительности, мешающей обзорности, и инвентаризации материалов верхнего строения пути (например, подсчет объема щебня в балластной призме).

В случае стихийных бедствий (ураганы, паводки, пожары) или техногенных аварий дрон способен в считанные минуты прибыть в зону бедствия и передать оперативную картину разрушений диспетчеру. Это позволяет принимать решения о закрытии движения или направлении ремонтных бригад максимально быстро и точно. Один дрон за вылет способен обследовать десятки километров пути. Это значительно сокращает потребность в задействовании автовышек, дрезин и десятков сотрудников для пеших обходов, особенно на труднодоступных или протяженных участках. Внедрение БПЛА в процессы Белорусской железной дороги – это не просто замена инструмента осмотра. Это стратегический шаг к цифровой трансформации отрасли, обеспечивающий мультипликативный эффект.

Широкое внедрение дронов в регулярные процессы технического обслуживания позволит БЖД повысить надежность перевозок, оптимизировать финансовые затраты на содержание сложной инфраструктуры и сделать еще один важный шаг к созданию «умной» железной дороги, отвечающей самым высоким мировым стандартам.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЗАКРУГЛЕНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

К. А. БОБРОВНИК (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В условиях перехода на цифровизацию производства и возрастания требований к точности проектирования линейных сооружений особую значимость приобретают программные средства для автоматизации инженерных расчётов [1]. Разработанное приложение для вычисления параметров круговых и сложных кривых – специализированный инструмент для определения геометрических характеристик поворотных участков автомобильных дорог. Простой интерфейс программы позволяет сосредоточиться на анализе, избегая ошибок в рутинных вычислениях, в ней используется минимальный набор исходных параметров – угол поворота трассы, радиус круговой кривой и длина переходной кривой. На рисунке 1 представлена форма ввода данных, а на рисунке 2 – полученные результаты, их приращения, а также итоговые характеристики сложной кривой, рассчитанные в соответствии с нормативными методиками дорожного строительства [2].

Рисунок 1 – Форма ввода данных

Основные параметры	
Угол поворота (°)	0.000 °
Угол поворота (град)	0.0000 grad
Тангенс (T)	0.000 м
Кривая (K)	0.000 м
Биссектриса (B)	0.000 м
Диаметр (D)	0.000 м

Параметры переходной кривой	
Приращение тангенса (tg)	0.000 м
Смещение (p)	0.000 м
Приращение Тр	0.000 м
Приращение Кр	0.000 м
Приращение Дл	0.000 м

Параметры сложной кривой	
Тангенс сложной (Tc)	0.000 м
Длина сложной (Kc)	0.000 м
Диаметр сложной (Dc)	0.000 м
Биссектриса сложной (Bc)	0.000 м
Проверка $Δc = 2Tc + Kc$	0.000 м

Рисунок 2 – Результат работы программы

Вычисления основаны на аналитических формулах, реализованных компактным кодом на языке Python. Программа создана в интегрированной среде PyCharm, которая облегчила написание и отладку (рисунок 3).

```

# Основные параметры
basic_frame = ttk.LabelFrame(results_frame, text="В Основные параметры", style="section.tlabelframe")
basic_frame.pack(fill="x", pady=5)
self.create_result_row(basic_frame, "Угол поворота (°)", self.results["alpha_deg"])
self.create_result_row(basic_frame, "Угол поворота (rad)", self.results["alpha_rad"])
self.create_result_row(basic_frame, "Тангенс (t)", self.results["t"])
self.create_result_row(basic_frame, "Кривая (K)", self.results["K"])
self.create_result_row(basic_frame, "Численность (b)", self.results["b"])
self.create_result_row(basic_frame, "Диаметр (D)", self.results["D"])

# Преобразование угла в десятичные градусы и радианы
alpha_deg = deg + min / 60 + sec / 3600
alpha_rad = math.radians(alpha_deg)

# Переходная кривая
trans_frame = ttk.LabelFrame(results_frame, text="")
trans_frame.pack(fill="x", pady=5)
self.create_result_row(trans_frame, "Приращение x", self.results["x"])
self.create_result_row(trans_frame, "Остаток (p)", self.results["p"])
self.create_result_row(trans_frame, "Приращение y", self.results["y"])
self.create_result_row(trans_frame, "Приращение z", self.results["z"])
self.create_result_row(trans_frame, "Приращение D", self.results["D"])

# Основные параметры круговой кривой
K = (math.pi * R * alpha_deg) / 180.0
T = R * math.tan(alpha_rad / 2)
B = R / math.cos(alpha_rad / 2) - R
D = 2 * T + K

# Сложная кривая
comp_frame = ttk.LabelFrame(results_frame, text="")
comp_frame.pack(fill="x", pady=5)
self.create_result_row(comp_frame, "Тангенс (t)", self.results["t"])
self.create_result_row(comp_frame, "Длина сложной", self.results["L"])
self.create_result_row(comp_frame, "Диаметр сложной", self.results["D"])
self.create_result_row(comp_frame, "Биссектриса c", self.results["c"])
self.create_result_row(comp_frame, "Проверка Dc =", self.results["Dc"])

# Параметры переходной кривой
m = (1 / 2) * (1 - (1 ** 2) / (120 * R ** 2))
p = (1 ** 2) / (24 * R * (1 - (1 ** 2) / (112 * R ** 2)))
Tp = p * math.tan(alpha_rad / 2)
Bp = p / math.cos(alpha_rad / 2) # sec(x) = 1/cos(x)
Dp = 2 * Tp - 2 * (0.5 * 1 - m)

# Параметры сложной кривой
Tc = T + Tp + m
Kc = K + 1
Dc = D + Dp
Bc = B + Bp
Dc_check = 2 * Tc - Kc

```

Рисунок 3 – Листинг реализации программы

Приложение будет полезно инженерам-проектировщикам, геодезистам и строителям, выполняющим проектные работы. Точность параметров кривой влияет на качество проектной документации, плавность движения и безопасность. Автоматизация снижает ошибки, обеспечивает единообразие расчетов и позволяет быстро корректировать проект. Это особенно важно на ранних этапах проектирования с многократным моделированием [3].

Таким образом, приложение способствует повышению качества и эффективности инженерных расчетов, применимо в обучении и практике. В современных условиях растущих требований к устойчивости транспортных систем такие программные решения становятся важной частью инженерного инструментария.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Ахраменко, Г. В.** Анализ современных методов проектирования автомобильных дорог / Г. В. Ахраменко, И. П. Дралова, М. Ю. Никитенко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Гомель, 21–22 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2024. – Ч. 1. – С. 294–296.
- 2 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.
- 3 **Чуруксаев, П. В.** Автоматизация поиска кривых в плане на основе данных GPS-съемки автомобильных дорог / П. В. Чуруксаев, А. В. Приступа // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур : материалы десятой российской конф. с междунар. участием, Томск, 9–11 июня 2014 г. / Томский гос. ун-т. – Томск, 2014. – С. 33–34.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СВАЙ

А. А. БОРОВОЙ (СВм-11)

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

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Важными этапами, обеспечивающими точное положение свай являются разбивка, оперативный контроль и исполнительная съемка с использованием современных геодезических приборов и специализированного программного обеспечения. Комплекс таких работ, как анализ документации, разработка геодезической разбивочной основы, топографическая съемка участка, бурение скважин, погружение свай, ведется с соблюдением нормативных документов и методик, нарушения не допустимы, грамотное их сочетание является гарантией качества [1].

Подготовка представляет собой анализ проектной документации, геологических карт, планов бурения, технических требований, получение данных о государственной геодезической сети, системе координат, высотных отметках, проверку на наличие подземных коммуникаций. После всех согласований с необходимыми организациями производится топографическая съемка и разбивочные работы с применением электронных теодолитов, лазерных дальномеров, тахеометров, сканеров, цифровых нивелиров, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и GNSS-оборудования [2].

Геодезисты с использованием тахеометра фиксируют весь строительный цикл. Необходимо определить координаты и высоту точки (станции) тахеометра на строительной площадке относительно закрепленных реперов на местности. Возможны различные способы установки прибора. Наиболее надежным и точным является установка по трем и более реперам, что позволяет минимизировать погрешности, выявить (грубые, случайные и систематические) и исключить их влияние. Необходимо учитывать метеоусловия в районе работ и ввести данные в тахеометр (температура, давление, рефракция). Если стремиться к равностороннему треугольнику между станцией и реперами, мы повысим точность полевых измерений [1].

При использовании тахеометра в холодное время года необходимо проверять температуру прибора. До начала работ рекомендуется дождаться его охлаждения, чтобы исключить ошибки, так как даже незначительный перепад температур может привести к превышению нормативных допусков на геодезические разбивочные работы (например, при монтаже свай или оголовков).

В затруднительных условиях необходимо избегать работы вблизи вибрирующих механизмов и движущейся техники, а также установки прибора на нестабильных грунтах (например, на свежесыпанной насыпи или переувлажненной глине). Соблюдение этих мер обеспечит требуемую точность последующих строительно-монтажных работ.

Камеральную обработку полевых измерений обеспечивает специализированный программный комплекс. Происходит постоянный мониторинг центра свай в реальном времени прямо на месте, что является преимуществом для современных строительных организаций. В условиях, когда температура окружающего воздуха опускается ниже -20°C , необходимо применять тахеометры, способные работать при пониженных температурах, линии Arctic.

Бурение – это комплекс работ для точного определения планово-высотного положения скважин, их привязки, контроля глубины и азимута бурения, а также создания точной геодезической основы, необходимой для проектирования и строительства фундаментов, коммуникаций и зданий, чтобы обеспечить их соответствие проектной документации.

При бурении геодезист разбивает оси на местности для точного позиционирования, производя контроль самого процесса, обеспечения соответствия проектному положению, выполняет исполнительную съемку и мониторинг деформаций, чтобы гарантировать безопасность объекта, отслеживая точность, вертикальность и расположение скважин.

Сваи являются основой фундаментов, которые с помощью точных измерений и разбивки устанавливаются в грунт для передачи нагрузки от зданий на прочные слои. С помощью геодезических электронных приборов квалифицированный персонал выполняет контроль глубины забивки и точности положения свай строго в соответствии с нормативными требованиями и методиками строительного производства.

На площадке нельзя выполнять измерения в спешке, находиться вблизи области забивки и транспортировки свай. При геодезическом сопровождении требуется учитывать многочисленные факторы (погодные условия, рельеф, требования техники безопасности, нормативных актов, точность определения координат). Качественное выполнение работ является основой отсутствия проблем при дальнейшем строительстве и эксплуатации объекта [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.

2 **Сырова, Н. С.** Геодезия в контексте географии / Н. С. Сырова, И. П. Дралова // Зырянские чтения : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Курган, 4–5 дек. 2025 г. / Курганский гос. ун-т. – Курган, 2025. – С. 161–162.

ОРГАНИЗАЦИЯ МАШИНИЗИРОВАННОГО ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

А. С. БРАТИКОВА (Белорусская железная дорога)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *П. В. КОВТУН*

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современная тенденция постоянно развивающихся технологических процессов не только диктует условия по совершенствованию подходов в эксплуатационной деятельности, но и определяет необходимость в развитии материально-технической базы путевого хозяйства.

Достижение основных целей развития и обновления путевого хозяйства обеспечивается соответствующими основными направлениями в области технической, технологической, кадровой, финансовой и инвестиционной политики Белорусской железной дороги, а также выполнением комплекса соответствующих мероприятий.

В целях реализации развития и обновления хозяйства пути в соответствии со Стратегией развития Белорусской железной дороги разработана Программа поэтапного перевода дистанций пути отделений Белорусской железной дороги на технологию механизированного текущего содержания пути на 2026–2030 годы.

Гибкость реализации программы и необходимость ее корректировки определяется ежегодно в зависимости от фактических потребностей государственного объединения «Белорусская железная дорога», выражается в сконцентрированном и поэтапном подходе, начиная с решения критически важных задач и заканчивая переходом к инновационной деятельности по внедрению технологии механизированного текущего содержания железнодорожного пути.

Изменение подходов к текущему содержанию железнодорожного пути позволяет:

- повысить эффективность использования персоналом дистанций пути за счет увеличения оперативности доставки к местам производства работ, применения современного механизированного инструмента и замещения ручного труда технологическими комплексами (путевыми машинами, системами принудительной очистки стрелочных переводов);

- обеспечить соблюдение требований охраны труда при выполнении работ по текущему содержанию железнодорожного пути за счет уменьшения вероятности их выполнения с отступлением от технологий производства работ из-за недостатка персонала;

– повысить эффективность выявления неисправностей железнодорожного пути и контроля за их устранением.

Основные мероприятия перевода дистанций пути отделений Белорусской железной дороги на технологию машинизированного текущего содержания пути [1]:

– пересмотр и определение административного деления дистанций пути отделений Белорусской железной дороги согласно установившейся грузо-напряженности участков железнодорожного пути;

– оснащение путевых бригад, расположенных в пределах линейных и смешанных линейных участков (околотков) дистанций пути, автомобилями повышенной проходимости;

– оснащение дистанций пути аккумуляторным инструментом;

– оборудование централизованных стрелочных переводов технологическим подогревом с системой дистанционного управления;

– закупка специального подвижного состава для предприятий путевого хозяйства Белорусской железной дороги.

Однако при переходе на данную технологию существуют определенные сложности:

– недоукомплектование работниками путевых бригад;

– необходимость оборудования материально-технической базы для ремонта и обслуживания специальной железнодорожной техники и оборудования;

– недостаток профильных специалистов, осуществляющих разработку проектной документации, и работников, производящих монтаж оборудования централизованных стрелочных переводов технологическим подогревом;

– пересмотр и определение административного деления может привести к пересмотру границ дистанций пути;

– аккумуляторный инструмент аналогичной мощности по сравнению с электрическим по себестоимости значительно дороже, а также требует приобретения дополнительных аккумуляторных батарей.

Исходя из этого, для успешной реализации данной технологии необходимо рассмотреть каждый пункт более подробно, чтобы предотвратить возможные экономические (финансовые) последствия неуспешной реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Мамсиков, Н. В.** Технология машинизированного текущего содержания пути на Белорусской железной дороге / Н. В. Мамсиков, А. А. Кравченко, П. В. Ковтун // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 20–21 нояб. 2025 г. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2025. – С. 296–298.

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОНОВ

Д. А. БРЕЛЬ (ЗСАс-6)

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

Дорожные покрытия из цементобетонных, эксплуатируемые в условиях Республики Беларусь, подвержены действию комплекса факторов:

- вертикальная силовая нагрузка – транспортные средства различной массы вызывают в покрытии напряжения изгиба, приводящие к образованию различных трещин и микродефектов;

- динамическая нагрузка – транспортные средства при движении по неровностям покрытия оказывают ударное воздействие, вызывая вибрации и ускоряя усталостное разрушение;

- температурные колебания – большая амплитуда температур повышает риски образования трещин в зимний период или выпора покрытия в период высоких летних температур;

- осадки – водонасыщенный дорожный бетон склонен к ускоренному разрушению, особенно в зимний и ранневесенний периоды.

Сквозные трещины на бетонных покрытиях нарушают целостность плиты, позволяют воде попадать под плиту и интенсивно разрушать основание, приводя к образованию уступов между частями плиты.

Традиционным способом повышения прочности бетона при работе на изгиб является армирование. Использование арматурных сеток позволило бы существенно снизить риски образования и роста трещин, но это решение влечет за собой увеличение стоимости строительства, содержания, капитального ремонта и реконструкции, а также усложнение технологических процессов на всех этапах.

Реже используется способ дисперсного армирования [1]. Суть способа заключается в насыщении растворной части бетона короткими волокнами (стальными, углеродными, базальтовыми, стеклянными, полипропиленовыми и пр.), ориентированными в пространстве произвольным образом (рисунок 1). Созданная пространственная структура имеет повышенную прочность при приложении различных усилий (преимущественно растягивающих и изгибающих). Целесообразно рассматривать дорожное бетонное покрытие как двухслойную систему [2]. Исходя из условий работы бетона в покрытии, можно предложить армирование углеродными, базальтовыми или стеклянными волокнами бетона, работающего преимущественно на изгиб (нижний слой бетонного покрытия, устроенного по методу сращивания), армирование поли-

пропиленовым волокном [3] бетона, непосредственно воспринимающего транспортную нагрузку (верхний слой покрытия).

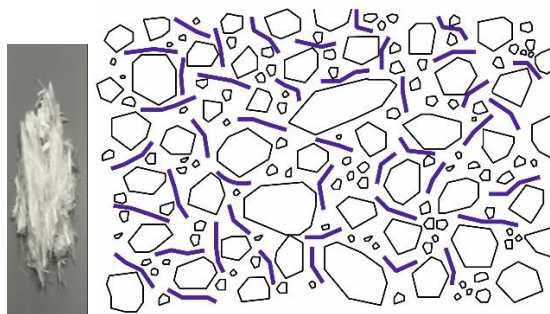


Рисунок 1 – Полипропиленовое волокно (слева) и структура дисперсно-армированного дорожного бетона (справа)

Расход дисперсного волокна зависит от его параметров (происхождение, отношение длины к диаметру и пр.) и составляет приблизительно 0,1–0,5 % от массы минеральной части. Точное значение устанавливается на основании лабораторных испытаний образцов.

Технологический процесс приготовления дисперсно-армированных бетонов не имеет существенных отличий от традиционного. Однако следует предпринимать меры по недопущению комкования волокна. Оптимальным вариантом является предварительное перемешивание волокна с цементом и их совместная подача в смеситель. С целью недопущения снижения активности цемента предлагаемая технологическая операция смешивания вяжущего и волокна должна осуществляться непосредственно перед подачей в смеситель или на цементном заводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Молочко, Н. А.** О дисперсном армировании цементобетонов / Н. А. Молочко // Молодежь и научно-технический прогресс : сб. докладов XV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Губкин, 7 апр. 2022 г. : в 2 т. Т. 1 / сост.: Е. Н. Иванцова [и др.] ; Белгородский гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова. – Губкин, 2022. – С. 265–267.
- 2 **Рыжов, К. А.** Цементобетонные покрытия из разнопрочных бетонов / К. А. Рыжов // Молодежь и научно-технический прогресс : сб. докладов XVI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Губкин, 6 апр. 2023 г. : в 2 т. Т.1. – Губкин, 6 апр. 2023 г. – Губкин ; Старый Оскол : Ассистент плюс, 2023. – С. 433–434.
- 3 **Клюев, С. В.** Дисперсно армированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна / С. В. Клюев, Р. В. Лесовик // Бетон и железобетон. – 2011. – № 3. – С. 7–9.

РОЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ СТАНОВЛЕНИИ СТУДЕНТА-ДОРОЖНИКА

В. В. БУКАС, А. С. МАШУТИН, Н. В. ЯХНИН (СА-51)

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

В составе студенческого строительного отряда студентами БелГУТа проходила производственная практика в Гомельской области на реконструкции автомагистрали М-10. Трасса М-10, протяженностью 526 километров, связывает границу Российской Федерации Селище – Гомель – Кобрин. Проект стоимостью миллиард рублей предусматривает создание современной четырехполосной магистрали с бетонным покрытием, рассчитанной на скорость движения до 120 км/ч. В ходе работы студенты приобрели производственные навыки при укладке бетонного покрытия (рисунок 1, а), укреплении откосов геоматериалами, разбивке оси трассы современными геодезическими приборами, укладке асфальтобетонного покрытия (рисунок 1, б), освоив, по сути, весь спектр работ по реконструкции автомагистрали. Однако ценность этого опыта выходит далеко за рамки простого выполнения рабочих операций, так как практика является неотъемлемой и ключевой частью в жизни студента-дорожника, превращая теоретические знания в профессиональную компетенцию.

а)



б)



Рисунок 1 – Укладка покрытия:
а – бетонного; б – асфальтобетонного

Роль практики в обучении невозможно переоценить, поскольку теоретические знания, полученные в аудиториях, требуют обязательного приме-

ния в реальных, порой экстремальных условиях строительной площадки. Учебники дают представление о нормативах и формулах, но только на объекте студент понимает, как эти нормы работают в динамике. Практика выступает ключевым этапом, формирующим специалиста, позволяя увидеть полную картину дорожного строительства от геологических изысканий до сдачи объекта в эксплуатацию. Применение теории на деле способствует закреплению знаний в практической среде: расчеты объемов земляных масс перестают быть абстрактными цифрами, когда ты видишь работу экскаваторов и самосвалов, а требования к плотности грунта становятся понятными после контроля лабораторных проб. Именно в полевых условиях происходит трансформация информации в понимание, где каждая ошибка в проекте или отклонение от технологии может привести к реальным финансовым потерям или снижению безопасности движения в будущем.

Формирование навыков в ходе практики носит комплексный характер, включая развитие как профессиональных умений, так и личных компетенций. Работа с современными геодезическими приборами, такими как электронные тахеометры и GPS-системы, требует не только знания инструкции, но и умения адаптироваться к погодным условиям и рельефу местности. Укладка бетонного покрытия или работа с геоматериалами для укрепления откосов учит внимательности к деталям, ведь долговечность дороги зависит от качества каждого слоя. Кроме того, жизнь в составе студенческого строительного отряда воспитывает дисциплину, ответственность за общий результат и умение работать в команде. Понимание специфики профессии приходит через оценку сильных и слабых сторон в реальной работе. На практике студент сталкивается с нештатными ситуациями, которые не описаны в учебниках: изменение погодных условий, срывы поставок материалов, необходимость оперативного принятия решений. Это позволяет трезво оценить свою готовность к самостоятельной работе и выявить пробелы в знаниях, которые необходимо восполнить до выпуска. Участие в реконструкции такой важной артерии, как М-10, дает понимание социальной значимости труда дорожного инженера. Приходит осознание, что строится не просто полоса движения, а инфраструктура, которая связывает города, обеспечивает экономику и безопасность людей. Этот уровень ответственности формирует внутреннюю мотивацию к профессиональному росту.

Таким образом, производственная практика служит мостом между статусом студента и квалификацией инженера. Она позволяет проверить выбранный путь на прочность, убедиться в правильности профессионального выбора и получить бесценный опыт, который высоко ценится работодателями. Без прохождения реального объекта подготовка специалиста остается неполной, так как дорожное строительство требует не только интеллектуального, но и физического вовлечения, понимания технологии «руками». Практика подтвердила, что быть студентом-дорожником – значит постоянно учиться, адаптироваться и совершенствоваться, ведь именно от наших знаний и навыков зависит надежность транспортной сети страны.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ И КЭШИРОВАНИИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

А. С. БУСЬКО (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. С. С. КОЖЕДУБ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современные системы управления учебным процессом сталкиваются с проблемой высокой вычислительной сложности при формировании итогового расписания. Основная трудность заключается в необходимости динамического объединения статических таблиц (основное расписание) с массивом динамических изменений (переносы, отмены занятий). Такие операции требуют сложных запросов в базу данных (БД), что в случае с большим числом одновременных запросов данных может привести к снижению пропускной способности.

В данной работе предлагается архитектурное решение, минимизирующее время отклика системы за счет делегирования логики нормализации данных асинхронным сервисам, а также хранения готовых ответов в Redis-кэш [1]. Визуальное представление предложенной высокоуровневой архитектуры приложения, иллюстрирующее разделение на основной серверный узел, реляционную базу данных и кэширующий слой, приведено на рисунке 1.

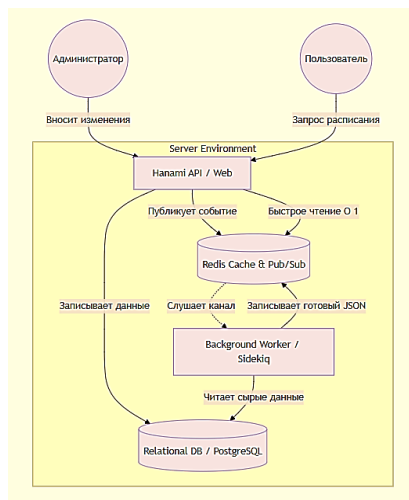


Рисунок 1 – Архитектура системы

Вместо сложной выборки из БД при каждом запросе система использует фоновые воркеры для агрегации данных из нескольких таблиц в единый JSON-объект. Здесь реляционная БД обеспечивает целостность связей, а Redis выступает в роли высокоскоростного хранилища неструктурированных данных. Для обеспечения актуальности данных предлагается событийно-ориентированная инвалидация [2]: при внесении изменений в админ-панели генерируется сообщение в Redis, которое непрерывно слушает фоновый воркер и, при получении этих сообщений, инициирует точечный пересчет кэша только для затронутых групп студентов и преподавателей – так называемая «зона влияния».

Схема взаимодействия компонентов системы и пользователя при обновлении и запросе расписания, демонстрирующая асинхронную обработку событий, проиллюстрирована на UML-диаграмме последовательности (рисунок 2).

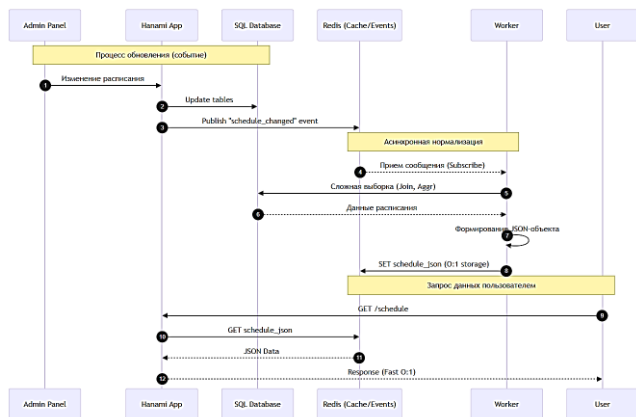


Рисунок 2 – UML-диаграмма схемы взаимодействий

Разработанная архитектура позволяет перевести вычислительную сложность обработки и получения данных из категории $O(N / \log N)$ (характерной для тяжелых SQL-запросов с объединением множества таблиц) в категорию $O(1)$ (прямое чтение агрегированного ответа по ключу) для конечного пользователя. Это обеспечивает стабильную работу системы в периоды пиковых нагрузок и снижает требования к ресурсам серверного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Рубин, О. И.** Использование СУБД Redis в качестве промежуточного хранилища данных для PostgreSQL / О. И. Рубин // StudNet. – 2020. – № 9. – С. 1646–1650.
- 2 **Персиваль, Г.** Паттерны разработки на Python / Г. Персиваль, Б. Грегори. – СПб. : Питер, 2022. – 336 с.

ВЫБОР СПОСОБА УПЛОТНЕНИЯ РЕМОНТНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЗАДЕЛКЕ ВЫБОИН

П. Д. ГАБЕЦ (СА-51)

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

При реализации технологического процесса роботизированной заделки выбоины с устройством карты возможно использование следующих материалов для ремонта [1]:

- асфальтобетонные смеси;
- асфальтобетонные плиты [2].

Использование асфальтобетонных смесей усложняет конструкцию робота-комбайна, но при этом предоставляет более широкие возможности для ямочного ремонта – имеется возможность нарезки карты различной глубины и формы. Использование плит упрощает конструкцию комбайна и требует установления строго фиксированных параметров ремонтной карты.

Для уплотнения ремонтных материалов могут использоваться:

- жесткий штамп;
- гладкий валец;
- пневмовалец.

Жесткий штамп реализует схему одноосного вертикального сжатия. Он размещается на порталной раме и перемещается в пространстве благодаря как элементам рамы (горизонтально), так и гидроцилиндрам (вертикально). Вес робота-комбайна может быть использован для уплотнения при обеспечении достаточных прочности и жесткости порталной рамы. Для уплотнения асфальтобетонных смесей в карте (предлагаемая форма карты – круг) при помощи жесткого штампа необходима ограничительная форма, препятствующая выдавливанию смеси (уложенной с коэффициентом запаса на уплотнение) в стороны на начальных этапах уплотнения. Процесс практически аналогичен лабораторному уплотнению образцов асфальтобетона на прессе. Значительно отличаются размеры уплотняемого материала и соотношение высоты и диаметра основания формируемой заплаты. Резко снижается эффективность при устройстве и роботизированной заделке асфальтобетонной смесью квадратных карт. В углах квадратной формы высок риск образования пустот. Для фиксации асфальтобетонной плиты в карте жесткий штамп подходит лучше, но при условии отсутствия на дне карты неровностей или зерен асфальтогранулята после разделки карты. Наличие неровностей приведет к разрушению плиты под давлением.

Аналог уплотняющего органа с гладким металлическим или пневмовальцом уже существует. Подобные уплотнители установлены на некоторых моделях битумошбенинраспределителей и представляют собой несколько вальцов, установленных на общей или отдельных траверсах. Как элемент робота-комбайна рабочий орган с гладкими вальцами эффективен для уплотнения асфальтобетонных смесей в большей степени, чем для фиксации плиты. Он реализует традиционную схему последовательного уплотнения смесей при производстве дорожных работ. Многократные проходы вальца при фиксации плиты нецелесообразны. Контроль степени уплотнения осуществляется при помощи лазерных или оптических систем сканирования [3].

Вальцовый уплотнитель может работать только при отсутствии ограничительной формы, рассмотренной в первом способе. В таком случае смесь должна быть уложена и распределена в карте при помощи ограничительной формы, но сама форма должна быть убрана до начала уплотнения. Процесс снятия формы несет риски деформации уложенного объема смеси в виде разрушения кромки из-за наличия прилипнувших к ней частиц смеси или смещения формы. Требуемое значение коэффициента уплотнения достигается за счет многократного прохода уплотняющего органа по ремонтному материалу или за счет движения робота-комбайна вперед-назад или за счет движения только рабочего органа в пределах рабочей зоны (усложняет конструкцию).

Достоинства и недостатки металлических и пневмоколесных вальцов такие же как и для традиционных средств уплотнения. Достоинством металлического вальца является относительно одинаковая величина давления на ремонтный материал, а недостатком – вероятность дробления щебня. Пневмовалец не разрушает щебень и при независимой системе подвеске вальцов не перегружает отдельные вальцы при движении по неровностям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Габец, П. Д.** Основные узлы и агрегаты робота-комбайна для ямочного ремонта и герметизации трещин асфальтобетонных покрытий / П. Д. Габец // Сборник студенческих научных работ : в 2 ч. Ч. 1. – Вып. 29. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 58–61.

2 **Габец, П. Д.** Производство асфальтобетонных плит для роботизированной заделки выбоин / П. Д. Габец // Наука – транспортной инфраструктуре : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и учащихся колледжей, Гомель, 21 марта 2025 г. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 21–22.

3 **Габец, П. Д.** Система сканирования и контроля за выполнением автоматизированных работ по ямочному ремонту / П. Д. Габец // Наука – транспортной инфраструктуре : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и учащихся колледжей, Гомель, 21 марта 2024 г. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 19–20.

ОБСЛЕДОВАНИЕ, СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. С. ГРЕЧАНИК (11404222)

Научный руководитель – ассист. *Ю. В. КУЛАГО*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Для обеспечения надежной эксплуатации транспортных сооружений основными целями обследования являются выявление дефектов, оценка остаточного ресурса, определение приоритетов ремонта и прогнозирование стоимости.

Для достижения поставленных задач применяются следующие методы:

1 Визуальный осмотр. Пошаговые проверки поверхностей, обнаружение коррозии, трещин, разрушений бетона, деформаций и следов протечек.

2 Неразрушающий контроль (НК). Ультразвук, дефектоскопия магнитная и вихретоковая – для обнаружения скрытых повреждений в металле и бетоне без демонтажа (рисунок 1).

3 Геодезические и геотехнические исследования. Контроль осадки, смещения опор, мониторинг деформаций с точностью до миллиметра.



Рисунок 1 – Ультразвуковой дефектоскоп Монолит А1220

Содержание транспортных сооружений – это ежедневные и сезонные мероприятия, предназначенные для поддержания эксплуатационных характеристик сооружений [1].

Ремонт классифицируется по объёму и глубине вмешательства. Каждый вид имеет свою методику, требования к материалам и сроки [2, 3].

1 Обследование и диагностика. Формирование технического заключения с перечнем дефектов, фотофиксацией и расчётом остаточного ресурса элементов.

2 Проектирование и составление смет. Разработка рабочего проекта, выбор материалов, методик ремонта, подготовка сметы и графика работ.

3 Демонтаж и подготовительные работы. Удаление повреждённых слоёв, укрепление опалубок, частичный демонтаж элементов, обеспечение безопасности работ.

4 Восстановление конструкций. Устройство новых элементов: армирование, бетонирование, сварка, установка новых опор, швов и покрытий.

5 Испытания и приёмка. Неразрушающие испытания, контрольные замеры, оформление актов приёмки и мониторинг в гарантийный период.

Своевременные обследования, системное содержание и качественный ремонт – это инвестиции в безопасность, экономическую эффективность и устойчивое развитие.

Аттестованные специалисты качественно и в кратчайшие сроки:

- определяют техническое состояние сооружений;
- установят дефекты и повреждения сооружений;
- установят соответствие состояния сооружений действующим строительным нормам;
- определяют необходимость текущего или капитального ремонта сооружений;
- установят необходимость усиления строительных конструкций сооружений;
- составят техническое заключение о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Содержание и ремонт транспортных сооружений : метод. рекомендации к практ. занятиям для студентов / сост. А. М. Сергеева. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2021. – 41 с.

2 СН 1.04.01-2020. Техническое состояние зданий и сооружений. – Введ. 27.10.2020. – Минск : Стройтехнорм, 2021. – 68 с.

3 СП 1.04.02-2022. Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений. – Введ. 02.03.2022. – Минск, 2022. – 73 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В СОЗДАНИИ МОДУЛЬНОЙ ПРИДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

В. С. ГРИНЕВИЧ (Д-31)

Научный руководитель – преп. Г. Г. МОРОЗОВА

*Филиал «Гомельский государственный дорожно-строительный колледж
им. Ленинского комсомола Белоруссии» учреждения образования
«Республиканский институт профессионального образования»*

Концепция циркулярной экономики замкнутого цикла в дорожном строительстве предполагает максимальное повторное использование материалов, регенерацию асфальтобетона и применение отходов промышленности. Сформированная в Беларуси к 2026 году нормативная база создает условия для эффективного вовлечения отходов в производственный цикл дорожной отрасли, превращая экологическую проблему в ресурсную базу [1].

Целью работы была разработка и обоснование концепции модульной придорожной инфраструктуры на основе вторичных ресурсов Гомельской области.

Проведенный анализ ресурсного потенциала Гомельской области показал, что основные виды промышленных отходов, пригодных для производства элементов инфраструктуры, представлены: фосфогипс (ОАО «Гомельский химический завод») – дорожными основаниями, гипсовыми блоками; металлургические шлаки (РПУП «БМЗ») – щебнем, асфальтобетоном, тротуарной плиткой; золошлаковые отходы (Гомельская ТЭЦ-2, Светлогорская ТЭЦ) – подсыпкой дорог, легким бетоном; отходы стекла и пластика (предприятия ЖКХ) – полимерпесчаными изделиями (бордюры, лотки).

Строящийся Гомельский региональный комплекс по обращению с ТКО площадью 40 га обеспечит сортировку до 65 % отходов, производство RDF-топлива и материалов для дорожного строительства. Мощность комплекса запланирована на переработку 220 тысяч тонн отходов в год. Развитая логистика и новый комплекс обеспечивают их доступность.

Обследование участка дороги Р-129 (км 12 + 500 – км 15 + 200) по данным [2] показало: тип покрытия – асфальтобетон, среднесуточная интенсивность – 1500–2500 авт./сут, доля грузовых машин в потоке – 22–30 %. Выявлены дефекты: трещины, колейность, просадки, разрушение кромки покрытия, отсутствие расписания на остановках. Подтверждена потребность в модернизации.

Предложена модульная концепция придорожной инфраструктуры замкнутого цикла на принципах типизации и блочности [1]. Исследование в лабораториях свойства композитов, схемы производства и монтажа позволяют разработать конструктивные решения для остановок из ВМР [3]. Конструктивные решения остановочного пункта из вторичных ресурсов предлагается выполнить:

- фундамент – дробленого бетона, битого кирпича;
- каркас – металлоконструкций из вторичного лома;
- стены – полимерпесчаных композитов, переработанного пластика;
- покрытие пола и территории – резиновой плитки из шин;
- кровля – композитной черепицы из вторичных полимеров.

Технологическая схема будет включать два этапа: заводской этап (проектирование, заготовка каркаса, антикоррозийная защита, монтаж сетей, контроль качества) и объектный этап (подготовка основания, транспортировка, стыковка модулей, подключение коммуникаций). Применение BIM-моделирования и цифрового паспорта объекта будет влиять на снижение затрат и обнаружение коллизий.

Для оценки экологической и социально-экономической эффективности проекта предложена примерная дорожная карта [4], включающая 3 этапа:

Фаза 1 – пилотный объект на км 19 + 700 трассы Р-30.

Фаза 2 – замена 30 остановок на Р-30, локализация производства композитов и переработки шин.

Фаза 3 – национальный стандарт, экспорт в ЕАЭС.

Проект предотвращает экологический ущерб, снижает углеродный след, экономит на налогах и создает рабочие места.

Применение вторичных ресурсов в придорожной инфраструктуре экономически эффективно, снижает нагрузку на окружающую среду, создаёт рабочие места и соответствует циркулярной экономике Республики Беларусь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Вашко, И. М.** Циркулярная экономика : пособие / И. М. Вашко. – Минск : Академия управления при Президенте Респ. Беларусь, 2025. – 167 с.

2 РУП «Гомельавтодор» : [сайт]. – Гомель, 2026. – URL: <https://gomelavtodor.by> (дата обращения: 09.03.2026).

3 ТКП 507-2025 (33200). Автомобильные дороги. Размещение и обустройство объектов сервиса. – Взамен ТКП 507-2014 ; введ. 01.06.2025. – Минск : М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь. – 28 с.

4 ТКП 17.11-08-2024. Охрана окружающей среды и природопользование. Технические требования к обращению с коммунальными отходами. – Введ. 23.01.2025 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W02542781p> (дата обращения: 09.03.2026).

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТА УСТРОЙСТВА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

У. А. ГРИШАНОВИЧ (СВм-11)

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

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современным стандартом высокоточных и эффективных геодезических работ является сочетание беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и GNSS-оборудования. Совместное их использование позволяет получать результаты быстро, безопасно, с большой детализацией данных [1]. Комплекс работ является основой эксплуатации и обслуживания на всем протяжении жизненного цикла объекта.

Волоконно-оптическая линия связи представляет собой технологию передачи информации на большие расстояния без потери качества сигнала. Геодезическое сопровождение при съемке оптоволоконной линии связи является необходимой частью работы для принятия проектных решений. Рассматриваемый объектный комплекс инженерно-геодезических изысканий – полоса местности порядка 30 метров вдоль железной дороги Жабинка – Минск.

Целью изысканий является съемка местности для построения цифровой модели местности (ЦММ) и составление инженерно-топографического плана для принятия проектных решений по возведению новой волоконно-оптической линии связи. Перед началом работы все инженерно-геодезические изыскания регистрировались надлежащим образом в органах архитектуры и градостроительства с последующим получением задания на инженерно-геодезические изыскания.

Весь участок был разбит на фрагменты порядка 50–60 километров после анализа характера местности и интерактивной карты запретных зон для полётов БПЛА, составлена программа изысканий, в которой разграничивают участки, подлежащие съемке с применением БПЛА и геодезической спутниковой аппаратуры (EFT M4 GNSS), в комплексе и только с использованием геодезической спутниковой аппаратуры.

Для выполнения поставленной задачи подход был следующим.

На участках местности, где использование БПЛА в комплексе с геодезической спутниковой аппаратурой было невозможно (запретные зоны для полётов) или нецелесообразно (местность сильно заросшая высокотравьем, кустарниками, лесопосадками), полевые работы производились только геодезической спутниковой аппаратурой.

В этом случае было задействовано два человека. Анализируя объекты местности, характерные точки рельефа, ситуации с помощью геодезической спутниковой аппаратуры, в режиме реального времени (RTK) записывали точки с соответствующим описанием (номер точки, положение в пространстве). За один рабочий день получилось оцифровать приблизительно 8–10 гектаров местности незастроенной территории, на застроенных территориях темп производства работ снижался до 4–5 гектаров и даже меньше, в зависимости от густоты обследуемых наземных и подземных инженерных сетей.

На участке, где применяли БПЛА в комплексе с геодезической спутниковой аппаратурой, было задействовано четыре человека: один оператор БПЛА (должен иметь соответствующую квалификацию и разрешение), один человек с геодезической спутниковой аппаратурой – перед полётом БПЛА закрепляет на местности опорные связующие точки-маркеры (кружки на поверхности шпал, бордюров, на асфальтном покрытии контрастного цвета краски) и записывает соответствующие съёмочные точки. Это необходимо для корректной обработки данных и получения плотного облака точек ЦММ посредством метода фотограмметрии. Оставшиеся два человека с геодезической спутниковой аппаратурой производили съёмку точек, недоступных для обработки с плотного облака точек и ортофотопланов (кабельные сторожки, смотровые колодцы инженерных сетей, искусственные сооружения). Также в процессе работы велась фотосъёмка для получения полной картины местности. Весь комплекс производился с полным соблюдением нормативных документов и методик, нарушения недопустимы в полевых условиях, грамотное их сочетание является современным стандартом надёжности и качества [2].

Таким образом, геодезическое сопровождение – это тяжелая, но необходимая работа, благодаря которой оптические технологии могут обеспечить увеличение скорости передачи информации, удешевить доступ к сети и, следовательно, приумножить число пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инженерная геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Г. М. Куновская, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 100 с.

2 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Я. М. ГРИЩЕНКОВ (ВСМ-21), А. О. МИХАЛЬКОВ (ВСП-21)
Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *В. В. ПЕТРУСЕВИЧ*
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Железнодорожный транспорт является одной из важнейших составляющих современной транспортной инфраструктуры. Надежность и безопасность движения поездов во многом зависят от состояния железнодорожного пути, который в процессе эксплуатации подвергается воздействию множества факторов. К таким факторам относятся климатические условия, тип применяемых материалов, интенсивность движения поездов, уровень влажности, температурные перепады и особенности грунтового основания. Существующие методы оценки состояния железнодорожных путей основываются на нормативных расчетах, статистических данных и результатах инженерных исследований. Однако анализ большого количества факторов и научных данных требует значительных временных затрат и высокой квалификации специалистов. В связи с этим возникает необходимость разработки программного инструмента, который позволит моделировать влияние различных факторов на прочность и срок службы железнодорожного пути.

В настоящее время железнодорожная отрасль активно внедряет цифровые технологии для повышения эффективности эксплуатации инфраструктуры. Одним из перспективных направлений является создание интеллектуальных систем анализа данных. Проблема заключается в том, что влияние различных факторов на состояние железнодорожного пути описано в большом количестве научных исследований, однако эта информация разрознена и сложна для быстрого применения в практических расчетах. Инженеру необходимо анализировать множество источников, сопоставлять данные и проводить расчеты вручную. Разрабатываемая программа призвана объединить научные данные в единую систему и предоставить пользователю удобный инструмент для анализа различных условий эксплуатации железнодорожного пути.

Разрабатываемая система представляет собой программный комплекс, в котором пользователь может задавать различные параметры, характеризующие условия эксплуатации железнодорожного пути. На основе этих параметров программа анализирует научные данные и формирует прогнозные результаты. Основная идея заключается в объединении трех ключевых компонентов: интерфейса ввода параметров, базы научных данных, модуля обработки информации на основе искусственного интеллекта. Пользователь вводит исходные параметры, после чего система анализирует влияние вы-

бранных факторов и выдает прогнозируемые характеристики состояния железнодорожного пути.

Для формирования прогнозов программа будет использовать базу данных научных исследований. В данной базе будут содержаться результаты исследований, посвященных влиянию различных факторов на прочность рельсов, износ элементов верхнего строения пути, деформацию железнодорожного полотна, долговечность материалов. На основе этих данных программа сможет определять, каким образом выбранные пользователем параметры могут повлиять на состояние железнодорожного пути.

Особенностью разрабатываемой системы является использование технологий искусственного интеллекта для обработки научной информации. Алгоритмы искусственного интеллекта будут выполнять следующие задачи: анализировать данные из различных научных источников, выявлять закономерности влияния факторов на состояние железнодорожного пути, сопоставлять введенные пользователем параметры с имеющимися исследованиями, формировать прогнозные результаты. Благодаря этому программа сможет учитывать одновременно множество факторов и их взаимное влияние (рисунок 1).



Рисунок 1 – Сравнительная характеристика до и после использования интеллектуальной системы

Разработка интеллектуальной системы анализа факторов, влияющих на состояние железнодорожного пути, является перспективным направлением развития цифровых технологий в железнодорожной отрасли. Создаваемая программа позволит объединить научные исследования и современные методы обработки данных для прогнозирования состояния железнодорожной инфраструктуры. Использование подобной системы может значительно повысить эффективность принятия инженерных решений и способствовать повышению надежности железнодорожного транспорта.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. Ю. ГУЛЕВИЧ, курсовой офицер батальона курсантов,
А. С. МАХАЕВ (ВСМ-31)

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В Республике Беларусь насчитывается более 5 тысяч мостовых сооружений, из которых значительная часть, построенная в советские годы, либо уже исчерпала нормативный срок службы, либо находится на грани этого, вызывая срочную необходимость реконструкции.

Мостовые сооружения ежедневно подвергаются экстремальной нагрузке, что значительно ускоряет их износ. Это динамические нагрузки от проезжающего транспорта, вызывающие микротрещины в бетоне, усталость металлических конструкций с микродеформациями в швах, деформацию опор и швов, а также износ покрытия проезжей части с выбоинами и шелушением асфальта. Помимо механического воздействия присутствуют климатические факторы (перепад температур, появление коррозии стали от влаги и солей, обледенение), что ускоряет деформации в разы быстрее, сокращая срок службы мостовых конструкций.

Современные технологии помогают минимизировать количество отходов и воздействие на окружающую среду при выполнении работ. Усовершенствование конструкций, монтаж передовых барьерных систем и освещения существенно повышают защиту как для автомобилей и транспорта, так и для людей. Уникальные и сложные формы старых мостов требуют персонализированных решений и профессионализма инженеров. Реконструкция даёт возможность сохранить исторические и архитектурные памятники, гармонично вписывая их в актуальную транспортную сеть. Применение материалов с повышенной прочностью уменьшает будущие расходы на их изготовление и переработку.

В наши дни происходит революция в подходах к укреплению мостовых конструкций: традиционные механические способы уступают место инновационным материалам вроде углеродных нанотрубок, наноусиленного бетона и высокотехнологичных композитов. Эти разработки радикально трансформируют реконструкцию, позволяя создавать конструкции легче, прочнее и с большим сроком эксплуатации.

Особенно многообещающим является наноуровневое улучшение бетона. Введение в смесь многослойных углеродных нанотрубок стимулирует формирование дополнительных центров кристаллизации гидросиликатов кальция. В итоге поры и кристаллы становятся мельче, бетон уплотняется и набирает прочность. Механические характеристики растут на 10–15 %, а в

комбинации с армированным керамзитом нанобетон снижает вес арок в 1,5 раза по сравнению с классическим аналогом. Это особенно ценно для ремонта устаревших опор, не выдерживающих сегодняшние нагрузки от тяжеловесного транспорта.

Дополнительно стоит отметить, что такие материалы повышают устойчивость к коррозии и трещинам – по данным исследований МИТ и Росавтодора (2024–2025 гг.), нанобетонные мосты демонстрируют в 2 раза меньший износ в агрессивных климатических условиях. Как пример: при реконструкции Крымского моста частично использовались нанокompозиты для снижения массы пролетов на 20 %, что сократило затраты на фундамент.

Традиционные стальные обоймы и массивные металлические каркасы постепенно вытесняются инновационной системой CarbonWrap. Технология подразумевает обмотку балок и пролетов моста сверхпрочными углеродными лентами или тканями на эпоксидной смоле. Это дает ключевые плюсы: не нужна тяжелая спецтехника, ремонт укладывается в короткие сроки, расходы падают на 15–20 % относительно классических подходов, а несущая способность растет за счет перераспределения нагрузки – композит берёт на себя растяжение, разгружая сталь и бетон.

К примеру, при реконструкции Казанского моста во Владивостоке пролетные строения были усилены углеволокном CarbonWrap. При реконструкции Гагаринского моста в Чебоксарах было установлено более 800 метров стеклопластиковых водоотводных лотков. Высота опор моста достигает 20 метров, и применение легких антикоррозийных материалов здесь критически важно для безопасности и долговечности.

Научные исследования показывают, что внедрение наноразмерных компонентов (от 2 до 5 %) в слоистые композиты решает проблему расслаивания – основного недостатка традиционных композитов. Введение наночастиц в межслоевое пространство повышает остаточную прочность при сжатии и удельную энергию разрушения, что напрямую влияет на живучесть конструкций в целом. Это позволяет мостам выдерживать ударные нагрузки и препятствует развитию микротрещин.

Подводя итог, можно выделить три главных эффекта от внедрения наноматериалов в реконструкцию мостов:

1 Ремонтные работы ускоряются и обходятся дешевле – экономия достигает 20 % за счет отсутствия нужды в тяжелой технике и длительных перекрытиях. Это минимизирует пробки, снижает логистические потери для бизнеса и городов, сохраняя нормальный трафик даже на загруженных трассах.

2 Конструкции обретают независимость от коррозии, ультрафиолетового излучения и химикатов вроде антигололедных реагентов. Срок службы элементов вырастает в несколько раз.

3 Появляется возможность «точно» усиливать проблемные зоны, не утяжеляя сооружение, что особенно важно при реставрации исторических мостов.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ВЫСОКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К СОВРЕМЕННЫМ ТРАНСПОРТНЫМ НАГРУЗКАМ

Е. А. ГУЛЕВИЧ, Е. Д. СТРОЕВ (СА-31), Н. П. КОРАКО (СА-41)

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

Современное состояние транспортной инфраструктуры Республики Беларусь находится в стадии активной трансформации, обусловленной интенсивным экономическим ростом и интеграцией в международные логистические коридоры. Ключевой характеристикой современных транспортных потоков является не только количественный рост интенсивности движения, но и качественное изменение структуры грузопотока. Наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли большегрузного транспорта, что ведет к росту осевых нагрузок, которые приводят к ускоренному накоплению усталостных дефектов в дорожных конструкциях, сокращая межремонтные сроки.

Особую остроту проблема приобретает в климатических условиях Республики Беларусь, относящейся ко II дорожно-климатической зоне. Значительное количество циклов замораживания-оттаивания в весенний период, сочетание низких зимних температур и летней жары создают экстремальные условия эксплуатации. Ежегодно фиксируется значительное количество повреждений дорожного полотна, среди которых преобладают колеиность, сетка трещин и выбоины. Это диктует необходимость поиска и внедрения более устойчивых инженерных решений, способных обеспечить надежность как гибких (асфальтобетонных), так и жестких (цементобетонных) конструкций в долгосрочной перспективе.

В дорожном строительстве Республики Беларусь традиционно доминируют нежесткие конструкции на основе асфальтобетона. Их ключевыми преимуществами остаются плавность хода, высокая ремонтпригодность и меньшая начальная стоимость устройства по сравнению с бетоном. Однако эксплуатационные данные выявляют ряд критических недостатков: низкая устойчивость к сдвигу при высоких летних температурах, а также естественное старение битумного вяжущего под воздействием ультрафиолета и окисления, что снижает эластичность покрытия и повышает его хрупкость зимой.

Жесткие конструкции из цементобетона обладают принципиально иными характеристиками. Они отличаются высокой несущей способностью,

распределяющей нагрузку на большую площадь основания, и длительным сроком службы, достигающим 20–30 лет без капитального ремонта. Цементобетон инертен к воздействию топлива и горюче-смазочных материалов. Тем не менее широкое внедрение сдерживается высокой первоначальной стоимостью строительства, сложностью организации локального ремонта и высокими требованиями к качеству устройства деформационных швов, нарушение которых ведет к разрушению плит.

В ответ на вызовы современности в Республике Беларусь активно внедряются комбинированные решения и новые материалы. Одним из перспективных направлений является устройство оснований из цементогрунта или материалов, укрепленных неорганическими вяжущими. Это позволяет повысить модуль упругости основания и снизить напряжение в слоях асфальтобетона.

Важным является модификация битумных вяжущих. Применение полимерных добавок, в частности стирол-бутадиен-стирола (СБС), позволяет создать эластомерную сетку внутри битума. Это повышает температуру размягчения вяжущего и снижает температуру хрупкости. Широкое распространение в нашей республике получили геосинтетические материалы. Использование георешеток и геотекстиля выполняет функции армирования слоев основания и разделения разнородных грунтов. Георешетки работают по принципу «зацепления» (interlock) с частицами щебня, создавая эффект жесткой плиты, что способствует перераспределению напряжений и предотвращению взаимного смещения слоев основания и земляного полотна. Это напрямую влияет на увеличение срока службы конструкции. Дополнительным резервом повышения долговечности является дисперсное армирование. Добавление базальтовой или полипропиленовой фибры в асфальтобетонные и цементобетонные смеси позволяет контролировать развитие микротрещин на ранних стадиях. Фибра работает как микроарматура, гасящая энергию деформаций.

Опыт эксплуатации опытно-экспериментальных участков, курируемых РУП «БелдорНИИ», подтверждает эффективность новых подходов. Технологии были апробированы на реконструируемых участках магистралей М-1, М-4 и М-6. Мониторинг состояния данных объектов показывает, что использование модификаторов и геосинтетики позволяет увеличить межремонтный период на 3–5 лет по сравнению с традиционными решениями.

Таким образом, для условий Республики Беларусь наиболее перспективным является дифференцированный комбинированный подход. Для основных магистралей рекомендуется применение нежестких покрытий с использованием модифицированных вяжущих и геосинтетического армирования. Для участков с экстремальными статическими и динамическими нагрузками целесообразно устройство жестких цементобетонных покрытий.

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННОМУ СОДЕРЖАНИЮ И РЕМОНТУ АЭРОДРОМА

Р. Ю. ГУСТИНОВИЧ, Н. С. МИЦКОВСКИЙ (СА-51)

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

Обеспечение высокого уровня эксплуатационной надежности авиационных операций находится в прямой обусловленной зависимости от технического состояния ключевых элементов аэродромной инфраструктуры, поскольку любые отклонения от проектных параметров покрытия генерируют критические риски для безопасности полетов. В рамках системного анализа безопасности полетов установлено, что ненадлежащее содержание летного поля инициирует комплекс техногенных угроз, среди которых наиболее деструктивными являются повреждения силовых установок и планера вследствие попадания посторонних предметов (FOD), а также деградация триботехнических характеристик взлетно-посадочной полосы.

Снижение коэффициента сцепления, вызванное накоплением продуктов износа авиашин или образованием атмосферного обледенения, ведет к нелинейному увеличению дистанции пробега и возникновению эффекта гидропланирования, что существенно повышает вероятность выкатывания воздушного судна за пределы искусственного покрытия. Ошибки в маркировке и сбои в работе светосигнальных систем мешают пилотам ориентироваться. В тумане или при низкой облачности это критически снижает безопасность, так как экипаж хуже понимает положение самолета на полосе.

Чтобы избежать таких рисков, в Беларуси действует четкий регламент «Авиационные правила (АП РБ-139). Сертификация аэродромов», который определяет исчерпывающий перечень и регламент проведения аэродромно-эксплуатационных работ. Данный процесс представляет собой интегрированный цикл мероприятий, включающий непрерывный инструментальный мониторинг прочности и ровности покрытий, комплексную санитарно-техническую очистку территорий и прецизионное обслуживание систем навигации, что обеспечивает поддержание летной годности аэродрома в режиме реального времени. Эффективность данной системы во многом обусловлена четкой классификацией технологических процессов на оперативное повседневное содержание, планово-предупредительное обслуживание и капитально-восстановительные работы, выполняемые по мере накопления усталостных деформаций в структуре дорожных одежд.

В процессе эксплуатации аэродромные покрытия подвергаются постоянному воздействию значительных динамических нагрузок от воздушных судов, атмосферных осадков, перепадов температур и химических реагентов. Под влиянием этих факторов постепенно возникают трещины, деформации, выбоины и другие дефекты, способные ухудшить эксплуатационные характеристики покрытия. Для своевременного выявления подобных повреждений проводится регулярный инструментальный и визуальный контроль состояния летного поля. Инженерно-аэродромные службы осуществляют измерение коэффициента сцепления, контроль ровности покрытий, проверку состояния деформационных швов и оценку прочности конструктивных слоев дорожной одежды. Полученные результаты позволяют определить степень износа покрытия и своевременно принять решение о необходимости проведения ремонтных работ. В мировой практике активно применяются мобильные диагностические лаборатории, оснащенные лазерными сканерами, георадарами и высокоточными измерительными системами. Использование таких технологий позволяет выявлять скрытые дефекты покрытия еще до появления внешних признаков разрушения. Полученная информация интегрируется в цифровые системы управления, формируя единую базу данных о техническом состоянии аэродромных объектов.

Несмотря на широкое применение в текущей практике Республики Беларусь высокопроизводительных подметально-продувочных комплексов и современных антигололедных реагентов на ацетатной и формиатной основе, требования к обслуживанию аэродромов диктуют необходимость внедрения новых технологических решений. Глобальный технологический тренд смещается в сторону внедрения систем лазерного сканирования LiDAR для высокоточного мониторинга микрорельефа и деформационных процессов, а также применения интеллектуальных строительных материалов, таких как самовосстанавливающиеся бетоны, способные автономно устранять микротрещины.

Перспективным направлением является интеграция систем активного электрообогрева критических участков покрытий, что позволяет полностью отказаться от химического воздействия на окружающую среду и конструктивные элементы аэродрома.

Важным направлением совершенствования эксплуатационного содержания является внедрение концепции цифровых двойников аэродромной инфраструктуры. Создание цифровой модели аэродрома позволяет в режиме реального времени анализировать степень износа покрытий, прогнозировать возникновение дефектов и оптимизировать межремонтные сроки. Такой подход обеспечивает переход от реактивного устранения повреждений к проактивной системе управления техническим состоянием аэродрома. Благодаря этому повышается эффективность использования финансовых ресурсов, сокращаются эксплуатационные затраты и значительно снижается вероятность возникновения аварийных ситуаций.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А. И. ДОЛИНКЕВИЧ (СВм-11)

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

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время AutoCAD Civil 3D служит ключевым инструментом для инженеров и геодезистов в области проектирования, строительства и эксплуатации линейных сооружений, таких как дороги и инженерные коммуникации. Процесс обработки полевых измерений проводят в единой цифровой среде для управления всем проектом на различных циклах.

Основная ценность программы заключается в её способности создавать интеллектуальные параметрические модели, где все элементы динамически связаны между собой. При изменении проектировщиком высотной отметки дорожного полотна Civil 3D автоматически пересчитывает все связанные параметры (продольные профили), перестраивает поперечные сечения и корректирует расчёты объёмов земляных работ, что устраняет возможность появления противоречий, обеспечивая целостность данных и значительно сокращая время на внесение корректировок.

Civil 3D интегрирована с геопространственными данными и работает в формате информационного моделирования (BIM), что позволяет импортировать данные топографической съёмки, использовать картографические подосновы и создавать реалистичные 3D-модели объектов. Проектировщики могут визуализировать будущий объект в контексте реальной местности, анализировать возможные проблемы на ранних стадиях и принимать более обоснованные проектные решения.

Работа геодезиста начинается с подготовки цифровой основы проекта, если исходная документация была предоставлена в бумажном формате, первой задачей становится создание точной цифровой модели в среде Civil 3D. Для этого вводятся координаты опорных геодезических пунктов, затем на их основе разрабатываются все проектные решения, планы и элементы благоустройства – это создаёт основу для автоматизированной передачи данных в оборудование.

На этапе полевых разбивочных работ реализуется технология сквозной цифровой передачи данных. Координаты и высотные отметки, рассчитанные в Civil 3D, напрямую экспортируются в форматы, совместимые с геодезическими приборами. С помощью спутникового GNSS-приемника оперативно и с высокой точностью выносят в натуру ось дороги. Для детальной разбивки используют роботизированный тахеометр, который получает задание непо-

средственно из цифровой модели. Этот подход позволяет исключить промежуточные этапы ручного переноса данных и значительно ускорить процесс. При использовании тахеометра необходимо правильно выбрать методику измерений, исключить погрешности, возникающие в полевых условиях (случайные, систематические, грубые), в прибор обязательно вводят данные температуры воздуха, рефракции и давления окружающей среды [1]. Применение Civil 3D позволяет осуществлять непрерывный цикл геодезического контроля, на каждом технологическом этапе строительства после снятия плодородного слоя, разработки выемки, устройства песчаного и щебёночного основания выполняются детальные исполнительные съёмки.

Полученные данные оперативно импортируются обратно в Civil 3D, где на их основе строится актуальная цифровая модель. Программа автоматически сравнивает эту модель с проектной, вычисляет фактические объёмы выполненных работ и выявляет возможные отклонения, что даёт возможность не просто фиксировать результаты, но и оперативно управлять процессом.

Таким образом, AutoCAD Civil 3D является центральной платформой для управления строительными работами, обеспечивая сквозную цифровизацию всего процесса от проектной модели до исполнительной документации. Технология непрерывного цикла, включающего полевые измерения, цифровую обработку и выдачу обновлённых данных для строительства, позволяет достичь беспрецедентного уровня точности, оперативности и управляемости на всех этапах возведения объекта.

Накопленная в процессе работы цифровая модель служит полноценным цифровым двойником, который может быть использован для её дальнейшей эксплуатации и обслуживания, что полностью соответствует принципам современного информационного моделирования. Полевые работы ведутся в условиях активного движения строительной техники, на неустойчивых грунтах и частично на проезжей части, необходимо полное соблюдение техники безопасности на объекте. Внедрение инновационных решений в геодезии происходит постоянно с соблюдением нормативных документов, правил и методик, что обеспечивает высокое качество работ, отвечающих современным требованиям [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.

2 Инженерная геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Г. М. Куновская, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 100 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ПЕРЕКРЕСТКАХ

*Р. И. ДОРОШ (ЗмС-51), Д. А. КУПРЕЕВА (РУП «Гомельавтодор»)
Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Г. В. АХРАМЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В Республике Беларусь ежегодно наблюдается прирост числа автомобилей на дорогах общего пользования. От этого наиболее страдают города, чья уличная дорожная сеть (УДС) не справляется с растущим потоком автомобилей. Реконструкция улиц во многом затруднена сложившейся застройкой, поэтому одним из самых эффективных способов улучшения пропускной способности УДС является оптимизация существующих схем перекрёстков с применением технологий имитационного моделирования.

В данной работе рассматривается создание имитационной модели перекрёстка ул. Полесская – ул. Калинина в г. Гомеле с использованием программы Avenue 2.0 [1]. Исходными данными для создания модели послужили замеры интенсивности движения в час пик (будний день, 17.00) по методике, описанной в [2]. Схема перекрёстка в виде модели приведена на рисунке 1.

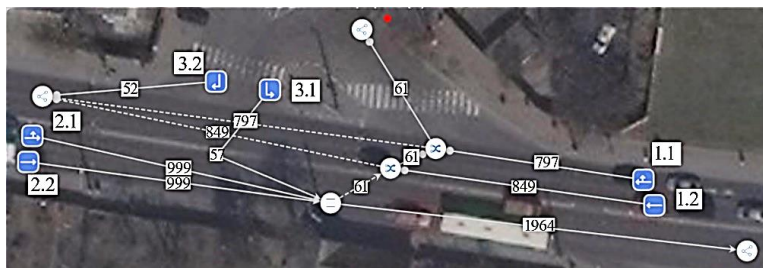


Рисунок 1 – Схема перекрёстка в программе Avenue 2.0

При наблюдении был выявлен проблемный участок – левый поворот с ул. Калинина (направление 2.1). На данном участке отсутствует выделенная полоса, в результате чего водители, желающие повернуть налево, вынуждены пропустить встречный поток и парализуют движение по полосе.

Построение имитационной модели подтверждает наблюдение – в час пик очередь перед стоп-линией может составлять до 21 автомобиля. При текущей схеме организации движения длительность двухтактного цикла светофорного

регулирования составляет 58 секунд (36 и 16 секунд с промежуточными тактами в 3 секунды) и является близкой к оптимальной.

Для решения проблемы затора предлагается изменить структуру светофорного цикла – основная фаза (направления 1 и 2) разбивается на два такта с промежуточным интервалом. Такт 1 сохраняется без изменений: движение по направлениям 1 и 2 разрешено в течение 36 секунд. Затем вводится дополнительный переходный интервал длительностью 13 секунд, в течение которого движение по направлению 2 (ул. Калинина) ограничивается, что позволяет накопившимся на левом повороте (направление 2.1) автомобилям покинуть перекрёсток. Такт 3 для направлений 3.1 и 3.2 и пешеходных переходов остаётся без изменений (рисунок 2).

Значения оптимальной длительности тактов в новой схеме были подобраны с использованием алгоритмов программы Avenue 2.0 и прогнозируют уменьшение максимальной очереди по направлению 2.1 с 21 до 7 единиц транспорта, средней задержки до 10 секунд при увеличении общей длины фазы светофорного регулирования с 58 до 67 секунд.

Направление	Фазы				T _ц , с
1.1 	36	3	29	3	71
1.2 	36	3	29	3	
2.1 	36	13	3	16	
2.1 	36	13	3	16	
3.1 	43	3	16	3	
3.2 	43	3	16	3	

Рисунок 2 – Циклограмма светофорного регулирования с введением дополнительной фазы

Полученная модель позволяет значительно увеличить пропускную способность заторного направления 2.1 без значительного падения пропускной способности всего перекрестка в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Дорош, Р. И.** Применение программного продукта Avenue 2.0 для моделирования перекрёстков в рамках концепции «рабочее пространство как сервис» / Р. И. Дорош // Наука – транспортной инфраструктуре : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и учащихся колледжей. – Гомель : БелГУТ, 2025. – С. 37–38.

2 Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях // Научно-технический совет открытого акционерного общества «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта». – М., 2017. – 91 с.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОДАВЛЕНИЕМ И МЕХАТРОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ БПЛА

*К. В. ДРОБЫШЕВСКИЙ, преп. каф. «Военно-специальная подготовка»
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Использование беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) в самых разнообразных сферах – от военных действий и разведки до коммерческих перевозок и мониторинга – переживает экспоненциальный период роста. Эта тенденция, несомненно, несет значительные преимущества, но одновременно порождает серьезные угрозы. Актуальность использования гибридных комплексов защиты от БПЛА сегодня достигла своего пика. Традиционные системы противовоздушной обороны в ряде случаев показывают свою неэффективность против широкого спектра БПЛА [1], поэтому в данной статье хотелось бы поговорить о таком способе защиты, как гибридный комплекс защиты от БПЛА, рассмотреть его общий принцип действия.

Комплекс представляет собой интегрированную систему противодействия БПЛА и объединяет в себе два ключевых направления: электромагнитное подавление сигналов управления и мехатронические системы физического перехвата. Такой подход обеспечивает многоуровневую защиту критически важных объектов от различных типов угроз, включая разведывательные, диверсионные и ударные БПЛА. Вариант исполнения электромагнитной и мехатронической системы подавления может быть различным и включать в себя различные виды исполнения комплекса: как мобильный, так и стационарный. Рассмотрим общий принцип работы гибридного комплекса:

- составляющая электромагнитного подавления основана на принципе генерации мощных электромагнитных импульсов для нарушения каналов связи между оператором и БПЛА. Спектр ее воздействия охватывает основные частотные диапазоны управления современными дронами и системами навигации. Эффективность системы обеспечивает надежное подавление на расстояниях до нескольких километров в зависимости от конфигурации;

- мехатронический компонент комплекса включает автоматизированные системы физического перехвата и нейтрализации БПЛА. Система использует высокоточные сенсоры для обнаружения и отслеживания целей, а также управляемые механизмы для их захвата или вывода из строя. Интеграция с системой электромагнитного подавления позволяет сначала дезориентировать дрон, а затем осуществить его физический перехват.

К основным компонентам гибридной системы относятся:

- радиолокационная станция (обнаруживает и отслеживает цели на дальних дистанциях);

- генератор электромагнитного излучения (ЭМИ) (создает импульсы для подавления управления);
- система наведения (точно наводит перехватчик на цель);
- механизм захвата (осуществляет физический перехват и нейтрализацию БПЛА).

Основные технические характеристики гибридного комплекса представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики гибридного комплекса

Параметр	Значение	Примечание
Дальность обнаружения, км	До 15	В зависимости от типа БПЛА
Радиус подавления, км	До 10	Зависит от мощности генератора
Время реакции, с	2–5	От обнаружения до активации
Точность наведения, град	$\pm 0,5$	Обеспечивает надежный перехват

Исходя из анализа технических характеристик, к преимуществам гибридного исполнения комплексов защиты от БПЛА можно отнести:

- многоуровневую защиту (комбинированное воздействие комплекса повышает вероятность успешного противодействия БПЛА);
- универсальность (комплекс эффективен против различных типов БПЛА и тактик их применения);
- надежность (отказ одного компонента комплекса не приводит к полной потере защиты).

Применять и разворачивать комплекс можно:

- стационарно (устанавливать на критически важных объектах: аэропорты, электростанции, военные базы и др.);
- мобильно (разворачивать на защищаемых территориях с возможностью быстрого перемещения);
- интегрировать в сети (объединять несколько комплексов в единую систему для защиты больших площадей).

В заключение можно отметить, что гибридный комплекс защиты с электромагнитным подавлением и мехатроникой представляет собой современное, эффективное решение для противодействия угрозе БПЛА. Комбинированный подход обеспечивает надежную многоуровневую защиту критически важных объектов. Система демонстрирует высокий потенциал для развития и внедрения в различные сферы обороны и безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 «Будущее за гибридными комплексами»: какие новейшие российские средства ПВО могут усилить защиту от БПЛА // РТ на русском. – URL: <https://russian.rt.com/russia/article/721792-bpla-borba-radar-pvo> (дата обращения: 11.03.2026).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО СЕТИ ДОРОГ

У. В. ДРОЗДОВА (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современная информационная среда определяет новые подходы к управлению транспортной инфраструктурой. Цифровое моделирование становится ключевым инструментом проектирования и оптимизации транспортных систем на основе обработки больших объёмов данных и применения интеллектуальных алгоритмов [1, 2].

В рамках транспортной отрасли она включает геоинформационные системы (ГИС) [3], системы мониторинга трафика, интеллектуальные транспортные системы (ITS), базы данных транспортных потоков и программные комплексы имитационного моделирования.

Таблица 1 – Методы цифрового моделирования транспортной инфраструктуры

Метод моделирования	Программная реализация	Область применения	Преимущества	Ограничения
Имитационное моделирование	AnyLogic, PTV Vissim	Анализ транспортных потоков	Высокая точность	Требует больших вычислительных ресурсов
Математическое моделирование	Python, MATLAB	Оптимизация маршрутов	Возможность формализации задач	Упрощение реальных процессов
ГИС-моделирование	ArcGIS, QGIS	Пространственный анализ	Визуализация данных	Ограниченность динамики
Машинное обучение	Python (TensorFlow, Scikit-learn)	Прогнозирование трафика	Высокая адаптивность	Необходимость больших данных

Одним из ключевых направлений является использование цифровых двойников транспортного потока. Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель реального объекта, которая динамически обновляется на основе данных датчиков и информационных систем. Применение цифровых двойников позволяет прогнозировать транспортные нагрузки, анализировать аварийность, оптимизировать схемы движения и повышать безопасность дорожного движения.

Программирование играет центральную роль в создании моделей транспортных систем. В создании моделей применяются современные языки программирования (Python, C++, Java) и методы теории графов, массового обслуживания и линейного программирования.

Цифровое моделирование транспортного потока также активно применяется при проектировании «умных городов». В рамках концепции Smart City транспортная система интегрируется с другими элементами городской среды через информационные платформы. Применение Big Data и методов машинного обучения обеспечивает адаптивное управление транспортными потоками.

Важным аспектом является применение имитационного моделирования. Программные комплексы, такие как AnyLogic и PTV Vissim, позволяют создавать многомасштабные модели дорожных сетей, анализировать сценарии развития транспортных инфраструктурных объектов и оценивать эффективность инвестиционных проектов. Такие модели учитывают интенсивность движения, типы транспортных средств, временные интервалы и поведенческие характеристики водителей.

Перспективы развития цифрового моделирования связаны с внедрением искусственного интеллекта, развитием облачных вычислений и интеграцией систем Интернета вещей (IoT).

Таким образом, цифровое моделирование транспортной инфраструктурной системы в информационной среде является стратегически важным направлением развития современной экономики. Оно обеспечивает повышение эффективности управления и формирует основу для создания интеллектуальных транспортных систем будущего [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.
- 2 Инженерная геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Г. М. Куновская, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 100 с.
- 3 **Дралова, И. П.** Цифровые технологии в геодезической и строительной отраслях / И. П. Дралова, Н. С. Сырова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 36–37.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

А. И. ЖУКОВ, Д. Н. МАЗУР (СА-51)

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

Традиционные методы выбора конструкции дорожной одежды, основанные на детерминированных расчетах по допускаемым напряжениям и действующим нормативам, все чаще демонстрируют недостаточную эффективность в условиях роста интенсивности движения, увеличения осевых нагрузок и климатических изменений. Статистика преждевременного разрушения дорог указывает на необходимость пересмотра принципов проектирования, поскольку ключевой проблемой остается разрыв между проектной долговечностью и фактическим сроком службы, а также отсутствие учета совокупной стоимости владения объектом на всех этапах жизненного цикла. Обоснование эффективности внедрения комплексных подходов к выбору конструкции дорожной одежды базируется на анализе жизненного цикла, вероятностных методах оценки надежности и использовании цифровых двойников.

Предлагается сместить фокус проектирования с соблюдения минимальных требований к толщине слоев на гарантирование конкретных эксплуатационных характеристик, таких как ровность, шероховатость, сопротивление износу и других на протяжении заданного срока службы. Такой переход к проектированию по эксплуатационным показателям позволяет варьировать материалы и конструкции для достижения целевых параметров, что не всегда может соответствовать типовым решениям. Важным аспектом нового подхода является интеграция анализа стоимости жизненного цикла, когда выбор конструкции базируется не на минимизации первоначальных капитальных затрат, а на минимизации дисконтированных затрат на протяжении всего срока службы, включая строительство, эксплуатацию и ремонты. Это позволяет экономически обосновать применение более дорогих, но долговечных материалов за счет снижения частоты ремонтов.

При технико-экономической проработке альтернативных вариантов необходимо соблюдение следующих условий: сравниваемые конструкции дорожной одежды должны быть с близкими значениями прочности, причем запасы прочности по какому-либо основному расчетному критерию не должны превышать 5 %; при сравнении конструкций дорожных одежд капитального типа

должно быть разработано не менее 5 вариантов, для облегченного и переходного типов – не менее 3. При сравнении конструкций дорожных одежд разных типов, например жесткой и нежесткой, следует назначать тождественные материалы слоев основания и схожий набор расценок для них при составлении смет. Если сравнивать конструкции дорожных одежд одного типа, то должны быть предложены различные слои основания. В сравнении обязательно следует рассмотреть хотя бы один вариант с применением технологий укрепления или стабилизации грунтов, укрепления слоев основания вяжущими, ресайклинг, применение отходов промышленности – эффективные технологии, минимизирующие применение новых привозных инертных материалов. При выполнении детального сравнения на стадии проектной документации необходимо учитывать наличие местных материалов. Рассчитывая сметную стоимость вариантов следует определять реальные транспортные расходы на доставку материалов. Для выполнения объективного расчета дисконтированных затрат необходимо разработать полный, актуальный (с учетом всех новых технологий, машин и механизмов) перечень ремонтных работ, которые могут выполняться на дороге за период срока службы, содержащий данные о периодичности их выполнения.

На современном этапе важна роль цифровых технологий, так как внедрение информационных моделей дороги позволяет симулировать работу дорожной одежды в динамике, учитывая реальные профили нагрузок и климатические сценарии. Цифровой двойник конструкции дает возможность прогнозировать дефектообразование и оптимизировать выбор материалов до начала строительно-монтажных работ. Кроме того, современные подходы основаны на принципах устойчивого развития, обосновывая целесообразность включения в конструкцию слоев из регенерированного асфальтобетона и использования промышленных отходов при условии подтверждения их долговечности.

Анализ опытных участков показывает, что учет вышеназванных приоритетов в составе комплексного подхода позволяет увеличить межремонтный срок службы дорожной одежды на 20–30 % при оптимизации бюджетных расходов, а внедрение вероятностных методов снижает риск преждевременного отказа конструкции. Таким образом, модернизация подходов к выбору конструкции дорожной одежды является необходимым условием повышения качества автодорожной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СН 3.03.04-2019. Аўтамабільныя дарогі = Автомобильные дороги. – Введ. 26.12.2019. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2020. – 60 с.

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

И. В. ЗАВАРЗИН (11404222)

Научный руководитель – ассист. *Ю. В. КУЛАГО*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Транспортная система представляет собой систему связанных между собой материальных благ и управленческих структур, основной целью которой является обеспечение перемещения грузов и пассажиров.

В материальную базу транспортной сети входят:

- пути сообщения;
- транспортные средства;
- транспортная инфраструктура.

Функционирование транспортной системы обеспечивается логистическими и диспетчерскими службами исходя из установленных государством норм и законов.

Значение транспортной системы невозможно переоценить: она пронизывает все отрасли социально-экономической жизни общества, питая предприятия сырьём и рабочей силой и обеспечивая комфортный и беспрепятственный доступ граждан ко всевозможным услугам и благам.

Исправность транспортной системы – одно из важнейших условий функционирования любой экономической системы, и любое государство, вне зависимости от способа хозяйствования, предпринимает все возможные усилия по ее поддержанию и развитию.

Однако, как показывает практика, рыночная экономика, основанная на праве частной собственности на средства производства и конкуренции, несет в себе противоречия, неизбежно приводящие к системным проблемам в логистике и транспортной отрасли в целом.

При выборе мест размещения производства, складов материалов и готовой продукции и точек реализации собственник вынужден исходить прежде всего из собственных финансовых возможностей, а не из соображений рациональности их расположения.

Таким образом, маршрут «Завод – Склад – Магазин» зачастую приобретает иррациональную форму: расстояние, которое преодолевает товар до момента попадания к потребителю, становится заметно большим, чем могло бы быть, а способ его доставки совсем не обязательно будет достаточно эффективным. При этом затраты на доставку товара возрастают, что приводит к его удорожанию для итогового потребителя. И, что особенно важно,

необоснованно возрастает нагрузка на транспортную сеть, что приводит к возникновению заторов на дорогах и перебоев в движении.

Кроме того, такие перевозки носят децентрализованный характер и не согласованы по времени: каждый собственник сам определяет, в какое время будет осуществляться доставка продукции. Грузовые автомобили, являющиеся основным источником пробок, оказываются на дорогах, в том числе и в часы пик, когда нагрузка на дорожную сеть и без того высока.

Дополнительную нагрузку на транспортную сеть также вызывает отсутствие централизованной системы управления торговлей: плотность точек реализации товара не нормирована, как и количество и виды товаров, поставляемых для продажи. Каждый собственник сам принимает решение о месте расположения торгового объекта и его ассортименте, основываясь не на объективных потребностях общества, а на своих финансовых возможностях и на постоянно изменяющейся рыночной конъюнктуре. Это вызывает избыток одних товаров и недостаток других, а также нестабильную и зачастую избыточную нагрузку на транспортную сеть.

Особняком стоит проблема перемещения пассажиров: в условиях рыночной экономики основным критерием при выборе жилья для гражданина является его стоимость, а не рациональность его расположения. Таким образом, сотрудники одного предприятия зачастую оказываются расселены по всему городу, создавая лишнюю нагрузку на транспортную сеть, теряя время и расходуя большие средства. Это также приводит к усложнению системы общественного транспорта: возникает необходимость в большом количестве маршрутов, зачастую дублирующих друг друга, требуется обширный парк машин. Общественный транспорт, будучи габаритным и маломаневренным, вызывает снижение средней скорости движения потока.

Отсутствие контроля за количеством реализуемого личного транспорта также негативно сказывается на работе транспортной системы: не имея представления о потенциальном количестве транспорта невозможно составить грамотный план развития транспортной сети.

Нельзя не отметить, что многие из данных проблем, свойственных рыночной экономике ещё со времени ее зарождения, заметно сглаживаются на нынешней империалистической стадии ее развития: концентрация капиталов и постепенная монополизация упрощают процесс управления и во многом рационализируют его.

Однако данный позитивный эффект практически нивелируется быстрым ростом товарооборота и свойственным для рыночной экономики перепроизводством.

Таким образом, нельзя отрицать, что транспортная система в рамках рыночной экономики находится в заметно более стесненных условиях, нежели при плановой экономике, и её планомерное интенсивное развитие в таких условиях невозможно.

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

*И. П. ЗУЕВ (ЗмС-51), А. Д. ПИЛЕЦКИЙ, нач. курса батальона курсантов
Научный руководитель – канд. экон. наук, доц. И. М. ЦАРЕНКОВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Цементобетонные покрытия автомобильных дорог обладают высоким потенциалом долговечности, проектный срок службы которых может достигать 30 лет. Анализ реальной эксплуатации свидетельствует о системном несоответствии фактического ресурса проектным значениям. Преждевременное появление дефектов часто обусловлено не исчерпанием несущей способности материала, а отсутствием стратегии управления его жизненным циклом.

Эффективность стратегии управления определяется точностью идентификации лимитирующих факторов. Исследования в области дорожного строительства однозначно указывают на влагу как на главный катализатор разрушения цементобетонных конструкций.

Фундаментальным принципом предлагаемой стратегии является обеспечение состояния «сухой конструкции». Реализация этого принципа возможна только посредством технологий, создающих непреодолимый барьер для проникновения жидкой фазы воды в капиллярно-пористую структуру бетона.

В архитектуре предложенной стратегии гидрофобизация занимает центральное положение, выступая основным инструментом модификации эксплуатационных свойств покрытия.

Для реализации стратегии необходим материал, обеспечивающий глубокую объемную защиту с длительным сроком службы. В качестве решения выделяются составы типа «Типром ДС-35». Стратегическая ценность данного материала обусловлена уникальным сочетанием свойств:

1 Активные компоненты проникают в капилляры бетона на глубину до 10 мм и вступают в реакцию со свободным гидроксидом кальция, образуя нерастворимые силиконаты. Защитный агент становится неотъемлемой частью структуры камня, что исключает его вымывание и механическое удаление.

2 Модифицированный слой блокирует капиллярный подсос жидкой воды, но сохраняет высокую паропроницаемость. Это позволяет влаге свободно испаряться, предотвращая накопление избыточного давления и вспучивание покрытия.

3 Стабильность химической связи обеспечивает сохранение гидрофобных свойств в течение 10–15 лет, что коррелирует с крупными этапами жизненного цикла.

Интеграция гидрофобизации типа «Типром ДС-35» качественно меняет профиль старения дорожной одежды.

Фаза ранней эксплуатации (1–5 лет). Своевременная обработка предотвращает первичное водонасыщение, защищая бетон от агрессивного воздействия противогололедных реагентов и циклов замораживания.

Фаза зрелой эксплуатации (5–20 лет). Поддержание гидрофобного барьера исключает развитие суффозионных процессов в основании и коррозии арматуры. Конструкция продолжает работать в расчетном режиме, сохраняя ровность и несущую способность.

Фаза предельного состояния. Отсрочка наступления критических повреждений позволяет перенести сроки капитального ремонта.

Предлагаемая стратегия реализуется через замкнутый управленческий цикл, где гидрофобизация выступает связующим звеном между диагностикой и ремонтом.

Этап 1. Диагностика и оценка рисков.

Системный мониторинг технического состояния покрытия с фокусом на оценку коэффициента водопоглощения и герметичности швов.

Этап 2. Превентивное технологическое вмешательство.

Плановое выполнение работ по гидрофобизации составом «Типром ДС-35». Приоритетная обработка зон швов, стыков и трещин как основных путей миграции влаги.

Этап 3. Мониторинг эффективности и цифровизация.

Регулярный контроль остаточной гидрофобности методами экспресс-тестирования и инструментальных замеров.

Этап 4. Адаптация стратегии.

Динамическая корректировка периодичности мероприятий на основе ретроспективного анализа эффективности защиты в конкретных дорожно-климатических условиях.

Разработанная стратегия управления жизненным циклом жесткой дорожной одежды базируется на принципе опережающего предотвращения дестабилизирующих факторов. Анализ теоретических основ разрушения цементобетона и практических результатов применения технологии глубокой гидрофобизации позволяет сделать вывод о её определяющей роли в современной системе эксплуатации дорог.

Переход к использованию гидрофобизации как стратегического инструмента позволяет трансформировать парадигму дорожного хозяйства от ликвидации последствий разрушений к активному сохранению конструктивного ресурса. Внедрение данного подхода обеспечивает существенное продление межремонтных сроков, повышение надежности транспортной инфраструктуры и значительную экономию бюджетных средств.

ОТХОДЫ СТЕКЛА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

З. А. ИСАЕНЯ (11403124)

*Научный руководитель – ст. преп. Е. М. ЖУКОВСКИЙ
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Создание новых видов дорожного покрытия с применением неорганических отходов является перспективной темой научных исследований [1]. В мировой практике накоплен значительный опыт использования вторичных ресурсов в дорожном строительстве, однако вопросы комплексного подхода к их применению требуют дальнейшего изучения и систематизации.

В Белорусском национальном техническом университете ведутся системные исследования по утилизации промышленных отходов. Разработаны эффективные способы использования нефтешламов [4] и отходов водочистки ТЭЦ [5], показавшие свою пригодность в составе асфальтобетонных смесей. Этот опыт создаёт прочную научную базу для вовлечения новых видов вторичных ресурсов, в том числе стеклобоя, который ранее не находил широкого применения в отрасли.

В качестве примера можно назвать внедрение отходов стекла различных фракций в дорожно-строительное производство. Использование стекла решает целый спектр технологических, экологических и экономических проблем, актуальных для дорожно-строительной отрасли [2].

Стеклобой представляет собой трудноутилизируемые неорганические отходы, устойчивые к воздействию воды, атмосферных явлений и биогенных процессов [3]. Его использование предполагает замену традиционных минеральных наполнителей и добавок при возведении дорожных сооружений.

Особо перспективно применение стеклобоя в качестве инертного заполнителя в асфальтобетонных смесях [1, 3]. Минеральный порошок из дроблёного стеклобоя обладает незначительной пористостью и водопоглощением, снижает потребность в битуме и позволяет понизить температуру приготовления и укладки смеси [2], что даёт дополнительную экономию энергоресурсов.

Замена традиционных заполнителей (гравия и щебня) на стеклобой помимо экономических преимуществ даёт ряд физико-механических: увеличивает сцепление покрытия с колёсами автомобилей, значительно сокраща-

ет расход битума, улучшает видимость дороги за счёт лучшего светоотражения частицами стекла [1, 2]. Такое покрытие называют стеклоасфальтом. Аналогичные положительные эффекты, как показано в работах [4, 5], наблюдаются при использовании нефтешламов и отходов ТЭЦ: они не только утилизируются, но и способствуют улучшению физико-механических свойств асфальтобетона, что подтверждает перспективность комплексного подхода к вовлечению отходов в дорожное строительство.

Возможно также использование стеклобоя при возведении основания дорожной одежды – стекло, выступающее здесь аналогом щебня, обладает стойкостью к нагрузкам и хорошими дренажными свойствами [3].

В Республике Беларусь одним из апробированных способов является использование светоотражающих стеклянных шариков при нанесении дорожной разметки. Такие шарики многократно повышают видимость покрытия в тёмное время суток, что особенно важно для безопасности движения.

Можно констатировать, что использование стекла эффективно решает комплекс проблем: сокращаются объёмы трудноутилизуемых отходов, улучшаются физико-механические свойства асфальта, снижается расход битума [1–3]. Таким образом, стекло является перспективным строительным материалом, требующим дальнейшего всестороннего изучения и внедрения в практику дорожного строительства с учётом накопленного в республике опыта использования других видов отходов [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Папикян, А. А.** Перспективы применения бытовых и промышленных отходов стекла в дорожном строительстве / А. А. Папикян, Ю. Г. Борисенко // *Инновационная наука*. – 2024. – Т. 1, № 12-1. – С. 92–94.

2 Перспективы утилизации и вторичного использования не утилизированных отходов стекла (стеклобоя) в дорожном строительстве / А. В. Барт, А. В. Оришев, С. В. Рудак, Ю. Г. Борисенко // *Инновационная наука*. – 2020. – № 12. – С. 19–21.

3 **Минько, Н. И.** Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения / Н. И. Минько, В. В. Калатоzi // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. – 2018. – № 18. – С. 82–87.

4 **Жуковский, Е. М.** Способы утилизации отходов нефтепереработки в дорожном строительстве / Е. М. Жуковский, А. А. Куприянчик // *Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й Междунар. науч.-техн. конф.* – Минск : БНТУ, 2019. – С. 21.

5 Состав и свойства цементобетонных смесей для дорожного строительства с использованием тонкодисперсных отходов ТЭЦ / А. В. Корончик, Е. М. Жуковский, С. Е. Кравченко, О. В. Гайдук // *Автомобильные дороги и мосты*. – 2022. – № 1 (29) – С. 71–81.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ И ПЛАНА

Л. П. КОНОНОВИЧ (магистрант)

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

Значение железнодорожного транспорта определяется такими свойствами и особенностями, как удовлетворение транспортных потребностей народного хозяйства и населения, возможность сооружения эксплуатационных дорог в любом направлении, обеспечение устойчивых связей, достаточная высокая пропускная и провозная способность, независимость железнодорожного транспорта от времени года, времени суток, погодных условий, возможность создания удобной прямой связи между крупными предприятиями, что сокращает число дорогостоящих перевозок, способность перевозить разнообразные грузы и выполнять массовые перевозки с большой скоростью, относительно невысокая себестоимость перевозок [1].

Современные требования к железнодорожному транспорту диктуют необходимость постоянного совершенствования инфраструктуры. Повышение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов, увеличение весовых норм требуют приведения параметров плана и продольного профиля в соответствие с действующими строительно-техническими нормами [2]. Участок Витебск – Езерище, являющийся частью транспортного коридора № 9, сталкивается с проблемой наличия кривых малых радиусов и недостаточных прямых вставок, что ограничивает скорость движения до 120 км/час для пассажирских поездов и создает предпосылки для повышенного износа верхнего строения пути. Целью данной работы является разработка проектных решений по реконструкции участка для ликвидации указанных ограничений.

Район проектирования расположен в Витебской области (Городокский район), климат умеренно-континентальный с влажной зимой. Рельеф характеризуется чередованием возвышенностей и низин (Белорусское поозерье). Витебская область обладает развитой транспортной сетью, а Витебск является крупным железнодорожным узлом на направлениях Смоленск, Санкт-Петербург, Гомель, Полоцк.

Витебская дистанция пути обслуживает участок Витебск – Езерище (эксплуатационная длина путей – 286,7 км). Анализ инфраструктуры пока-

зывает, что грузонапряженность на участке составляет 32,5 млн ткм брутто. Верхнее строение пути преимущественно представлено рельсами Р-65 (369,7 км главных путей) на щебеночном балласте (99,5 %). Протяженность бесстыкового пути составляет 349,4 км. Основным ограничением для повышения скоростей является геометрия плана линии: средняя протяженность кривых на участке достигает 45 % от общей длины, при этом присутствуют кривые радиусом менее 607 м, а также недостаточные прямые вставки между смежными кривыми, что не соответствует современным нормам для скоростного движения.

Реконструкция продольного профиля представляет собой сложную задачу, так как требует выполнения работ без перерыва в движении поездов и с учетом существующих искусственных сооружений. Для проектирования использовался метод утрированного продольного профиля (масштабы горизонтальный 1 : 10000, вертикальный 1 : 100), который позволяет с высокой точностью контролировать положение проектной линии.

На утрированный профиль наносятся следующие линии: земли; низа балласта (НБ); существующей головки рельса (СГР); расчетной головки рельса (РГР); проектной головки рельса (ПГР) [2].

В результате выполненной работы разработан комплекс мероприятий по реконструкции железнодорожного участка Витебск – Езерище.

1 Применение метода утрированного профиля позволило детально проработать проектную линию с минимизацией объемов досыпок и срезок, обеспечив при этом соблюдение нормативных уклонов.

2 В части плана линии предложены решения по увеличению радиусов кривых до 1200 м, что является ключевым фактором для снятия ограничений скорости и повышения комфортабельности пассажирских перевозок.

3 Произведена корректировка недостаточных прямых вставок между смежными кривыми (в т. ч. с заменой вставки третьей кривой), что улучшает геометрию пути и снижает динамические нагрузки на подвижной состав.

4 Выполненные расчеты создают основу для последующего внедрения современных технологий выправки пути и вносят вклад в развитие скоростного движения на Белорусской железной дороге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Довгелюк, Н. В. Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, И. М. Царенкова. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 333 с.

2 Довгелюк, Н. В. Реконструкция железных дорог : пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, В. А. Вербило. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 339 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАСЧЕТОВ ОБЪЕМА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

А. О. КОРНЕЕНКО (СИ-41)

Научный руководитель – ст. преп. *И. П. ДРАЛОВА*

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность разработки и внедрения алгоритмов автоматизированного расчета объемов земляных работ при проектировании объектов железнодорожной инфраструктуры обусловлена высокой ресурсоемкостью земляных работ, доля которых в структуре сметной стоимости строительства железнодорожных линий может достигать 40 %. В современной проектной практике сохраняется тенденция к использованию традиционных методов расчета, базирующихся на обработке продольных профилей и табличных данных. Однако такие методы обладают существенными ограничениями: высокой трудоемкостью, вероятностью ошибок, обусловленных человеческим фактором, и низкой адаптивностью к многовариантному проектированию. Кроме того, расчеты, выполненные по камеральным профилям, имеют систематическую погрешность [1].

Научная новизна исследования заключается в применении комбинированного подхода: использование реляционной базы данных статистических наблюдений в сочетании с вероятностными моделями прогнозирования для минимизации рисков отклонения фактических показателей от проектных. В основу алгоритмов положена классическая инженерная методика определения объемов по средним рабочим отметкам. Практическая реализация представлена программным модулем, разработанным на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2022 с использованием графического фреймворка Windows Forms. Хранение данных организовано в СУБД MySQL. Таблица базы данных имеет следующую структуру (рисунок 1) [1].

Information	
Table: ground_work	
Columns:	
idground_work	int PK
average_working_grade	float
embankments	float
excavation	float

Рисунок 1 – Структура базы данных

В модуле реализованы такие необходимые функции, как выбор данных из БД; автоматизация расчета объемов земляных работ в таблице при изменении средней рабочей отметки или длины участка, определение объемов земляных работ всего по участку и в среднем на 1 км.

Результат работы модуля представлен на рисунке 2.

№ участка	Протяженность участка l, км	Средняя рабочая отметка, м	Объем на 1 км	Объем на участок
1	0.500	-3.75	62	31,000
2	1	+2.5	27,6	27,6
∞				

Всего по участку: 58,60 м³
В среднем на 1 км: 39,07 м³

Рисунок 2 – Результат работы модуля

Автоматизация рутинных вычислений является необходимым, но недостаточным условием для оптимизации строительства.

Перспективным направлением выступает интеграция методов предиктивного анализа [2]. На основе сформированной базы данных становится возможным построение регрессионных моделей, прогнозирующих не только объемы, но и временные, стоимостные и ресурсные параметры строительства с учетом вероятностных распределений факторов внешней среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Дралова, И. П.** Автоматизация расчетов объема земляных работ на железнодорожных станциях и перегонах / И. П. Дралова, А. О. Корнеев // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2025. – Вып. 7. – С. 65–71.

2 **Довгелюк, Н. В.** Трассирование участка железной дороги : учеб.-метод. пособие / Н. В. Довгелюк, И. П. Дралова, Т. А. Руденко. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 46 с.

ИТ-РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ ДОРОЖНОЙ ПОДСВЕТКОЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ БЕЛАРУСИ

Я. В. КОРОТКОВ (СИ-11)

Научный руководитель – ст. преп. *М. Ю. НИКИТЕНКО*
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Беларусь характеризуется умеренно континентальным климатом с частыми осадками, туманами, длительными периодами сумерек и зимней темнотой. Эти факторы существенно снижают видимость на дорогах, особенно в межсезонье и зимой, что напрямую влияет на уровень аварийности. Согласно данным Министерства внутренних дел Республики Беларусь, значительная доля ДТП происходит в условиях ограниченной видимости – при снегопаде или тумане [1]. В этих условиях традиционное уличное освещение, работающее по фиксированным графикам, оказывается неэффективным. Актуальной задачей становится внедрение интеллектуальных ИТ-решений, способных обеспечить адаптивное управление дорожной подсветкой в реальном времени.

Сегодня большинство систем уличного освещения в Беларуси управляются централизованно, но без учёта текущих погодных условий. Хотя с февраля 2026 года Минэнерго внедряет единые графики включения/выключения светильников, привязанные к астрономическому времени, такие решения остаются статичными [2]. Они не реагируют на внезапное ухудшение видимости из-за тумана или снегопада, что создаёт риски для участников дорожного движения. Кроме того, постоянная работа светильников на полной мощности ведёт к избыточному потреблению электроэнергии и не соответствует принципам энергоэффективности, закреплённым в Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы.

Устранить эти недостатки призвана адаптивная дорожная подсветка, функционирующая как интеллектуальная система, включающая в себя следующие компоненты:

- 1) датчики окружающей среды, измеряющие уровень естественного освещения, влажность, плотность тумана, наличие осадков;
- 2) датчики движения, фиксирующие интенсивность транспортного и пешеходного потока;
- 3) IoT-платформа, собирающая данные в реальном времени и передающая их на центральный сервер;
- 4) алгоритмы управления, на основе которых полученные данные автоматически регулируют яркость и режим работы светодиодных светильников.

Такая система позволит не только усиливать освещение при ухудшении погоды, но и снижать ее интенсивность в отсутствие движения либо при достаточной естественной видимости, обеспечивая баланс между безопасностью и энергосбережением.

Республика Беларусь обладает необходимой инфраструктурной и производственной базой для реализации подобных решений. В свободной экономической зоне «Гродноинвест» уже выпускаются элементы интеллектуальных систем освещения. Указ Президента Республики Беларусь от 20 августа 2025 года № 311 [3] учредил единого оператора интеллектуальной транспортной системы, что создаёт правовые и организационные предпосылки для интеграции адаптивного освещения в общую инфраструктуру.

Внедрение адаптивной дорожной подсветки позволит:

- снизить количество ДТП в условиях плохой видимости на 15–30 %;
- сократить энергопотребление на уличное освещение до 60 %;
- повысить комфорт и безопасность как для водителей, так и для пешеходов;
- снизить воздействие на окружающую среду.

Таким образом, IT-решения для адаптивной дорожной подсветки – это технологически отработанный и экономически обоснованный инструмент повышения безопасности на дорогах Беларуси. Интеграция такой подсветки в существующую интеллектуальную транспортную систему позволит уже в ближайшие годы перейти от статичного освещения к динамическому, управляемому погодными условиями и реальной дорожной ситуацией. Особую ценность этот подход представляет для участков с высокой аварийностью в тёмное время суток и в сложных метеоусловиях. Это будет важным шагом к реализации концепции «Безопасная система» и строительству «умных городов» в Республике Беларусь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Особенности управления автомобилем в сложных условиях // Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. – URL: <https://mintrans.gov.by/ru/bezopasnost-transportnoj-deyatelnosti-okhrana-truda/azbuka-bezopasnosti/osobennosti-upravleniya-avtomobilem-v-slozhnykh-usloviyakh> (дата обращения: 03.03.2026).

2 В Беларуси будет единый подход к графикам освещения улиц, но с учетом особенностей территорий // Минск – новости. – URL: <https://minsknews.by/v-belarusi-budet-edinyj-podhod-k-grafikam-osveshheniya-ulicz-no-s-uchetom-osobennostej-territorij> (дата обращения: 03.03.2026).

3 О создании единого оператора интеллектуальной транспортной системы : Указ Президента Республики Беларусь № 311 от 20 авг. 2025 г. // Официальный сайт Президента Республики Беларусь. – URL: <https://president.gov.by/ru/events/v-belarusi-sozdaetsa-edinyj-operator-intellektual-noj-transportnoj-sistemy> (дата обращения: 04.03.2026).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УПРАВЛЕНИИ ДОРОЖНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Ю. В. КУЛАГО (магистрант),

Н. А. САВАНОВИЧ (11404122), *А. Л. ЮРУТЬ* (11404223)

Научный руководитель – ст. преп. *В. А. ХОДЯКОВ*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Одной из передовых технологий современного цифрового мира является искусственный интеллект (ИИ). Сфера его применения широка, что позволяет внедрять его, в том числе, в различные процессы дорожно-строительной отрасли [1].

При помощи ИИ могут быть автоматизированы и оптимизированы следующие процессы: прогнозирование сроков поставки материалов (рисунок 1); оптимизация маршрутов для техники; контроль строительной площадки при помощи дронов. Ниже рассмотрим перспективы применения ИИ в каждый из этих процессов [1].

The image shows a chat window titled "Прогноз поставки строительных материалов" (Forecast of construction material delivery). The chat contains a message from a user asking for a forecast plan and a list of questions. The questions are: 1. Global parameters (materials, geography, time horizon, data sources, influencing factors); 2. Historical data and seasonal patterns; 3. Logistics and costs. At the bottom, there is a text input field with the placeholder "Введите сообщение..." (Enter message...) and a "GPT-5 mini" label.

Прогноз поставки строительных материалов

Чтобы составить прогноз поставки строительных материалов, нужно уточнить несколько моментов. Вот короткий план и вопросы, чтобы можно было подготовить точный прогноз:

- Глобальные параметры
 - Какие материалы интересуют (цемент, песок, арматура, кирпич, дерево, металлочерепица и т.д.)?
 - География поставок (страна/регион, порты, складские базы)?
 - Временной горизонт
 - На какой период нужен прогноз (1-3-6-12 месяцев, квартал)?
 - Источники данных
 - Есть ли данные по историческим объемам закупок и поставок за последние 12-24 месяца?
 - Есть ли сезонные паттерны (пик строительного сезона летом, зимой снижение)?
 - Факторы влияния
 - Изменения цен на металлы, энергоносители, логистику (фракт, жд/авто).
 - Наличие разрешений/регуляторные требования, тарифы, пошлины.
 - Наличие конкурентов и спрос со стороны гос. программы.
 - Логистика и цепочки
 - Осложнения из-за санкций и параллельных ввозов в лог. сплитовых лог. цепочках.

Введите сообщение...

GPT-5 mini

Рисунок 1 – Пример запроса

С помощью ИИ создается модель для прогноза. На основе введенных оператором исходных данных нейросеть предлагает формулу, на основе которой должна работать система прогнозирования. С помощью запроса можно узнать, с какой вероятностью будет отгружен и доставлен строительный материал в необходимую дату [2]. Для данного прогноза необходимо предоставить информацию о поставщиках, типе материалов, выбранном объекте и историю поставок за последние месяцы.

При помощи нейросети появляется возможность построить оптимальные маршруты техники по объекту. Это снижает хаотичное перемещение строительной техники, уменьшает ее простой, снижает расход топлива.

Используя фото с дронов, отслеживают отклонение от графиков строительства, дефекты конструкций, отсутствие необходимых элементов (рисунок 2).

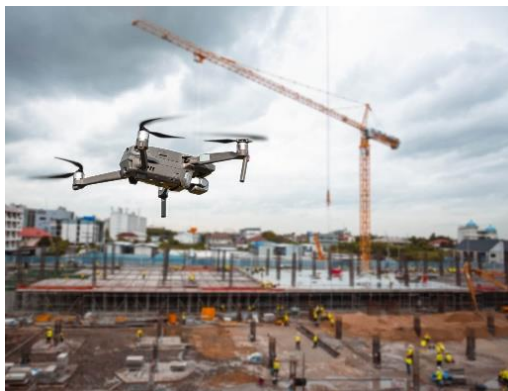


Рисунок 2 – Дрон на строительной площадке

Использование нейросетей в строительстве открывает новые горизонты для точного и оперативного прогнозирования сроков выполнения различных работ [2].

ИИ и нейросети не просто автоматизируют рутинные задачи, они помогают принимать обоснованные решения, прогнозировать риски и уменьшать влияние человеческого фактора в средах с высокой степенью неопределённости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Российская академия транспорта : [сайт]. – Москва, 2026. – URL: <https://rosacademtrans.ru/transport200923/> (дата обращения: 09.03.2026).

2 Прогнозирование сроков строительства с помощью нейросетей: инновационный подход // Sabeonline. – URL: <https://sabeonline.ru/prognozirovanie-srokov-stroitelstva-s-pomoschyu-neyrosetey-innovatsionnyy-podhod/> (дата обращения: 09.03.2026).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕТАЛЬНОЙ РАЗБИВКИ КРУГОВОЙ КРИВОЙ СПОСОБОМ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Н. А. КУЛАЙ (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. *И. П. ДРАЛОВА*

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Разработка данного программного продукта обусловлена необходимостью автоматизации трудоемких геодезических расчетов, возникающих при проектировании и строительстве линейных сооружений. В дорожном строительстве детальная разбивка круговых кривых способом прямоугольных координат от тангенса является классическим методом, однако ручное вычисление ведомостей точек сопряжено с высокой вероятностью арифметических ошибок и значительными временными затратами.

В основу алгоритма программы заложен итерационный цикл, который на основе введенных пользователем параметров – радиуса кривой, угла поворота и требуемого шага разбивки – производит расчет проектных значений абсцисс и ординат для каждой точки, где лежат классические тригонометрические зависимости (рисунок 1). Положение точек на кривой определяется относительно вершины угла поворота и точек начала (НК) и конца (КК) кривой. Координаты вычисляются по формулам (рисунок 2):

$$x_i = R \sin i\varepsilon;$$

$$y_i = R(1 - \cos i\varepsilon),$$

где R – радиус круговой кривой; ε – угол поворота, вводимый пользователем; i – шаг элемента разбивки.

The image shows a graphical user interface for a software module. It has a light gray background. At the top, there are three labels: 'Радиус:', 'Шаг:', and 'Градус:'. Below each label is an input field. The 'Радиус' field contains the number '400'. The 'Шаг' field contains the number '10'. The 'Градус' field is split into three smaller boxes containing '24', '30', and '0' respectively, with degree symbols on the far left and right. Below the input fields are two buttons: a green button labeled 'Рассчитать' and a red button labeled 'Сбросить'.

Рисунок 1 – Начальное окно программы

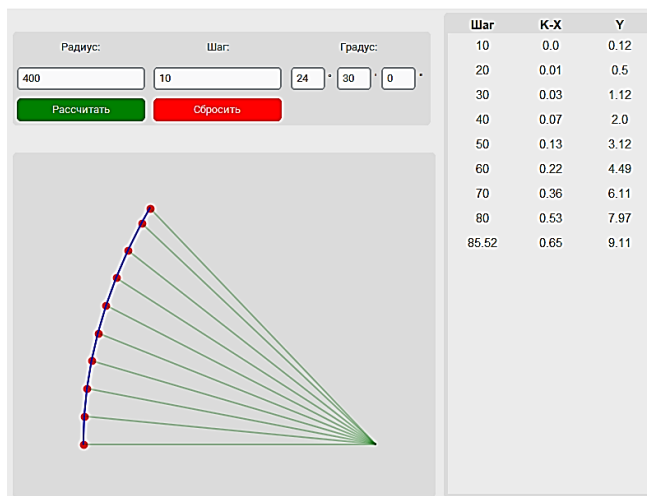


Рисунок 2 – Вид программного продукта

Листинг реализации программного кода:

```
def draw_railway_curve(self, frame):
    raw_color = frame.cget("fg_color")
    bg_hex_color = frame._apply_appearance_mode(raw_color)
    x = self.x
    y = self.y
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(4, 3))
    ax.plot(y, x, 'b-', label=f'Круговая кривая (R={self.R}м)')
    ax.scatter(y, x, color='red')
    base_x, base_y = 0, self.R / 10
    for xi, yi in zip(self.x, self.y):
        ax.plot([base_y, yi], [base_x, xi], color='green', alpha=0.3)
    ax.axis('off')
    fig.patch.set_alpha(0.0)
    ax.patch.set_alpha(0.0)
    canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=frame)
    canvas.draw()
    canvas_widget = canvas.get_tk_widget()
    canvas_widget.configure(bg=bg_hex_color, highlightthickness=0)
    canvas_widget.pack(fill="both", expand=True, padx = 5, pady = 5)
```

Программный продукт обладает интуитивно понятным интерфейсом и реализован на языке программирования Python. Для примерного внешнего вида была использована библиотека customtkiner. Также планируется разработать функции детализированного построения круговой кривой и другими методами, импорта данных и экспорта полученных значений.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ AUTOCAD CIVIL 3D И ТОПОМАТИК ROBUR

В. А. КУРЬЯНОВИЧ (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время на рынке программного обеспечения представлено обширное количество инженерных программных комплексов, позволяющих разрабатывать проектную документацию объектов строительства. Особое место среди них занимают технологии информационного моделирования (ТИМ), ориентированные на решение инженерно-геодезических задач, позволяющих существенно сократить сроки проектирования.

Среди геоинженерных ТИМ можно выделить десятки различных продуктов зарубежного производства: AutoCAD Civil 3D (Autodesk, США), GeoniCS (CSoft, Россия), NanoCAD Геоника (Нанософт, Россия), CREDO (Кредо-диалог, Россия, Республика Беларусь), Топоматик Robur (Топоматик, Россия) и другие. Данные программные комплексы имеют множество аналогичных между собой функций, однако принципиальные архитектурные различия и ориентация на разные рынки определяют специфику их применения.

Целью исследования явился сравнительный анализ двух наиболее показательных представителей – универсальной зарубежной платформы AutoCAD Civil 3D и специализированного продукта Топоматик Robur.

AutoCAD Civil 3D является одной из самых распространенных систем автоматического проектирования в мире. Американская компания-разработчик Autodesk создала продукт, завоевавший популярность благодаря интуитивно понятному интерфейсу и обширному функционалу, позволяющему выполнять разработку проектов любой сложности в различных областях строительства.

Данное программное обеспечение позволяет выполнять ряд функций: проектирование инфраструктуры – работа с данными геологии, формирование земельных участков, разработка коридоров, разработка проектных концепций; создание чертежей инфраструктуры и выпуск документации – стандарты оформления, рабочая документация, выпуск карт, отчеты и таблицы; GNSS-съемка и сбор данных – доступ к данным и обмен ими, создание картографических материалов, моделирование поверхностей, использование данных лазерного сканирования.

Кроме того, он имеет совместимость практически со всеми продуктами компании Autodesk, что позволяет синхронизировать чертежи, сделанные в различных версиях Civil 3D либо в иных средах данной компании. Однако

универсальность имеет и обратную сторону: приведение программы в соответствие с локальными нормативами и стандартами оформления (включая требования Республики Беларусь) требует глубокой предварительной настройки, что существенно увеличивает трудоемкость внедрения.

Топоматик Robur специализируется преимущественно на разработке автомобильных и железных дорог. В отличие от Civil 3D, данный продукт является узконаправленным, что и обуславливает меньшую его распространенность в среде проектирования объектов строительства, но обеспечивает более точное соответствие специализированным задачам. В состав комплекса входит программа «Изыскания», предназначенная для подготовки исходных данных для последующего проектирования. Данная программа используется в геоинженерной среде для цифровой модели местности, оформления планшетов, чтения данных с геодезических приборов и т. д.

Топоматик Robur ориентирован на нормативную базу постсоветского пространства, что делает его особенно ценным инструментом для белорусских проектных организаций. Благодаря этой ориентации продольные и поперечные профили, ведомости объемов работ и другие выходные документы генерируются в полном соответствии с требованиями без длительной предварительной настройки [1].

Отдельного внимания заслуживает тот факт, что платформа Топоматик Robur принадлежит Российской Федерации, которая является союзным государством для Беларуси, что в условиях современных реалий становится существенным преимуществом. В отличие от зарубежного ПО, этот комплекс гарантирует техническую поддержку, оперативную адаптацию к изменениям в локальной нормативной базе и независимость от решений иностранных регуляторов [2].

Проведенный анализ показывает, что несмотря на мощный функционал AutoCAD Civil 3D, его универсальность оборачивается сложностью адаптации под требования Республики Беларусь. В отличие от зарубежного аналога, специализированный продукт Топоматик Robur, ориентированный на нормативную базу постсоветского пространства, позволяет решать задачи дорожного проектирования с минимальными затратами времени на настройку, что делает его более предпочтительным инструментом для местных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.
- 2 **Сырова, Н. С.** Цифровые технологии в геодезической и строительной отраслях / Н. С. Сырова, И. П. Дралова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества : в 2 ч. Ч. 2. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 36–37.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ КОМПЛЕКСА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОДАВЛЕНИЕМ И МЕХАТРОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ БПЛА В ЕДИННЫЙ КОНТУР

Д. Д. ЛЕМЕШЕВ, М. Е. ТОЛСТОЛЕС (ВМА-31)

Научный руководитель – преп. К. В. ДРОБЫШЕВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Аппаратно-программный комплекс управления (далее – АПКУ) представляет собой центральный нервный узел всей системы противодействия беспилотным летательным аппаратам (далее – БПЛА). Его архитектура строится по принципу распределенной клиент-серверной системы, где критически важные компоненты имеют полное резервирование. Основу аппаратной части составляют отказоустойчивые промышленные серверы, работающие под управлением операционной системы реального времени. Это обеспечивает гарантированное время отклика не более 10 миллисекунд для задач управления мехатронными компонентами.

Система использует модульную архитектуру, где каждый функциональный блок (обработка радиолокационных данных, анализ оптических потоков, управление радиолокационной борьбой (далее – РЭБ)) работает на выделенном вычислительном узле. Связь между узлами осуществляется через резервированную Gigabit Ethernet сеть с использованием специализированных протоколов реального времени. Программное обеспечение разработано на языках C++ и Python, что позволяет сочетать высокую производительность для критичных ко времени задач и гибкость для алгоритмов анализа данных.

Ключевой функцией АПКУ является слияние (фузия) данных от всех источников информации. Система в реальном времени объединяет информацию от радиолокационных станций, средств радиоэлектронной разведки, оптико-электронных систем и внешних источников целеуказания. На основе этих данных создается единая тактическая картина с автоматическим ранжированием угроз по степени опасности.

Интерфейс оператора реализован по принципу управления одним джойстиком. На центральной мнемосхеме тактической ситуации отображается воздушная обстановка с цветовым кодированием целей по степени опасности. Оператор имеет возможность быстро переключаться между автоматическим, автоматизированным и ручным режимами управления. В автоматическом режиме система самостоятельно распределяет цели и применяет соответствующие средства поражения. В автоматизированном режиме оператор подтверждает решения системы, а в ручном – полностью управляет комплексом.

Энергопотребление комплекса составляет 45–75 кВт в пиковом режиме работы, что требует специальных решений по энергоснабжению. Для мобильного варианта на базе шасси КАМАЗ-63968 используется гибридная энергетическая установка, сочетающая дизель-генератор мощностью 150 кВт и литий-ионные аккумуляторные батареи для работы в «тихом» режиме.

Для эффективного противодействия роевым атакам БПЛА в системе реализованы сложные алгоритмы координации работы всех подсистем. При обнаружении группы целей система автоматически определяет оптимальную последовательность их нейтрализации, учитывая такие факторы, как траектория движения, тип угрозы и доступные средства противодействия.

Особенностью алгоритмов является их способность к динамическому перераспределению задач. Например, при отказе одного из мехатронных постов его зона ответственности автоматически перераспределяется между соседними постами. Система также способна координировать работу нескольких комплексов, развернутых на одной территории, создавая эшелонированную систему обороны.

Система управления проводит мониторинг эффективности применяемых средств противодействия и при необходимости корректирует тактику. Например, если радиоэлектронное подавление не дает результата против конкретной цели, система автоматически переходит к использованию мехатронных средств поражения, минимизируя временные потери на принятии решения.

Интеграция комплекса в системы «умного города» открывает возможности для его применения на объектах городской инфраструктуры. При этом комплекс может использовать данные камер видеонаблюдения и датчиков для раннего обнаружения БПЛА и своевременного применения мер противодействия.

Перспективным направлением применения комплекса защиты в едином контуре является защита объектов сельского хозяйства и промышленности от промышленного шпионажа с использованием БПЛА. Настраиваемые режимы работы позволяют обеспечить эффективную защиту без нарушения производственных процессов. Особое значение имеет возможность использования комплекса в системе МЧС для обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Он может создавать зоны, свободные от несанкционированного присутствия БПЛА, обеспечивая конфиденциальность спасательных операций.

В условиях нарастающей гибридизации угроз комплекс демонстрирует способность противодействовать сложным сценариям атак, сочетающим использование различных типов БПЛА с другими средствами нападения. Интеграция с системами РЭБ и киберзащиты обеспечивает комплексный подход к нейтрализации современных угроз.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ ПЕРЕУСТРОЙСТВЕ МОСТА НА УЧАСТКЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Д. Н. МАЗУР, А. Н. ЖУКОВ (СА-51)

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

В последнее время происходит прогрессирующее ухудшение состояния малых и средних мостов, в том числе построенных по типовым проектам. По статистике около 40 % всех малых и средних мостов находятся в неудовлетворительном или даже аварийном состоянии.

Со временем под воздействием различных факторов, таких как климатические условия, увеличение осевых нагрузок и рост скоростей движения автотранспорта, малые мосты теряют свою функциональность и требуют значительных усилий для реконструкции или переустройства. Строительство новых мостов, как правило, связано с высокими затратами как на этапе строительства, так и в процессе их дальнейшего обслуживания. Поэтому целесообразно рассматривать возможность замены старых малых мостов на железобетонные трубы. Этот подход может существенно снизить затраты на реконструкцию и эксплуатацию мостовых сооружений.

Замена старого моста на железобетонную трубу представляет собой сложный и многостадийный процесс, который требует тщательного планирования и координации действий всех участников. Одним из ключевых аспектов успешной реализации данного проекта является соблюдение технологических процессов и минимизация негативного воздействия на транспортные потоки и окружающую среду.

В практике дорожного строительства присутствует четкое разделение работ по периодам строительства. Соответственно существует разграничение на этапы организационно-технической подготовки и организации работ основного и заключительного периодов. На каждом из них решаются свои задачи. Однако в контексте настоящего исследования ключевая задача состоит в выполнении работ по замене моста на водопропускную трубу в строго установленные сроки, чтобы не задерживать выполнение последующих работ и обеспечить ввод участка автомобильной дороги в соответствии с договорными обязательствами.

В подготовительный период должно быть организовано инструментальное хозяйство, создан необходимый запас строительных материалов и конструкций, должны быть перебазированы на рабочие места строительные

машины, разработаны проекты производства работ. Также производится построение геодезической разбивочной основы на базе временных реперов.

Участки работ подготавливаются для обеспечения безопасного производства работ. Строительная площадка на период строительства ограждается во избежание доступа посторонних лиц.

В основной период производства работ при замене существующего железобетонного моста на железобетонную трубу работы выполняются в следующей последовательности: разбивка оси объездной дороги на местности; устройство временной трубы на временном объезде; устройство земляного полотна временного объезда грунтом и устройство покрытия из щебеночно-песчаной смеси; установка временных дорожных знаков с закрытием движения по основной дороге и пропуском транспорта по объездной дороге; фрезерование существующего асфальтобетонного покрытия проезжей части на подходах к мосту; разборка основания; устройство временного водоотводного русла; устройство грунтовых перемычек грунтом от срезки; разборка существующего моста (разборка защитного и выравнивающего слоя средствами малой механизации, демонтаж металлического перильного ограждения, железобетонных парапетных блоков, тротуарных блоков, плит пролетного строения, заборных стенок, насадок); устройство укрепления водопропускной трубы по основному ходу на входе и выходе; вывозка непригодных железобетонных, бетонных, металлических изделий; засыпка трубы по основному ходу; разборка грунтовой перемычки, пропуск воды через устроенную железобетонную и временную трубы; засыпка временного водоотводного русла на участке через основную дорогу; отсыпка и уплотнение земляного полотна на трубе, засыпка водоотводного русла; восстановление земляного полотна и укрепление откосов насыпи; восстановление существующего канала (откосы) с расчисткой и планировкой; укрепление откосов канала; устройство и восстановление дорожной одежды; укрепление обочин; устройство горизонтальной разметки проезжей части; установка металлического барьерного ограждения; восстановление и очистка территории; планировка нарушенной территории и демонтаж строительного городка.

Таким образом, замена старого моста на железобетонную трубу – это не просто техническая задача, но и комплексный процесс, требующий учета множества факторов. При этом ключевым моментом организации является условие пропуска транспорта при движении по ремонтируемому участку автомобильной дороги. От того, будет ли движение полностью перекрыто, зависит в целом генеральный план строительства. Вариант с организацией объезда должен быть экономически проработан с учетом объемов работ, интенсивности и состава существующего транспортного потока, дополнительных издержек организаций, возникающих в связи с ухудшением условий проезда по данному участку, продолжительности периода строительства.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ВНЕУЛИЧНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА

А. О. МИХАЛЬКОВ (ВСП-21)

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

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Инженерно-геодезические изыскания для подготовки проектной документации проводятся в один этап. Целью этой работы являются составление инженерно-топографического плана и обновление существующих материалов, что позволяет проектировать обоснованно, безопасно, минимизируя риски на всех последующих этапах жизненного цикла объекта [1]. На данный участок работ имелись ранее выполненные инженерно-топографические планы, ортофотопланы с точностью масштаба 1 : 2000, составленные по результатам аэрофотосъемки (с использованием комплекса (VisionMap A3 EDGE), они были использованы в качестве справочных документов. После предоставленной информации приняли решение о съёмке участка местности и обновлении топографического плана. Изучаемый район находится на территории с развитой геодезической основой в виде сети базовых станций, системы навигационно-геодезического обеспечения, которые использованы в качестве исходных. Объем съёмочных работ – 30 гектаров, при этом изменение ситуации на территории не превысило 35 %. В состав работ включено изучение физико-географических условий района и техногенных факторов.

Рабочий участок расположен в умеренно-континентальном климате, геодезические изыскания проводились в благоприятный период. Территория относится к городской застройке с твердыми покрытиями, доминирующие углы наклона не превышают 2 градуса, гидрография отсутствует, а растительность в виде деревьев и кустарников расположена внутри дворов и кварталов. Перед началом работ были выполнены поверки геодезического оборудования [2]. Произведена топографическая съёмка, масштаб которой 1 : 500, высота сечения рельефа 0,5 метра. Были проведены такие работы, как обследование местности, съёмка изменений, а также контрольное определение высот характерных точек рельефа местности и твердых контуров. Средняя квадратическая погрешность определения плановых координат составляет не более 7 сантиметров, высот – не более 5 сантиметров, что удовлетворяет требованиям.

Для обследования подземных коммуникаций использовался прибор поиска (трубокабелеискатель RIDGID Seektech SR-20), осуществлялась про-

верка планово-высотного положения водопровода, кабельной линии, канализации, теплосети. Топографическую съемку производили электронными тахеометрами, а на открытых участках местности – при помощи спутниковых геодезических систем ГЛОНАСС/GPS [2].

Схема съемочной сети определялась руководителем полевой группы во время рекогносцировки. При использовании базовых станций (референцных) был применен метод спутникового позиционирования в режиме реального времени (RTK). В процессе геодезических работ съемочная сеть создавалась путем проложения тахеометрических ходов либо в виде линейно-угловых построений одновременно с производством топографической съемки, что является наиболее экономически выгодно в данных условиях. Для временного закрепления пунктов съемочной геодезической сети брали металлическую арматуру (для мягкого грунта) и строительные дюбели (в твердом покрытии). Использовалась аппаратура геодезическая спутниковая PrinCe i80 Pro и Trimble R10. Линии градостроительного регулирования (ЛГР) обязательно отображаются на плане. Уравнивание и оценка точности съемочного обоснования производились с применением программного обеспечения StarNet, камеральная обработка результатов съемки и построение топографического плана в цифровом виде выполнялись в программной среде MicroStation.

Инженерно-геодезические работы на участке площадью 30 гектаров производились 3 месяца, в районе повышенной опасности необходимо полное соблюдение правил охраны труда и техники безопасности. Состав результатов работ включил в себя программу изысканий, инженерно-топографический план в масштабе (электронный вариант), технический отчет. В случае, если результат работ содержит сведения, составляющие государственную тайну, то его создание осуществляется на бумажном носителе.

Полученные результаты соответствуют целям и задачам, указанным в программе инженерно-геодезических изысканий, требованиям нормативно-технических документов и будут использованы для разработки проектной документации. В соответствии с этим на указанной территории после окончания строительства будет выполнена исполнительная топографическая съемка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Атрошко, Е. К.** Прикладная геодезия и современные инженерно-геодезические технологии : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 97 с.

2 Инженерная геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Г. М. Куновская, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 100 с.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПРОЦЕСС НАНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

А. О. МИХАЛЬКОВ (ВСП-21), Я. М. ГРИЩЕНКОВ (ВСМ-21)

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

Сегодня внедрение перспективных технологий для защиты асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в Республике Беларусь от разрушающих его воздействий различных факторов является важнейшим научным направлением.

Для данных целей разработан состав гидрофобный профилактический «Протект-01» (далее – СГП) [1], работы с которым осуществляются согласно ТУ ВУ 192670194.002-2019 [2]. Разработанный состав позволяет обеспечивать защитные свойства, заключающиеся в создании на поверхности асфальтобетона защитного слоя, препятствующего проникновению в его объем воды в осенний, зимний и весенний периоды эксплуатации (атмосферных осадков, снега, льда) и возможным переходам температуры окружающей среды через 0 °С [3].

Практическая реализация распределения СГП выполнялась на основе распределительной системы автогудронатора типа АРБ-7. В распределителях данной системы установлены форсунки, управляемые (открываемые и закрываемые) поворотом пробок с поводками, которые закреплены на рейках, перемещаемых посредством пневмокамер. Сжатый воздух поступает в пневмокамеры из пневмосистемы базового шасси или гидроцилиндров [3]. Дополнение указанных приборов распределительной системы, а также привода насоса подачи вяжущего интеллектуальной системой управления, задания и контроля параметров распределения дорожно-строительных материалов позволит обеспечить требуемую норму их распределения, не зависящую от скорости движения.

Проведенные практические исследования по воздействию разработанного состава на объектах транспортной инфраструктуры Республики Беларусь показали, что на процесс нанесения жидких дорожно-строительных материалов на поверхность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги действует значительное количество различных факторов, основные из которых представлены на рисунке 1.

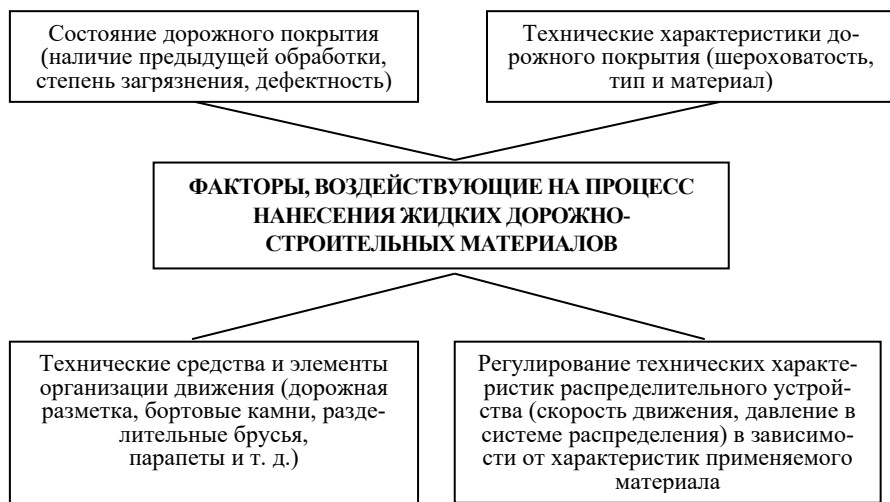


Рисунок 1 – Факторы, воздействующие на процесс нанесения жидких дорожно-строительных материалов

Детальное рассмотрение влияния представленных выше факторов на технологический процесс нанесения жидких дорожно-строительных материалов на поверхность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги представляет определенный научный интерес, так как это позволит повысить качество, снизить себестоимость производства дорожных работ за счет экономии распределяемого дорожно-строительного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Патент ВУ 24097, МПК E01C 11/24 (2006.01). Гидрофобный состав для профилактической обработки асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : № а 20180114 : заявлено 23.03.2018 : опубл. 30.10.2023 / Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В. ; заявители: Бочкарев Д. И., Петрусевич В. В. – 5 с.
- 2 ТУ ВУ 192670194.002–2019. Состав гидрофобный профилактический ПРОТЕКТ-01. – Введ. 03.10.2019. – Минск : Минстройархитектуры, 2019. – 29 с.
- 3 **Петрусевич, В. В.** Основные принципы системы организации профилактической обработки в рамках выполнения технологических процессов текущего содержания автомобильных дорог / В. В. Петрусевич // Автомобильные дороги и мосты. – 2024. – № 1. – С. 4–13.
- 4 Заявка № а 202202216, МПК E01C 19/26 (2006.01). Способ обеспечения работы машины для распределения жидких дорожно-строительных материалов : заявлено 07.09.2022 : опубл. 20.04.2024 / Петрусевич В. В., Кацубо П. А., Доломанюк Р. Ю. ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

А. О. МИХАЛЬКОВ (ВСП-21), Я. М. ГРИЩЕНКОВ (ВСМ-21)

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

Железнодорожные мосты являются важнейшими элементами транспортной инфраструктуры. Их надежность напрямую влияет на безопасность движения поездов, устойчивость транспортных потоков и экономическую эффективность железнодорожной системы. Эксплуатация мостовых сооружений происходит в условиях воздействия множества факторов: температурных колебаний, влажности окружающей среды, механических нагрузок, свойств материалов конструкции, коррозионных процессов, климатических условий региона. Каждый из этих факторов может по-разному влиять на долговечность и прочность мостовых конструкций. Традиционные методы анализа требуют сложных инженерных расчетов и большого объема справочной информации. В связи с этим актуальной задачей является создание программных инструментов, способных автоматизировать анализ влияния различных факторов на состояние железнодорожных мостов. Целью данного исследования является разработка концепции программной системы, которая позволит моделировать влияние различных параметров на эксплуатационные характеристики мостовых сооружений.

Разрабатываемая программа представляет собой интеллектуальную систему анализа, предназначенную для прогнозирования состояния железнодорожных мостов. Основная идея системы заключается в том, что пользователь может задать ряд параметров, характеризующих условия эксплуатации мостового сооружения. После ввода данных программа анализирует их и выдает прогноз о том, как указанные условия могут повлиять на прочность конструкции, скорость износа элементов, вероятность коррозии, срок службы сооружения, необходимость проведения ремонта. Программа будет работать на основе базы научных данных и алгоритмов искусственного интеллекта.

Принцип работы системы.

1 *Ввод исходных параметров.* Пользователь задает исходные данные, характеризующие условия эксплуатации мостовой конструкции. К основным параметрам относят:

– климатические параметры: температура окружающей среды, влажность воздуха, количество осадков, температурные перепады;

- конструкционные параметры: материал конструкции (сталь, железобетон и др.), тип моста, возраст конструкции, защитные покрытия;
- эксплуатационные параметры: интенсивность движения поездов, нагрузка на конструкцию, условия технического обслуживания.

Все эти параметры пользователь может выбрать из списка или вводить вручную.

2 *Анализ научных данных.* Следующим этапом является обработка введенной информации. Программа будет использовать базу данных научных статей и исследований, в которых рассматривается влияние различных факторов на состояние мостовых конструкций: влияние высокой влажности на коррозию металлических элементов, воздействие температурных колебаний на усталость металла, влияние нагрузок на образование микротрещин. Данные из научных источников будут структурированы и сохранены в базе знаний системы.

3 *Обработка информации с использованием искусственного интеллекта.* После сопоставления введенных параметров с научными данными система передает информацию в модуль искусственного интеллекта. ИИ выполняет следующие задачи: анализ совокупности факторов, выявление взаимосвязей между параметрами, прогноз изменения состояния конструкции, расчет ориентировочного срока службы. Результатом обработки становится комплексный прогноз состояния мостового сооружения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Эффект от использования интеллектуальной системы

Разработка интеллектуальной системы прогнозирования состояния железнодорожных мостов является перспективным направлением развития цифровых технологий в транспортной инфраструктуре. Предлагаемая программа позволит автоматизировать анализ влияния различных факторов на состояние мостовых сооружений, повысить эффективность их эксплуатации и обеспечить более высокий уровень безопасности железнодорожного движения. Использование научных данных в сочетании с методами искусственного интеллекта открывает новые возможности для прогнозирования состояния инженерных конструкций и принятия обоснованных технических решений.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

Н. С. МИЦКОВСКИЙ, Р. Ю. ГУСТИНОВИЧ (СА-51)

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

Население городов неуклонно растет, что требует постоянной адаптации инфраструктуры под изменяющиеся социально-экономические условия. Гармоничное развитие улично-дорожной сети является комплексной задачей, объединяющей в себе достижение баланса между достаточной пропускной способностью, безопасностью участников движения и экологической стабильностью. Основной объем дорожных работ в весенний период приходится на ремонты дорожного покрытия и устройство разметки. Это ежегодные эксплуатационные мероприятия, необходимые для обеспечения безопасного и беспрепятственного проезда при движении по городским улицам. Однако в масштабах развития генерального плана города реконструкция является более значимым мероприятием, которое направлено на изменение параметров дорожной конструкции, инженерных сетей и прилегающей территории для повышения их пропускной способности, безопасности и функциональности.

В процессе реконструкции может производиться увеличение количества полос движения с возможным устройством центральной разделительной полосы, устройство тротуаров и велодорожек, отделенных от проезжей части разделительной зоной. Старая дорожная одежда демонтируется и устраивается новая, разрабатываются схемы расстановки дорожных знаков и устройства разметки. Производство работ осложняется стесненными условиями из-за наличия сетей газа высокого давления и других подземных коммуникаций, существующих зданий и сооружений. Отдельное внимание уделяется реализации проектного рельефа из условия отвода ливневых и талых вод с тротуаров и зеленых зон на проезжую часть улиц и далее в проектируемую ливневую канализацию за счет поперечных и продольных уклонов. Комплекс работ по благоустройству может включать расширение тротуаров, обустройство велодорожек, парковочных мест, установку павильонов на автобусных остановках и современных элементов уличного освещения.

Учитывая вышеприведенный состав работ, который отражает только часть позиций из возможного перечня, реализация проекта реконструкции городской улицы включает в себя множество сложных технологических процессов.

При соблюдении требований нормативной документации и наличии ресурсов эта задача успешно решается специализированными дорожно-строительными организациями. Применяемый на дорогах общего пользования поточный метод организации работ хорошо зарекомендовал себя и в городских условиях для достижения высокого качества работ. Однако для того, чтобы это было возможным, важна четкая проработка организации производства работ на предшествующих этапах реализации проекта.

При проектировании объекта проектная организация должна учитывать, что городская улица является неотъемлемой частью городской среды. Поэтому обязательно следует учитывать временные горизонты проектирования, а также присутствие социально-культурных и ландшафтных особенностей. Методологическую базу разработки проектов реконструкции обеспечит системный подход, который позволит рассмотреть любую городскую улицу как элемент более крупной системы, одновременно обладающий свойствами целостности.

Ключевым аспектом современных подходов является переход к проектному управлению, когда внедрение информационного моделирования позволит координировать работы всех владельцев подземных коммуникаций на этапе проектирования, исключая в последующем повторные вскрытия готовых участков дорожной конструкции. В настоящее время наблюдается слабая межведомственная координация: раздельно решаются вопросы дорожного покрытия, ливневой канализации (охват по разным данным достигает 95 %, но остаются проблемные участки) и организации наземного транспорта. Отсутствует системная работа с велосипедной инфраструктурой – даже на обновленных улицах сохраняются высокие бордюры и запреты на движение велосипедистов.

Современный инфраструктурный проект должен включать и транспортное моделирование с целью прогнозирования состава и интенсивности потоков автомобилей, а также дальнейшего принятия решений по рациональной организации трафика [1].

Таким образом, на современном этапе реконструкция городской улицы должна базироваться на разработке целостного механизма межведомственной координации. Ключевым направлением становится цифровое согласование работы всех участников (коммунальных служб, проектировщиков, строителей), дополненное четкой организацией самих дорожно-строительных работ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Михайлов, А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Новосибирск : Наука, 2004. – 267 с.

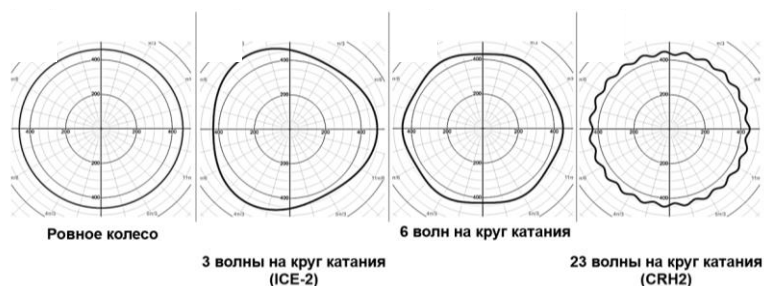
ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ И ДЛИНЫ ВОЛНООБРАЗНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ КОЛЕСА НА КОНТАКТНЫЕ СИЛЫ МЕЖДУ КОЛЕСОМ И РЕЛЬСОМ

М. А. МОРКОВНИКОВ (А-02)

Научный руководитель – д-р техн. наук, доц. Е. С. АШПИЗ
Российский университет транспорта, г. Москва

Эксплуатация высокоскоростного железнодорожного пути предъявляет повышенные требования к качеству содержания не только состояния пути, но и состояния колёсных пар. При скоростях эксплуатации пути свыше 200–250 км/ч высокое воздействие на путь начинают оказывать непрерывные неровности поверхности катания колёс, в то время как изолированные неровности не допускаются.

Согласно [1, с. 108] на вагонных колёсах наибольшее распространение имеют именно непрерывные неровности, имеющие протяжённость по всему кругу катания. При этом по результатам измерений были выявлены неровности волнообразной формы (примерно у 24 % от общего количества обследованных колёс) с количеством полуволн от 3 до 15 на полный круг катания колеса. При воздействии таких колёс в элементах пути могут возникать резонансные явления на различных скоростях движения. Это частично подтверждается зарубежными авторами в работе [2]: некоторые из упругих клемм промежуточного рельсового скрепления могут выходить из строя ввиду усталостных эффектов при их резонансе, вызванном воздействием колеса с волнообразным износом. Количество волн износа такого типа может находиться в широком диапазоне и различаться в зависимости от источника данных (рисунок 1).



В работе [3] была описана конечно-элементная модель взаимодействия колеса и рельса при наличии волнообразных неровностей на колесе. Для шести волн на поверхности катания колеса при движении со скоростью 300 км/ч максимальная контактная сила повышается на 11 % с увеличением глубины износа от 0 до 0,2 мм. Изменение контактной силы между колесом с волнообразным износом и рельсом с течением времени носит колебательный характер.

При наличии 23 волн волнообразного износа увеличение контактной силы более значительно и возрастает пропорционально квадрату скорости (рисунок 2). Для скоростей движения 300–350 км/ч рост максимального значения контактной силы составляет 40–46 %. Ввиду значительного влияния волнообразного износа колёс на контактные силы между колесом и рельсом при высокоскоростном движении его следует учитывать при расчётах воздействия экипажа на путь.

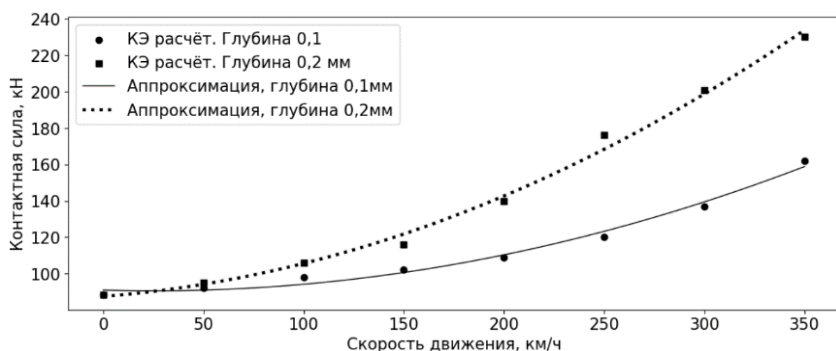


Рисунок 2 – Рост максимального значения контактной силы между колесом

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Линия жизни профессора В. Ф. Яковлева. Путь ученого, избранные труды, работы коллег и учеников / под ред. В. А. Сидякова. – М. : Интекст, 2006. – 304 с.
- 2 Polygonisation of railway wheels: a critical review / G. Tao, Xu. Jin, F. Wen [et al.] // Railway Engineering Science. – 2020. – Vol. 28. – P. 1–29.
- 3 **Морковников, М. А.** Моделирование контактного взаимодействия колеса с неравномерным прокатом периодической формы и рельса профиля Р65 для высокоскоростного движения / М. А. Морковников, Е. С. Ашпиз // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – 2026. – Т. 85, № 1. – С. 9–22.

ОЦЕНКА РЕСУРСА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА НАПРАВЛЕНИИ МОСКВА – МИНСК

М. Ю. НИКИТЕНКО, ст. преп.

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В мировой практике организации высокоскоростного железнодорожного движения сложились два принципиальных подхода. Первый – строительство выделенной высокоскоростной магистрали (ВСМ) «с нуля», требующее огромных капиталовложений и отчуждения территорий. Второй – переустройство существующей железнодорожной инфраструктуры с целью повышения скоростей до 200–250 км/ч. Примером успешной реализации второго подхода служит Франция, где на классических линиях организован пропуск скоростных поездов TGV, сходящих со специальных ВСМ на реконструированные участки. При этом для скоростей до 220 км/ч вовсе не требуется повсеместный переход на безбалластные плитные основания, а достаточно грамотной работы с традиционной балластной конструкцией пути и точечного усиления земляного полотна [1].

Линия Москва – Минск протяженностью около 750 км исторически является частью магистрали Москва – Брест (бывшая Варшавская железная дорога). Земляное полотно формировалось в основном в конце XIX – середине XX века, однако на многих участках проводились усиления и реконструкции. Современное состояние позволяет эксплуатировать линию со скоростями до 140–160 км/ч (на отдельных участках до 200 км/ч для поездов «Ласточка»).

Для определения возможности применения французского подхода необходимо выявить и сравнить ключевые факторы, сдерживающие рост скоростей на данном направлении (таблица 1).

Французский опыт не требует спрямления всех кривых – ученые реализуют концепцию «дифференцированных скоростей», когда на существующем полотне в кривых скорость ограничивается до 160–200 км/ч, а на прямых участках и после укладки пологих стрелочных переводов повышается до 250 км/ч [1]. Для направления Москва – Минск это означает, что целевая скорость 200–250 км/ч достижима без сноса земляного полотна, а наиболее сложные кривые можно проходить с пониженной скоростью.

Однако наиболее ресурсоёмким фактором, определяющим возможность повышения скоростей, является состояние земляного полотна. На линии

Москва – Минск в основании и теле насыпей залегают слабые грунты: суглинки, глины, торфяники (особенно на белорусском участке в районах Орши и Борисова). Эти грунты чувствительны к динамическим нагрузкам, которые при высоких скоростях возрастают в 1,5–2 раза по сравнению с существующими [2]. Оценка ресурса земляного полотна включает анализ остаточных деформаций, фильтрационной способности, степени уплотнения и развития оползневых процессов.

Таблица 1 – Факторы ограничения скорости на направлении Москва – Минск

Факторы	Существующее состояние	Необходимые изменения для скорости 200–250 км/ч
План линии	Наличие кривых малого радиуса (600–800 м), особенно на подходах к станциям и на Смоленской возвышенности	Радиусы не менее 2000–2500 м. Спрямление трассы на отдельных перегонах
Земляное полотно	Наличие слабых и проблемных грунтов в основании и теле насыпи	Усиление или замена слабых грунтов (армирование, глубинное перемешивание)
Инженерные сооружения	Недостаточная несущая способность мостов и труб под динамические нагрузки	Усиление или замена конструкций

Для принятия решения о повышении скоростей необходимо выполнить целевые геотехнические исследования, по результатам которых участки земляного полотна следует разделить на три категории: 1) не требующие усиления; 2) требующие локального усиления (применение геосинтетических материалов, глубинное перемешивание и др.); 3) требующие замены грунта или реконструкции насыпи.

Таким образом, поэтапная модернизация существующей линии Москва – Минск до скоростей 200–250 км/ч с точечным усилением земляного полотна является более предпочтительной, чем строительство новой ВСМ на безбалластном плитном основании, так как позволит достичь высоких скоростей с меньшими затратами и сроками. Ключевой задачей дальнейших работ остается детальная оценка несущей способности земляного полотна на участках со слабыми грунтами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Первый путь // РУБЕЖ : информационно-аналитический журнал. – URL: <https://ru-bezh.ru/journal-31/24428-pervyj-put> (дата обращения: 05.03.2026).
- 2 ТКП 45-3.03-163-2009 (02250). Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. – Введ. 01.05.2010. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2010. – IV, 95 с.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ

*Д. С. НИКИТИЯНИН, курсовой офицер батальона курсантов
Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. П. В. КОВТУН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Строительство транспортных магистралей, железных дорог и мостовых переходов требует строгого соблюдения проектных отметок и объемов перемещаемого грунта. Традиционные методы геодезического контроля с использованием тахеометров и нивелиров характеризуются высокой трудоемкостью и дискретностью данных [1]. В современных условиях цифровизации строительной отрасли (BIM-технологии) ключевую роль начинают играть беспилотные авиационные системы (БАС) и роботизированные комплексы [2].

Основной технологией использования дронов является фотограмметрия и лазерное сканирование (LIDAR).

Фотограмметрия – это научно-техническая дисциплина и метод 3D-сканирования, позволяющий определять точные размеры, форму и положение объектов по их фотографиям. Технология обрабатывает множество снимков с разных ракурсов, создавая фотореалистичные 3D-модели, ортофотопланы и карты. Принцип работы основан на съемке объекта (или местности) со многих ракурсов, создании «облака точек» и последующей генерации 3D-сетки с наложением текстуры.

Лазерное сканирование (LIDAR) – это высокоточный бесконтактный метод получения 3D-копий местности и объектов «облаков точек» с помощью лазерных лучей. Технология обеспечивает оперативную съемку (миллионы точек/сек), высокую детализацию и точность до нескольких миллиметров, что позволяет создавать цифровые модели рельефа, топопланы и проводить мониторинг деформаций.

В отличие от классических методов, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) позволяют за один вылет получить плотное «облако точек» всей площадки строительства [2]. Это дает возможность: создавать высокоточные цифровые модели рельефа (ЦМР). Оперативно рассчитывать объемы насыпей и выемок с погрешностью менее 3 %. Контролировать углы заложения откосов и геометрические параметры земляного полотна в режиме реального времени. Использование дронов сокращает время проведения изысканий в 5–10 раз, при этом обеспечивается безопасность персонала, так как специалистам не требуется находиться в зоне работы тяжелой техники.

Автоматизация контроля земляного полотна включает использование ГНСС-систем (GPS/ГЛОНАСС), лазерных сканеров и датчиков на технике для управления толщиной слоев, плотностью и геометрией в реальном времени. Это повышает производительность, точность (до сантиметров) и исключает ошибки, обеспечивая оперативное соответствие нормативам.

Основные направления автоматизации:

1 Автоматизированные системы управления (АСУ) на технике: бульдозеры и автогрейдеры оснащаются 3D-системами, которые автоматически управляют отвалом, сверяясь с проектной моделью в памяти компьютера.

2 Контроль уплотнения: катки оснащаются датчиками плотности, влажности и вибрации, которые передают данные в реальном времени, позволяя избежать переуплотнения или недоуплотнения грунта.

3 Геодезический контроль: используются роботизированные тахеометры и БПЛА для быстрого обмера объемов земляных работ и проверки отметок поверхности.

Роботизированные системы контроля уплотнения грунта позволяют отслеживать количество проходов техники по всей площади захватки, измерять коэффициент уплотнения непосредственно в процессе работы, исключить «человеческий фактор» и пропуски неуплотненных зон.

Данные с дронов и датчиков дорожных роботов передаются в единую цифровую среду. Это позволяет сравнивать фактическое состояние объекта с проектной 3D-моделью. Автоматизированные отчеты формируются ежедневно, что дает возможность руководителям проектов принимать корректирующие решения до того, как дефекты станут критическими и потребуют дорогостоящей переделки [2].

Внедрение дронов и робототехники в контроль качества земляных работ трансформирует транспортное строительство, делая его более предсказуемым и экономически эффективным. Переход от точечного контроля к сплошному цифровому мониторингу гарантирует долговечность транспортных сооружений и соблюдение жестких сроков сдачи объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инженерная геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, Г. М. Куновская, Н. С. Сырова. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 100 с.
- 2 Комбинирование методов наземного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для повышения эффективности контроля промышленного строительства / А. И. Гришина, Р. Р. Рамазанов, А. В. Глухов [и др.] // Вектор ГеоНаук. – 2020. – Т. 3, № 3. – С. 55–67.

АНАЛИЗ РАБОТЫ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Н. Р. НОСОВ (аспирант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. *Е. Н. ГРИНЬ*
Российский университет транспорта, г. Москва

Введение. Работа креплений на железной дороге определяет безопасность движения поездов. Крепление должно обеспечивать неизменность ширины колеи; допускать регулировку положения рельсовых нитей по высоте и в плане; надежно закреплять рельсы от угона; быть упругим, обеспечивать оптимальную пространственную упругость пути и надежную упругую связь рельсов с опорами; иметь минимум деталей, быть простым, надежным, удобным и недорогим в изготовлении, монтаже и эксплуатации; быть экономичным [2]. С целью определения качества работы креплений APC-4, W30 и ПФК-350 были проанализированы участки на Северной, Куйбышевской и Юго-Восточной железных дорогах соответственно.

При этом отмечались основные дефекты элементов промежуточного рельсового крепления, а также пути в целом для определения качества выполнения технического содержания пути, а также оказываемого влияния подвижного состава и внешних факторов.

Обследование. На всех опытных участках были уложены рельсы ДТ350. Результаты анализа технического состояния пути с различными типами креплений представлены в таблице 1. Кроме этого, на опытных участках пути производился полный анализ технического состояния исследуемых промежуточных рельсовых креплений. Проверялись толщины амортизирующих прокладок для выявления их нормативного износа, при котором следует производить работы по их замене. Проверялись дефекты подрельсового основания на наличие сколов, трещин и устойчивость против продольного сдвига пути.

По таблице 1 наиболее стабильным по износу рельсов и удержанию ширины колеи в нормативных значениях оказалось промежуточное рельсовое крепление APC-4, однако затраты труда по обслуживанию данного типа крепления оказались наибольшими в сравнении с другими типами креплений.

По результатам анализа технического состояния амортизирующих прокладок выявлено:

- APC-4 – минимальная толщина прокладок по наружной нити составила 12,5 мм, средняя – 13,2 мм;
- W30 – максимальное/среднее смятие рельсовой прокладки по упорной нити составило 1,7/1,1 мм и 2,0/1,3 – по нижней нити при номинальной толщине 10 мм;
- ПФК-350 – на контрольных узлах средняя толщина прокладок-амортизаторов по наружной нити 8,4 мм, по внутренней нити средняя толщина подрельсовых прокладок 7,9 мм.

Таблица 1 – Результаты обследования опытных участков

Показатель	Тип скрепления		
	APC-4	W30	ПФК-350
МАХ ширина колеи с учетом бокового износа, мм	1536	1542	1540
Среднее значение ширины колеи, мм	1534	1534	1537
МАХ значение бокового износа, мм	3	7,2	6,8
Среднее значение бокового износа, мм	1,8	4	5
MIN усилие прижатия клемм наружной нити, кН	14,7	10,4	20,6
МАХ усилие прижатия клемм наружной нити, кН	20,6	12	23,5
MIN усилие прижатия клемм внутренней нити, кН	15,1	10,3	20,6
МАХ усилие прижатия клемм внутренней нити, кН	24,2	11,7	23,6

Следует отметить, что трудозатраты по текущему содержанию опытных участков на промежуточных рельсовых скреплениях APC-4 составили 166,2 чел.ч, W30 – 94,3 чел.ч, ПФК-350 – 160,9 чел.ч. При этом по результатам прохода вагона-путеизмерителя данные участки получили оценки «отлично», «удовлетворительно» и «хорошо» соответственно.

Анализ технического состояния подрельсового основания на опытных участках показал, что только на участке со скреплением APC-4 обнаружены дефекты рельсов и дефекты в шпальном основании.

Заключение. Данное исследование позволяет сделать следующие выводы:

- у всех трех типов скрепления необходимо выполнять работы по периодической замене изношенных прокладок;
- при использовании скрепления APC-4 возможно образовывание трещин в средней части железобетонных шпал, а также в их подрельсовой зоне через анкер с дальнейшим разрушением основания;
- скрепление ПФК-350 обеспечивает наибольшее прижатие рельса к подрельсовому основанию;
- скрепление W30 – затраты труда на текущее содержание имеют наименьший показатель; балловая оценка участков пути с данным типом скреплений имеет самое низкое значение; сила прижатия рельса к подрельсовому основанию имеет самые наименьшие значения из всех рассмотренных типов скреплений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ В ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ПЕШЕХОДНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СБОРНО-РАЗБОРНОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ

Е. В. ПЕЧЕНЕВ, преп., П. А. КАЦУБО, ст. преп.

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Мосты и переправы во все периоды истории играли важную роль в развитии транспортных коммуникаций государства. При этом конструктивные особенности мостовых парков, а также условия и способы их применения совершенствовались в соответствии с развитием экономики и промышленности страны. В современных условиях возникновения локальных конфликтов, террористических угроз и ежегодно возникающих чрезвычайных ситуаций (наводнения, пожары, землетрясения) особое внимание необходимо обратить на развитие табельных сборно-разборных мостовых конструкций. Это единственный возможный способ открытия сквозного движения в короткое время на барьерных участках транспортной сети в случае разрушения действующих мостов.

Создание быстровозводимых мостов из сборно-разборных мостовых конструкций является актуальной и приоритетной задачей.

Так, в процессе выполнения научных работ коллективом военно-транспортного факультета университета БелГУТ были разработаны, а Государственным пограничным комитетом Республики Беларусь изготовлены быстровозводимые сборно-разборные мосты на жестких и плавучих опорах.

Быстровозводимые мосты на жестких опорах предназначены для преодоления водных препятствий, труднопроходимой местности под нагрузку до 1 т в зависимости от применяемых пролетных строений (рисунок 1).

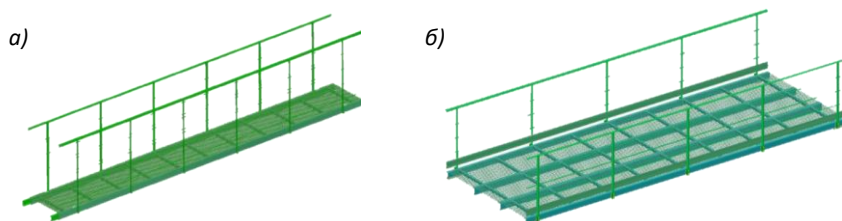


Рисунок 1 – Общий вид пролетных строений:

а – пролетное строение СРММП-1 под нагрузку 0,5 т; б – пролетное строение СРММП-2 под нагрузку 1 т

Использование сборно-разборных металлических мостовых пролетов СРММП-1, СРММП-2 позволяет перекрывать водные преграды и ущелья.

Сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-1 предназначен для быстрой установки пешеходных низководных мостов на барьерных участках местности, при чрезвычайных ситуациях, а также при ликвидации стихийных бедствий [2, 3].

Сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-2 предназначен для быстрой установки низководных мостов под нагрузку до 1 т на барьерных участках местности, при чрезвычайных ситуациях, а также при ликвидации стихийных бедствий [4].

Быстровозводимые мосты из сборно-разборных мостовых конструкций обладают множеством преимуществ.

Одним из них является быстрое открытие движения на барьерных участках местности. В первую очередь речь идет об эвакуации населения с использованием мостов на плавучих опорах.

При необходимости пропуска нагрузки до 3 т возможно увеличить количество плавучих опор с увеличением сечения элементов пролетных строений, воспринимающих динамические нагрузки. В таком случае можно говорить о движении легковых автомобилей, подвозе запасов материальных средств подразделениям, выполняющим задачи по предназначению [5].

Малогабаритные размеры позволяют быстро и скрытно передислоцировать мостовые элементы всеми видами техники, а также с использованием гражданских транспортных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бобрицкий, С. М.** Концепция индивидуального формирования структуры временных технических объектов, находящихся под воздействием нагрузок разной природы // Механика. Исследования и инновации. – Вып. 16. – Гомель, 2023. – С. 22–27.

2 Патент ВУ 24037, МПК Е 01D 15/12. Малогабаритный сборно-разборный мостовой пролет : № а 20210130 : заявл. 03.05.2021 : опубл. 31.03.2023 / Поддубный А. А., Кацубо П. А., Бобрицкий С. М., Доломанюк Р. Ю. ; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – 2023.

3 Система основных параметров сборно-разборного металлического мостового пролетного строения малой грузоподъемности : отчет о НИР / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. темы С. М. Бобрицкий. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 60 с.

4 Система основных параметров сборно-разборного металлического мостового пролетного строения грузоподъемностью до 1 т под однопутное движение : отчет о НИР / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. темы А. А. Поддубный. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 57 с.

5 **Поддубный, А. А.** Инженерные решения автомобильного наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под максимальную осевую нагрузку до двух тонн / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 2 (47). – С. 25–27.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

А. Д. ПИЛЕЦКИЙ, нач. курса батальона курсантов, *И. П. ЗУЕВ* (ЗМС-51)
Научный руководитель – канд. экон. наук, доц. *И. М. ЦАРЕНКОВА*
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Ямочный ремонт является неотъемлемой частью обслуживания и ремонта дорожного покрытия, и существуют различные подходы к его выполнению. Рассмотрим некоторые из основных видов ямочного ремонта [1].

1 Холодный ямочный ремонт: включает в себя заполнение ям и трещин в дорожном покрытии с использованием холодного асфальтного материала. Холодный асфальт или ремонтная смесь обычно состоит из агрегатов (каменей и песка) и битумной эмульсии. Этот материал наносится в яму или трещину и уплотняется для создания ровной поверхности. Холодный ямочный ремонт является быстрым и относительно простым методом, который может использоваться для восстановления маленьких ям и трещин на дороге.

2 Горячий ямочный ремонт: в этом методе для ремонта ям и трещин используется горячий асфальт. Горячий асфальтный материал имеет более высокую температуру, что позволяет ему быть более пластичным и долговечным. Горячий ямочный ремонт включает нагрев асфальта до высокой температуры, нанесение его в яму или на поврежденную поверхность и последующее уплотнение. Этот метод обеспечивает более долговечный ремонт и более качественное восстановление дорожного покрытия.

3 Ремонт грунтовым материалом: этот метод используется в тех случаях, когда размер ямы или повреждения в дорожном покрытии велики и требуется более глубокое вмешательство. Грунтовой материал, такой как щебень или гравий, используется для заполнения больших ям и образования стабильной основы. Затем грунтовой материал покрывается асфальтным или другим покрытием для создания и восстановления поверхности дороги.

4 Ремонт с использованием полимерных или композитных материалов: в последние годы разработаны новые материалы, которые могут быть использованы для ямочного ремонта. Полимерные или композитные материалы обладают высокой прочностью и долговечностью и могут быть использованы для заполнения ям и трещин. Эти материалы обычно представляют собой смеси смол, агрегатов и других добавок, которые затвердевают и образуют прочное покрытие.

5 Ремонт складываемыми органоминеральными смесями: метод, который использует специально разработанную смесь минерального заполнителя и битумно-полимерного вяжущего для ямочного ремонта асфальтовых покрытий на дорогах, мостах, городских улицах, дворовых территориях и в

местах парковки автомобилей. Данный материал позволяет выполнять работы по ремонту покрытий в зимний период в сухую погоду при температуре воздуха не ниже минус 20 °С. Открывать движение сразу после уплотнения смеси, тем самым ускоряя процесс ее формирования. Возможность длительного хранения в штабеле на открытом воздухе либо упакованной в тару (ведра, мешки, коробка) и круглогодичное использование ремонтных смесей повышают безопасность дорожного движения, особенно в период оперативной ликвидации ямочности на асфальтобетонных покрытиях авто-трасс.

Предложения по повышению эффективности ямочного ремонта в холодное время: эффективное выполнение ямочного ремонта зимой требует комплексного подхода и учета специфики климатических условий. Для этого необходимо:

1 Разработать и применять высокоэффективные холодные асфальтобетонные смеси, которые застывают при низких температурах. Это минимизирует время дорожных работ и обеспечит долговечность ремонта.

2 Внедрение мобильных обогревателей для разогрева участков дороги перед ремонтом улучшает сцепление материалов и ускоряет укладку. Современные технологии, такие как дроны и роботы, позволяют мониторить состояние дорожного покрытия, что способствует оперативному выявлению проблемных участков.

3 Обновление специализированного инструмента, например фрезеров и укладчиков, также важно для эффективной работы в зимних условиях. Использование прогнозов погоды позволяет планировать работы, избегая неблагоприятных условий, что, в свою очередь, увеличивает срок службы ремонта.

4 Исследование технологий переработки старого асфальта с экологически чистыми модификаторами способствует созданию новых асфальтобетонных смесей [2]. Эти меры не только повысят эффективность ямочного ремонта в зимний период, но и улучшат его экономическую и экологическую устойчивость. Правильный выбор методов ремонта и качественных материалов, а также организация работ с учетом ограничений позволит эффективно восстанавливать дорожное покрытие и повышать безопасность движения в зимний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Кравченко, С. Е.** Содержание и ремонт автомобильных дорог : пособие мастеру по ремонту и содержанию автомобильных дорог / С. Е. Кравченко, Ж. В. Реут, С. Н. Соболевская. – Минск : БНТУ, 2015. – 402 с.

2 **Петрусевич, В. В.** Основные принципы системы организации профилактической обработки в рамках выполнения технологических процессов текущего содержания автомобильных дорог / В. В. Петрусевич // Автомобильные дороги и мосты. – 2024. – № 1. – С. 4–13.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТОВ И ПОСТРОЕНИЙ СЪЁМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТЕОДОЛИТНО-ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

Д. Ю. ПОЗДНЯКОВ (СИ-31)

Научный руководитель – ст. преп. *И. П. ДРАЛОВА*

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Обработка результатов теодолитной съёмки, в частности вычисление координат точек замкнутого хода и оценка точности измерений, является трудоемкой и ответственной задачей, от которой зависит достоверность топографических материалов. Для её автоматизации разработано приложение на языке Python в среде PyCharm с использованием фреймворка PyQt5 с дополнительными возможностями анализа, визуализации и данных по съёмке.

Основная задача программы – автоматизация вычислений координат точек теодолитного хода, записанных в таблицу, получение итоговой оценки точности проведённых измерений, а также предоставление инструментов для анализа рельефа и грунтов. Данное приложение предназначено для инженеров-геодезистов, студентов строительных специальностей и специалистов, выполняющих топографическую съёмку на стройплощадках различных инженерных сооружений – автомобильных и железнодорожных мостов, путепроводов, дорог и т. д.

Главные возможности приложения:

- высокоточные вычисления: уравнивание угловых и линейных измерений с повышенными требованиями к точности результатов;
- увеличенная таблица данных: ведомость вычисления координат с дополнением информации о выбранном типе грунта (тип, влажность, несущая способность), уклонах, кривизне и метриках качества;
- визуализация: построение точного 2D-плана и 3D-модели рельефа с поверхностью, изолиниями и возможностью выбора формы рельефа;
- анализ грунтов: статистический анализ свойств грунтов, построение графиков с их распределением;
- экспорт данных: возможность сохранения результатов во множество форматов (CSV, TXT, JSON, PDF, SVG, KML и Excel) и настройка печати итоговых отчётов.

Приложение написано на объектно-ориентированном подходе с использованием графического фреймворка PyQt5 (интерфейс) и библиотек Matplotlib, NumPy и SciPy для основных вычислений и визуализации полученных данных. Ключевой класс – ProfessionalTheodoliteSurveyApp, который наследуется от QMainWindow и содержит всю основную логику работы программы.

Главное окно (ProfessionalTheodoliteSurveyApp) имеет две рабочие панели: левую и правую (построение графиков).

При запуске пользователь взаимодействует с несколькими основными формами, каждая из которых выполняет свою функцию:

- 1) диалог активации лицензии LicenseDialog;
- 2) диалог оплаты PaymentDialog;
- 3) диалог выбора формы рельефа ReliefFormDialog.

Программа генерирует множество выходных данных, которые можно условно разделить на 3 категории: графические отчёты, текстовые отчёты и экспортированные файлы (рисунок 1).

1 Графические отчёты:

- высокоточный 2D-план;
- объёмный 3D-рельеф;
- подробный анализ точности;
- подробный анализ грунтов.

2 Текстовые отчёты:

- итоговые результаты;
- статистический анализ;
- анализ ошибок.

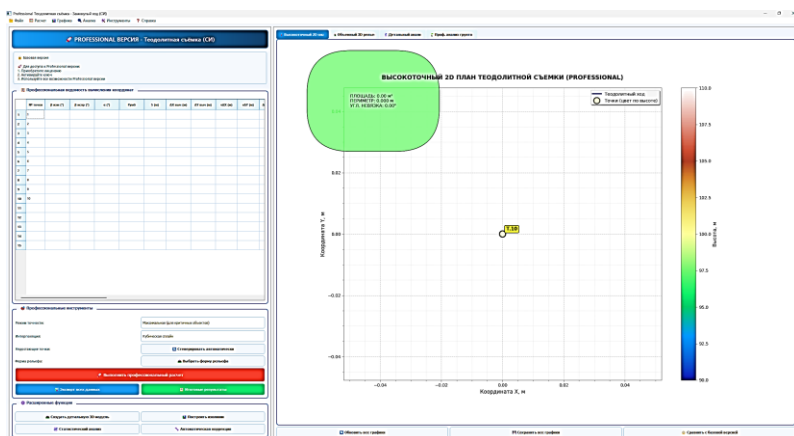


Рисунок 1 – Главное окно программы

Разработанное приложение представляет собой мощный и функциональный инструмент для полноценной обработки геодезических данных. Оно успешно решает поставленную задачу, автоматизируя трудоёмкие расчёты и предоставляя пользователю дополнительные возможности для анализа и визуализации.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Э. А. САВЕЛЬЕВА (аспирант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Е. Н. ГРИНЬ

Российский университет транспорта, г. Москва

В последнее время изменились условия эксплуатационной работы железнодорожного транспорта на главных ходах существующей железнодорожной сети, наблюдается интенсивный рост грузонапряженности, связанной с производством и переработкой сырья и энергоносителей. Рост среднесетевой грузонапряженности на сети железных дорог РФ с 2003 по 2024 год составил порядка 43 %, осевой нагрузки – 54 %. При этом на многих железнодорожных линиях перевозочная работа сокращается, что приносит не только убытки, но и трудности организационно-управленческого характера. Поэтому необходимо рассмотреть возможность перехода на дифференцированный подход к планированию и назначению работ по техническому обслуживанию пути с учетом различных условий эксплуатации.

Характерной особенностью Московской железной дороги являются различные эксплуатационные условия, включающие различия по специализации, грузонапряженности и наработке тоннажа. Наибольшая доля протяженности главного пути приходится на участки с грузонапряженностью от 10 до 50 млн ткм брутто/км в год, что составляет 58 % от протяженности главного пути (рисунок 1, а). Участки с грузонапряженностью свыше 80 млн ткм брутто/км в год составляют лишь 4 % от общей протяженности главного пути. При этом на данных участках происходит интенсивное накопление неисправностей и увеличение протяженности участков, на которых нарушены регламентные сроки проведения ремонтных работ (рисунок 1, б). Данные участки требуют к себе особого внимания в ходе планирования работ по техническому обслуживанию пути.

Анализ технического состояния пути был выполнен на участках с грузонапряженностью более 80 млн ткм брутто/км в год на Московской дирекции пути. Данные участки имеют одинаковую конструкцию пути, а именно бесстыковой путь, рельсы Р65 термоупрочненные, скрепления АРС, щебеночный балласт. Участок № 1 имеет грузонапряженность 98,5 млн ткм брутто/км в год, пропущенный тоннаж составляет 1027,2 млн т брутто, участок № 2 – грузонапряженность 129 млн ткм брутто/км в год, пропущенный тоннаж 1258 млн т брутто. На рисунке 2 приведена динамика изменения средней грузонапряженности и пропущенного тоннажа за последние пять лет, для данных участков.

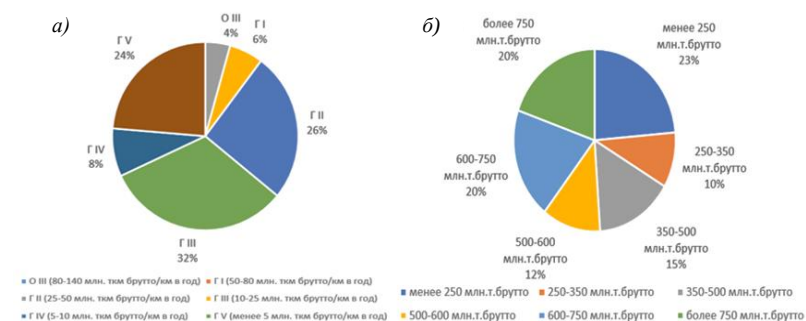


Рисунок 1 – Распределение Московской железной дороги:
а – по грузонапряженности; б – участков по наработке тоннажа

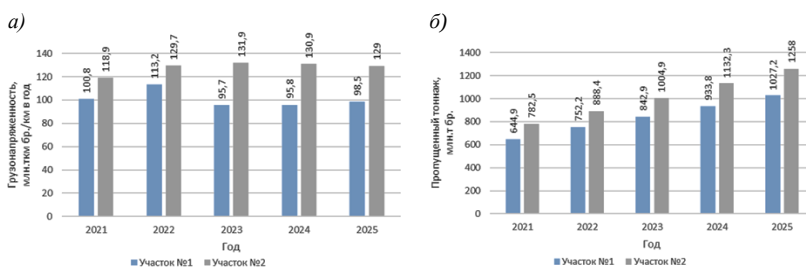


Рисунок 2 – Изменения:

а – средней грузонапряженности; б – пропущенного тоннажа по годам для участков № 1 и 2

Повышенное воздействие подвижного состава на данных участках приводит к более высокому показателю дефектности рельсов и других элементов верхнего строения пути. Оценка деформируемости пути на рассматриваемых участках выполнена на основе фактических данных о дефектности рельсов. Анализ показал, что на участке № 1 количество дефектных рельсов за рассматриваемый период увеличилось в 5 раз, на участке № 2 увеличилось в 3,43 раза за этот же период. При этом интенсивность дефектности рельсов на один млн т брутто на участке № 1 выше на 41,6 %, чем на участке № 2. Полученные результаты показывают, что интенсивное воздействие подвижного состава на путь приводит к увеличению количества дефектных рельсов.

Для обеспечения безопасности движения поездов с установленными скоростями необходимы пересмотр и оптимизация существующей периодичности ремонтных схем выполнения ремонтно-путевых работ, а также применение техники на комбинированном ходу с различными видами навесного оборудования, которые позволят снизить количество дефектов элементов верхнего строения пути.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ АВАРИЙНОСТИ С УЧАСТИЕМ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ: ОТ ПАССИВНЫХ БАРЬЕРОВ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ БИОАКУСТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

Э. П. САЗАНЧУК (11403324)

Научный руководитель – ст. преп. Н. И. РЕМЕЗ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Ежегодно столкновения с дикими животными уносят тысячи жизней людей и представителей фауны, нанося колоссальный этический и экономический ущерб. В Республике Беларусь в 2024 году зафиксирован рост таких ДТП на 11,8 % (около 3,7 тыс. случаев), а в 2025 году статистика приблизилась к отметке в 5000 происшествий.

Несмотря на активную урбанизацию и строительство скоростных магистралей, оснащенных передовыми элементами для защиты дорог от выхода диких животных, антропогенный фактор остается неизменным. Мировая статистика показывает, что даже при наличии развитой инфраструктуры проблема не теряет остроты, что требует поиска принципиально новых, комплексных подходов.

Ярким примером достаточно эффективных сооружений может являться комплекс экоудов в национальном парке «Банф» в Канаде, состоящий из шести надземных сооружений и 38 подземных переходов через Трансканадское шоссе, однако колоссальные финансовые затраты на возведение подобного комплекса сооружений порой недоступны для отдельных регионов.

Экодук «Naturschutzbrücke» в Германии шириной около 50 м как «стандарт» подобных сооружений, которых на территории страны более 80, подтверждает эффективность таких решений лишь при габарите по ширине не менее 40 м, также необходимо наличие сопутствующей «архитектуры», воссоздающей искусственный ландшафт на подходах к экодуку и на нем.

Дорожно-транспортные происшествия с участием диких животных на загородных дорогах Республики Беларуси становятся всё более социально значимой проблемой. Возросшие интенсивности движения на участках автомобильных дорог в зонах влияния крупных и крупнейших городов страны, а также сочетание высокой скорости передвижения и ограниченной боковой видимости на отдельных участках являются ключевыми факторами риска, сезонные и суточные закономерности миграционных процессов различных групп диких животных повышают факторы риска [1].

Большинство аварий происходит на участках, где водители не ожидают появления животных, а дорожные знаки носят формальный характер и не отражают реальных «красных» зон.

Пилотный проект РУП «Белдорсвязь» на участке автомобильной дороги М-10 по оборудованию наземного перехода для диких животных с применением интеллектуальной системы предупреждения водителей является подтверждением того, что необходимо искать новые комплексные и гибкие решения. Необходимо переходить к предиктивному подходу, основанному на прогнозировании и моделировании миграционных потоков диких животных, а также к мероприятиям, которые способны отражать текущую ситуацию в режиме «реального времени».

В Беларуси пока отсутствует единая методология оценки риска столкновений, учитывающая плотность популяций, структуру ландшафта, интенсивность движения и параметры дороги, что затрудняет планирование. Применение комплексных интегральных моделей позволит точнее определять участки, где необходимы меры по защите, а комбинированные способы защиты дадут максимальный эффект [2].

В качестве альтернативы и дополнения к инженерным сооружениям предлагается разработка системы комплексной защиты, интегрирующей физические барьеры с активным биоакустическим воздействием. Суть данного направления заключается в создании вдоль дорожного полотна направленного звукового поля на специфических частотах, вызывающих у крупных млекопитающих естественную реакцию избегания. Таким образом, формируется «виртуальное ограждение», которое начинает воздействовать на животное до его непосредственного контакта с физической сеткой, создавая психологический барьер и снижая вероятность стрессового поведения вблизи скоростной магистрали [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сазанчук, Э. П. Анализ аварийности с участием диких животных на участках загородных дорог / Э. П. Сазанчук // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений : материалы IX Междунар. студ. конф., 6–7 дек. 2024 г., Минск / редкол.: С. Е. Кравченко (пред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 585–587.

2 Сазанчук, Э. П. Акустические методы защиты транспортной инфраструктуры / Э. П. Сазанчук, Н. И. Ремез // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы V Междунар. науч.-техн. конф., 18–19 дек. 2025 г., Минск / сост.: Е. М. Жуковский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2026. – С. 477–479.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИ МОНТАЖЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНТРРЕЛЬСА ИЗ ПОЛНОПРОФИЛЬНОГО РЕЛЬСА ТИПА Р-50 В КРИВЫХ МАЛОГО РАДИУСА

В. А. СОРОГОВЕЦ (ЗмС-51)

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

На железнодорожных путях применяются кривые малых радиусов – от 349 м и менее. В таких кривых возникают значительные горизонтальные силы взаимодействия колёс подвижного состава с головками рельсов, что приводит:

- к ограничению скорости движения подвижного состава;
- интенсивному износу колёс, рельсов, а также элементов верхнего строения пути;
- расстройству рельсовой колеи по шаблону и даже к сходу подвижного состава.

По сравнению с прямыми участками или кривыми большого радиуса малые кривые требуют усиленного надзора и специальных мер для обеспечения безопасности и стабильности пути.

Для обеспечения безопасности движения поездов в таких кривых [1]:

- устраивают возвышение наружного рельса до 150 мм;
- увеличивают размер рельсовой колеи: при радиусе от 349 до 300 м – 1530 мм, при радиусе от 299 м и менее – 1535 мм;
- устанавливают более тщательный и частый контроль со стороны путевых рабочих и измерительных средств. Важно строго следить за состоянием колеи, износом рельсов, положением пути в плане и профиле;
- применяют усиленные скрепления, которые могут регулировать ширину рельсовой колеи;
- используют стационарные рельсосмазыватели для уменьшения коэффициента трения в зоне контакта «колесо – рельс»;
- проводят регулярную шлифовку и фрезерование рельсов для восстановления оптимального профиля и удаления дефектов;
- устанавливают контррельсы. Укладку контррельсов следует предусматривать на железнодорожных путях, расположенных на кривых радиусом менее 150 м, со стороны внутренней нити [2].

Контррельсы могут не укладываться в случае наличия внутри рельсовой колеи препятствий для их установки (настилов железнодорожных переездов или пешеходных переходов, асфальтового или другого технологического покрытия) [3].

Конструкция практически применима, но вместе с тем, имея линейную протяжённость на криволинейном участке, при укладке отверстия не совпадают друг с другом, поэтому требуется более точная их разбивка или подгонка по месту. Это нужно, чтобы уменьшить ослабление шейки подошвы рельса и чтобы при монтаже и эксплуатации не произошёл излом контррельса [2].

В конструкции контррельса из полнопрофильного рельса типа Р-50 есть конструктивные недостатки, заключающиеся в невозможности осмотра и замены негодных креплений при раздельном креплении типа КБ-65. Ввиду того, что башмаки и сам контррельс закрывают клеммные и закладные болты, их невозможно заменить как и подрельсовую, нащпальную прокладку. При эксплуатации контррельса в кривых участках пути с раздельным креплением типа Д-65 (ДО-65) нет возможности замены негодных шпал, так как нет возможности демонтажа путевых костылей, расположенных с внутренней стороны опорной нити.

Решением проблемы замены негодных креплений и негодных шпал является полный демонтаж контррельса из полнопрофильного рельса типа Р-50 вместе с башмаками. После замены креплений и шпал необходимо производить монтаж контррельса. Эта работа очень трудоёмкая и занимает много времени по сравнению с аналогичной работой на участке без установленного контррельса.

Но между тем при установленном контррельсе в кривой малого радиуса:

- практически исключён сход подвижного состава из-за набегания гребня колеса на упорную нить;
- практически исключена необходимость рихтовки пути в плане за счёт увеличения горизонтальной жёсткости конструкции пути;
- в несколько раз уменьшились затраты на регулировку (перешивку) пути по шаблону;
- потребность в регулировке ширины колеи по шаблону возникает только при необходимости регулировки жёлоба по износу контррельса;
- минимизирован боковой износ упорной рельсовой нити.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ковтун, П. В. Проектирование и расчет рельсовой колеи : пособие / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 57 с.

2 Инструкция по изготовлению и установке контррельса из полнопрофильного рельса типа Р-50 с промежуточным креплением на внутренней нити в кривых участках пути. – Могилев, 2021.

3 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги : утв. Постановлением М-ва транс. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25 нояб. 2015 г. № 52. – Минск, 2016. – 191 с.

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРЛОВИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

А. В. ТЕРЕХ (ЗмС-51)

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

Одной из наиболее устойчивых тенденций развития железнодорожного транспорта является увеличение грузонапряженности и повышение скорости движения в горловинах станций и скоростей движения по сочетаниям стрелочных переводов.

Основными элементами конструкций стрелочных горловин отдельных пунктов с путевым развитием являются стрелочные переводы, взаимное размещение которых имеет установленные ограничения [1, 2].

Наихудшие условия работы создаются, когда смежные переводы образуют s-образные кривые, особенно без вставки или с минимальной ее величиной. Такая ситуация в большей степени характерна для симметричных стрелочных переводов марки 1/6.

На примере станции Минск-Сортировочный в нечетной горловине 4-го парка в попутном направлении размещена комбинация стрелочных переводов марки крестовин $1/9 - 1/6 - 1/9$.

Комбинация укладки $1/6 - 1/9$ не образует s-образную кривую, поэтому не создает ограничений при маневровой работе и пропуске поездов. Однако s-образное сочетание создается при укладке переводов в обратном порядке $1/9 - 1/6$, такая схема не гарантирует безопасность маневров и пропуск поездов.

Таким образом, учитывая особенности конструкции симметричных стрелочных переводов марки 1/6 (малая длина, наличие кривой при движении по любому пути), их применение на приемоотправочных путях вызывает наибольшие ограничения при маневрах и движении поездов. Для увеличения грузонапряженности и повышения скорости движения в горловинах станций (увеличение скоростей движения по стрелочным переводам марки 1/6 и 1/9) требуется их замена на более пологие марки.

Также другими критериями, определяющими безопасность движения по стрелочным переводам, являются показатели прочности.

Показатели прочности рельсовых элементов стрелочных переводов лимитируют скорость движения по ним в основном тяжелых экипажей. Например, испытания показали, что от воздействия грузовых вагонов с нагрузкой 250 кН/ось максимальные вероятные напряжения превышают

нормируемые в кромках подошвы переднего вылета рамного рельса переводов при скорости 50 км/ч на 10–15 %, в остряке – на 5–7 %, в рельсах упорной нити переводной кривой – до 10 %. Следует также отметить, что при предельных допускаемых состояниях колеи на стрелочном переводе эти превышения еще больше.

Возможны следующие направления решения задачи повышения скорости движения и грузонапряженности в горловинах станций: увеличение скоростей движения по сочетаниям стрелочных переводов, общая геометрия которых не ограничивает скоростей движения; разработка стрелочных переводов с измененной геометрией, взаимозаменяемых с типовыми; реконструкция с заменой стрелочных переводов на более пологие.

Расчеты показали, что при укладке таких переводов в составе комбинаций и съездов с S-образным расположением кривых динамико-кинематические характеристики как для грузовых, так и для пассажирских вагонов находятся в пределах действующих нормативов [3].

С освоением российскими стрелочными заводами производства криволинейных крестовин появилась возможность пересмотреть общую геометрию стрелочных переводов за счет разунификации правых и левых переводов, увеличив радиусы стрелочных кривых при той же практической длине конструкции. Эти возможности позволят разрабатывать стрелочные переводы нетиповых марок, например таких марок, как 1/14 и 1/15. Они смогут обеспечивать скорость движения 70 км/ч для пассажирских и 60 км/ч для грузовых поездов с базой не менее базы полувагона. Короткобазные хоппер-дозаторы смогут проходить такие стрелочные переводы со скоростью 60 км/ч с небольшим, но приемлемым превышением скорости изменения ускорения при входе в стрелочную кривую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Глюзберг, Б. Э.** Технические решения для улучшения условий движения и плавности хода поездов по стрелочным переводам / Б. Э. Глюзберг, П. В. Трегубчак, И. В. Цитцер // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). – 2024. – Т. 83, № 4. – С. 336–347.

2 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Российской Федерации. – М. : Техноинформ, 2001. – 255 с

3 **Филатов, Е. А.** Безопасность маневровой работы в стрелочных зонах железнодорожных станций / Е. А. Филатов // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. ст. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2024. – Вып. 6. – С. 45–53.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ОТ АУДИТА ДОРОГ ДО ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ

А. Ю. ТЕРЕЩУК, В. А. БЕЛЬ (СА-41), Н. А. КАХОВ (СА-51)

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

Безопасность дорожного движения (БДД) остается одним из стратегических приоритетов транспортной политики Республики Беларусь. Реализация Указа Президента Республики Беларусь от 18 апреля 2022 г. № 145 «О совершенствовании организации дорожного движения» [1] позволила стабилизировать показатели аварийности, однако анализ статистики ГАИ за 2024–2025 годы свидетельствует о сохранении напряженной ситуации. Значительная часть дорожно-транспортных происшествий (ДТП) связана не только с человеческим фактором, но и с неудовлетворительным состоянием дорожной инфраструктуры. В условиях роста парка транспортных средств и увеличения интенсивности движения требуется переход от реагирования на аварии к их системной профилактике.

Ключевым инструментом профилактики является детальный анализ ДТП в привязке к конкретным участкам дорог. В Беларуси продолжает внедряться практика выявления и ликвидации мест концентрации ДТП (очагов аварийности). Однако часто причиной скольжения или потери управления становится низкое сцепное качество покрытия, особенно в осенне-весенний период при перепадах температур. Исследование устойчивости дорожных конструкций к нагрузкам напрямую влияет на БДД: ровное покрытие с высоким коэффициентом продольного сцепления (не менее 0,4–0,5) сокращает тормозной путь и снижает риск заноса. Важным аспектом является обеспечение водоотвода и макрошероховатости поверхности, что предотвращает аквапланирование.

Важным элементом системы управления безопасностью является аудит безопасности дорог (АСД) и их паспортизация. Согласно современным требованиям, проект дороги должен проходить оценку безопасности еще на стадии проектирования, а также перед вводом в эксплуатацию и в процессе эксплуатации. Аудит позволяет выявить потенциально опасные элементы геометрии плана и профиля, которые не противоречат нормам, но могут способствовать совершению ошибок водителями. Паспортизация позволяет вести цифровой учет элементов обустройства (знаков, ограждений, освещения, разметки), что необходимо для своевременного обслуживания и замены. В условиях Республики Беларусь актуальным остается вопрос соответ-

ствия технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) новым стандартам (СТБ), особенно в части светоотражающих свойств и видимости в темное время суток. Использование материалов повышенной яркости (классы RA1, RA2) критически важно для широтной зоны Беларуси с длительным периодом сумерек (рисунок 1).



Рисунок 1 – Светоотражающая способность дорожных знаков классов RA1, RA2 и RA3/R3B

Оптимизация скоростных режимов должна базироваться не на произвольных ограничениях, а на инженерных изысканиях и оценке безопасной скорости. Внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и динамических знаков позволяет гибко управлять скоростью потока в зависимости от погодных условий и загруженности. Например, снижение скорости на участках с жесткими покрытиями в зимний период требует обоснования текущего коэффициента сцепления. На магистралях М-1, М-4 и МКАД г. Минска внедряются системы автоматической фиксации нарушений и переменные табло, предупреждающие об опасности. Это позволяет снижать тяжесть последствий ДТП за счет уменьшения скорости удара.

Таким образом, обеспечение безопасности дорожного движения в Республике Беларусь невозможно без интеграции организационных мер и технических решений. Необходим переход к концепции «Безопасная система», где ошибка водителя не должна приводить к гибели. Это требует качественного аудита, своевременной паспортизации и применения долговечных дорожных материалов. Только комплексный подход, объединяющий усилия проектировщиков, строителей, балансодержателей дорог и сотрудников ГАИ, позволит снизить аварийность и сохранить жизни участников движения. Дальнейшее развитие нормативной базы и внедрение отечественных разработок в сфере ИТС станет залогом устойчивого снижения травматизма на транспорте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О совершенствовании организации дорожного движения : Указ Президента Респ. Беларусь от 18 апр. 2022 г. № 145 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2022. – 1/20295.

АНАЛИЗ АКТИВАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. В. ТОМАШОВ, нач. каф. «Военно-специальная подготовка»,

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, канд. техн. наук, доц.,

Д. И. БОЧКАРЕВ, канд. техн. наук, доц.

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Активационные технологии дорожно-композиционных материалов – новое прогрессивно развивающееся научное направление, раскрывающее огромные возможности для повышения качества и снижения стоимости строительства и ремонта автомобильных дорог.

Широкие возможности для активации композиционных дорожно-строительных материалов предлагают электрофизические и электрохимические методы их обработки.

Воздействие электрических полей на структуру и свойства веществ реализуется электронно-ионной технологией (ЭИТ), включающей четыре главных направления: электрогидравлический эффект (ЭГ-эффект), трибоэлектричество (Т-эффект), явление быстрого обратимого повышения эффективной вязкости неводных дисперсных систем в сильных электрических полях (ЭР-эффект) и механическое воздействие на обрабатываемое вещество ферромагнитных частиц,двигающихся с большой скоростью в переменном электромагнитном поле (ВС-эффект), последние два из которых в настоящее время еще недостаточно изучены.

ЭГ-эффект заключается в воздействии на обрабатываемую жидкую среду (если цель – обработка этой среды) энергии плазмы, которая образуется в канале электрического разряда, происходящего в ней, или проходящего через эту среду – на другие объекты, требующие обработки (например, горные породы). С помощью ЭГ-эффекта можно эффективно регулировать адгезионную активность вяжущих (битума, битумной эмульсии), что реализовано в установках для электрогидравлической активации вяжущих разработки БНТУ. Несмотря на высокую эффективность, ЭГ-эффект требует дальнейших исследований, в том числе и с целью совершенствования технологических установок, что является препятствием его использования в мобильной дорожной технике. Недостатком электрогидравлической обработки вяжущих также является сравнительно небольшое время сохранения полученной ими активности (для битума – около 15 мин).

В основе Т-эффекта лежит возникновение при интенсивном трении двух материалов электрических зарядов, которые равны по абсолютному значе-

нию и противоположны по знаку. Эффект зависит от свойств контактирующих поверхностей и режима происходящих контактов. Позволяет осуществлять активацию минеральных материалов (трибоактивацию), упорядочивать энергетический потенциал их поверхности, что обеспечивает ее дальнейшее интенсивное взаимодействие с ПАВ или вяжущим. Преимуществом данной технологии является относительная простота установки для трибоактивации, что позволяет использовать ее в мобильной дорожной технике. Недостатком Т-эффекта является невозможность трибоактивации влажных минеральных материалов.

Электронно-ионная и квантовая технология (ЭИКТ) дополнительно охватывает электронные процессы обработки (несфокусированными потоками электронов и ионов), ионные процессы (лучевые), плазменные процессы (в газах и вакууме) и лазерные процессы. Родственной ЭИКТ является также радиационная технология. Примерами реализации ЭИКТ являются электрокипящий слой и электроперемешивание.

Электрокипящий слой эффективен для равномерной обработки мелкодисперсных минеральных материалов тепловым полем, ПАВ или органическим вяжущим. Достигается путем регулирования величины заряда частиц, силы и напряженности электрического поля. При этом «отталкивающие» электроды располагаются в местах, противоположных действию силы тяжести, что обеспечивает эффект «взвешивания» частиц в газовой среде на период обработки. Активация минеральных материалов, а также их обработка вяжущим с помощью электрокипящего слоя в мобильных дорожных машинах представляет практический интерес, но в настоящее время недостаточна исследована.

С целью интенсификации процессов структурообразования в системе «наполнитель – вяжущее» жидкие материалы могут быть подвергнуты магнитной обработке. Известен способ приготовления эмульсионно-минеральной смеси, в котором битумную эмульсию подвергают электромагнитной обработке в поле напряженностью 40–160 кА/м со скоростью пересечения данного поля 0,25–2,45 м/с и затем смешивают с известняковой суспензией, подвергнутой аналогичной обработке с теми же параметрами.

Представляет интерес активация композиционных материалов с применением ВС-эффекта, при котором механическое воздействие в местах соударений ферромагнитных частиц в сочетании с влиянием переменных электромагнитных сил и появлением на поверхности обрабатываемых веществ электрических зарядов значительно увеличивает их свободную энергию и, как следствие, адгезионную активность.

Таким образом, основываясь на теоретических положениях, изложенных выше, можно предположить, что данные методы активации будут эффективны и для композиционных дорожно-строительных материалов на органическом вяжущем.

ЯМОЧНЫЙ РЕМОНТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОРОЖНОГО РЕМОНТЕРА MADROG MPA 6.5W

В. В. ТОМАШОВ, нач. каф. «Военно-специальная подготовка»,

В. В. ПЕТРУСЕВИЧ, канд. техн. наук, доц.,

С. М. ДЕРЕВЯШКИН (ВМА-32)

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Дорожное покрытие требует постоянного обслуживания и ремонта, в особенности в городской черте, где ежедневно на дорогах происходит огромный транспортный поток. Чтобы ямочный ремонт был выполнен правильно и качественно, необходимо использовать специальную дорожную технику, которая будет способна быстро и эффективно решить эту проблему [1].

С применением ямочного ремонтера пневмонабрызгом MADROG MPA 6.5W польского производителя дорожные организации смогли выйти на качественно новый уровень организации работ по устранению ям методом пневмонабрызга.

Конструкция MADROG MPA 6.5W, предназначенного для устранения достаточно глубоких повреждений дорожного покрытия, собрала в себя ряд инновационных решений, предложенных европейскими инженерами. Одним из них является метод струйно-инъекционного пневмонабрызгивания битумной эмульсии и щебня. При этом предварительной подготовки реставрируемого участка дороги другим техническим средством не требуется. Эта технология с успехом применима на всех типах асфальтобетонного покрытия, эксплуатируемых как в городе, так и вне его.

MADROG MPA 6.5W представляет собой автономное оборудование, которое может быть смонтировано на шасси или прицепе.

В конструкции MADROG MPA 6.5W предусмотрены две емкости: бункер для щебня и эмульсионный бак. Последний оснащен инновационным комплексом подогрева. Первичный нагрев его содержимого и стабилизация температуры осуществляется при помощи газовой горелки, работающей в авторежиме. Во время работы ремонтера нет потребности в ее использовании, так как поддержание температуры эмульсии обеспечивается с помощью теплообменника системы охлаждения силового агрегата. Бункер выполнен из прочной стали с антикоррозийной обработкой, винтовой шнек для перемещения щебенки – из износостойчивой марки стали.

Высокопроизводительный ремонтер MADROG MPA 6.5W имеет следующие ключевые параметры: вместимость эмульсионного бака – 1,2 м³, большой объем бункера для щебня – 6,5 м³. Машина оборудована мощным

двигателем японского бренда Kubota, отличающимся низким уровнем шума, компьютерным комплексом Siemens, эмульсионным насосом GVR, воздуходувкой Robushi, гидравликой датского производителя Danfoss.

Принцип работы дорожного ремонтера MADROG MPA 6.5W заключается в предварительной подготовке ремонтируемой зоны: чистка, удаление влаги, грунтование эмульсией. Далее происходит заполнение выбоины смесью битумэмульсия + щебень. Для этого щебенка нужной фракции из бункера с помощью шнекового устройства направляется к воронке износостойкого цельного рукава. Сыпучий материал поступает через пневмоинжектор в резиновый рукав, оснащенный форсункой увлажнения. К распылителю последней из бака одновременно поступает эмульсионный состав. Опрысканная им внутри форсунки щебенка направляется посредством наконечника в место ремонта дорожного покрытия. Заполненный этой смесью ремонтируемый участок далее покрывается мелким щебнем. При выполнении всех этих операций используется мощный поток сжатого воздуха. Применяя разные типы наконечников, можно заделать даже самые мелкие растрескивания дорожного покрытия. Разброс щебенки настолько мал, что совершенно безопасен для идущих неподалеку пешеходов. Эта модель оснащена стрелой, с помощью которой можно перемещать форсунку на расстояние до четырех метров. Итог – спустя пять минут после окончания ремонтных работ проезд по выровненной дороге допустим даже для грузовиков.

Управлять ямочным ремонтером MADROG MPA 6.5W очень просто. Для этого имеется эргономичный пульт, в котором сосредоточены все элементы координирования. Благодаря хорошо продуманной системе управления ремонтным процессом, оператор быстро и качественно выполняет поставленную перед ним задачу [2].

Таким образом, преимущество использования данного ремонтного оборудования MADROG MPA 6.5W заключается:

- в отсутствии ручного труда;
- минимальных трудовых затратах и отсутствии необходимости использовать выравнивающие и уплотняющие машины;
- возможности эксплуатации даже в холодное время года при условии очищения дороги от наледи и температуры воздуха не ниже плюс 3 °С.
- быстром старте – дорожная сеть готова к возобновлению движения через 5–10 мин после окончания работ.

Данное оборудование обеспечивает хорошее качество работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Булдаков, С. И. Основы эксплуатации и ремонта автомобильных дорог : практ. пособие / С. И. Булдаков. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 236 с.

2 Ямочный-ремонтёр. – URL: <https://hte.md/shop/madrog-road-machines/ямочный-ремонтёр-madrog-madpatcher-mpa-6-5w/> (дата обращения: 02.03.2026).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ ДЕГРАДАЦИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Е. В. ТРИШИНА (СОДП-13)

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. *Е. М. ТАРАСОВ*
Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара,
Российская Федерация

Для надежного функционирования перевозочного процесса особое внимание необходимо уделять телекоммуникационным системам. Обеспечение непрерывности и бесперебойности работы телекоммуникационных систем зависит от качественного функционирования аккумуляторных батарей (АКБ) как резервных устройств электропитания.

На железной дороге в телекоммуникационных системах используются три типа АКБ: щелочные, свинцово-кислотные и литий-ионные. У каждого типа аккумуляторной батареи свои параметры. Один из параметров, влияющих на работу батареи, – это внутреннее сопротивление. Внутреннее сопротивление АКБ – сопротивление, которым аккумуляторная батарея воздействует на поток электрического тока внутри себя. Высокое внутреннее сопротивление ограничивает эффективное использование всей емкости, снижает выходную мощность, ухудшает динамику зарядки и разрядки, а также вызывает перегрев. Приведем сравнительный анализ внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение внутреннего сопротивления АКБ

Параметр	Типы аккумуляторных батарей		
	Щелочные	Кислотные	Литий-ионные
Внутреннее сопротивление, мОм	100–200	Менее 100	150–250

Как видно из таблицы, у кислотных аккумуляторных батарей самое минимальное внутреннее сопротивление, что делает его приоритетным аккумулятором среди остальных по вольтамперным характеристикам [1].

Для контроля за состоянием АКБ существует Система управления батареей (BMS) – электронная система, которая управляет зарядным/разрядным процессом аккумуляторной батареи, отвечает за безопасность её работы, проводит мониторинг состояния батареи, оценку вторичных данных работоспособности [2].

Напряжение, ток и температура – это те параметры, которые BMS может измерить напрямую. Для BMS с расширенной функциональностью может потребоваться комплексная оценка батареи, которая складывается из многих

параметров, зависящих от физических показателей, химического состава батареи и условий эксплуатации. Комплексная оценка может включать в себя:

- состояние заряда аккумуляторной батареи (State-of-Charge, или SoC);
- степень работоспособности аккумулятора (State-of-Health, или SoH);
- уровень оставшейся энергии аккумулятора (State-of-Energy, или SoE);
- уровень мощности аккумулятора (State-of-Power, или SoP)» [3].

Показатель SoH показывает степень деградации аккумуляторной батареи по сравнению с ее начальными характеристиками. В процессе эксплуатации АКБ происходят физико-химические изменения, например коррозия электродов и ухудшение свойств электролита. Такие процессы приводят к увеличению внутреннего сопротивления АКБ и снижению ее фактической емкости.

Емкость аккумуляторной батареи является одним из основных параметров, который характеризует способность накапливать и отдавать электрическую энергию. В процессе эксплуатации емкость АКБ постепенно уменьшается, что связано с изменением химического состава и увеличением внутреннего сопротивления. Увеличение сопротивления сопровождается выделением тепла внутри батареи, что ускоряет процессы деградации и ухудшает общую эффективность эксплуатации.

При работе батареи под нагрузкой особенно заметен рост внутреннего сопротивления. На это указывает большее падение напряжения на внутренних элементах аккумулятора, что в дальнейшем приводит к сокращению времени службы батареи. Из этого следует, что фактическая емкость, доступная для использования, становится меньше ее номинального значения.

Таким образом, изменение емкости АКБ и рост внутреннего сопротивления – это взаимосвязанные процессы, которые характеризуют степень износа батареи. Контроль этих параметров позволяет оценивать состояние батареи и прогнозировать его дальнейшую работоспособность.

В связи с этим актуальной задачей является разработка и внедрение интеллектуальных систем контроля состояния аккумуляторных батарей, которые позволяют в режиме реального времени анализировать изменения параметров батареи и прогнозировать срок службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хрусталёв, Д. А. Аккумуляторы / Д. А. Хрусталёв. – М. : Изумруд, 2003. – 224 с.
- 2 Система управления батареи (BMS). – URL: https://e-solarpower.ru/faq/vse-ob-akkumulyatorah/sistema-upravleniya-batareibms/?utm_source=ru.ruwiki.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=ru.ruwiki.ru&utm_referrer=ru.ruwiki.ru (дата обращения: 03.03.2026).
- 3 Обзор технологий разработки программного обеспечения для систем управления батареями (BMS). – URL: <https://kedrsolutions.ru/blog/razrabotka-programmnogo-obespecheniya-dlya-sistem-upravleniya-batareyami> (дата обращения: 03.03.2026).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ С ЕЗДОЙ ПОВЕРХУ

И. С. ТРУШКО (магистрант),

Е. Ю. СТАЦЕВИЧ (Белорусская железная дорога)

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

Значимость железных дорог в экономическом развитии страны определяется их стратегическим ресурсом в национальной транспортной системе, обеспечением экономической безопасности и обороноспособности, реализации социальной политики государства [1].

Искусственные сооружения являются частью инфраструктуры железнодорожного пути. Их техническое состояние обеспечивает бесперебойный и безопасный пропуск поездов с установленными скоростями движения, безопасный пропуск пешеходов и автотранспорта. Отличное и хорошее состояние пути, а также ремонт искусственных сооружений зависит главным образом от систематического выполнения работ по текущему содержанию и производства ремонтных работ с определенной периодичностью [3].

Многие однопролетные железнодорожные мосты были построены в начале XX века. Рассмотрим один из таких мостов, расположенный в Гродненской области. Первоначально мост был построен в 1904 году – двухпутный однопролетный мост на каменных опорах с перекрытием отверстия металлическими сквозными пролетными строениями с ездой поверху. В 1944 году мост был разрушен до обреза фундамента. В этом же году мост был временно восстановлен на деревянных опорах с перекрытием отверстия пакетами из двутавровых балок и эксплуатировался до 1954 года. На обслуживаемых дистанцией пути участках – тепловозная тяга. В 1954 году мост был капитально восстановлен. Устои возведены под два пути из бутобетона на сохранившихся фундаментах с укладкой рельсовых подкладников. Отверстие моста перекрыто одним металлическим пролетным строением со сплошными стенками, расчетной длиной $L_p = 18,20$ м, с ездой поверху под нагрузку Н-8. Пролетное строение установлено только под один правый путь. Пересекаемое препятствие – река Лидейка, направление течения в левую сторону по направлению счета километров железной дороги.

Эти работы не могут осуществляться без строго определенной технологии. Для их выполнения необходимы соответствующие машины, механизмы, инструменты, обеспечивающие высокую выработку и качество ремонта в единицу времени с минимальным ущербом перевозочной работе. В разрабатываемых

технологических процессах используются нормы выполнения путевых работ и работ по содержанию искусственных сооружений, соответствующие конкретным условиям, высокопроизводительные машины, инструменты, предложения новаторов и рационализаторов производства. Технологический процесс служит надежной основой для рационального ведения путевого хозяйства и текущего содержания и ремонта искусственных сооружений [1, 3].

Система содержания искусственных сооружений предусматривает текущее содержание (контроль технического состояния и работы по текущему содержанию) и капитальные виды ремонта. Основным принципом содержания является предупреждение появления или развития неисправностей и повреждений в сооружениях для поддержания их удовлетворительного технического состояния [2].

В Лидской дистанции внедрение новых технологий содержания искусственных сооружений позволит повысить безопасность и бесперебойность движения поездов, а также наглядно показать преимущества плит безбалластного мостового полотна с прокладным слоем перед деревянным мостовым брусом при соблюдении требований безопасности движения, охраны труда и защиты окружающей среды.

Ремонт опор и опорных частей включает устройство монолитных подферменных поясов, торкретирование по сетке поверхности устоев, установку новых железобетонных подферменных камней, установку новых опорных частей, устройство водосливов из бетона, устройство шпунтовой стенки у основания устоев, установку штырей в пробуренные отверстия, сваривание и навешивание металлических сеток, бетонирование конструкции, нанесение торкретбетона.

Важным элементом ремонта моста является замена верхнего строения пути на деревянных брусках на новое безбалластное полотно из железобетонных плит. Безбалластное мостовое полотно состоит из отдельных железобетонных плит, которые устанавливаются на верхние пояса главных балок пролетных строений на слой быстротвердеющей бетонной смеси. Крепление плит к продольным балкам проезжей части предусмотрено высокопрочными шпильками [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О Государственной программе «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.03.2021 г. № 165 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165> (дата обращения: 09.03.2026).

2 СТП БЧ 56.317-2015. Мостовое полотно на железнодорожных мостах. Устройство и конструкции. – Минск : Белорусская железная дорога, 2015. – 136 с.

3 **Довгелюк, Н. В.** Изыскания и проектирование железных дорог : учеб. пособие / Н. В. Довгелюк, Г. В. Ахраменко, И. М. Царенкова. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 333 с.

МЕХАНИКО-ЭМПИРИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ AASHTOWARE PMED

Т. М. ФРОЛОВА, А. А. ЦАРЕНКОВ (ЗМС-51)

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

Современное дорожное строительство требует высокоточных инструментов для прогнозирования состояния дорожных покрытий на долгосрочную перспективу. Традиционные эмпирические методы постепенно уступают место интегрированным подходам. Программное обеспечение AASHTOWare Pavement ME Design базируется на расчетно-экспериментальном методе, объединяющем принципы строительной механики и эмпирические уравнения регрессии для долгосрочного прогнозирования состояния дорожных одежд [1].

Методика проектирования базируется на двух ключевых составляющих:

- механический подход базируется на принципах строительной механики для моделирования напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции под воздействием динамических нагрузок и природно-климатических факторов. Для нежестких покрытий применяется теория упругих слоев, а для жестких – метод конечных элементов в сочетании с нейросетями для ускорения расчетов критических реакций [2];

- эмпирический компонент устанавливает зависимость между расчетными параметрами напряженно-деформированного состояния с фактическими показателями деградации покрытия (колееобразованием, трещинообразованием, индексом ровности IRI) посредством калиброванных функций передачи [2].

Важной частью данного подхода является система *Enhanced Integrated Climatic Model*. Она ежедневно моделирует изменение температуры и влажности внутри каждого слоя дорожной одежды на протяжении всего расчетного срока (20–50 лет). Это позволяет учитывать изменение модуля упругости асфальтобетона в зависимости от температуры, циклы промерзания-оттаивания и их влияние на несущую способность основания.

В отличие от старых методов PMED не считает «среднее» состояние за год. Система делит расчетный срок на малые интервалы (месяцы и часы). Для каждого интервала оценивается текущее состояние материала (с учетом старения и погоды); рассчитывается нагрузка от транспортного потока; ущерб суммируется с предыдущим периодом по закону Пальмгрена – Майнера. Такой подход позволяет увидеть, в какой именно период (например, весеннее оттаивание) дорога подвергается наибольшему риску разрушения.

Финальным результатом работы является график изменения индекса IRI. Система прогнозирует не только структурные разрушения, но и общую эксплуатационную пригодность дороги. В модель закладывается начальная ровность после строительства и её постепенная деградация под влиянием трещин, колеи и морозного пучения. Это дает возможность планировать сроки первого капитального ремонта еще на этапе проектирования.

Проектирование в PMED базируется на вероятностном подходе, который учитывает статистический разброс свойств материалов и нагрузок.

Критерий надежности определяется как вероятность того, что износ покрытия не превысит лимит в течение срока службы. Для дорог высших категорий уровень надежности на отметке 90–95 % служит «запасом прочности», компенсирующим неопределенность данных. Рисунок 1 иллюстрирует концепцию надежности, но включает нормальное распределение остаточных погрешностей. Синяя линия в основном представляет собой средние значения надежности.

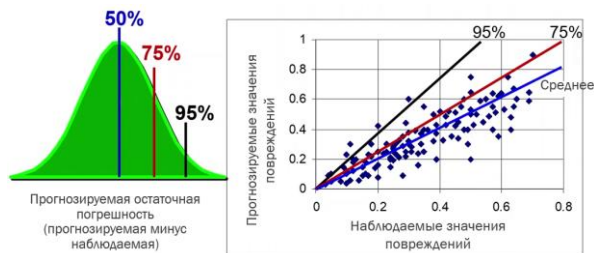


Рисунок 1 – Графическая иллюстрация концепции надежности

Для оценки ошибок система интегрирует погрешности моделей и вариативность материалов в итоговый прогноз, позволяя обоснованно балансировать между стоимостью конструкции и риском её преждевременного разрушения.

Использование AASHTOWare PMED позволяет перейти к точному моделированию срока службы дорожных одежд. Сочетание нейросетевых алгоритмов и анализа надежности обеспечивает оптимальный баланс между стоимостью конструкции и её долговечностью. Данный подход минимизирует риски преждевременного разрушения покрытий в различных эксплуатационных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice / American Association of State Highway and Transportation Officials. – 3rd ed. – Washington; DC : AASHTO, 2020. – 300 p.

2 Mallick, R. B. Pavement Engineering : Principles and Practice / R. B. Mallick, T. El-Korchi. – 3rd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – 732 p.

ТЕПЛЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В. В. ХАЧАТУРЯН (СА-51)

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

Повышение эффективности дорожного строительства возможно за счет снижения энергоемкости и ресурсоемкости технологических процессов. Самым энергозатратным процессом при строительстве нежесткой дорожной одежды является приготовление горячих асфальтобетонных смесей – необходим нагрев каменного материала до температуры 160–200 °С и вяжущего до 140–180 °С в зависимости от типа смеси. Кроме высокой энергоемкости процесс приготовления горячих смесей несет риски температурной деформации битума [1]. Каменный материал нагревается в сушильном барабане на 10–20 °С больше, чем это необходимо на этапе смешения с битумом с учетом наличия интервала времени между выпуском из барабана и подачей в смеситель. Контакт битума с перегретой поверхностью щебня и песка приводит к ускоренному старению вяжущего.

Снижение энергоемкости технологического процесса приготовления асфальтобетонной смеси возможно за счет введения специальных добавок. Получаемые в таком случае смеси называют теплыми. Сложность технологии теплого асфальтобетона заключается в подборе такой добавки, которая не приводила бы к ухудшению физико-механических свойств битума в процессе эксплуатации.

В русскоязычной научно-технической литературе накоплен достаточный базис знаний для оценки потенциальных возможностей температуропонижающих добавок разных производителей. Однако большинство рассматриваемых химических добавок имеют зарубежное происхождение: Sasobit (Германия), Asphaltan (Германия), Licomont.BS 100 (Швейцария), Rediset WMX (Нидерланды), Evoterm (США) и пр. Имеются определенные наработки и у исследователей из Российской Федерации и Республики Беларусь.

Исследователи из Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова отмечают, что добавка Sasobit снижает показатели растяжимости и пенетрации и увеличивает температуру размягчения битума, а добавка Evotherm практически не изменяет его температуру, несколько увеличивает растяжимость и пенетрацию битума и положительно влияет на процессы приготовления и укладки асфальтобетонной смеси. При этом исследователями предложена температуропонижающая адгезионная добавка катионного типа на основе полиаминов и имидазолинов ДАД-ТА [2].

Группа исследователей из Казанского государственного архитектурно-строительного университета на основании анализа опыта применения американских добавок Evoterm J1 и Honeywell Titan 7686 пришли к следующему выводу: «Применение асфальтобетонов тёплой укладки в основном рассчитано на экономию энергозатрат, дорогостоящих материалов и трудовых ресурсов, позволяет существенно снизить количество вредных выбросов в атмосферу» [3].

Полная оценка эффективности невозможна без учета влияния прочностных характеристик теплых асфальтобетонов на процедуру и результаты расчета конструкции дорожной одежды. Исследователи из АНО НИИ «ТСК» и Воронежского государственного технического университета в своей работе пришли к следующему выводу: «Расчеты дорожных конструкций с применением теплых асфальтобетонов показали, что толщины конструктивных слоев дорожных одежд практически не меняются в сравнении с традиционными конструкциями с покрытиями из горячих асфальтобетонов» [4].

На территории Республики Беларусь с использованием отечественных добавок, разработанных в БелдорНИИ, устроены покрытия на участках дорог Береза – рыбхоз «Селец», М-1/Е30 Брест – Минск – граница Российской Федерации, Н-988 Дмитровичи – Подбела и покрытие мостового полотна перехода через реку Западную Двину (г. Верхнедвинск). Разработаны соответствующие технические условия, методические документы и иные ТНПА. Целесообразно продолжить и расширить практику применения теплых асфальтобетонных семей в дорожном деле на территории Республики Беларусь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Лохманков, И. С.** Риски технологии горячей асфальтобетонной смеси и перспективные пути повышения эффективности технологического процесса / И. С. Лохманков // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, 4–5 февр. 2021 г. – Омск : СибАДИ, 2021. – С. 268–272.

2 **Ядыкина, В. В.** Изменение свойств битума, модифицированного температуропонижающими добавками / В. В. Ядыкина, В. С. Холопов, О. А. Михайлова // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – № 3 (155). – С. 100–104.

3 **Смирнов, Д. С.** Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей / Д. С. Смирнов, В. Е. Броднева, А. С. Лобанова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 4 (50). – С. 455–461.

4 **Жданов, К. А.** Характеристики теплых асфальтобетонных смесей для расчета дорожных конструкций / К. А. Жданов, Ю. И. Калгин, Е. Н. Симчук // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 3 (71). – С. 74–83. – DOI: 10.36622/VSTU.2023.3.71.008.

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

В. А. ХОДЯКОВ (соискатель)

*Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. В. А. ГРЕЧУХИН
Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Проблема деформационных швов на автодорожных мостовых сооружениях давно известна. Её основная суть заключается в быстром (относительно полного жизненного цикла сооружения) разрушении швов с нарушением их герметичности. Потеря герметичности приводит к замоканию торцов элементов пролётногo строения и свайных насадок, что, в свою очередь, вызывает скорую коррозию бетона. Продукты коррозии скапливаются на свайной насадке, накапливая влагу и значительно ухудшая условия эксплуатации зоны опирания элементов пролётногo строения. Стоит отметить, что проветривание зоны опирания пролётногo строения на крайние опоры достаточно слабое, особенно при ребристых пролётных строениях, что не способствует быстрому просыханию конструкций.

В целом практика показывает, что проблема герметичности деформационных швов на сегодня день была решена благодаря началу массового применения швов со стальным окаймлением и резиновым компенсатором, которые были разработаны специалистами ГП «БелдорНИИ». Это выдвинуло на передний план вопросы, связанные со второй функцией деформационных швов – обеспечение плавности проезда (ровности шва).

Исследования этого вопроса показали, что основной причиной динамического воздействия на мостовые сооружения от проходящих по ним транспортнх средств связано с неровностью деформационных швов и отличием жёсткостных характеристик их конструкции от других конструкций, формирующих поверхность проезда автотранспорта.

Проблема заключается в том, что в настоящее время методы диагностики ровности деформационных швов на автодорожных мостах практически отсутствуют. Причём эта проблема наблюдается не только в Республике Беларусь, но и за рубежом. Практика показывает, что в подавляющем большинстве случаев ровность деформационного шва оценивается визуально путём экспертной оценки с применением фотофиксации.

Автором представляемой статьи были разработаны и апробированы два новых инструментальных метода диагностики состояния деформационных швов.

В основу первого метода легли сбор данных с применением наземного лазерного сканера и оценка ровности по адаптированному показателю IRI. Метод не учитывает упругую деформацию поверхности проезда под колесом автомобиля, однако позволяет определить ровность шва и большого участка прилегающего к шву покрытия проезжей части с учётом накопленных в процессе эксплуатации разрушений и деформаций. Был разработан чёткий критерий, связанный с предельным значением показателя IRI, при достижении которого требуется ремонт шва с восстановлением его ровности.

В основу второго метода легла непосредственно оценка динамического воздействия на пролётное строение от проезжающих по сооружению автомобилей. В зоне опирания пролётного строения (в непосредственной близости от деформационного шва) на балки устанавливается несколько преобразователей фиксирующих виброскорость конструкции в вертикальном направлении. Разработан чёткий критерий относительного превышения размаха виброскорости в различных точках пролётного строения, при выполнении контрольного условия требуется ремонт шва с восстановлением его ровности.

Оба метода являются инструментальными, что позволяет выполнять оценку состояния шва по критерию плавности проезда объективно с чёткими границами критического состояния шва, требующего ремонта. Реализация обоих методов требует применения специального измерительного оборудования, однако не требует выполнения работ на проезжей части (непосредственно около шва) и ограничения движения по сооружению.

Помимо прочего практическая реализация первого метода показала, что при длительной эксплуатации деформационного шва с неудовлетворительной ровностью нарушается ровность существенного участка асфальтобетонного покрытия. Наблюдается два вида периодической неровности в форме синусоиды от колебания подрессоренной и неподрессоренной масс автомобилей. Результаты показывают, что в случае запущенного состояния шва в негодность приходит участок асфальтобетонного покрытия длиной в несколько десятков метров. Данный участок следует включать в общий объём с ремонтируемым деформационным швом.

Разработанные методы диагностики состояния деформационных швов обладают высокой практической значимостью и перспективами широкого внедрения на автодорожных мостах Республики Беларусь.

МОНИТОРИНГ ЗАСОРЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ НА ЗАГОРОДНЫХ ДОРОГАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЕРЕПАДА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

В. А. ХРОМОВ, Р. С. ЦАЛКОВ (Д-21)

Научный руководитель – преп. Г. Г. МОРОЗОВА

*Филиал «Гомельский государственный дорожно-строительный колледж
им. Ленинского комсомола Белоруссии» учреждения образования
«Республиканский институт профессионального образования»*

Водопропускные трубы на автомобильных дорогах местного значения Гомельской области (более 3 тысяч сооружений) подвержены интенсивному засорению (кольматации) из-за листвы, веток, донных отложений и бобровых плотин. Ежегодно это приводит к подтоплению и разрушению насыпей, затраты на аварийный ремонт которых в десятки раз превышают стоимость профилактической очистки. Существующая система контроля – визуальные осмотры 1–2 раза в месяц [1] – не позволяет выявить засорение на ранней стадии и требует автоматизации.

Зарубежные системы (ультразвуковые, поплавковые, гидростатические) либо слишком дороги (США, Япония – до 7000 дол.), либо ненадежны из-за контакта электроники с водой (Канада), либо не измеряют степень засорения (Финляндия). Ни одно решение не сочетает низкую стоимость, автономность и точность, необходимые для массового внедрения в Беларуси.

Предложен метод косвенной диагностики засорения по перепаду гидростатического давления между входным и выходным оголовками трубы. Чем выше степень засорения, тем больше разность давлений. Главная новизна в способе измерения: давление передается от воды к датчикам по воздушным пневмолиниям (тонким пластиковым трубкам), что полностью исключает контакт электроники с агрессивной средой. Электронный блок с GSM-модемом и солнечной батареей размещается на обочине, обеспечивая автономность.

Гидравлическим обоснованием для типовой трубы диаметром 1,0 м, длиной 14,5 м на дороге Н-4412 «Осовцы – Бобовичи» [2] выполнен расчет по формулам Бернулли и Вейсбаха [3]. Установлено:

- в чистом состоянии при расходе 0,85 м³/с перепад давления $\Delta P_0 = 3,59$ кПа (разность уровней 0,37 м);
- при засорении 20 % ΔP возрастает на 23 % (4,41 кПа);
- при 40 % – в 2,28 раза (8,17 кПа);
- при 60 % – в 9,42 раза (33,8 кПа).

Полученная нелинейная зависимость позволяет четко фиксировать степень засорения: порог «внимание» – $\Delta P / \Delta P_0 \geq 1,5$ (25–45 % засорения),

порог «тревога» – $\Delta P / \Delta P_0 \geq 3,0$ (>45 %). Для калибровки системы достаточно измерить перепад на чистой трубе (после очистки) и учесть уровень воды на входе.

Конструкция системы «Гидравлический сторож» включает две приемные камеры, закрепленные в лотке трубы у входа и выхода; пневмолинии (трубки ПНД 6 мм), проложенные к обочине; измерительный блок с датчиками давления, микроконтроллером ESP32, GSM-модемом SIM800L, аккумулятором 12 А·ч и солнечной панелью 20 Вт. Принцип работы: гидростатическое давление воды в камере передается по воздуху на датчики. Микроконтроллер вычисляет разность давлений, сравнивает с порогами и при превышении отправляет SMS дорожному мастеру. Энергопотребление минимизировано (средний ток 5 мА), автономность – до 100 суток без солнца.

Стоимость одного комплекта – 530 белорусских рублей (материалы – 380 бел. руб., монтаж – 150 бел. руб.). Годовые эксплуатационные затраты – 146 бел. руб. Предотвращение одного аварийного ремонта (средняя стоимость – 4800 бел. руб.) окупает систему менее чем за 2 месяца. При внедрении на 10 проблемных трубах экономия за 5 лет превысит 45 тыс. бел. руб.

Впервые для дорожной отрасли Беларуси предложен метод диагностики кольматации по перепаду давления с пневматической передачей сигнала, исключающей контакт датчиков с водой [1, 4]. Сочетание простоты гидравлических элементов, современной микроэлектроники и спутниковой идентификации параметров трубы (длина, диаметр по Google Earth) не имеет известных аналогов.

Система позволяет перейти от плановых осмотров [1] к предиктивному обслуживанию по фактическому состоянию, предотвращать размывы насыпей и снижать затраты на ремонт. Она может быть установлена на любой трубе без строительной техники силами дорожной бригады.

Внедрение системы «Гидравлический сторож» соответствует задачам цифровизации дорожного хозяйства Республики Беларусь, позволяя перейти от реактивного ремонта к интеллектуальному мониторингу без капитальных вложений в инфраструктуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ТКП 690-2025 (33200). Мосты и трубы на автомобильных дорогах общего пользования. Обследования и испытания. Правила проведения. – Введ. 30.12.2025. – Минск : Минтранс, 2025. – 54 с.

2 РУП «Гомельавтодор» : [сайт]. – Гомель, 2026. – URL: <https://gomelavtodor.by> (дата обращения: 09.03.2026).

3 Лисовский, Д. Н. Гидравлика водопропускных сооружений : учеб. пособие для СПО / Д. Н. Лисовский, В. И. Мазур. – 3-е изд., перераб. – Минск : РИПО, 2023. – 312 с.

4 ТКП 693-2025 (33200). Мосты и трубы на автомобильных дорогах общего пользования. Правила проектирования. – Введ. 20.01.2026. – Минск : Минтранс, 2026. – 222 с.

АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ «ЧЕТЫРЕХ СЕТЕЙ» ГОРОДСКОГО РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИИ ГУАНЧЖОУ

ХЭ ХУН (аспирант)

*Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. А. А. ЕРОФЕЕВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
Железнодорожный политехнический институт Гуанчжоу,
Китайская Народная Республика*

В настоящее время в Китае проводятся активные исследования и внедряются практические решения по интеграции различных видов рельсового транспорта (поездов междугородных, пригородных, городских линий и метрополитена) в единую транспортную систему обслуживания пассажиров. В рамках городской агломерации Гуанчжоу такой проект получил название интеграции «четырёх сетей».

По состоянию на июнь 2024 года в пределах Гуанчжоуской городской агломерации были открыты для эксплуатации две городские (пригородные) линии с общей протяженностью 79,5 км и максимальной проектной скоростью 160 км/ч, обеспечивающие пересадку на сеть городского метро Гуанчжоу без выхода через турникеты. Также были открыты четыре линии междугородных железных дорог с общей протяженностью более 300 км и максимальной проектной скоростью 200 км/ч. В настоящее время обе вышеуказанные городские (пригородные) железнодорожные линии и четыре линии междугородных железных дорог эксплуатируются дочерней компанией Guangdong Intercity Railway Company, полностью принадлежащей Guangzhou Metro Group Co., Ltd. Линии городского метро, которые соединяются с вышеупомянутыми городскими (пригородными) железными дорогами и междугородными железными дорогами, включают 2, 3 и 7-ю линии метро Гуанчжоу, а также линию 2 метро Фошань.

С 26 мая 2024 года официально открыто движение по южной кольцевой линии Гуанчжоу – Фошань (станция Фошань Си – станция Паньюй) и междугородской линии Фошань – Гуанчжоу (станция Паньюй – станция Дунгуань Си). Также уже несколько лет действует междугородняя линия Фошань – Чжаоцин (станция Фошань Си – станция Чжаоцин) и линия Гуаньхуэй (станция Дунгуань Си – станция Сяоцзинькоу). Таким образом, четыре междугородские железнодорожные линии работают в связке, обеспечивая транспортную связь западных и восточных пригородов с Гуанчжоу. Формируется

региональная транспортная линия длиной 258 километров, проходящая через пять городов: Гуанчжоу, Фошань, Чжаоцин, Дунгуань и Хуэйчжоу, и обеспечивающая пересадку на линиях метро Гуанчжоу 2, 3 и 7, на линиях метро Фошань 2 и 18 (рисунк 1).

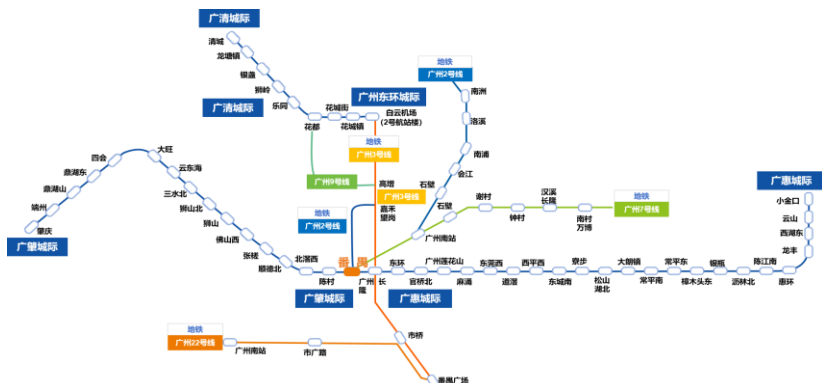


Рисунок 1 – Схема интеграции «четырех сетей» городской агломерации Гуанчжоу

Благодаря выполненным исследованиям было выявлено, что на линии Гуанчжоу – Чжаоцин и линии Гуанчжоу – Хуэйчжоу осуществляется пересадка и взаимное признание проверок безопасности с другими линиями метро или станциями. Можно отметить, что некоторые станции достигли взаимного признания проверок безопасности между пригородными железными дорогами и станциями национальных железных дорог, в то время как на большинстве станций пригородных железных дорог для пересадки на станции метро требуется повторная проверка безопасности.

Особенностью обслуживания пассажиропотоков в агломерации Гуанчжоу является поэтапный ввод в эксплуатацию новых линий, в связи с чем спрос на перевозки конкретным видом рельсового транспорта и перераспределение пассажиропотоков между линиями изменяются в достаточно короткие сроки. При этом на отдельных линиях появляется индуцированный спрос на пассажирские перевозки. Так, в первую неделю полноценного запуска межрегиональных железных дорог Гуанчжоу – Чжаоцин и Гуанчжоу – Хуэйчжоу общее число отправленных пассажиров составило 445 тысяч человек, среднесуточное количество отправленных пассажиров – 64 тысячи человек. В частности, на участке Фонцзяо было отправлено 10 тысяч пассажиров, среднее количество пассажиров на станцию – 942, что на 87,7 % больше, чем до запуска линии; на участке Гуанфо – Наньхуань было отправлено в общей сложности 10 тысяч пассажиров, среднее количество пасса-

жиров на станцию – 2063; на участке Фогуань было отправлено 9 тысяч пассажиров, среднее количество пассажиров на станцию – 1895; на участке Гуаньхуэй общее число отправленных пассажиров составило 33 тысячи человек, среднее количество пассажиров на станцию – 1855, что на 78,2 % больше, чем до запуска линии.

Общее количество пассажиров на маршрутах Гуанчжоу – Чжаоцин и Гуанчжоу – Хуэйчжоу составило 754 тысячи человек, среднесуточное количество отправок – 94 тысячи человек. Под влиянием празднования фестиваля Дуаньу среднесуточный поток пассажиров увеличился на 50,0 % по сравнению с прошлой неделей. В частности, на участке Фо – Чжао среднесуточная отправка пассажиров составила 16 тысяч человек, среднесуточная отправка на станцию – 1498 человек, что на 198 % больше по сравнению с периодом до открытия маршрута. На участке Гуанчжоу – Фошань Южное кольцо среднесуточная отправка пассажиров составила 17 тысяч человек, среднесуточная отправка на станцию – 3323 человека; на участке Фошань – Гуанчжоу среднесуточная отправка пассажиров составила 13 тысяч человек, среднесуточная отправка на станцию – 2504 человека; на участке Гуанчжоу – Хуэйчжоу среднесуточная отправка пассажиров составила 49 тысяч человек, среднесуточная отправка с одной станции – 2703 человека, что на 160 % больше по сравнению с периодом до открытия маршрута.

Чтобы понять потребности в скоростных поездах на линиях Гуанчжоу – Чжаоцин и Гуанчжоу – Хуэйчжоу, был проведен анализ отправления и прибытия пассажиропотока на станциях четырех линий. Из 39 станций линии на 38 станциях наибольший пассажиропоток по отправлению и прибытию приходится на станции, где останавливаются скоростные поезда, с долей от 10 до 75 %. Среди 19 станций с ежедневным пассажиропотоком более 1000 человек на 17 станциях наибольший и второй по величине пассажиропоток по отправлению и прибытию также приходится на станции с остановкой скоростных поездов, суммарная доля составляет от 21 до 47 %. Это показывает, что текущая расстановка скоростных станций соответствует потребностям пассажиропотока; одновременно после открытия скоростного сообщения основная потребность пассажиров сосредоточена на скоростных поездах, поэтому можно рассмотреть возможность увеличения числа их рейсов.

Выполнен анализ пассажиропотоков на станциях метро. Сначала проводился анализ временных характеристик: на основе построенной модели краткосрочного прогнозирования пассажиропотока проведен анализ характеристик входящего пассажиропотока на различных типах станций. Выбраны данные о входящем пассажиропотоке на станции Гуанчжоу-Нань линии 2

метрополитена Гуанчжоу за период с 15 мая 2024 года по 1 июля 2024 года, включая текущие показатели, показатели предыдущего периода и показатели за аналогичный период прошлого года. Обнаружено, что входящий пассажиропоток на станции Гуанчжоу-Нань линии 2 метро имеет циклический характер: в выходные и праздничные дни пассажиропоток значительно выше, чем в будние дни.

Путем анализа пространственных характеристик пассажиропотоков можно обнаружить, что пассажиропоток на входе в метрополитен связан не только с временными факторами, но и подвержен влиянию пространственной планировки. Между различными линиями, а также между станциями наблюдаются различные пространственные связи, что отражает различные пространственные характеристики, присущие каждой станции и линии. Следовательно, распределение пассажиропотока в разных районах также демонстрирует значительные различия. Для более точного выделения характеристик пассажиропотока поток кластеризуется по величине и местоположению, чтобы облегчить дальнейший анализ и понимание закономерностей его пространственного распределения.

В сетях железнодорожных линий разница в пассажиропотоке на входе между станциями в разных районах огромна, поэтому необходимо проводить кластерный анализ различных типов станций. Хань Ли, Цао Цзиньхань и др. [1, 2] использовали алгоритм кластеризации K-Means для исследования и анализа закономерностей движения пассажиров на станциях метро и их связи с функциями городской инфраструктуры. Махрси и др. [3] на основе распределения пассажиропотока на станциях в регионе Ренна во Франции с помощью кластерного метода разделили станции на 14 типов и проанализировали мобильность пользователей станций.

Используем данные исследования Анн-Сара и др. [4] для кластеризации станций в агломерации Гуанчжоу. Ее цель – группировать схожие точки данных вместе, поэтому сначала поток пассажиров на входе между станциями используется как характеристика для кластеризации, а затем определяется оптимальное количество кластеров для первичной классификации станций.

Кластерный анализ проведен на основе пассажиропотока на входе в 55 станций линий 2, 7 и 22 метро города Гуанчжоу в период с 1 июля 2024 года по 10 июля 2024 года, всего за 10 дней. В итоге были выделены три типа станций (таблица 1). Можно заметить, что станции категории 2 в основном являются транспортными узлами и торговыми центрами с большим пассажиропотоком.

Таблица 1 – Результаты кластеризации пассажиропотока на станциях

Категория	Количество	Станция
Категория 1	27	Линия 7: Цзячжуан; Бэйцзяо Парк; Наньчун; Юанган; Университетский город Южный; Даша Восток; Дачжоу; Цзиганг; Баньцяо; Шуйси; Ханьси Чанлун; Шэньцзин; Яньшань; Шиби; Кэфэн Лу; Мэйди; Мэйди Дадао; Луоган; Юфэнвэй; Сецунь; Чжунцунь; Цзиньлун; Чжанчжоу; Чэньцунь; Чэньцунь Север. Линия 22: Шигаун Лу; Южный вокзал Гуанчжоу
Категория 2	9	Линия 7: Наньцунь Ваньбо; Южный вокзал Гуанчжоу. Линия 2: Саньюаньли; Дунсяо Нань; Концертный парк; Южный вокзал Гуанчжоу; Вокзал Гуанчжоу; Чанган; Цзяннаньси
Категория 3	19	Линия 2: Городской второй дворец; Саньюаньли; Дунсяонань; Хуэйцзян; Парк перед; Нанчжоу; Нанпу; Цзяхэ Ванган; Цзянся; Цзянтайлу; Лоюй; Площадь Хайдзу; Парк Бэйюнь; Культурная площадь Бэйюнь; Шиби; Мемориальный зал; Сяоган; Парк Юэсю, Парк Фэйсян; Хуанбянь. Линия 22: Площадь Панью; Чэнтауган

Таким образом, в результате исследований сопоставлены изменения пассажиропотока до и после интеграции Гуанчжоу – Чжаоцин и Гуанчжоу – Хуэйчжоу, проведен анализ пространственно-временных характеристик пассажиропотока на пересадочном узле станций метро и межрегионального транспорта Гуанчжоу-Нань. С применением метода кластеризации K-Means были сгруппированы станции метро в сети. Результаты исследования подтвердили закономерность связи пассажиропотока на станциях метро с развитием города и использованием земель, что предоставляет теоретическую основу для распределения ресурсов и оптимизации работы городского рельсового транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Анализ характеристик пассажиропотока и структуры городской функциональности на основе данных рельсового транспорта / Цао Цзиньхань, Сюй Ян, Сунь Лишань [и др.] // Городской скоростной рельсовый транспорт. – 2021. – № 34 (2). – С. 71–78.
- 2 Ли, Хань. Анализ типов станций метро на основе алгоритма ЕМ и смеси моделей Гаусса / Хань Ли, Ли Сян, Цзэн Сяньфэн // Городской скоростной рельсовый транспорт. – 2022. – № 35 (1). – С. 70–78.
- 3 Clustering smart card data for urban mobility analysis / Mohamed K. El Mahrси, Etienne Come, Lafifa Oukhellou [et al.] // IEEE transactions on intelligent transportation systems. – 2017. – № 18 (3). – С. 712–728.
- 4 A mixture model clustering approach for temporal passenger pattern characterization in public transport / Anne-Sarah Briand, Etienne Come, Mohamed K. El Mahrси [et al.] // International journal of data science and analytics. – 2016. – № 1 (1). – 37 p.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ СО СЛОЯМИ ИЗ ВТОРИЧНЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. А. ЦАРЕНКОВ, Т. М. ФРОЛОВА (магистранты)

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

Проблема накопления отходов кровельных материалов приобретает глобальный характер. Рубероид как композиционный материал содержит битум (до 75–85 %), целлюлозную основу (8–12 %) и минеральные частицы (5–9 %). Такое сочетание компонентов делает его потенциально ценным сырьем для производства асфальтобетонных смесей, где битумная составляющая может частично заменять вяжущее, а целлюлозные волокна выполнять армирующую и стабилизирующую функции.

Исследования возможности использования отходов рубероида в дорожном строительстве активно проводятся с 1990-х годов. В то же время остается нерешенной проблема выбора оптимальных конструкций дорожных одежд с учетом специфических свойств материалов на основе переработанного рубероида, их структурной роли в многослойной системе конструкции дорожной одежды и технико-экономической эффективности на протяжении расчетного периода.

Для разработки методики выбора эффективной конструкции дорожной одежды необходимо учитывать особенности состава и свойств материалов на основе переработанного рубероида.

Рубероид, направляемый на переработку, как правило, содержит битумную составляющую (окисленный битум) – 25–35 % по массе для современной кровельной черепицы и до 75–85 % для традиционного рубероида; минеральные наполнители (тальк, известняк) – 40–70 %; армирующие волокна (целлюлозные или стеклянные) – 5–15 %; гранулят (для черепицы) – фракции менее 4,75 мм. Переработка рубероида требует измельчения до фракции менее 13 мм для обеспечения полного диспергирования в асфальтобетонной смеси. Асфальтобетоны с добавкой переработанного рубероида характеризуются повышенной плотностью при уплотнении, улучшенной устойчивостью к влагообразованию, повышенной усталостной долговечностью, возможным снижением низкотемпературной трещиностойкости при избыточном содержании переработанного материала.

Выбор эффективной конструкции дорожной одежды со слоями из материалов на основе переработанного рубероида базируется на многоуровне-

вой системе критериев, учитывающей технические, экономические и экологические аспекты.

Основными нормируемыми параметрами при определении прочностных и деформационных характеристик являются модуль упругости, сопротивление усталостному разрушению, сопротивление пластическому деформированию (колебразованию), трещиностойкость при низких температурах, водо- и морозостойкость. При выборе конструкции также следует учитывать коэффициент надежности и общее стандартное отклонение, что позволяет оценить вероятность сохранения работоспособности в течение расчетного срока службы.

Экономическая эффективность оценивается по минимуму дисконтированных затрат с учетом стоимости материалов (снижение потребности в первичном битуме на 0,5–1,5 %), транспортных расходов, затрат на переработку и подготовку вторичного материала, эксплуатационных затрат.

Экологические аспекты учитывают снижение объемов размещения отходов на полигонах, сокращение выбросов CO_2 при производстве материалов, энергозатраты на переработку и производство первичных материалов, экологическую безопасность (отсутствие токсичных выщелачиваний).

Предлагаемая методика выбора конструкции дорожной одежды включает последовательную реализацию следующих этапов: анализ исходных данных, лабораторный подбор состава асфальтобетона, вариантное конструирование дорожных одежд, расчеты по основным критериям, технико-экономическое сравнение вариантов. При равенстве приведенных затрат предпочтение отдается варианту с наибольшим коэффициентом использования вторичных ресурсов.

При расчете конструкций со слоями из переработанного рубероида следует учитывать температурную зависимость свойств нового материала, анизотропию механических характеристик, процессы структурообразования в смесях с переработанным рубероидом, которые могут продолжаться после укладки, оценку сцепления между слоями и предотвращение сегрегации битума на границах раздела.

Таким образом, предложенная методика выбора эффективной конструкции дорожной одежды базируется на системном учете технических, экономических и экологических критериев. Перспективным направлением развития методики является использование механико-эмпирических методов расчета с применением специализированного программного обеспечения, позволяющих более точно моделировать напряженно-деформированное состояние конструкций с учетом специфических реологических свойств материалов на основе переработанного рубероида.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ МОСТОВ В БЕЛАРУСИ

К. В. ЧИКЕЗОВ (СИ-11)

Научный руководитель – ст. преп. М. Ю. НИКИТЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Мировая практика постоянного и непрерывного мониторинга за состоянием мостов ведется с 1990-х годов. Мосты – это фундамент региональной логистики. Безопасность таких сооружений – вопрос первостепенной важности, особенно для крупных мостов, расположенных на международных транспортных коридорах. Отказ таких сооружений может привести к колоссальным экономическим и социальным потерям. Любой сбой в их работе способен мгновенно парализовать экономику и разорвать связи между странами. Именно поэтому внедрение систем непрерывного контроля становится острой необходимостью для сохранения социальной стабильности.

Для раннего обнаружения мостовых поломок применяются автоматизированные системы мониторинга, включающие интеллектуальные датчики, контроллеры и специализированное программное обеспечение. Мониторинг состояния мостов является важным процессом, влияющим на безопасность и долговечность мостов [1].

Первые разработки систем мониторинга напряженно-деформированного состояния (НДС) мостов в Беларуси связаны с внедрением автоматизированных систем мониторинга (АСМ) для критически важных объектов. Основой стали исследования, проводимые «БелдорНИИ», и научные исследования Белорусского национального технического университета, направленные на раннее выявление деформаций, использование датчиков, геодезических методов и интеллектуальных систем.

Автоматизированная система мониторинга представляет собой совокупность технических средств для сбора информации от первичных датчиков контроля, передачи сигналов через блоки сбора данных в центральный модуль данных системы с дальнейшей отправкой сигналов по 628 каналам мобильной и интернет-связи на внешний интернет-сервер с установленным программным обеспечением.

Основные функции АСМ мостов:

- фиксация деформаций несущих конструкций, вибраций, динамических нагрузок и наклонов/осадок фундаментов;
- измерение температуры, влажности, скорости ветра и других погодных факторов, влияющих на объект;
- обнаружение опасных отклонений от нормы, которые могут привести к разрушению;

- мгновенное информирование ответственных служб о критических изменениях;
- обработка полученной информации для оценки остаточного ресурса сооружения.

Внедрение автоматизированных систем мониторинга значительно улучшило состояние мостов, переведя обслуживание с «календарного» метода на управление по фактическому состоянию. В режиме 24/7 датчики фиксируют микроперемещения, предотвращая аварии и оптимизируя бюджеты, за счет получения объективной цифровой истории изменений (рисунок 1) [2]. Вся аппаратная часть систем мониторинга, включая датчики, изготавливается в Беларуси. Помимо стационарных систем, существуют и мобильные беспроводные комплексы, которые могут быстро устанавливаться на проблемных участках для временного контроля.

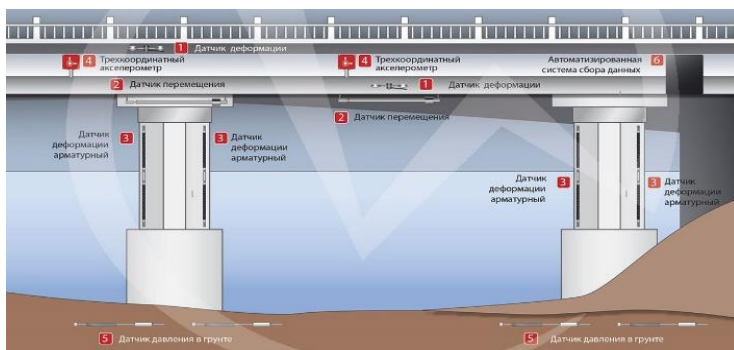


Рисунок 1 – Расположение АСМ на мосту

Таким образом, опыт Республики Беларусь по внедрению автоматизированных систем мониторинга напряженно-деформированного состояния мостов направлен на непрерывный контроль несущих конструкций, обеспечивая их безопасность за счет раннего обнаружения дефектов. Использование автоматических датчиков и интеллектуального программного обеспечения позволяет оперативно анализировать влияние нагрузок, предотвращая аварийные ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Яшнов А. Н. Развитие систем диагностики и мониторинга мостов / А. Н. Яшнов, И. И. Снежков // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3 (54). – С. 6–13.
- 2 Мониторинг мостов // Автоматизированные системы мониторинга конструкций. – URL: <https://monsol.ru/primeneniye/transportnoe-stroitelstvo/monitoring-mostov/> (дата обращения: 07.03.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТРРЕЛЬСОВОГО УЗЛА СО СКРЕПЛЕНИЯМИ СБ-3 В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ МАЛОГО РАДИУСА

Д. М. ШАЛАШЕНЬ (ЗмС-51)

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

Кривые участки пути малого радиуса (менее 350 м) характеризуются наиболее напряженными условиями взаимодействия подвижного состава и верхнего строения пути. Именно здесь возникают наибольшие горизонтальные поперечные силы при взаимодействии подвижного состава и пути, наблюдается интенсивный боковой износ головки рельсов и гребней колесных пар, а также существует повышенный риск схода подвижного состава вследствие всползания гребня колеса на головку рельса. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость применения специальных охранных приспособлений, среди которых ключевую роль играют контррельсы. Существующие нормативные требования к его установке и содержанию базируются преимущественно на эмпирическом опыте и не в полной мере учитывают реальный спектр динамических нагрузок и профили износа. Это определяет актуальность задач по уточнению параметров контррельсового узла расчетно-экспериментальными методами для повышения безопасности движения поездов в кривых малого радиуса.

Исследования необходимы для выявления и предупреждения нежелательных нагрузок, возникающих в кривых малого радиуса путем обоснования рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров контррельсового узла на основе конечно-элементного моделирования.

Методологическая основа исследования включает:

- анализ научно-технической литературы, нормативной документации и патентных источников по вопросам применения контррельсов и охранных приспособлений в кривых участках пути;
- системный анализ эксплуатационных характеристик контррельсовых устройств в кривых малого радиуса;
- конечно-элементное моделирование в среде ANSYS/Abaqus с построением параметрической твердотельной модели колеса, рельса Р65, контррельса и крепления;
- динамический анализ систем с использованием программного комплекса Universal Mechanism для определения входных силовых параметров;
- методы нелинейного конечно-элементного анализа в среде ANSYS Mechanical для расчета напряженно-деформированного состояния системы.

Для исследования лучше всего использовать комбинированный подход, включающий два специализированных программных комплекса.

Universal Mechanism выступает в качестве инструмента для многомассового динамического анализа системы «экипаж – путь», что обусловлено специализацией пакета именно на задачах железнодорожной динамики, наличием библиотек моделей подвижного состава и рельсового пути.

ANSYS Mechanical подходит для детального конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния локальной зоны контррельсового узла, что обусловлено широкими возможностями решения нелинейных контактных задач и наличием инструментов для параметрического моделирования, что позволяет варьировать геометрию, а также возможностью импорта полученных данных на предыдущем этапе анализа в UM, что обеспечивает корректность задания нагрузок.

Таким образом, предложенная связка позволяет наиболее полно и достоверно исследовать работу контррельсового узла.

Конечным результатом является модель взаимодействия элементов контррельсового узла, отличающаяся от известных, а также взаимодействие системы «колесо – рельс» и влияние этой системы на контррельсовый узел и крепление СБ-3 для получения наиболее достоверных результатов и предупреждения нежелательных нагрузок, которые могут возникать как в контррельсовом узле, так и в креплении.

УДК 621.131.34

СИНТЕЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М. А. ШАМОВА, С. Г. ДРОБОВ (магистранты)

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

В условиях плотной городской застройки и при реконструкции действующих предприятий, где в значительных объемах размещены подземные коммуникации (водопровод, канализация, водостоки, тепловые и кабельные сети), прокладка новых и замена старых подземных сетей открытым способом затруднена. При этом осложняющими факторами являются близлежащие строения повышенной высотности и большая глубина залегания существующих коммуникаций.

Ярким примером стала реконструкция самотечного коллектора по ул. Интернациональная в г. Гомеле. Реконструируемый участок находился в непосредственной близости к центральной транспортной магистрали города на глубинах от 9,5 до 13,5 м. Осложняло производство работ наличие граж-

данских строений повышенной высотности. В районе данного строения залегание самотечного коллектора находится на глубине 12,8 м. Из-за наличия большого количества трещин на фасаде здания остро стал вопрос о невозможности устройства данного коллектора и поворотных колодцев классическим открытым способом (высокий риск проседания и деформации грунтов, находящихся ниже подошвы фундамента здания). Также остро стояла необходимость обеспечения безопасного и непрерывного функционирования одной из главных транспортной магистрали города. Для исключения вибрационных воздействий на конструкции зданий и грунтовых рисков было принято решение о синтезе двух технологий: опускных колодцев-оболочек и метода горизонтально-направленного бурения (ГНБ). Немаловажное значение при работах вблизи жилых домов имеет и то, что рассматриваемый способ опускания колодцев гораздо менее шумен, чем обычные способы устройства колодцев. Технология строительства подземных сооружений с применением тиксотропных рубашек хорошо разработана и проверена на практике. Тиксотропная рубашка обеспечивает смазку стен бентонитовым раствором на всю высоту колодца, за исключением его режущей части, имеющей в месте перехода нижнего кольца в стену уступ 10–15 см. Таким образом, полная сила трения между грунтом и стенами колодца развивается только на высоте ножевой части, а трение упомянутого уступа можно при расчете не учитывать, поскольку пространство выше уступа, образующееся при погружении колодца, заполняется тиксотропным раствором.

Чтобы удержать тиксотропный раствор в полости возле стены колодца и не допустить протекание его внутрь последнего, на наружном уступе стены устраивается замок. Эти устройства бывают различных конструкций: например, хорошо зарекомендовал себя замок, выполненный из трех слоев транспортной ленты, закрепленной на уступе болтами, заанкеренными в теле ножа. Ленту закрепляют в тот момент, когда нож опущен в грунт и наружный уступ в стене находится на уровне верха форшахты колодца. В это время транспортную ленту отгибают и прижимают к внутренней грани форшахты, а пространство между стеной колодца и лентой заполняют мятой глиной на высоту 500 мм. Такая конструкция уплотняющего устройства надежно удерживает тиксотропный раствор в пространстве между форшахтой и стеной колодца.

При относительно небольшом заглублении колодца (порядка 10 м) пополнение раствора по мере погружения может все время производиться через форшахту. При большей глубине опускания подача раствора в зазор между грунтом и стеной колодца производится через инъекционные трубки, заложенные в тело стен или закрепленные снаружи по внешнему их периметру. До начала опускания колодца вокруг него устраивается специальная форшахта, в которую заливается первоначальная порция тиксотропного раствора.

В данном случае геометрические размеры опускного колодца-оболочки регламентировались габаритными размерами установки ГНБ в её рабочем положении. Работы по устройству бестраншейной прокладки самотечного коллектора осуществлялись с рабочими опускными колодцами-оболочками на глубинах от 9,5 до 13,5 м.

Для реализации данного проекта была выбрана схема устройства опускных колодцев-оболочек монолитных, многоярусных с постепенным наращиванием высоты стен по мере погружения колодцев под собственным весом.

Применение двух методов позволило произвести работы в кратчайшие сроки при условии сохранения режима движения городского транспорта по одной из главных артерий города и полного исключения воздействия вибраций на существующие здания и сооружения. В процессе реконструкции данного участка самотечного коллектора было выполнено семь опускных колодцев-оболочек и произведено устройство коллектора методом ГНБ общей протяженностью более 600 м диаметром от 400 до 630 мм.

Данный синтез двух методов позволил избежать большого объема раскопок, а также повреждения прилегающих коммуникаций и, следовательно, уменьшить экологические и экономические затраты на замену объектов городской инфраструктуры.

УДК 624.21.01/09

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ПРИМЫКАНИЯ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ К ПОДХОДУ ПРИ ВЫНОСЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ШВА ЗА ЕГО ПРЕДЕЛЫ

Е. А. ШАРКО (магистрант)

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. С. В. ШЕВЧЕНКО

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Изучая историю мостостроения в Республике Беларусь, в частности конструкции деформационных швов (ДШ), можно сделать вывод, что за последние десятилетия мостостроение прошло путь от классических разрезных конструкций до внедрения неразрезных и температурно-неразрезных. Основной причиной таких изменений стало стремление сократить количество ДШ вместе с решением выноса его конструкции на подходы, то есть перенос конструкции ДШ с пролетного строения в зону переходной плиты. Такое решение стало применяться с 2010-х годов, что позволило увеличить долговечность элементов пролетного строения и опор, так как отсутствие ДШ между пролетами предотвращает его протечку при недостаточном содержании или повреждении конструкций [1].

Если рассматривать классическую схему устройства ДШ, его располагают между балкой и шкафной стенкой крайней опоры над температурным

зазором [2]. В случае выноса конструкции ДШ в зону переходной плиты, этот зазор перекрывается удлиненной плитой проезжей части, которая укладывается поверх переходной плиты на два слоя гидроизоляции [3, 4].

В случае выноса плиты проезжей части за температурный зазор появляются проблемы, связанные с вертикальным и угловым перемещениями торца пролетного строения относительно переходной плиты. С целью определения особенностей работы данного узла необходимо выполнить расчет.

Для расчета узла устройства ДШ с выносом его на подход применим ПК SOFISTIK (рисунок 1). Для корректного расчета необходимы данные о деформации опорных частей и гидроизоляции. Данные о деформации опорной части известны [1]. Данные о деформации двойного слоя гидроизоляции могут быть получены из результатов натурного испытания на установке UTC-110M-5-0У.

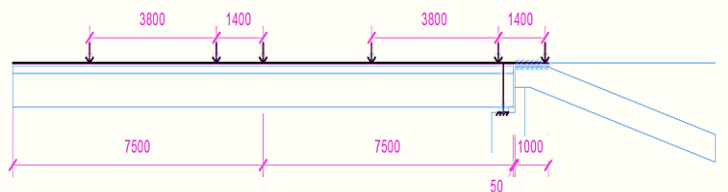


Рисунок 1 – Расчетная схема

Опираение балки на ригель через опорную часть моделируется при помощи вертикальной упругой связи с плоским шарниром. Балка моделируется в виде стержневого элемента, один конец которого уходит в пролет, а второй в виде консоли упруго опирается на переходную плиту. Упругая связь моделируется на основании результатов натурного испытания двойного слоя гидроизоляции.

Загружения расчетной схемы выполняется тяжелыми грузовыми автомобилями по типу нормативной нагрузки АК, а именно грузовым автомобилем типа МАЗ с нагрузкой по 14 т на ось в задней двухосной тележке и 7 т на переднюю ось (грузовик общей массой 35 т).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Ходяков, В. А.** Испытание опорных частей / В. А. Ходяков // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 окт. 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск, 2021. – С. 452–459.

2 Рекомендации по проектированию и устройству деформационных швов малых и средних мостовых сооружений : ДМД 33200.2.087-2018 : утв. гос. предпр. «БелдорНИИ» 6 июня 2018 г. – Минск : [б. и.], 2018. – III, 39 с.

3 Альбом рекомендуемых к применению конструкций деформационных швов : ДМД 33200.025-2023 : утв. гос. предпр. «БелдорНИИ» 30 янв. 2023 г. – Минск : [б. и.], 2023. – III, 42 с.

РАСЧЕТ ВАНТОВОГО МОСТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «SOFISTIK»

К. Е. ЯНУШКЕВИЧ, К. А. РАХУНОК (11404122)

Научный руководитель – ассист. *Е. А. ШАРКО*

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ПК SOFISTIK – это специализированная программа для расчета строительных конструкций и сооружений, широко используемая инженерами-строителями и проектировщиками в области гражданского и промышленного строительства и проектирования инженерных объектов. Программа позволяет проводить расчеты различных типов конструкций: зданий, мостов, тоннелей, гидротехнических сооружений и других сложных структур [1].

Для расчета конструкции необходимо в начале с помощью Autodesk AutoCAD создать расчетную схему вантового моста с температурно-неразрезным пролетным строением (рисунок 1). Схема моста – 35 + 160 + 35 м, габарит моста – Г-10 + 2×1,5 м. Транспортная нагрузка задана автомобилем А-14 (с нагрузкой 7 кН на колесо), нагрузка от тротуара – 4 кН/м. В центральном пролете тросы состоят из 7 пучков диаметром 32 мм, которые имеют внутреннее усилие $N = 200$ кН, в затяжке трос состоит из 7 пучков диаметром 72 мм с внутренним усилием $N = 7500$ кН. В тросах на боковых пролетах $N = 50$ кН, в затяжке $N = 3000$ кН [2].

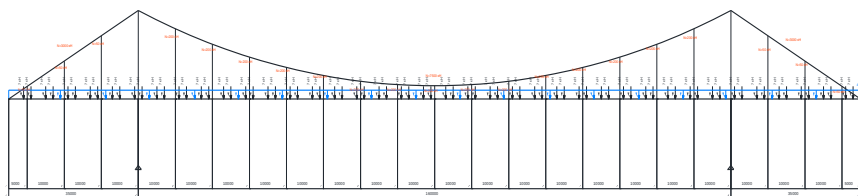


Рисунок 1 – Расчетная схема вантового моста

Затем для расчета конструкции необходимо экспортировать расчетную схему в ПК SOFISTIK, который позволяет провести линейный статический анализ конструкции. В результате от установленного нагружения, в данном случае от постоянной нагрузки (собственный вес конструкции) и временной нагрузки (транспортная нагрузка, пешеходная, снеговая и т. д.), можно увидеть распределение усилий в пролетном строении, опорах и тросах, а также деформации в элементах конструкций (рисунок 2).

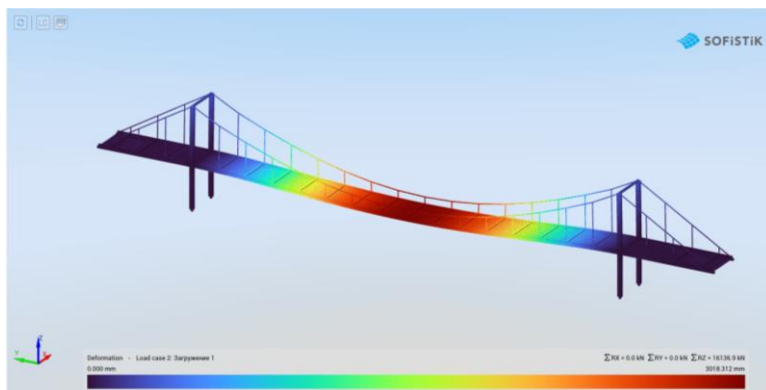


Рисунок 2 – Деформации в конструкции

Также получив эпюру максимального изгибающего момента M_y и поперечного усилия Q_y , можно сделать вывод о напряженно-деформированном состоянии сооружения и принять ключевые инженерные решения, такие как подбор сечения, расположение арматуры, прочность на срез [3].

Результаты расчета показали, что прогиб и несущая способность элементов находятся в пределах допустимых величин. Несущая способность сооружения обеспечена. Использование программного комплекса «SOFISTIK» значительно сократило время на расчет сооружения по сравнению с ручным расчетом. Также ПК «SOFISTIK» может иметь глубокую интеграцию в BIM-технологии для решения задач экстремальной сложности, например в единой связке с Autodesk Revit можно выполнять расчеты непосредственно на базе архитектурной модели без потери данных. Но использование ПК не отменяет необходимости в верификации результатов, инженер должен обладать навыками и пониманием работы конструкции для критической оценки получаемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Кухтин, В. Н.** Применение расчетного комплекса SOFISTIK для расчета мостовых конструкций : учеб. пособие / В. Н. Кухтин, И. В. Булаев, И. С. Баранов. – М. : МАДИ, 2015. – 136 с.
- 2 **Смирнов, В. Н.** Мосты. Конструкции и расчет : учеб. для вузов / В. Н. Смирнов. – СПб. : ПГУПС, 2010. – 460 с.
- 3 **Гишман, М. Е.** Проектирование транспортных сооружений : учеб. для вузов / М. Е. Гишман, В. И. Попов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1988. – 447 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абраменко А. А.</i> PG-классификация битумов в условиях эксплуатации автомобильных дорог в Республике Беларусь	3
<i>Абраменко А. А.</i> Технологии ускоренной консолидации слабых оснований	5
<i>Аземша В. С.</i> Программный модуль расчёта пикетажных значений главных точек кривых в плане	7
<i>Бараболкин П. Н., Ярошевский Д. Н., Кононович Л. П.</i> Зависимость дополнительного удельного сопротивления от радиуса кривой	9
<i>Бачурин Е. А.</i> Использование монолитного пенобетона в дорожном строительстве	11
<i>Бачурин Е. А.</i> Реорганизация технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей	13
<i>Биндюк С. А.</i> Внедрение искусственного интеллекта для совершенствования и оптимизации путевого хозяйства	15
<i>Бобровник К. А.</i> Автоматизация расчета закруглений на автомобильных дорогах	17
<i>Боровой А. А.</i> Геодезическое обеспечение пространственного положения свай	19
<i>Братикова А. С.</i> Организация машинизированного текущего содержания пути на Белорусской железной дороге	21
<i>Брель Д. А.</i> О целесообразности дисперсного армирования дорожных цементобетонных ...	23
<i>Букас В. В., Маишутин А. С., Яхнин Н. В.</i> Роль производственной практики в профессиональном становлении студента-дорожника	25
<i>Бусько А. С.</i> Оптимизация производительности информационных систем при обработке и кэшировании структурированных данных	27
<i>Габец П. Д.</i> Выбор способа уплотнения ремонтного материала при роботизированной заделке выбоин	29
<i>Гречаник А. С.</i> Обследование, содержание и ремонт транспортных сооружений	31
<i>Гриневич В. С.</i> Применение промышленных вторичных ресурсов в создании модульной придорожной инфраструктуры замкнутого цикла	33
<i>Гришанович У. А.</i> Геодезическое сопровождение проекта устройства волоконно-оптической линии связи	35
<i>Грищенко Я. М., Михальков А. О.</i> Разработка интеллектуальной системы анализа факторов, влияющих на долговечность железнодорожного пути	37
<i>Гулевич А. Ю., Махаев А. С.</i> Современные подходы реконструкции мостовых сооружений	39
<i>Гулевич Е. А., Строев Е. Д., Корако Н. П.</i> Разработка конструкций дорожных одежд с высокой устойчивостью к современным транспортным нагрузкам	41
<i>Густинович Р. Ю., Мицковский Н. С.</i> Анализ комплекса мероприятий по эксплуатационному содержанию и ремонту аэродрома	43
<i>Долинкевич А. И.</i> Геодезическое сопровождение строительства автомобильных дорог	45
<i>Дорош Р. И., Купреева Д. А.</i> Применение имитационного моделирования при оптимизации схем движения автомобильного транспорта на перекрестках	47

<i>Дробышевский К. В.</i> Интегрированная система защиты с электромагнитным подавлением и мехатронными элементами для подавления БПЛА	49
<i>Дроздова У. В.</i> Анализ методов цифрового моделирования движения транспортных средств по сети дорог	51
<i>Жуков А. И., Мазур Д. Н.</i> Новые подходы к выбору конструкции дорожной одежды	53
<i>Заварзин И. В.</i> Транспортная система в условиях рыночной экономики	55
<i>Зуев И. П., Пилецкий А. Д.</i> Стратегия управления жизненным циклом жесткой дорожной одежды	57
<i>Исаева З. А.</i> Отходы стекла как перспективный компонент дорожно-строительных материалов	59
<i>Кононович Л. П.</i> Повышение эффективности железнодорожной инфраструктуры при реконструкции продольного профиля и плана	61
<i>Корнеев А. О.</i> Реализация программного модуля расчетов объема земляных работ при строительстве новой железной дороги	63
<i>Коротков Я. В.</i> IT-решения для управления адаптивной дорожной подсветкой на автомобильных дорогах Беларуси	65
<i>Кулаго Ю. В., Саванович Н. А., Юрutz А. Л.</i> Искусственный интеллект в управлении дорожным строительством	67
<i>Кулай Н. А.</i> Разработка программного модуля для автоматизации детальной разбивки круговой кривой способом прямоугольных координат	69
<i>Курьянович В. А.</i> Сравнительный анализ технологий информационного моделирования AutoCAD Civil 3D и Топоматик Robur	71
<i>Лемешев Д. Д., Толстолес М. Е.</i> Система управления и интеграция комплекса с электромагнитным подавлением и мехатронными элементами для подавления БПЛА в единый контур	73
<i>Мазур Д. Н., Жуков А. Н.</i> Особенности организации работ при переустройстве моста на участке автомобильной дороги	75
<i>Михальков А. О.</i> Инженерно-геодезические изыскания внеуличного пешеходного перехода	77
<i>Михальков А. О., Грищенков Я. М.</i> Анализ факторов, воздействующих на процесс нанесения жидких дорожно-строительных материалов на поверхность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги	79
<i>Михальков А. О., Грищенков Я. М.</i> Разработка интеллектуальной системы прогнозирования состояния железнодорожных мостов на основе анализа эксплуатационных факторов.....	81
<i>Мицковский Н. С., Гутинович Р. Ю.</i> Современные подходы при реконструкции городских улиц	83
<i>Морковников М. А.</i> Влияние глубины и длины волнообразных неровностей колеса на контактные силы между колесом и рельсом	85
<i>Никитенко М. Ю.</i> Оценка ресурса земляного полотна с целью повышения скоростей движения поездов на направлении Москва – Минск	87
<i>Никитянин Д. С.</i> Контроль качества земляных работ с помощью современных методов диагностики	89
<i>Носов Н. Р.</i> Анализ работы участков железнодорожного пути с различными типами промежуточных рельсовых скреплений	91
<i>Печенев Е. В., Кацубо П. А.</i> Определение прогибов в цифровой модели пешеходного металлического сборно-разборного пролетного строения с помощью программных комплексов при воздействии сосредоточенной и распределенной нагрузки	93

<i>Пилецкий А. Д., Зуев И. П.</i> Повышение эффективности ямочного ремонта в зимний период	95
<i>Поздняков Д. Ю.</i> Автоматизация расчётов и построений съёмочного обоснования теодолитно-тахеометрической съёмки	97
<i>Савельева Э. А.</i> Техническое обслуживание железнодорожного пути в современных условиях эксплуатации	99
<i>Сазанчук Э. П.</i> Комплексный подход к снижению аварийности с участием диких животных: от пассивных барьеров к интеллектуальному биоакустическому управлению	101
<i>Сороговец В. А.</i> Проблемные вопросы при монтаже и эксплуатации контррельса из полнопрофильного рельса типа Р-50 в кривых малого радиуса	103
<i>Терех А. В.</i> Безопасность движения поездов и повышение пропускной способности горловин железнодорожных станций	105
<i>Терещук А. Ю., Бель В. А., Кахов Н. А.</i> Комплексный подход к повышению безопасности дорожного движения в Республике Беларусь: от аудита дорог до оптимизации скоростных режимов	107
<i>Томашов В. В., Петрусевич В. В., Бочкарев Д. И.</i> Анализ активации композиционных дорожно-строительных материалов	109
<i>Томашов В. В., Петрусевич В. В., Деревяшкин С. М.</i> Ямочный ремонт автомобильных дорог с использованием дорожного ремонтера MADROG MPA 6.5W	111
<i>Тришина Е. В.</i> Исследование причинно-следственных связей деградации аккумуляторных батарей в процессе эксплуатации телекоммуникационных систем железнодорожного транспорта	113
<i>Трушко И. С., Стацевич Е. Ю.</i> Использование новых технологий при капитальном ремонте однопролетных железнодорожных мостов с ездой поверху	115
<i>Фролова Т. М., Царенков А. А.</i> Механико-эмпирический подход в проектировании дорожных одежд с использованием программного обеспечения AASHTOWare PMED	117
<i>Хачатурян В. В.</i> Теплые асфальтобетонные смеси для дорожного строительства	119
<i>Ходяков В. А.</i> Методы диагностики состояния деформационных швов	121
<i>Хромов В. А., Цалков Р. С.</i> Мониторинг засорения водопропускных труб на загородных дорогах на основе анализа перепада гидравлического давления	123
<i>Хэ Хун.</i> Аспекты интеграции «четырёх сетей» городского рельсового транспорта в агломерации Гуанчжоу	125
<i>Царенков А. А., Фролова Т. М.</i> Методика выбора эффективной конструкции дорожной одежды со слоями из вторичных кровельных материалов	130
<i>Чикезов К. В.</i> Автоматизированный мониторинг мостов в Беларуси	132
<i>Шалашиев Д. М.</i> Моделирование работы контррельсового узла со скреплениями СБ-3 в криволинейных участках пути малого радиуса	134
<i>Шамова М. А., Дробов С. Г.</i> Синтез строительных технологий	135
<i>Шарко Е. А.</i> Расчет конструкции узла примыкания пролетного строения к подходу при выносе деформационного шва за его пределы	137
<i>Янушкевич К. Е., Рахунок К. А.</i> Расчет вантового моста в программном комплексе «SOFISTIK»	139

Научно-практическое издание

НАУКА – ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Материалы IV Международной научно-практической конференции
молодых ученых, студентов и учащихся колледжей
(Гомель, 20 марта 2026 г.)

Издается в авторской редакции

Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Д. В. Марцинкевич*

Подписано в печать 17.09.2026 г. Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 9,16. Тираж 40 экз.
Зак. № 1466. Изд. № 35.

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 14.01.2017
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель