

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций

ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЕГО ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Материалы III Международной научно-технической конференции

27-28 октября 2022 г.

Минск
БНТУ
2022

УДК 625.7/.8:658.51(06)
ББК 39.311я43
Д69

Программный комитет конференции:
С.Е. Кравченко (председатель), А.В. Вавилов, В.А. Гречухин, И.Е. Рак,
С.В. Чернявская, Е.П. Ходан, С.Н. Соболевская

Составители:
С.Н. Соболевская, Е.М. Жуковский

Материалы публикуются в авторской редакции

В издании опубликованы статьи и доклады, представленные на III Международной научно-практической конференции «Дорожное строительство и его инженерное обеспечение», прошедшей 27-28 октября 2022 г., в которых изложены результаты исследовательских работ по широкому кругу вопросов.

В состав сборника вошли материалы работы секций: «Автомобильные дороги», «Мосты и тоннели», «Инновационные технологии в геодезии и картографии», «Математические методы в строительстве», «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса», «Студенческая». Издание предназначено для преподавателей, научных, инженерно-технических работников, а также аспирантов и студентов технических вузов.

© Белорусский национальный
технический университет, 2022

СЕКЦИЯ
«АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

С.Е. Кравченко, Ж.В. Реут, Е.П. Ходан
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kravchenko@bntu.by

Обоснована целесообразность открытия специальности «Строительство транспортных коммуникаций» для социально-экономического развития Республики Беларусь. Дорожное хозяйство имеет свои специфические особенности и принципиальные отличия от иных сфер деятельности. Проектирование, строительство и эксплуатация транспортных коммуникаций основано на принципах безопасности движения автотранспорта при различных скоростях и динамических транспортных нагрузках.

Ключевые слова: строительство транспортных коммуникаций, инновационные методы обучения, образовательный процесс.

Автомобильные дороги как комплекс конструктивных сооружений, предназначенных для движения с установленными скоростями, нагрузками и габаритами наземных транспортных средств, являются важным элементом в развитии всех отраслей народного хозяйства Республики Беларусь как на региональном, так и на глобальном уровнях. Развитие экономики в значительной мере зависит от степени развития инфраструктуры, наличия сети дорог, их капитальности и загруженности.

Основные задачи, стоящие перед дорожным хозяйством определены в Государственной программе «Дороги Беларуси» на 2021-2025 годы, которая разработана в соответствии с приоритетными направлениями социально-экономического развития страны.

Протяженность сети автомобильных дорог общего пользования в Республике Беларусь составляет 87 002 километра, в том числе республиканских дорог – 15 926 километров, местных – 71 076 километров. В составе сети автомобильных дорог общего пользования имеется 5 298 мостов и путепроводов общей протяженностью 187 тыс. пог. метров.

Дорожная деятельность направлена на улучшение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования для удовлетворения потребностей экономики и общества в транспортных связях и заключается в:

- увеличение сроков службы дорожных одежд и покрытий автомобильных дорог, включающее разработку дорожных покрытий, устойчивых к многократным колесным нагрузкам, создание защитных покрытий повышенной сдвигоустойчивости и износостойкости, создание и применение композитных материалов для конструктивных слоев дорожных одежд, максимальное применение местных дорожно-строительных материалов, регенерацию дорожных покрытий, укрепление грунтов земляного полотна и др.;

- увеличение сроков службы дорожных сооружений на автомобильных дорогах, включающее проектирование дорожных сооружений на основе усовершенствованного международного практического опыта, использование методов прогнозирования срока службы мостовых сооружений, применение новых конструкций пролетных строений мостовых сооружений, эффективных конструкций деформационных швов, применение композитных гидроизоляционных материалов и др.;

- использование технологий получения и применения дорожно-строительных материалов, включающих повышение качества каменных материалов, органических вяжущих, геосинтетических материалов, асфальтобетона, цементобетона и обеспечение

соответствия требованиям, установленным техническим регламентом Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011).

Возможность качественной реализации задач в будущем в значительной степени определяются уровнем подготовки специалистов для дорожного хозяйства, базирующейся на фундаментальных знаниях в области транспортного строительства, моделирования организационно-технологических и управленческих решений при осуществлении производственной деятельности, внедрения и практического применения комплекса компьютерных и информационных программных продуктов при проектировании, строительстве, ремонте и обслуживании транспортной инфраструктуры Республики Беларусь.

Подготовка специалистов в современных условиях должна способствовать эффективному развитию и становлению транспортных коммуникаций Республики Беларусь. Приоритетным для выпускаемых специалистов является их способность принимать решения по формированию инновационной инфраструктуры дорожного хозяйства для масштабного освоения прогрессивных технологий, материалов, конструкций, включающей систему информационного обеспечения, экспертизы и сертификации, а также осуществлять комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку новых прогрессивных технологий, техники, дорожно-строительных материалов, отвечающих приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь и Стратегии инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года.

Компетенции, предъявляемые к специалистам в области дорожного и мостового строительства базируются на Законе РБ «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности», а также Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».

Объектами профессиональной деятельности специалиста по специальности 7-07-0732-XX «Строительство транспортных коммуникаций» могут быть:

- строительство, реконструкция, ремонт и обслуживание автомобильных дорог, мостов и путепроводов, метрополитена;
- инженерные изыскания и проектирование транспортных коммуникаций, создание архитектурных и строительных проектов;
- производство мостостроительных конструкций и изделий, дорожно-строительных материалов, камнедробильные и сортировочные предприятия;
- мониторинг и диагностика транспортных коммуникаций и управление качеством их транспортно-эксплуатационного состояния;
- безопасность и организация движения транспорта;
- научно-исследовательская и инновационная деятельность в дорожном и мостовом строительстве и ремонте, материаловедении.

Обучающиеся по специальности 7-07-0732-XX «Строительство транспортных коммуникаций» в дальнейшем могут проявить себя в следующих сферах деятельности:

проектно-изыскательской: сбор, анализ и использование геодезических и гидрогеологических изысканий при проектировании автомобильных дорог, городских улиц, мостовых сооружений, тоннелей и метрополитена посредством современных методов и технологий, применяемых при изысканиях (георадарные технологии, геодезические спутниковые системы глобального позиционирования, электронные тахеометры, высокоточные цифровые нивелиры, лазерные дальнометры, квадрокоптеры и другое);

проектной: разработка и авторский надзор за внедрением архитектурных и строительных проектов в проектных организациях с использованием таких инженерных программных комплексов, как программные продукты компании «Кредо-Диалог» (отечественный разработчик инженерного программного обеспечения для производства инженерных изысканий и проектирования объектов транспортного строительства),

специализированные программные комплексы типа SOFiSTiK или Midas Civil и GTX NX, ориентированные на расчёт мостовых и тоннельных сооружений, программные продукты «ТОПОМАТИК» и другие;

производственно-технологической: технология и организация строительных работ, реконструкции, капитального ремонта автомобильных дорог, мостов, путепроводов, транспортных тоннелей (в том числе подземных переходов), метрополитена, производство дорожно-строительных и мостовых конструкций, материалов и изделий, дробильно-сортировочное производство;

эксплуатационной: осуществление круглогодичного поддержания транспортно-эксплуатационного состояния дорожных сооружений в соответствии с нормативными требованиями обеспечения безопасности дорожного движения посредством ремонтно-обслуживающих мероприятий, архитектурно-художественного оформления дорог;

диагностической: диагностика и мониторинг автомобильных дорог и искусственных сооружений, сбор и анализ данных по их эксплуатационному состоянию, разработка и планирование мероприятий по обеспечению долговечности и надежности транспортных сооружений в расчетной перспективе;

научно-исследовательской и инновационной: разработка новых, совершенствование существующих строительно-ремонтных технологий и материалов на основе органических и неорганических вяжущих для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и инженерных сооружений; применение георадарных и других технологий для мониторинга автомобильных дорог и искусственных сооружений; инженерно-техническое сопровождение проектных и строительно-монтажных работ на транспортных объектах;

безопасности движения: разработка мероприятий по организации дорожного движения и безопасности движения (в том числе проектирование транспортных развязок) транспортных средств на автомобильных дорогах, включая периоды реконструкции и проведения иных ремонтных мероприятий.

Для подготовки специалистов в сфере транспортного строительства факультет транспортных коммуникаций БНТУ имеет достаточный научный, научно-методический и организационно-технический потенциал.

На факультете постоянно совершенствуют уровень подготовки специалистов для дорожного хозяйства, имеются интеллектуальный потенциал и накопленный опыт для подготовки электронных учебно-методических комплексов и учебных пособий (в том числе с грифом Министерства образования Республики Беларусь, Национального института образования и учебно-методического объединения), учебно-методических или информационно-аналитических материалов, которые в соответствии с требованиями образовательного стандарта ориентированы на внедрение в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, а также позволят при необходимости осуществлять образовательный процесс в дистанционной форме.

Преподаватели БНТУ разрабатывают и апробируют в образовательном процессе новые учебные дисциплины, применяют инновационные формы, методы и средства обучения, внедряют новые лабораторные работы, сотрудничают с научно-педагогическими кадрами многих высших заведений Республики Беларусь, Российской Федерации, Узбекистана, Таджикистана и др.

Одним из новых направлений является дистанционное практико-ориентированное обучение студентов, которое основывается на создании онлайн-платформы, содержащей обзорных и обучающих видео, записи прямых трансляций с производства, а также организация на базе платформы вебинаров и конференций с участием ведущих представителей дорожной науки и производства как Республики Беларусь, так и зарубежья.

Данная платформа позволит упростить взаимодействие между студентами и преподавателями в процессе дистанционного изучения образовательных дисциплин и выполнения учебных заданий. Кроме того, данная образовательная платформа будет способствовать обмену опытом в области дорожного строительства между Республикой

Беларусь, сопредельными государствами и странами с тесными экономическими связями. Реализация данного проекта позволит снизить чрезмерные контакты между людьми, а также повысить качество образования в целом. Данный проект будет полезен студентам, преподавателям и операторам образования, поскольку позволит оперативно обмениваться необходимой информацией не только по изучаемым дисциплинам, но и получать современную и актуальную информацию о состоянии дорожного строительства в регионе.

Данный проект направлен на реализацию непрерывного образования для студентов-дорожников, поскольку предполагается создание онлайн-площадки и мобильного приложения, через которые участники образовательного процесса (студенты и преподаватели) смогут получить доступ к различным образовательным ресурсам. Кроме того, в процессе реализации данного проекта будут организованы различные онлайн-семинары и конференции для обмена знаниями между участниками.

Для организации теоретической и практической подготовки студентов по специальности имеется материально-техническая база, позволяющая готовить специалистов, соответствующих современным критериям:

- компьютерные классы для проведения научных исследований, выполнения дипломных и курсовых проектов и работ, проведения практических и лабораторных занятий по дисциплинам информационного и специального профиля посредством: компьютерных программных комплексов «КРЕДО» и специализированных программных комплексов типа SOFiSTiK или Midas Civil и GTX NX. Компьютерные программные комплексы «КРЕДО» состоят более чем из 20 связанных программных модулей по решению различных задач, объединённых в единую технологическую цепочку обработки информации: проектирование автомобильных дорог; информационное моделирование (ТИМ/ВИМ) с получением полноценной информационной модели объекта транспортной инфраструктуры; автоматизированное проектирование примыканий и пересечений дорог; расстановка технических средств организации дорожного движения; расчет дорожной одежды нежесткого и жесткого типов; расчет дождевых стоков и талых вод, а также расчета пропускной способности труб и малых мостов. Специализированные программные комплексы типа SOFiSTiK или Midas Civil и GTX NX ориентированы на расчёт мостовых и тоннельных сооружений, нелинейный расчёт конструкций с учётом больших деформаций сооружений, моделирование и расчёт различных вантовых и подвесных систем малой жёсткости с учётом нелинейности и динамического характера нагрузок; программный продукт «АРМ строителя» для выполнения сметно-финансовых расчетов;

- книжный фонд научной библиотеки БНТУ, информационно-поисковая система «Фонд документов дорожного хозяйства» и «Фонд технологических карт» Министерства транспорта и коммуникаций;

- мультимедийное оборудование в аудиториях для улучшения наглядности лекционных, практических и лабораторных занятий;

- современные учебно-исследовательские и научные лаборатории, оснащенные новейшим оборудованием, приборами (геодезические спутниковые системы глобального позиционирования, электронные тахеометры, высокоточные цифровые нивелиры, лазерные дальнометры, испытательная машина для определения физико-механических показателей материалов при различных климатических условий, оборудование для определения эксплуатационных характеристик бетонов, приборы для определения физико-механических характеристик битумов, криокамера для испытания дорожно-строительных материалов, камера климатическая, прибор электронный Блейна для измерения тонкости помола строительных наполнителей, газоанализатор, измеритель теплопроводности, измеритель пучинистости грунта, тестер трения и сопротивления скольжению, лабораторный круг истирания), а также передвижная диагностическая лаборатория на базе ГАЗ-32213 с измерительным комплексом, позволяющим определять такие транспортно-эксплуатационные показатели, как показатель ровности автомобильной дороги, коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, шероховатость дорожного

покрытия, показатель прочности и модуль упругости дорожной одежды, а также геометрические параметры проезжей части.

Практическая составляющая организации учебного процесса в рамках подготовки по специальности 7-07-0732-XX «Строительство транспортных коммуникаций» характеризуется значительным опытом взаимодействия БНТУ с ведущими организациями дорожного хозяйства и метростроя. Факультет транспортных коммуникаций имеет филиалы кафедр в КПИУП «Минскинжпроект» (УП «МИНСКИНЖПРОЕКТ») и ООО «ЭКОМОСТ», в настоящее время идет процесс открытия филиала в ГП «БелдорНИИ».

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 2 декабря 1994 г. № 3434-ХІІ «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности»

2. Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог», принятого решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 года № 827

3. Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021-2025 годы, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 апреля 2022 г. № 271.

УДК 625.7

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Л.В. Зленко

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, Zlenkolv@bntu.by

Рассмотрены основные направления использования инновационных технологий при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог, примеры инновационных материалов, применяемых при возведении дорожного полотна.

Ключевые слова: инновационные технологии, проектирование, эксплуатация, автомобильные дороги.

Формирование и модернизация современной транспортной структуры является основой развития других отраслей народного хозяйства и целых регионов. Инновационный процесс в современном дорожном строительстве представляет собой воплощение синтеза новшеств. Повышаются требования к состоянию дорожных одежд для обеспечения безопасного перемещения транспортных средств, дорожная конструкция должна быть надежной и долговечной.

Основными направлениями инновационных технологий являются:

- применение инновационных материалов;
- использование инновационных технологий проектирования автомобильных дорог;
- применение инновационных приемов укладки дорожного полотна;
- применение инновационных методов восстановления дорожного полотна;
- использование инновационных технологий эксплуатации готового объекта.

Инновационными материалами, применяемыми в дорожном строительстве, могут быть: дренирующий асфальтобетон, пористо-мастичные асфальтобетонные смеси, цветные асфальтобетонные смеси, модифицированные битумы, полимерно-вяжущее вещество.

При проектировании автомобильных дорог применяются цифровые технологии, что позволяет получить значительную экономию расходов на проектирование и повышение качества проектных решений. При реконструкции автомобильных дорог часто

используется технология регенерации и стабилизации основания, которая называется ресайклинг- это процесс повторного использования материалов старой дорожной одежды, что также снижает стоимость строительства.

При строительстве автомобильных дорог используют также инновационных приемов укладки дорожного полотна, такие как: метод высокотемпературной запрессовки, использование пенополистирольных плит, грунта, георешеток и геотекстиля, что позволяет разделять слои грунта с разными свойствами, перераспределять напряжение и повышать несущую способность основания.

При ремонте и реконструкции дорожного полотна применяют инновационные методы восстановления его, к ним можно отнести: технологии литых асфальтобетонных смесей, инфракрасного ремонта, гидрофобизации, нанофобы, метод химической фрезеровки неровностей дорожного полотна. Использование пеностекольного щебня, который получают по технологии наноструктурной модификации поверхности дисперсного стекла, он обладает повышенной прочностью, теплопроводностью, что также снижает затраты на строительство автомобильных дорог.

Применяются инновационные технологии при эксплуатации готового объекта, к ним можно отнести: «Умные дороги», применение на автомобильных дорогах датчиков движения автомобилей и пешеходов, видеокамеры, метео-датчики, электронные дорожные знаки, информационное табло на остановках транспорта. Нанесение дорожной разметки фотолюминесцентными материалами, которые реагируют на изменение температуры воздуха и покрытия, например: в на дороге в морозную погоду появляются на покрытии дороги изображения снежинок. Таким образом, применение инновационных технологий необходимо не только для развития современной транспортной инфраструктуры, но и решения экологических проблем.

Литература

1. Скворцов О.В. Проблемы внедрения инноваций при проектировании автомобильных дорог (Транспорт Российской Федерации.-2011.-№2)
2. Харун М.И., Костюкова К.А. Инновационные технологии в дорожном строительстве (Системные технологии.-2017.-№22)

УДК 625.76

УСТРОЙСТВО ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Ю.Г. Бабаскин

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, babaskiny@mail.ru

Поверхностная обработка дорожного покрытия предназначена для повышения эксплуатационных качеств автомобильной дороги. Одновременно с повышением шероховатости дорожного покрытия наносится разметка, которая улучшает светотехнические свойства покрытия. Изготовленные в заводских условиях кубики наклеиваются на эластичную основу и скатываются в рулон. На дорожное покрытие наносится клеящий состав, по которому разматывается рулон.

Ключевые слова: кубик, клей, рулон, светоотражательная способность.

Дорожная сеть Республики Беларусь включает свыше 87 тыс. км. автомобильных дорог в том числе республиканских дорог – 15 926 километров. Из общей протяженности дорог твердое покрытие имеют 75 567 километров (или 86,9 процента), в том числе усовершенствованное покрытие (асфальтобетонное и цементобетонное) – 49 041 километр

(или 56,4 процента). Примерно 16 % дорог общего пользования требуют капитального ремонта и порядка 27 % текущего.

Для продления службы дорожного покрытия на дорогах устраивают слои износа, которые защищают покрытие от воздействия атмосферных факторов и улучшают сцепление колеса автомобиля с покрытием. Такие слои износа могут быть устроены из горячего асфальтобетона специального состава, а также в виде одиночной или двойной поверхностной обработки.

Устройство слоя износа толщиной до 3 см из асфальтобетонных и им подобных смесей на черных покрытиях, состоит из таких технологических операций как: очистка покрытия механической щеткой; подгрунтовка органическим материалом, распределяемым автогудронатором; укладка асфальтобетонной смеси модернизированным асфальтоукладчиком, способным распределять смеси тонким слоем; предварительное уплотнение слоя легкими катками и основное уплотнение тяжелыми катками.

При устройстве поверхностной обработки последовательность технологических операций следующая:

- а) очистка покрытия механической щеткой;
- б) разлив битума, нагретого до температуры, обеспечивающего прилипание к минеральному материалу, с помощью автогудронатора;
- в) распределение черного щебня с помощью щебнераспределителя;
- г) втапливание щебня в слой битума при уплотнении черного щебня.

Двойная поверхностная обработка отличается от одинарной, количеством и размером распределяемого щебня. При двойной обработке вначале распределяется более крупная фракция, а затем более мелкая, которая расклинивает более крупный щебень, создавая плотный слой. При данном ремонте дорожных покрытий щебень является упрочняющим элементом, который защищает и повышает прочность основного слоя асфальтобетона дорожной одежды. В обоих случаях рекомендуется применять щебень кубовидной формы и узкого гранулометрического состава, предварительно обработанный битумом, в результате чего он получает название «черный». Для подгрунтовки и лучшего прилипания щебня к покрытию применяются органические материалы, среди которых наиболее высокие адгезионные свойства принадлежат резинобитумному вяжущему [1].

Таким образом, одним из видов ремонтных работ является устройство поверхностной обработки на дорожном покрытии, которому свойственны некоторые недостатки. Во-первых, при распределении щебня щебнераспределителем не исключаются случаи нахлеста одной щебенки на другую, что снижает качество обработки. В этом случае образуется неровная шероховатая поверхность, которая приводит к неравномерному износу покрытия и шин колес автомобиля. Во-вторых, такое покрытие обладает низкими светотехническими характеристиками из-за отсутствия хорошей светотехнической отражательной способности покрытия в темное время суток, а также в тумане. В-третьих, при устройстве разметки на покрытии, краска распределяется не на ровной поверхности, а на шероховатой, что снижает видимость рисунка.

При строительстве мостовых покрытий в городских условиях широко применяют, так называемые, мозаиковые мостовые, которые устраиваются из плиток различно цвета, образующие определенный орнамент (рис. 1).

Мозаиковую шашку (плитку) изготавливают двух типоразмеров: низкую (7-9 см) и высокую (9-11 см). Технология строительства предусматривает устройство основания (в зависимости от назначения применения: бетонное, щебеночное, укрепленных грунтов, гравийное, песчаное), бетонирование бордюров, устройство песчаного слоя, укладка плиток в соответствии с архитектурным рисунком, посадка плиток с помощью вибратора и заполнение швов песком мелких фракций.

В Белорусском национальном техническом университете предприняли попытку соединить выше обозначенные способы устройства поверхностной обработки и мозаиковые рисунки [2]. В результате разработан способ, заключающийся в создании

однородного высокопрочного поверхностного слоя покрытия из однотонных или цветных упрочняющих элементов. Способ поверхностной обработки дорожного покрытия заключается в следующем.



Рис. 1. Элемент мозаичной мостовой

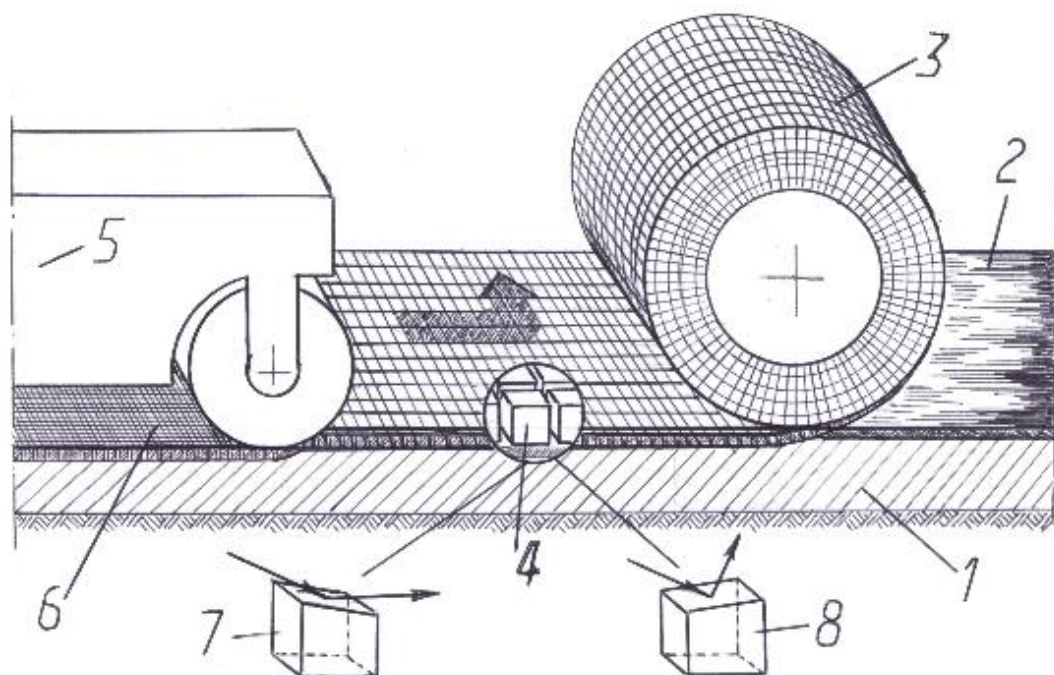
В промышленных условиях изготавливаются штучные элементы в виде кубиков из любого прочного материала. Высота кубиков регламентируется толщиной поверхностной обработки. Одна из плоскостей кубика имеет небольшой наклон, который позволит, при их установке, увеличивать светоотражающую способность покрытия. Кубики могут иметь различную окраску (в результате применения пигмента при изготовлении), что позволяет из них собирать элементы разметки, изображения дорожных знаков, надписи и даже создавать картины на площадях, пешеходных дорожках и местах массового отдыха людей.

Изготовленные кубики приклеиваются на эластичную, например, бумажную основу и скатываются в рулон. Приклеивание необходимо производить по наклонной поверхности кубика. Известен пример по разворачиванию временных дорог путем раскатывания дорожного покрытия, применяемого, в основном, в военном деле (рис.2).

На дорожное покрытие наносится раствор клеящегося вещества, по которому раскатывается рулон с кубиками. При легком уплотнении кубики внедряются в слой клея и при его застывании фиксируются на покрытии. Помимо защиты основного материала дорожной одежды, такая поверхностная обработка уже имеет дорожную разметку и все необходимые надписи и обозначения. На рис. 3 представлена схема, изображающая способ поверхностной обработки дорожного покрытия [2].



Рис. 2. Многоцелевой оперативный комплекс на базе КАМАЗ 63 501 по разворачиванию временных дорог



1 – бетонное покрытие, 2 – клеящий состав, 3 – лента, 4 – упрочняющий элемент, 5 – каток; 6 – готовое покрытие; 7, 8 – отражение света от поверхности

Рис.3. Устройство временного дорожного покрытия и механизация процесса

На схеме изображены: бетонное покрытие, слой клеящего вещества (смола, органическое вяжущее и др.), лента с закрепленными на ней упрочняющими элементами, легкий каток и готовое покрытие.

На 7 и 8 фрагментах показано отражение светового потока от фар автомобиля, что свидетельствует о необходимости фиксации кубиков с наклонной поверхностью по ходу движения (фрагмент 7). Такое положение кубиков будет способствовать распространению света на большее расстояние, а встречный поток света будет уменьшен и не будет слепить водителя.

Клеящее вещество должно находиться в вязком состоянии. При погружении упрочняющих элементов в это вещество должно происходить его выдавливание и заполнение пространства между кубиками.

Основа для фиксации кубиков может быть, как бумажная, так и тканевая или в виде полиэтиленовой пленки. При бумажной основе лента будет удаляться под действием движущегося колеса автомобиля. При другой основе лента может быть многоразовая.

Таким образом, способ устройства дорожного покрытия направлен на повышение эксплуатационных качеств автомобильной дороги. Одновременно с повышением шероховатости покрытия осуществляется нанесение разметки и других обозначений, которые имеют высокую долговечность, из-за того, что изготовлены из однородного материала. Изменение рабочей поверхности кубика позволяет улучшать светоотражательную способность покрытия. Изготовление рисунков на клеящей основе позволит украсить площади, пешеходные дорожки и проезжую часть автомобильных дорог.

Литература

1. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / под редакцией А.П.Васильева. – М.: Транспорт, 1989. 287 с.
2. Способ поверхностной обработки дорожного покрытия. Патент 8483. Класс E 01C 7/32. / Национальный центр интеллектуальной собственности. Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь. 2004. С. 5.

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ю.Г. Бабаскин

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, babaskiny@mail.ru

Разработан способ ремонта автомобильных дорог, который заключается в фрезеровании дорожного покрытия на месте образовавшихся дефектов и помещении в полученную выемку пломбы, изготовленной в промышленных условиях. На основании экспериментального обследования видов разрушения разрабатывается типоразмерный ряд пломб, которые изготавливаются из современных материалов и по оригинальным технологиям.

Ключевые слова: дефект, ремонт, фреза, грунтовка, пломба.

Плавность траектории трассы закладывается на стадии проектирования автомобильной дороги, на основании нормативных документов. Ровность дорожного покрытия обеспечивается бетоноукладочными машинами, работающими по копирным струнам. Таким образом, вновь построенная дорога соответствует требованиям ровности и прочности. Движение автомобилей с расчетными скоростями и в безопасном режиме возможно при ровном и качественном покрытии автомобильной дороги. Однако, с течением времени под действием климатических факторов и воздействующей нагрузки большегрузных автомобилей в материале дорожного покрытия начинают возникать очаги разрушения адгезионных связей между составляющими компонентами асфальто- и цементобетона. Вначале эти дефекты представляют собой волосяные трещины между щебнем и битумом или в цементном камне. Но с течением времени трещины прогрессируют и превращаются в продольные и поперечные трещины, выбоины, участки с шелушением и в другие дефекты. Этот процесс усугубляется деформациями, возникающими в земляном полотне, под действием влаги, проникающей как в виде инфильтрационной воды, так и капиллярного подтока грунтовых вод. В результате на дорожном покрытии возникают неровности снижающие, как комфорт движения, так и сказывающиеся на безопасности транспортных средств. В связи с этим, возникает задача ликвидации возникших дефектов и обеспечения прочной и ровной полосы движения.

Дорожно-эксплуатационные организации оценивают степень разрушения дорожного покрытия и намечают сроки и методы ремонтных работ. В настоящее время ликвидация местных повреждений на автомобильных дорогах решается путем применения ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия или устройства защитных слоев на участках с местным бетонированием на цементобетонных покрытиях. Существующие сегодня способы ликвидации дефектов на автомобильных дорогах заключаются в устройстве заплат, поверхностной обработки или укладки тонкослойного покрытия. Кроме того, для асфальтобетонных покрытий применяют различные методы разогрева и улучшения свойств старого асфальтобетона. К таким способам относятся: термопланирование, термогомогенизация, термоукладка и термосмешение [1]. Все эти способы отличаются друг от друга наличием или отсутствием определенных приемов, воздействующих на улучшение качества асфальтобетона. Например, добавление или без добавления новой смеси при выравнивании разогретого асфальтобетона, перемешивание фрезой или выравнивание ножевым рабочим органом, или выравнивающей плитой тонкого слоя новой смеси. Ямочный ремонт предусматривает разбивку и устройство карты повреждения, с выемкой разрушенного асфальтобетона, и заполнения её литой асфальтобетонной смесью или смесью с высокой степенью подвижности.

Проведенные обследования разрушенных покрытий показывают, что все виды дефектов могут быть классифицированы по типоразмерам. Учитывая, что глубина разрушения, как правило ограничивается толщиной слоя, что способствует разработки элементов определенной толщины. В результате можно каждый дефект отнести к определенному параллелепипеду или криволинейному элементу, характеризующемуся геометрическими размерами. Следовательно, в промышленных условиях можно изготовить такие элементы из любого материала, с любой рецептурой и даже в виде армированного элемента, который назовем пломбой. Изготовление таких пломб должно быть выполнено именно в заводских условиях, поскольку требует наличие прессового оборудования на уплотнение материала, наличие пропарочных камер, для ускорения процесса твердения цементобетонных элементов, возможность послойной укладки материалов или смесей для создания композитных элементов, а также применения армирующих сеток. Материалом для изготовления пломб, помимо традиционных асфальто- и цементобетонов могут быть пластические массы, металл, полимербетон, стекло и другие материалы, как в самостоятельном виде, так армированные стержнями, сетками, тканями, нетканым синтетическим материалом, стекловолокном и другими. Заводские условия изготовления обеспечивают высокое качество и надежность изделия, поскольку это позволяет получать продукт с высокой степенью уплотнения, применять новые материалы с высокой точностью дозирования и качественного перемешивания компонентов и обеспечивать технологический регламент, например, вибровакуумирование.

Недостатки указанных способов заключаются в большом количестве технологических операций, на которых задействованы машины и механизмы, в большой трудоемкости работ, связанных с приготовлением асфальто- и цементобетонных смесей и их доставкой на объект ремонта, в создании и поддержании необходимого температурного режима при укладке асфальтобетонных смесей или органических вяжущих. Применение вязких асфальтобетонных смесей не позволяет получить высокие прочностные показатели после затвердевания, поскольку впоследствии материал под действие температуры начинает течь и выдавливаться из-под колеса автомобиля. При использовании горячих и теплых асфальтобетонных смесей требуется поддержание температурного режима, кроме применения теплых смесей ограничивается температурой минус 10⁰С. При использовании цементобетонных растворов необходимо выдерживать срок набора прочности с ограничением движения. Все это отражается на темпах ремонтных работ и на их качестве.

В Белорусском национальном техническом университете разработан способ ликвидации местных повреждений [2], который заключается в том, что на месте возникшего дефекта, с помощью фрезерного оборудования, формируется выемка правильной формы, в которую после подгрунтовки стенок и дна выемки вставляется пломба данного типоразмера, предварительно изготовленная в промышленных условиях. Технология ликвидации повреждений требует проведения предварительных работ, которые заключаются в разработке типоразмерного ряда любых повреждений, в соответствии с которым, в промышленных условиях, изготавливаются пломбы.

Фрезерное оборудование удаляет старый бетон и формирует выемку в виде усеченной пирамиды любой конфигурации, большим основанием к поверхности покрытия. Размеры выемки и пломбы должны соответствовать посадке пломбы в отфрезерованное углубление. Усеченные формы пломбы и выемки необходимы для удобной посадки пломбы в выемку, а также равномерного распределения грунтового материала. В качестве грунтового материала могут применяться битумы, гудрон, деготь, смола, жидкое стекло, органические отходы химических производств, обладающие клеящими свойствами.

Подобные способы известны в строительной практике. Например, турецкая фирма «Dahir Insaat» изготавливает пломбы с применением смол, которые способны расширяться при нагревании. Поэтому, их технология заключается в воздействии термоплиты на

установленную пломбу (рис. 1). Кроме того, способ предусматривает оценивать размеры разрушения с помощью световой индукции и обработав полученные результаты на компьютере, выбирать размер пломбы и определять объем фрезерования.

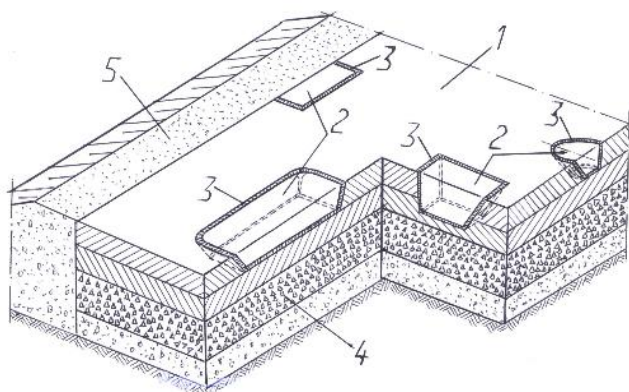
Способ ремонта осуществляется следующим образом. На дорожном покрытии происходит оценка вида дефекта и определение объема разрушения. По полученным данным подбирается пломба соответствующего размера. На покрытии фрезеруется выемка, размеры которой соответствуют размеру пломбы. На дно полученной выемки заливается грунтовка и вставляется пломба. При уплотнении пломбы грунтовка равномерно заполняет пространство между пломбой и выемкой, создавая гидроизоляционный слой. Сразу после посадки пломбы можно открывать движение транспорта. Большим преимуществом данного способа является выполнение ремонтных работ в зимних условиях при любой температуре.



Рис.1. Дорожный комплекс для ремонта дорожных ям

Особенно этот способ важен для ликвидации дефектов дорожного покрытия в городских условиях, поскольку не требует дополнительного времени для отверждения материала пломбы. При разработке выемки с помощью фрезы продолжительность выполнения работы на ликвидации одного повреждения, может составлять не более 5 минут, кроме того работы могут выполняться в любое время суток и при любой погоде (рис. 1).

Следует отметить, что БНТУ имеет приоритет своего патента, датированный 2002 годом, по сравнению с другими аналогами.



1 – бетонное (асфальтобетонное, цементобетонное) покрытие, 2 – пломба, 3 – выемка, 4 – многослойная дорожная одежда, 5 – обочина

Рис. 2. Ремонт дорожного покрытия путем установки пломбы

Литература

1. Автомобильные дороги Беларуси. Энциклопедия / Под ред. А.В.Минина. – Минск : Беларуская энцыклапедыя, 2002. С. 492.

2. Способ ремонта дорог. Патент № 8020. Класс Е 01С 23/06. / Национальный центр интеллектуальной собственности. Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь. 2006. С. 4.

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И УЛИЦ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Е.М. Жуковский¹⁾, А.В. Корончик¹⁾, С.Е. Кравченко¹⁾, Я.А. Добрынович²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, zhukovskye@gmail.com

²⁾Открытое акционерное общество «Банк развития Республики Беларусь»
пр. Машерова, 35, 220002, г. Минск, Беларусь

В статье авторами применены различные материалы для ямочного ремонта дорог в рамках содержания нежестких покрытий автомобильных дорог.

Предлагается использование принципиально новых материалов для поддержания дорожных покрытий в удовлетворительном транспортно-эксплуатационном состоянии в целях обеспечения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: ремонт; автомобильная дорога; безопасность; ремонтный материал; выбоина; ямочность; заплаты; асфальтобетон; дорожное покрытие; нефтешлам

Процесс образования ямочности на дорогах напрямую связан с тяжелыми условиями работы дорожных покрытий с конструктивными слоями, устроенными из асфальтобетона. Особые условия наступают в зимний период, когда наблюдается значительное влияние неблагоприятных погодных-климатических факторов на состояние дорог и улиц. Появление и последующее развитие выбоин и трещин отрицательно влияет на безопасность дорожного движения, так как водители совершают большое количество маневров, отвлекаясь от дорожной обстановки, что приводит к созданию аварийной обстановки.

При использовании противогололедных материалов, в основном хлористого натрия, происходит таяние льда и образование рассолов, которые при попадании в открытые поры асфальтобетона накапливаются, а в последствии при понижении температуры кристаллизуются в лед, увеличиваются в объеме, и тем самым ухудшая связность частиц композитного материала. Кроме того, данные процессы осуществляются многократно, и получили название циклов замораживания-оттаивания. Так же, под воздействием хлористого натрия происходит частичное преобразование минерального порошка в составе асфальтобетона из нерастворимых соединений в водорастворимые.

К сожалению, опыт наблюдений за этими процессами показал, что они неизбежно приводят к появлению таких дефектов как выбоины, и в таком случае факт их наличия требует повышенного внимания со стороны обслуживающих организаций в рамках обеспечения безопасности дорожного движения.

Традиционный подход для выполнения аварийного ремонта включает в себя технологический процесс, при котором звено машин и бригад выполняет последовательные операции по подготовке рабочей площадки в виде «дорожной карты», и соответственно, заполнением её ремонтным материалом. В зимний период применяются асфальтобетонные смеси литого типа, с повышенным содержанием битума и минерального дисперсного порошка, а также нагретого до значительных температур, что позволяет выполнять работы в зимнее время. К сожалению, работы по производству данных мероприятий требуют большое количество техники и специализированных машин, а также весьма трудоемкие. Для весенне-осеннего периода данная ситуация наиболее благоприятна, так как появляется возможность использования традиционных горячих асфальтобетонных смесей идентичных, используемых ранее в конструктивных слоях. [1]

В рамках применения различных ремонтных материалов проанализированы научные труды, а также рынок имеющихся и доступных в продаже товаров для ликвидации проблемных участков. Использование складываемых органоминеральных смесей, смесей

типа «patch», а также смесей готовых к применению типа «сделай сам» не дает значительных преимуществ при устройстве с их помощью ремонтных участков в зимнее время, при этом имея различные недостатки. [2-4]

Авторами предлагается использование специальных смесей, которые не требуют выполнения большинства стандартных операций и нацелены в первую очередь на повышение скорости устранения проблемных участков и восстановление их конструктивно-технологической безопасности. В условиях ограниченного времени и большого количества запланированного объема работ, необходимо при минимальных затратах и большой скорости достичь высоких результатов, и в таком случае возникает необходимость применения принципиально новых материалов.

При создании данного материала ставилась задача обеспечить возможность его применения в любую погоду, для исключения необходимости подготавливать место ремонта (осушать выбоину, очищать и предварительно обрабатывать перед проведением ремонта). [5]

Технологический процесс устранения выбоины включает в себя заполнение выбоины ремонтным материалом с некоторым запасом на уплотнение, которое может производиться притаптыванием, а окончательное уплотнение происходит под воздействием движущегося транспорта. На рисунке 1 показано состояние выбоины до и после ремонта.

В основе материала лежит композит минеральных материалов с нефтешламом. Для получения конечного продукта необходимо применять ряд специальных добавок, увеличивающие адгезию и сплошность, достигая заданных характеристик. Смесь на выходе получается готовой к применению и не требует предварительного перемешивания. Применение данных смесей играет важную роль для экологической безопасности, поскольку решает в том числе вопросы утилизации нефтяного шлама. [5,6]

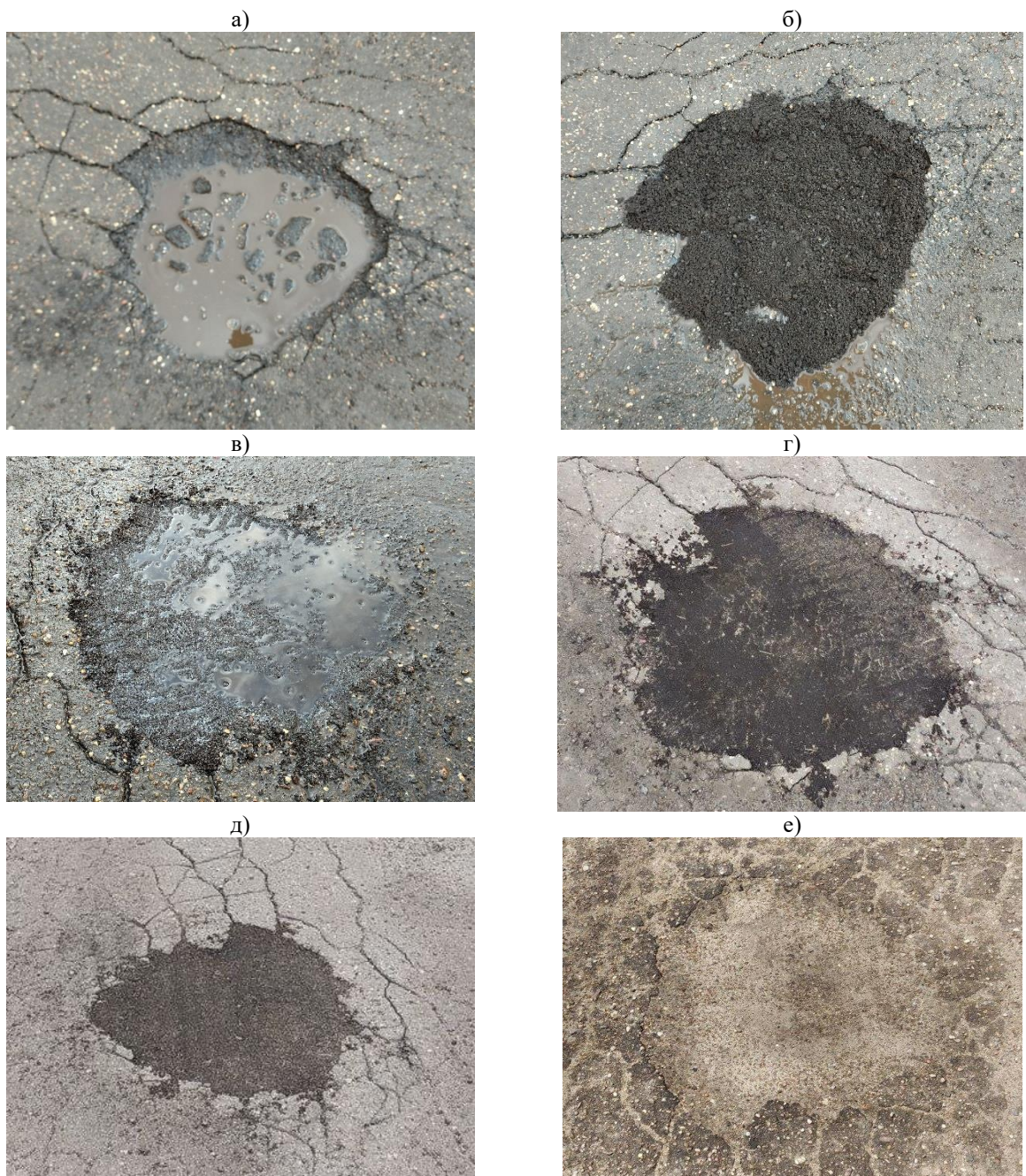
В основе материала лежит композит минеральных материалов с нефтешламом. Для получения конечного продукта необходимо применять ряд специальных добавок, увеличивающие адгезию и сплошность, достигая заданных характеристик. Смесь на выходе получается готовой к применению и не требует предварительного перемешивания. Применение данных смесей играет важную роль для экологической безопасности, поскольку решает в том числе вопросы утилизации нефтяного шлама. [6,7]

Отметим, что данный материал является временным, и не сможет достаточно долго подвергаться воздействию высокой транспортной нагрузки, а также многочисленным циклам замораживания-оттаивания, продолжительного насыщения материала водой. Поэтому данный материал следует применять в наиболее неблагоприятных условиях, когда необходимо повысить безопасность движения и не допустить дальнейшего разрушения дороги с последующей его заменой на горячие асфальтобетонные смеси. Использованный материал может быть использован повторно, в качестве добавки при приготовлении новых партий для последующего ремонта.

При этом материал имеет свойства, которые невозможно соотнести с асфальтобетоном, тем самым имеющиеся технические-нормативно правовые документы не могут распространяться на эту смесь.

Особенностью данного материала является невозможность его работы в условиях сопротивления деформациям на изгиб, сохраняя при этом одинаковую прочность на сжатие и раскол при широком спектре температур, что является доказательством того, что он в отличие от связанных материалов на основе вяжущих, является изотропным.

Проведенные сравнительные испытания в рамках оценки величины перемещения измерительного штампа прибора ДПП, сопоставима с прочностными свойствами различных конструктивных слоев. При этом свойства ремонтного материала близки к асфальтобетону, тем самым указывая на возможное использование данного материала для ремонта дорог. [8]



а) состояние покрытия до ремонта; б) заполнение ремонтным материалом; в) предварительное уплотнение; г) доуплотнение транспортом; д) выбоина через 14 дней после заделки; е) выбоина через 60 дней после заделки

Рис. 1. Выбоины до и после ремонта

Подводя итог, рекомендуется применение данного материала в целях поддержания безопасности дорожного движения в первую очередь в условиях зимнего содержания, т.к. является технологически простым и доступным для различных организаций. Материал неприхотлив к условиям хранения, может быть герметично упакован, не слеживается, и тем самым имеет преимущества по сравнению с другими аналогами. Применение данного материала не исключает проведение полноценного ремонта по традиционной технологии в последующем с использованием асфальтобетонных смесей, в целях восстановления монолитности и сплошности покрытия. Достигается безопасность участка движения транспортного потока за счет предотвращения развития существующей выбоины.

Литература

1. Зленко, Л. В. Основы технологий ямочного ремонта на дорожных покрытиях нежесткого типа / Л. В. Зленко, Т. М. Шохалевич // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 72-75.
2. Козлова, Е. Н. Холодный асфальтобетон / Е. Н. Козлова. – М.: Автотрансиздат, 1958. – 124 с.
3. Игошкина, А. Ю. Складируемые органоминеральные смеси для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий / А. Ю. Игошкина // Вестник Белорусского национального технического университета : научно-технический журнал. – 2007. – № 2. – С. 15-19.
4. Поздняков, В. Р. Опыт применения холодных смесей Мультигрейд для текущего и аварийного ямочного ремонта / В. Р. Поздняков // Дорожная техника-2006: каталог-справ. – М., 2006. – 270 с.
5. Жуковский, Е. М. Зимний аварийный ремонт выбоин на дорожных покрытиях / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик // Новые технологии - нефтегазовому региону : Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В IV томах, Тюмень, 30 мая 2022 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 234-237.
6. Жуковский, Е. М. Способы утилизации отходов нефтепереработки в дорожном строительстве / Е. М. Жуковский, А. А. Куприянчик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 21.
7. Куприянчик, А. А. Использование нефтяных шламов в дорожном строительстве / А. А. Куприянчик, Е. М. Жуковский, Я. А. Добрынович // Проблемы и перспективы развития автомобильных дорог СНГ [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Леоновича Ивана Иосифовича / ред.: С. Н. Соболевская, Е. В. Богданова. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 146-149.
8. Жуковский Е.М. Современный ремонтный материал для устранения ямочности на дорожных покрытиях / Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко, Д.В. Глинский // Минск-Шанхай-Чанчунь: стратегия прорывного сотрудничества : сборник материалов научно-практической конференции, 21 апреля 2022 года / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 122-124.

УДК 624.93

НОВЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

Н.В. Романов¹⁾, П.А. Пегин²⁾

¹⁾г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, nik3495rom@yandex.by

²⁾ Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, ул. Пилотов, 38, 196210, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В работе был описан новый подход при проектировании конструкции шумозащитного экрана, который может быть использован для снижения уровня шума как в городской черте, так и за городом. Разработка нового концепта шумозащитного экрана велась на базе автоматизированных комплексов AutoCAD и I-Simpra. На основании полученных данных сделаны выводы о возможности и целесообразности внедрения представленного концепта в инфраструктуру города и применения его на территориях, прилегающих к городской черте.

Ключевые слова: акустическое загрязнение, шумозащитные экраны, распространение шума, звуковая волна.

В настоящее время вопрос об акустической безопасности во многих странах стоит довольно остро, в связи с чем все больше стран разрабатывают новые подходы и методы по борьбе с шумовым загрязнением. Экономичность, экологичность и новизна – вот ключевые слова, на которые опираются исследователи данного направления.

Принцип работы конструкции, представленной на рисунке 1, основан на том, чтобы звуковую волну максимально сконцентрировать и рассеять по плоскости всего экрана. Рассеивая звуковую волну в плоскости экрана, можно добиться эффекта перекрытия основной волны отраженными усиленными волнами, тем самым снизить звуковое давление перед экраном и снизить звуковую характеристику за экраном. В однослойном исполнении, для которого проводилось компьютерное моделирование, в качестве материала был выбран многослойный усиленный поликарбонат.

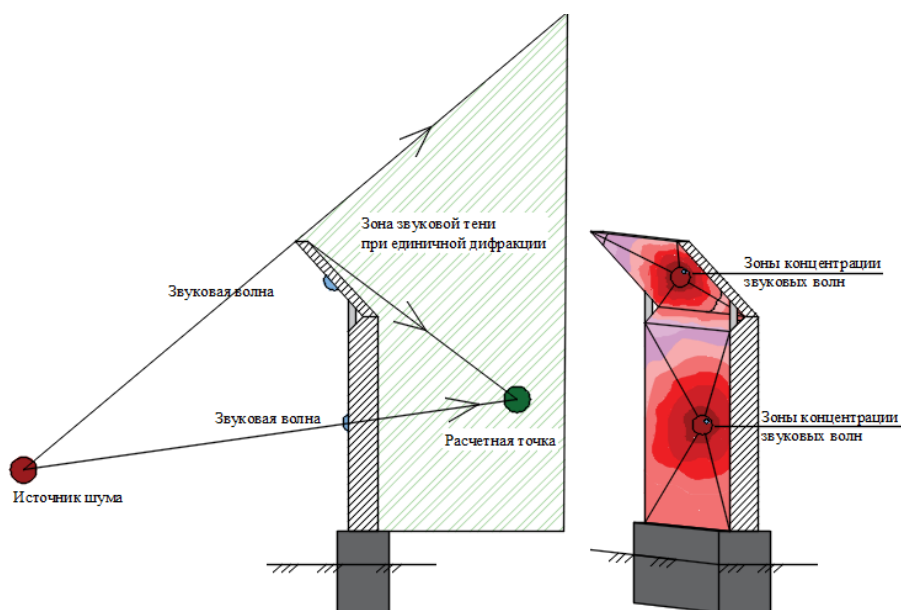


Рис. 1 Распространение звуковой волны к конструкции

Расстояние от источника шума до шумозащитного экрана в первом случае принималось равным 4,37м, согласно нормативному документу [1] для ближней полосы движения автотранспорта, для второго равным 8,12м, ширине полосы движения 3,75м. Центр источника шума находился на высоте 1м, а высота проектируемых экранов была равна 2м, 4м и 6м. Расстояние от шумозащитного экрана (ШЭ) до расчетной точки принималось равным $PT1=25м$, $PT2=50м$ и $PT3=100м$. Моделирование происходило в октавный полосах со среднегеометрическими частотами, соответствующим действующим ТНПА.

Результаты эффективности предлагаемой конструкции ШЭ разной высоты, в сравнении со стандартным ШЭ-стенкой при моделировании в программном комплексе I-Simpa на частоте 1кГц представлены на рисунке 2.

Анализ полученных значений эффективности ШЭ полученный в результате моделирования в программном комплексе I-Simpa позволяет сделать следующие выводы:

Отличия эффективности для точки, находящейся на расстоянии 4,35м и точки на расстоянии 8,12м составляет:

- для экрана-стенки 2-3дБ;
- для новой концептуальной конструкции 3-4дБ;

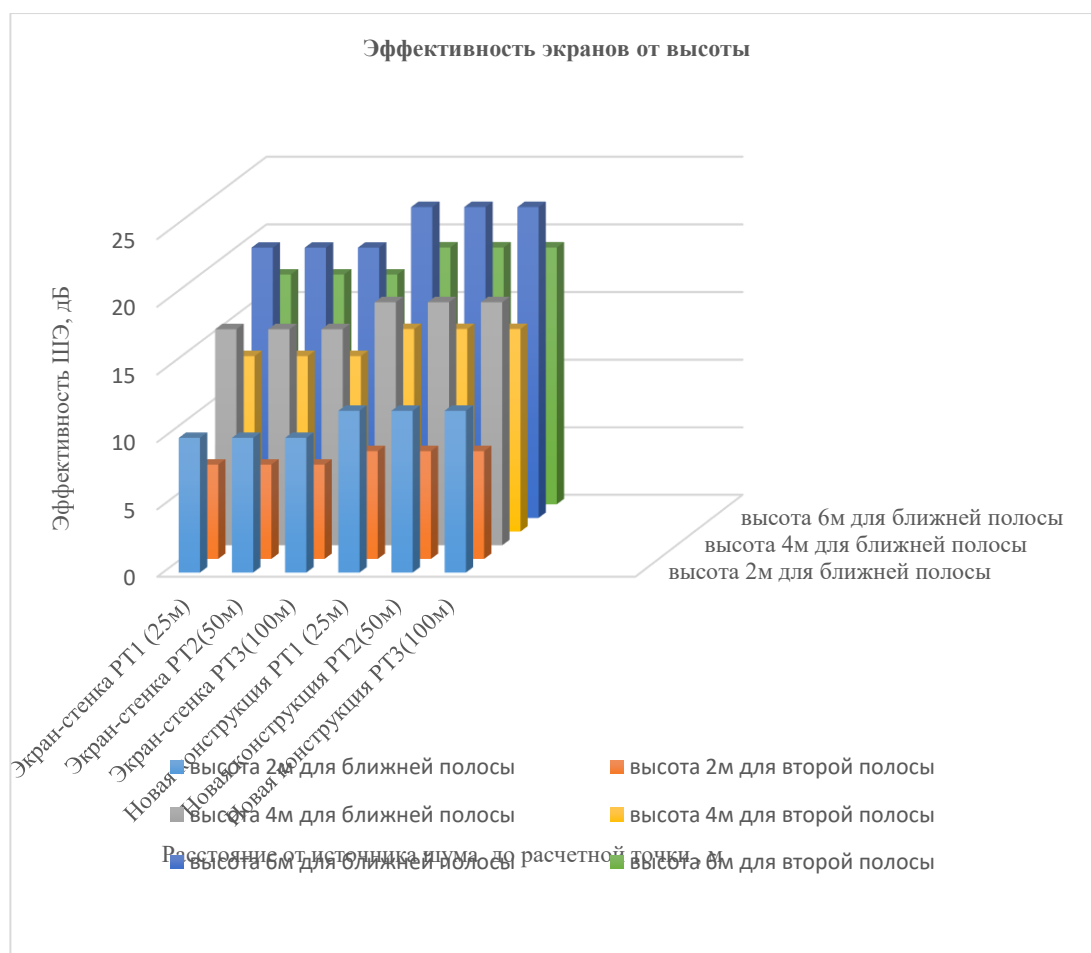


Рис. 2 График эффективности конструкций ШЭ в зависимости от высоты

Представленный график показывает, что при увеличении высоты экрана увеличивается его эффективность, но при увеличении расстояния от ШЭ до расчетной точки, вне зависимости от высоты экрана, эффективность снижается, что не соответствует действительности. Это происходит из-за того, что программный комплекс не может учесть того, что с увеличением расстояния от шумозащитного экрана до расчетной точки увеличивается и дифракция звука. Подтверждение этого заложено в материалах работы согласно [2], где приводятся результаты практических испытаний шумозащитного экраностенки, проводившихся на базе БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Проанализировав данные моделирования в I-Simpa и данные полученные натурными испытаниями, представленными в [2], можно сделать вывод, что методика расчета, заложенная в программный комплекс, значительно отличается от значений эффективности полученных в результате натурных измерений. Это еще раз доказывает то, что программные комплексы несовершенны и не могут отразить приближенные результаты, полученные натурными замерами. Для получения значений, приближенных к фактическим, требуется вводить поправки и соответствующие коэффициенты в программные продукты.

Литература

1. СП 276.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков.
2. Безверхая Е.А. Анализ методик расчета эффективности шумозащитных экранов. «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», СПб, БГТУ, 2017 г.

АНАЛИЗ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ХИМИЧЕСКОЙ ВОДООЧИСТКИ НА ТЭЦ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.В. Корончик, Е.М. Корончик, С.Е. Кравченко
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, alexkoron@yandex.by

Одно из главных направлений современного развития строительной промышленности является изучение вторичных материалов образующихся на предприятиях государства целях использования их при производстве новых материалов для строительства. Рассмотрены условия образования и накопления шламов, образующихся при умягчении воды на теплоэлектростанциях в качестве тонкодисперсной добавки для цементобетонных смесей дорожного строительства. Изучены вопросы улучшения экологической обстановки территории Республики Беларусь за счет утилизации и применения шлама повсеместно на цементобетонных заводах.

Ключевые слова: шлам, цементобетон, цементобетонная смесь, добавка, тонкодисперсная добавка, автомобильная дорога.

Ежегодно на территории Республики Беларусь образуются отходы в результате процесса водоподготовки в системе химводоочистки на теплоэлектроцентралях (побочный продукт, далее — шлам). На теплоэлектроцентралях Республики Беларусь в шламонакопителях по данным статистической отчетности в 2020 году образовалось 203540 тонн осадков водоподготовки котельно-теплого хозяйства. [1] При этом практически все отходы были размещены на объектах хранения и лишь 5% было отправлено на объекты для последующего захоронения. Шлам получается химическим осаждением (коагуляция, известкование и магниезальное обескремнивание) при использовании коагулянтов, вводящихся в воду, а после, уносится системой продувки бункера накопителя в шламонакопители (далее — карты) в виде суспензии. [2]

Возвращение в цикл производства продукции отходов производства и их потребление в качестве вторичного сырья обеспечивает эффективное решение задач ресурсосбережения и охраны окружающей среды. Обращая внимание на то, что уровень использования отходов производства в нашей стране постоянно увеличивается и составляет на данный момент более 70%, некоторые из них до сегодняшнего дня традиционно размещаются на полигонах. К этим отходам относятся и отходы водоподготовки. Анализ литературы [3-6] указал на то, что разработаны некоторые технологии переработки такого рода материалов, однако в Республике Беларусь практически в полном объеме данные отходы складываются на промышленных площадках и по мере накопления вывозятся на объекты захоронения.

В городе Минске по итогам I квартала 2020-го в Минске накопились 36 100 т опасных отходов производства 1–3-го класса опасности. При этом прогнозировалось, что за весь год их соберется 44 990 т. Увеличение связано с ежегодным образованием и накоплением на площадках предприятия «Минскэнерго» (ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4) осадков водоподготовки, шлама ванадийсодержащего, извести-недопала. Они формируют около 97 % от общего количества направляемых на хранение опасных отходов в столице. Стоит отметить, что интересующий отход - шлам водоочистки не является опасным при условии его отдельного сбора от действительно опасных отходов, образующихся в котлах, содержащих ванадий и извести-недопал. Следует также обратить внимание и на существующий классификатор отходов, который позволяет вывозить на полигоны в целях захоронения образующиеся на предприятиях отходы различных классов опасности под одним общим кодом.

Применение отходов производства позволит уменьшить налоговую и пошлинную нагрузку, избавит от затрат на строительство новых карт, а также позволит экономить на природных сырьевых ресурсах путем возвращения воды обратно в цикл работы теплоэлектростанций. Шламы водоподготовки в основном накапливаются на территории предприятий или вывозятся на площадки хранения в целях своевременного освобождения карт. При этом практически все отходы были размещены на объектах хранения и лишь 5% было отправлено на объекты для последующего захоронения. Представлен пример работы трёх карт:

- Карта №1 - рабочая карта, находящаяся в режиме накопления, в которую поступает продувочная вода (рисунок 1).



Рис. 1. Рабочая карта накопления продувочной воды

- Карта №2 - карта, заполненная шламом химводоочистки которая находится в стадии естественного процесса обезвоживания и осушения (рисунок 2).



Рис. 2. Закрытая карта в процессе естественного осушения

- Карта №3 - осушенная карта, находящаяся в стадии разработки и удаления отходов (рисунок 3), и она же освобожденная карта от шлама, и готовая приступить к работе по накоплению продувочной воды.



Рис. 3. Карта, находящаяся в процессе разработки

Принимая во внимание, что на территории Республики Беларусь находится на хранении значительное количество шлама, а также, что данный продукт является побочным для основной деятельности предприятий и не влияет на основные процессы производства, рассматривается перспективная возможность применения в различных областях промышленности государства, в частности – при проектировании и производстве цементобетонных смесей для дорожного строительства. Использование тонкодисперсной добавки в дорожных бетонах позволит достичь экономии цемента и улучшения физико-механических свойств бетона.

Несмотря на существующие технологии переработки осадков водоподготовки, отработанных ионообменных материалов, осадков станций обезжелезивания, данные отходы в настоящее время не перерабатываются, а основное влияние на экологию нашей страны оказывает отчуждение огромных площадей под шламонакопители, которые при заполнении необходимо очищать, вывозить отходы и платить утилизационный сбор при захоронении на полигонах промышленных и твердых коммунальных отходов.

Устройство дорожных покрытий из местных материалов и отходов промышленности является актуальной экологической и инженерной задачей.

Литература

1. Корончик, А.В. 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 Е.М. // Автомобильные дороги и мосты. – Минск : – 2022. – №1 (29) – С. 71-81.
2. Корончик А.В. Применение тонкодисперсных отходов теплостанций в асфальтобетонной смеси / А.В. Корончик, Д.В. Глинский // Новые горизонты - 2021 : сборник материалов VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 11-12 ноября 2021 года / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2021. – Т. 1. – С. 125-126.
3. Харько, Д. А. Анализ направлений использования отходов водоподготовки / Д. А. Харько, А. И. Радюк, К. С. Бобрович ; науч. рук. В. И. Романовский // Актуальные проблемы экономики строительства : материалы Республиканской научно-практической конференции (Минск, 02–05 декабря 2014 г.) / Белорусский национальный технический университет, Строительный факультет ; редкол.: Голубова О. С., Корбан Л. К., Сосновская У. В. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 112-115.
4. Болотова, П. А. Рациональные способы водоподготовки и утилизации шламов ВПУ / П. А. Болотова, В. Ю. Качина // Новые материалы и технологии их обработки : сборник

научных работ XVIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 19—20 апреля 2017 года / Белорусский национальный технический университет. — Минск : БНТУ, 2017. — С. 217-218.

5. Авксентьев, В.И Шлам химической водоочистки-эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетона / Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Хозин В.Г. // Известия КазГАСУ. 2014. №4 (30).

6. Бородай, Е.Н. Новые возможности утилизации шламов химической водоподготовки на ТЭС / Е.Н. Бородай, Л.А. Николаева, А.Г. Лаптев // Вода: химия и экология. 2009. - №3. - С. 2-5.

УДК624.25

УКРЕПЛЕНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗВЕЩЬЮ В КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Савуха А.В.

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, sav88@bntu.by

Рассматривается допустимость применения местных материалов, при устройстве различных слоев дорожной одежды, укрепленных известью. Известь улучшает способность материала к укладке и уплотнению. Совместное применение извести с гранулометрическими компонентами, шлаками, активирующими добавками может повысить прочность конструктивного слоя дорожной одежды.

Главным критерием возможности применения местного материала, укрепленного известью в определенном конструктивном слое является равнопрочность рассматриваемых конструкций дорожных одежд, возводимых из местных и привозных материалов.

Экономическая целесообразность использования местного материала может быть определена сравнением стоимости единицы площади основания.

Расчетные прочностные характеристики конструкции дорожной одежды зависят не только от свойств материала, но и от условий увлажнения, и дренирования, режима промерзания и оттаивания.

Ключевые слова: местные материалы, укрепление грунта, дорожная одежда.

Научными исследованиями подтверждается возможность использования местных дорожно-строительных материалов при строительстве качественных и долговечных дорожных покрытий на автомобильных дорогах местного значения.

Хорошим решением для повышения несущей способности и улучшения качества местного строительного материала, а также для его подготовки к дорожно-строительным работам является его укрепление известью.

Широко известно применение извести для укрепления грунтов. Однако исследований и испытаний различных местных материалов, включающих отходы промышленности и другие материалы не относящиеся к грунтовым, в сочетании с известью, не проводилось.

Известь улучшает способность материала к укладке и уплотнению. Совместное применение извести с гранулометрическими компонентами, шлаками, активирующими добавками может повысить прочность конструктивного слоя дорожной одежды.

Целенаправленное нанесение или введение вяжущего в материал способствует снижению влажности, что является важной предпосылкой для его дальнейшей обработки. Таким образом происходит стабилизация строительного материала.

Допустимостью применения местного материала укрепленного известью в соответствующем конструктивном слое является равнопрочность рассматриваемых

конструктивных слоев, устраиваемых из местных и привозных материалов. Равнопрочными являются те конструктивные слои дорожной одежды или многослойные системы, которые обладают приблизительно одинаковой жесткостью и распределяющей способностью при воздействии одинаковых нагрузок.

При этом при применении местного материала укрепленного известью необходимо учитывать целесообразность его применения по критериям прочности и стоимости. Сравнение можно провести по выражению:

$$\frac{C_m}{C_n} \leq 2,5 \sqrt{\frac{E_m}{E_n}}$$

где $\frac{E_m}{E_n}$ и $\frac{C_m}{C_n}$ - эквивалентный модуль деформации конструкции с местным материалом, укрепленным известью и привозным материалом, и их стоимости.

Свойства местных материалов, укрепленных известью и в сочетании с различными добавками необходимо дополнительно изучить экспериментальным путем. Расчетный модуль деформации необходимо определять на уже существующих или опытных участках дорог, построенных из этих материалов.

Применение извести для укрепления местных материалов в совместно с другими добавками при строительстве автомобильных дорог позволяет снизить стоимость строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог, а также повысить их качество.

Основной задачей дальнейших исследований является подбор сочетания извести и ее количества при введении в местный материал, а также изменение свойств материала при комбинированном укреплении с гранулометрическими добавками. При этом для введения и перемешивания добавок между собой и местным материалом можно использовать уже существующие методы.

УДК 624.138

СТАБИЛИЗАТОР ГРУНТА

Р.М. Худайкулов, Б.Д.Салимова, Д.Э. Аралов
Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, dilshod.aralov.96@mail.ru

Под воздействием, движущихся по автомобильным дорогам, большегрузных автомобилей возникают различные деформации дорожного покрытия. В результате дороги ремонтируются раньше положенного срока эксплуатации. Для повышения устойчивости дороги производят стабилизирующих работ с использованием поверхностно-активных веществ (анионные и катионные жидкости), цемента, извести, битумной эмульсии и др. В статье приведены общие сведения о стабилизации грунта.

Ключевые слова: грунт, стабилизатор, автомобильная дорога, физическая, механическая, химическая.

Стабилизация грунта общий термин, обозначающий любой физический, химический, механический, биологический или комбинированный метод изменения естественного грунта для достижения технических целей [1]. В дорожном строительстве: стабилизатор грунта — вещество, добавляемое в компоненты основания дорожной одежды для улучшения их физико-механических характеристик [2].

По материалам интернета [3] для ответа на вопрос, когда появилась стабилизация грунта, то это было сделано тысячи лет назад. В прошлом перемещение народных товаров по дорогам между селами и городами вызывало определенные трудности. Жители Месопотамии и римляне по отдельности рассмотрели, что можно улучшить пути для движения транспорта, смешав слабые грунты со стабилизирующим агентом, таким как измельченный известняк или кальций. Это была первая химическая стабилизация слабых грунтов для улучшения их несущей способности.

Начало современной (химической) стабилизации грунта было положено в США в 1920-х годах [4].

В настоящее время широко применяются следующие виды стабилизации грунта [5]:

1. *Механическая стабилизация* – ее целью является получение плотного, качественного материала путем смешивания и уплотнения двух или более грунтов и/или заполнителей.

2. *Химическая стабилизация* - относится к изменению свойств почвы путем изменения ее химического состава с помощью различных добавок, таких как известь, цемент, летучая зола, или путем добавления химических веществ, таких как полимеры, смолы и ферменты.

3. *Биологическая стабилизация* – относится к посадке растительного покрова для предотвращения ветровой, водной и почвенной эрозии. Корни удерживают и объединяют частицы почвы вместе, хотя вначале следует использовать другие методы стабилизации, чтобы поддержать рост семян и саженцев.

Стабилизация бывает двух разных классификаций (рис. 1): жидкий концентрат и порошковая смесь [6-8]. Широко применяются применение поверхностно-активные вещества, состоящие из жидкого концентрата и проводятся исследовательские работы.

Основной целью стабилизации грунтов в дорожном строительстве является улучшение свойств грунта и расчетных показателей. За счет этого можно повысить долговечность автомобильных дорог, предотвратить различные деформации, продлить срок службы дороги, добиться экономической эффективности.

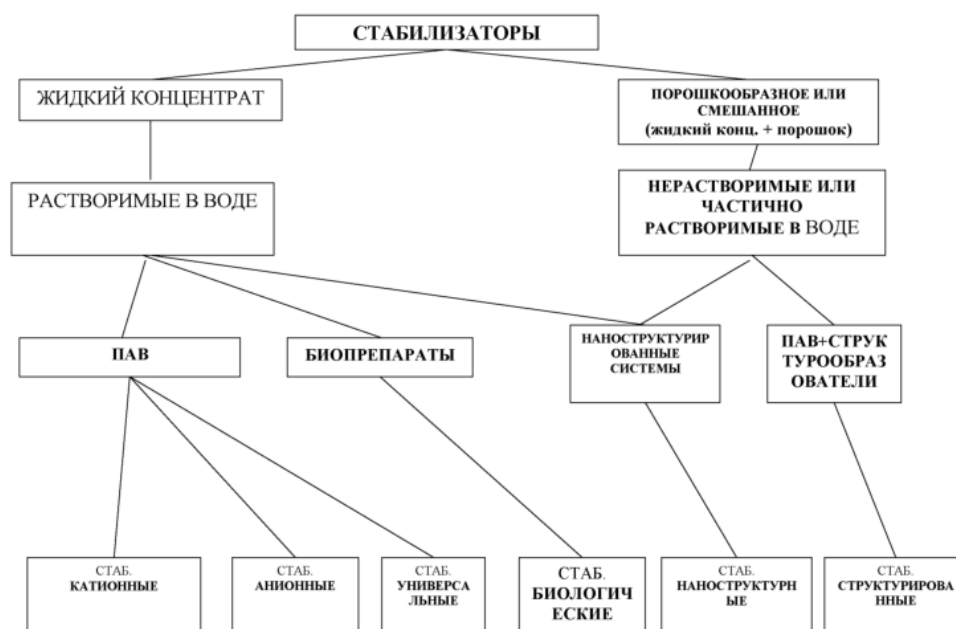


Рис. 1. Общая классификация стабилизаторов

Литература

1. Soil stabilization. https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_stabilization [электрон ресурс].
2. Стабилизатор. <https://ru.wikipedia.org/wiki/стабилизатор> [электрон ресурс].
3. The History of Soil Stabilisation <https://medium.com/@clippingpathagecny/the-history-of-soil-stabilisation-af85cb0ed999> [электрон ресурс].

4. The History of Modern Soil Stabilization <https://roadpackersolutions.com/the-history-of-modern-soil-stabilization/>
5. What is Soil Stabilization? <https://globalroadtechnology.com/what-is-soil-stabilization/> [электрон ресурс].
6. ОДМ 218.3.076-2016 Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства. Москва-2017.
7. Поверхностно-активные вещества. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/15429> [электрон ресурс].
8. ГОСТ 29213-91 Вещества поверхностно-активные..

УДК 625.096 (083.75)

ОЗЕЛЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ПУСТЫННЫХ РЕГИОНАХ

Д.А. Махмудова, И.З. Ибрагимова
Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, dilfuz240570@mail.ru

В данной статье описаны существующие методы озеленения автомобильных дорог. В соответствии с существующими садово-парковыми стилями и местными условиями декоративное озеленение автомобильных дорог выполняется регулярным, ландшафтным или свободным, смешанным.

В целях для укрепления песков в пустынной зоне необходимо благоустроить окрестные территории, также важны современные архитектурные сооружения для укрепления пустынных регионов. В статье также отражены проблемы связанные с озеленением автомобильных дорог в пустынных местах.

Ключевые слова: озеленение, автомобильная дорога, пустыня, деревья, декоративные саженцы, аллея, ландшафт, песчаные заносы

Насаждения вдоль автомобильных дорог создают для защиты дорожного полотна от снежных заносов (снегозащитное озеленение) и для архитектурно-художественного оформления (декоративное озеленение). Насаждения применяют также для защиты дорог от размывов (противоэрозионное озеленение), от песчаных заносов (пескозащитное озеленение), сильных ветров и пыльных бурь. Озеленение дорог включает в себя также устройство специальных шумозащитных насаждений и мероприятия по организации питомников, уходу за насаждениями, их учету и охране [1,2].

Декоративное озеленение. В соответствии с существующими садово-парковыми стилями и местными условиями декоративное озеленение автомобильных дорог выполняется следующими приемами:

- регулярным - линейные (аллейные или рядовые) посадки деревьев и кустарников, а также живые изгороди;
- ландшафтным или свободным - групповые посадки деревьев и кустарников в увязке с прилегающим к дороге ландшафтом;
- смешанным - сочетание регулярных и свободных посадок, а также комплексные посадки у перекрестков, автобусных остановок, путепроводов, входов в лес и т.п.

Противоэрозионное озеленение. Противоэрозионное озеленение проводят с целью защиты дорог от разрушительного действия растущих оврагов, размыва непосредственно водными потоками, размыва и разрушения селевыми потоками, а также с целью борьбы с оползнями.

Пескозащитное озеленение. Пескозащитное озеленение производится с целью защиты автомобильных дорог от песчаных заносов путем создания насаждений, закрепления прилегающих к дороге песков посевом трав и установления специального режима использования данной территории. Пескозащитные насаждения создают в каждом случае по специально разработанному проекту.

Озеленение автомобильных дорог в пустынных регионах. Озеленение пустынных территорий - это процесс искусственного восстановления пустынь по экологическим соображениям (биоразнообразия), сельского и лесного хозяйства, а также естественных водных систем и жизнеобеспечения мелиорации других поддерживающих экологических систем. Термин облесение пустынных территорий предназначен для обозначения холодных и жарких засушливых и полусухих пустынь [3].

Огромная территория Республики Узбекистан является пустыней. На сегодняшний день озеленение автомобильных дорог в пустынных районах является главной задачей дорожников Республики. В связи с повышением средней температуры воздуха в пустыне, учитывая специфические особенности пустынного региона от загрязнения транспортных средств важно обеспечить защиту. В целях для укрепления песков в пустыне необходимо благоустроить окрестные территории, также важны современные архитектурные сооружения для укрепления пустынных регионов. Проблемы, связанные с озеленением автомобильных дорог в пустынных регионах, до сегодняшнего дня полностью не решены.

Авторами было исследовано состояние озеленения автомобильной дороги А-380 «Гузар-Бухара-Нукус-Бейнеу» (766-768 км) в Республики Каракалпакстан (рис.1). На момент контроля содержания серы декоративно-кустарниковых саженцев, высаженных на автомобильных дорогах общего пользования А-380 «Гузар-Бухара-Нукус-Бейнеу» 766-768 км, несмотря от своевременных подкормок и ухода за деревьями, было установлено, что декоративные саженцы погибли в результате повреждения корневой системы из-за недостатка воды, из-за жаркой и сухой погоды и повышенной засоленности почвы (табл.1).



Рис 1. Озеленение вдоль автомобильной дороги А-380 «Гузар-Бухара -Нукус-Бейнеу» (766-768 км)

Некоторые эксперты надеются помочь в борьбе с изменением климата и защитить регионы от его последствий (например, засухи), превратив пустыни в леса. Ландшафтный дизайн в пустынных районах, а также вокруг автомагистралей в пустынных районах должен

начинаться с небольшого количества семян и большого количества воды. Вода является наиболее важным аспектом озеленения пустынных территорий, но, особенно в пустынных регионах, вода не является наиболее доступным ресурсом. Обычно используют комбинацию методов, таких как орошение, грунтовые воды, вода, поглощаемая песком, дождевая вода и воздушная вода [4]. Практическое исследование научной работы заключается в том, что определены виды деревьев, высаживаемых при озеленении автомобильных дорог в пустынных регионах и их озелененность, количество высохших деревьев в процентах.

Таблица 1

№	Виды деревьев	Количество посаженных деревьев	Количество зелёных деревьев	Количество высохших деревьев
1	Можжевельник	269	249	20
2	Тутовник	1148	1035	113
3	Клён	357	334	23

Литература

1. МКН 33-07. Указания по озеленению и благоустройству автомобильных дорог. ГАК “Узавтойул” АДНИИ, Ташкент, 2007 г., 135 с.
2. «Требования к озеленению автомобильных дорог» (www.znaytovar.ru)
3. «Озеленение загородных магистралей» (www.ozelenitel-story.ru)
4. «Озеленение дороги и её оформление. Проектирование мероприятий по озеленению дороги» (www.studme.org)

УДК 625.745

ОПЫТ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН ПО ОТВЕДЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Б.Д. Салимова, М.Р. Мухаммаджонов, Ж.Г.Рахмонов
Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, barno.salimova@inbox.ru

В статье рассматривается тенденция изменения климатических условий в предгорных районах Узбекистана, в связи с чем подчеркивается актуальность проблемы совершенствования системы водоотведения ливневых вод от автомобильных дорог. Рассмотрен зарубежный опыт организации системы водоотведения и первичной очистки поверхностных сточных вод от городских автомобильных дорог и транспортных магистралей. Анализ решений демонстрирует явную тенденцию к росту природосберегающих биоинженерных технологий, которые точно и индивидуально решают задачу водоотведения, предварительной очистки и испарения излишков поверхностных сточных вод на конкретном участке дороги. Изученные методы позволяют решать задачи водоотведения в крупных городах экономично и экологично, что в условиях уже сложившейся городской инфраструктуры особенно актуально.

Ключевые слова: климатические условия, поверхностные сточные воды, биотехнологии, автомобильные дороги, водосток, водоприемник, водоочистка.

В мире в последние годы значительно увеличилось количество экстремальных погодных явлений, в том числе выпадения нетипично большого количества осадков: дождей, снега. Узбекистан в этой статистике не стал исключением. Согласно данным Центра Гидрометеорологической службы Республики Узбекистан (Узгидромет) в

предгорных районах Узбекистана, а также на склонах гор, открытых для влажных воздушных потоков, годовой показатель осадков поднимается до 600-800 мм и более [1].

В предгорных районах с областными центрами в Термезе, Самарканде Джизаке, Сырдарье, Ташкенте, Намангане, а также в Ургенче, который, хоть и находится в равнинной части Республики, однако явно подвержен климатическим аномалиям (рис1.). Анализ статистических данных по суммам годовых осадков в областных центрах Узбекистана и Каракалпакстана показывает, что за последние два десятилетия климатическая норма осадков часто превышает тот показатель климатической нормы, который был принят в 1961-1990 гг. Особенно тенденция к увеличению климатической нормы осадков заметна в горных и

Не только климатические изменения, но и характерные условия большинства современных крупных городов приводят к их затоплению во время сильных дождей. Значительная часть современных городских пространств покрыта искусственными материалами из асфальта, бетонных плит, керамической плитки, синтетических и прочих геоматериалов, препятствующих впитыванию воды в грунт. В следствии этого значительно увеличивается объем водяных масс, стекающих через арыки и лотки в дождевые коллекторы. Во время интенсивных дождевых ливней переполненные коллекторы и канализационные системы не справляются с задачей эффективного, быстрого водоотведения [2].

Как результат – проливные дожди в городской среде способствуют подтоплению зданий, затоплению улиц и автомобильных дорог. Сточные воды, образующиеся вследствие затяжных ливней или таяния снега, становятся причиной затопления автомобильных дорог, затрудняют функционирование системы жизнеобеспечения города, нарушают комфортное проживание населения, ограничивают движение городского транспорта и пешеходов, становятся причиной многочисленных автомобильных пробок, разрушают дорожную инфраструктуру. Покрытые водой дорожные одежды испытывают значительные динамические нагрузки под воздействием движущегося транспорта, что пагубно влияет на их состояние и срок службы, эксплуатация подтопленных автодорог часто невозможна или небезопасна в следствии эффекта аквапланирования колес транспортного средства. Наводнения в результате сильных ливней переполняют городские канализационные стоки, что становится угрозой для окружающей среды и нарушает экологическое равновесие городской среды [3].

Исследованию систем и методов водоотведения с автомобильных дорог посвящено много научных работ. Существенный вклад в решение проблем связанных с затоплением автодорог и защитой дорожной сети от деструктивного воздействия осадков сделан Л. Хьюзом, В. Dumbleton, Н.А. Труновым, Б.Ф. Перевозниковым, С.В. Яковлевым, В.Н. Луканиным, И.В. Чистяковым, Ю.М. Ласковым, В.П. Артюховым, В.П. Подольским, Р.С. Clark и многими другими авторами. Чаще всего результаты исследований сводились к построению централизованных систем дренажного и канализационного водоотведения [4]. Общепринятая схема отведения ливневых вод с городских улиц включает в себя сбор осадков направленным самотеком в придорожные лотки и последующий их отвод с помощью инженерных конструкций открытого или закрытого типа (наземных лотков или подземного водоотвода). Однако, такой подход сложно применим в условиях уже сложившейся городской застройки, инфраструктуры, поэтому его применяют при проектировании новых городов и в ходе присоединения прилегающих районов к городской агломерации. Устройство дождевой канализации, выполненной с расчетом значительно выросших объемов воды путем увеличения пропускной способности коллекторов возможно только при новом строительстве или серьезной, дорогостоящей реконструкции.

Кроме дороговизны и сложности реализации для уже существующего города есть еще один недостаток традиционной системы дренажного и канализационного водоотведения – необходимость строительства водоочистных сооружений. Хотя дождевая и талая вода требует минимальных усилий по своей очистке, попадая в общую канализационную сеть,

она проходит все стадии механической, биологической и химической обработки, что во многом излишне и экономически нецелесообразно.

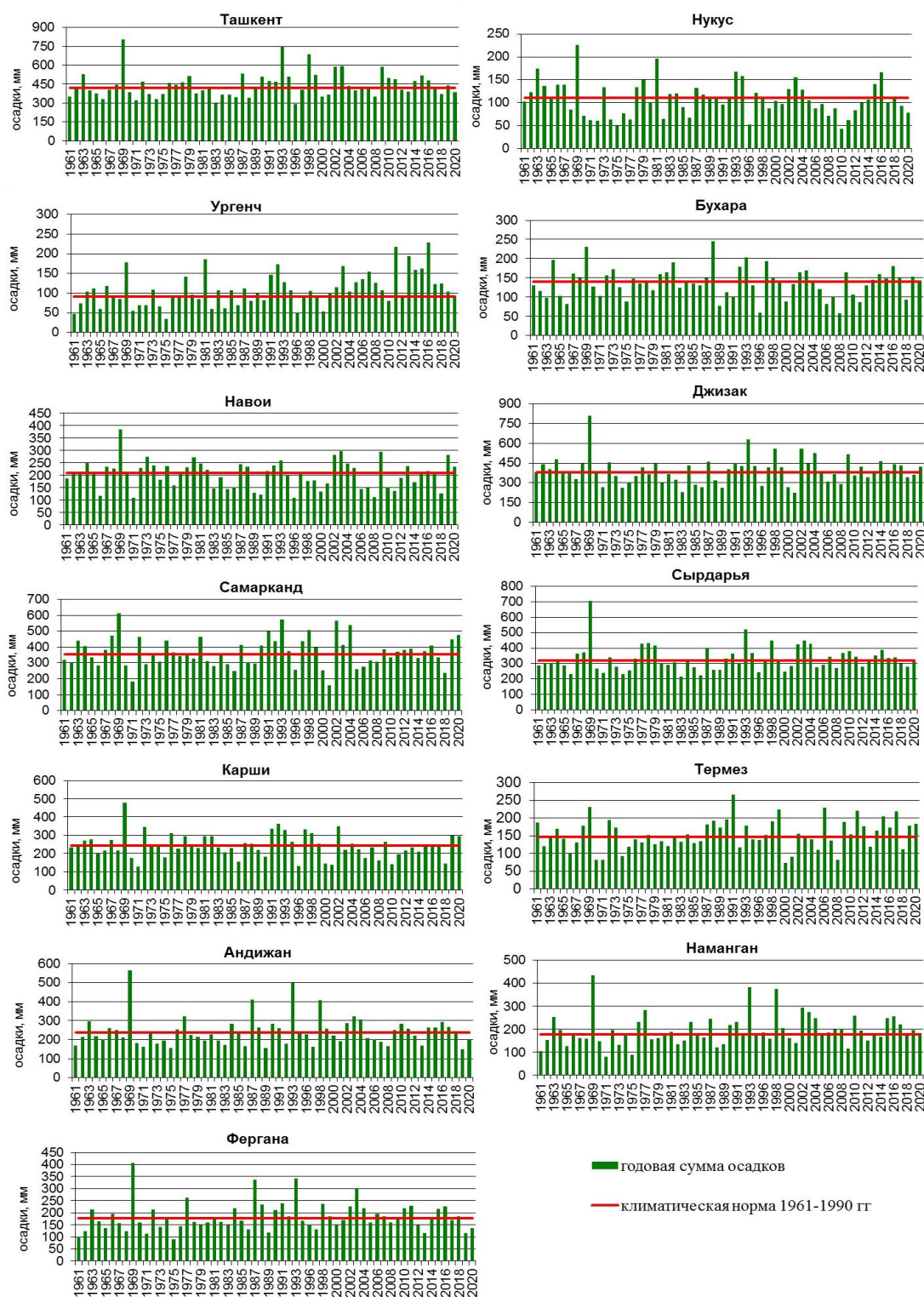


Рис. 1 Изменения годовых сумм осадков с 1961 по 2020 гг в областных центрах Узбекистана и Каракалпакстана

Указанная проблема несоответствия пропускной мощности систем водоотвода в условиях урбанизации городов, а также проблема избыточной очистки дождевой воды существует во многих странах мира. Это актуальная задача, требующая поиска кардинально новых подходов к решению проблем затопления городских улиц и дорожно-транспортной сети.

В качестве примера можно привести Нидерланды, Австралию, Францию, Великобританию, США, Канаду и Японию, где для снижения нагрузки на сеть водоотведения активно внедряются инновационные биотехнологии, так называемая «зеленая» инфраструктура. В городской среде изыскиваются возможности для организации грунтовых, покрытых растительностью поверхностей, которые не только поглощают излишнюю воду, собираемую с определенного участка, но и производят его механическую и частично биологическую очистку [5]. Создание «зеленых» систем водоотвода является не только эффективной альтернативой инженерным конструкциям водоотведения от городской дорожной инфраструктуры, но и способствует восстановлению экологического баланса крупных городов.

В Нью-Йорке, Лондоне, Роттердаме, Чикаго и других крупных городах приняты и реализуются стандарты по созданию городской инфраструктуры, включающей совокупность всех возможных современных технологий водоотведения, объединённых в «Зеленую сеть» города [6]. Для локального водоотведения с городских тротуаров и проезжих частей города определенных объемов дождевого стока применяют следующие меры:

Замена асфальта и бетона покрывающих пешеходные дорожки на альтернативные материалы с гигроскопичными свойствами;

Проектирование специализированных кюветов и лотков на крупных автодорогах;

Обустройство садов на крышах зданий, применение емкостных конструкций для сбора сточных вод с кровли масштабных зданий;

Строительство локальных биодренажных систем, основанных на направленном стоке дождевых вод в биодренажные сливы, где собранная вода абсорбируется через систему инфильтрации в почвогрунтовых слоях биодренажа и затем уходит в землю [7].

В Берлине активно внедряется программа экономичного подхода к дождевой воде, также базирующаяся на биотехнологиях. Помимо устройства в городе дождевых садов, немецкие архитекторы внедряют так называемые мультифункциональные общественные места: игровые, спортивные площадки или газоны с целью их использования во время ливней во временные накопители «лужи». Собранная на таких площадках вода испаряется на месте или используется в технологических целях. Окончательная цель города – добиться отключения канализационных водоотводящих систем путем замены их на инновационные внедрения [8].

В настоящее время в Нидерландах одной из инноваций в дорожном строительстве стало возведение в стране дорог с применением материалов на основе переработанного пластика. Конструктивно модель пластиковой дороги состоит из сборных, легко транспортируемых блоков. Для сбора и отведения с её поверхности осадков внутри блоков предусмотрены полые секции, из которых вода постепенно просачивается в почву. Экспериментальное апробирование в Нидерландах такой технологии было проведено на велосипедных дорожках, которые показали прочность и износостойкость, выдержав значительные нагрузки от движения по ним мусоровозов и уборочной техники. Также дорожки показали высокую эффективность водоотведения поверхностных стоков. За весь испытательный период вдоль велосипедных дорожек максимальный уровень воды в накопительных секциях фиксировался в количестве не более 48% от допустимого объема. Сегодня в Нидерландах ведется активная работа по созданию автомобильных дорог из переработанного пластика [9].

Таким образом, анализ опыта зарубежных стран дает нам понимание, что сегодня проблемы водоотведения поверхностных стоков от автомобильных дорог должны и могут решаться не только с точки зрения экономичности, функциональности и комфорта горожан, но и с позиции эстетики, а самое важное - сохранности природной экосистемы.

Литература

1. Климат Узбекистана. — Текст: электронный // Официальный сайт Центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан: [сайт]. — URL: <https://hydromet.uz/ru/node/41> (дата обращения: 06.09.2022).
2. Стрелков А. К., Гриднева М. А., Набок Т. Ю., Дрёмина Э. В., Кондрина Е. Е. Влияние урбанизации города на системы водоотведения и очистки поверхностного стока (на примере Самары) // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. — 2014. — № 4 (17). — С. 55-62
3. Мягков С. В. Влияние городского ландшафта на опасность наводнений от ливневых осадков / С. В. Мягков, И. В. Дергачева, С. С. Мягков. // Центральноазиатский журнал географических исследований. — 2021. — № 3-4. — С. 105-112.
4. Салимова Б. Д. О совершенствовании системы сбора и отвода ливневых стоков с автомобильных дорог в Ташкенте / Б. Д. Салимова, Б. Р. Махкамов. // Universum: технические науки. — 2020. — № 1(70). — С. 55-57.
5. Логинова О. А., Азаревич Э. Н. Улучшение организации водоотвода на улично-дорожной сети Казани // Известия КазГАСУ. — 2020. №4 (54). С. 112-121
6. Евстигнеева Ю. В., Трофименко Ю. В., Евстигнеева Н. А. К вопросу применения дождевых садов на автомагистралях //Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №. 62-3. – С. 48-52.
7. Духопельникова Н. Поверхностные сточные воды, система отведения и их очистка в крупных городах //AlfaBuild. – 2018. – №. 1. – С. 7-14.
8. Уваров Д. Ю. Дождевая вода как перспективный ресурс общественных пространств //IV Международный студенческий строительный форум-2019. – 2019. – С. 203-207.
9. Шахматова Ю. Е. Экологичные дороги-дороги в будущее //Молодой исследователь: от идеи к проекту. – 2017. – С. 390-393.

УДК 625.7/.8

АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТОГО СЕРОАСФАЛЬТБЕТОНА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

И.С. Содиков, С.М. Тилаков, Э.С. Соттикулов, А.Т. Маматмунинов
Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, tftutfsuxrob0089@mail.ru

В статье проанализировано мировое применение литого асфальтобетона, его преимущества, прочностные, физико-механические свойства согласно требованиям нормативного документа, проведены научные исследования физико-механических свойств серобитума, полученного по новой технологии модификацией серой. Приведена технология применения полученных результатов на автомобильных дорогах Республики Узбекистан.

Ключевые слова: Сероасфальтобетон литой, сероасфальтобетон, асфальтобетон, битум, сера, модификатор, модификация, серобитум, температура, песок, щебень, минеральный порошок.

Дороги являются важным достоянием страны и являются одним из основных факторов роста экономики. Для повышения эффективности автотранспорта, скорости доставки грузов и перевозки пассажиров, безопасности и комфортности движения, а также снижения себестоимости грузоперевозок, в первую очередь, необходимо повысить транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог, ремонт и необходимо радикальное улучшение содержания дорог. Для этого необходимо совершенствовать

технологии ремонта и содержания автомобильных дорог и использовать в этой области передовые зарубежные технологии. Сегодня совершенствование системы транспортных инфраструктур в нашей республике, в частности улучшение качества автомобильных дорог, строительство новых магистралей и реконструкция существующих являются актуальными задачами. Дороги являются важным достоянием страны и одним из основных факторов роста экономики. Для повышения эффективности работы автотранспорта, быстрой и качественной доставки грузов и скорости пассажирских перевозок, безопасности и комфорта движения, а также снижения себестоимости грузоперевозок, в первую очередь, необходимо увеличить эксплуатационные показатели автомобильных дорог, необходимо отремонтировать дороги и коренным образом улучшить консервационные работы [1]. В связи с этим совершенствование технологий ремонта и содержания автомобильных дорог и повышение качества автомобильных дорог с использованием передовых зарубежных технологий в данной области, а также применение технологии жаропрочного асфальтобетона на автомобильных дорогах нашей страны является одной из актуальных задач сегодняшнего дня.

Республика Узбекистан относится к странам с теплым климатом. Лето сухое и жаркое, средняя температура июля достигает в равнинной части +26 °С, +30 °С, на юге +31, +32 °С. Самая высокая температура достигает +44°С в Ташкенте и +50 °С в Термезе. Поверхность песка нагревается до +75 °С, +80 °С. Как видно из приведенных выше температурных показателей, устройство асфальтобетонных покрытий в климатических условиях нашей страны требует сложной новой технологии. Асфальтобетонные покрытия размягчаются под воздействием высокой температуры в летний зной, а при движении большегрузного транспорта образуются поперечные неровности. Одна из основных причин этого заключается в том, что битум, содержащийся в асфальтобетоне, не выдерживает высоких температур. По ГОСТ 22245-90 температура плавления битума БНД 60/90 составляет 47 °С, к сожалению, в летние месяцы в наших южных регионах температура асфальтобетонных покрытий достигает 60-70 °С. Поэтому срок эксплуатации наших дорог не достигает запланированного срока. Кроме того, в настоящее время на рынке нефти наблюдается дефицит битума и рост его цены. Анализ рынка битумов показывает, что основными требованиями рынка являются цена и качественные показатели. Одной из основных задач наших дорожников является повышение стойкости битума к высоким температурам с целью повышения термостойкости асфальтобетонного покрытия [2].

Идея использования серы в дорожном строительстве относится к началу XX века. В 1974 году была написана кандидатская диссертация Хафизуддина Ахмеда под названием «A laboratory study of the use of sulphur in sand-asphalt mixes for flexible pavements» в результате модификации серы в песчано-асфальтобетонной смеси, повышающей физико-механические свойства. свойства асфальтобетона, количество битума в смеси содержится 6 %, а количество серы в вяжущем - 13,5 %, а в результате повышения температуры при перемешивании смеси выделяется сероводородный газ [3].

Для приготовления товарной асфальтобетонной смеси битум необходимо предварительно модифицировать серой. Это очень сложный процесс. В патенте «RU 2 452 748 С1-Способ получения серобитума» В. Б. Иванова упоминается технология приготовления серобитума для производства наливной асфальтобетонной смеси. К сере добавляют 0,3-3,0% аминов и нагревают в течение 2-3 часов в специальной емкости для приготовления модифицированной серы при температуре 130-150 °С, а затем к нагретому битуму добавляют модифицированную серу в массовом соотношении 20-70:30-80⁴). Патент Ю. Е. Васильева "RU 2 554 585 С2 - Способ получения модифицированной серы" обеспечивает научное обоснование технологии изготовления серобетона и сероасфальтобетона модифицированием серы и применения ее в дорожном строительстве. В этом патенте к сере в реакторе добавляют соль аммония или калия, процентное содержание модификатора в сере 0,001-0,005 %, температура перемешивания 120-135 °С в течение 5-10 минут, а затем добавляется этилен и норборнен в количестве 0,08-0,1%. После

добавления компонентов и нагрева в течение 20-50 мин получили модифицированную серу [5].

В своей научно-исследовательской работе мы впервые модифицировали серу с помощью различных модификаторов. Модифицировав модифицированной серой битум, мы получили 20%, 30%, 40% серобитум и определили его физико-механические свойства. Результаты эксперимента приведены в таблицах ниже.

Таблица 1. Физико-механические показатели 80/20 серобитума (содержание 20% серы, по сравнению с модификатором М1-3% серы)

№	Наименование	Единицы показателей	Измерения значения показателей			
			По ГОСТу	Фактическая стоимость битума	По серобитуму	ГОСТ серобитума фактическая величина
1	2	3	4	5	6	7
1	Глубина погружения иглы, 25 °С (по ГОСТ 11501-78)	0,1 мм	60-90	86	58	60
2	Температура размягчения (по ГОСТ 11501-73)	°С	не менее 47	50	54	53
3	Растяжимость, не менее 25 °С (по ГОСТ 11505-75)	см	не менее 55	60	27	47

Таблица 2. Физико-механические показатели 70/30 серобитума (содержание 30% серы, по сравнению с модификатором М1-3% серы)

№	Наименование	Единицы показателей	Измерения значения показателей			
			По ГОСТу	Фактическая стоимость битума	По серобитуму	ГОСТ серобитума фактическая величина
1	2	3	4	5	6	7
1	Глубина погружения иглы, 25 °С (по ГОСТ 11501-78)	0,1 мм	60-90	86	59	60
2	Температура размягчения (по ГОСТ 11501-73)	°С	не менее 47	50	63	53
3	Растяжимость, не менее 25 °С (по ГОСТ 11505-75)	см	не менее 55	60	29	47

Свойства битума, содержащегося в литейном сероасфальтбетоне ГОСТ 22245-90 [6], зернистый состав смеси, физико-механические свойства покрытия ГОСТ 9128-2013 [7] соответствуют ТУ 5718-001-53737504-03 (технические условия), а также соответствуют требованиям таблицы 4.

Категорически запрещается укладка при температуре приготовления наливной сероасфальтбетонной смеси выше 160 °С, а при температуре укладки выше 155 °С. Зависимость укладки наливной сероасфальтбетонной смеси от температуры воздуха приведена в таблице 5 [8].

Таблица 3. Физико-механические показатели 60/40 серобитума (содержание 40% серы, по сравнению с модификатором М1-3% серы)

№	Наименование	Единицы показателей	Измерения значения показателей			
			По ГОСТу	Фактическая стоимость битума	По серобитуму	ГОСТ серобитума фактическая величина
1	2	3	4	5	6	7
1	Глубина погружения иглы, 25 °С (по ГОСТ 11501-78)	0,1 мм	60-90	86	52	60
2	Температура размягчения (по ГОСТ 11501-73)	°С	не менее 47	50	68	53
3	Растяжимость, не менее 25 °С (по ГОСТ 11505-75)	см	не менее 55	60	32	47

В заключение можно сказать, что при применении на наших дорогах, для жаркого климата Республики Узбекистан, технологию литого сероасфальтобетона, можно повысить стойкость покрытия к высоким температурам при достижении дополнительной экономии, а в результате этого срок службы автомобильных дорог увеличится.

Таблица 4

№	Показатели свойств	Нормы типа смеси		Методы испытаний
		I	II	
1	Процент пористости минералов, % в объеме, не более	22	22	ГОСТ 12801-98
2	Водопоглощение, % в объеме, не более	0,5	1,0	
3	Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа, не менее	1,0	0,7	
4	Вязкость смеси при 150 °С, не менее	30	40	ТУ 400-24-158-89
5	Глубина прессования при 40 °С, в пределах	мм 1-5	3-7	
6	Предел прочности при изгибе при 0 °С, МПа, не менее (опционально)	7,0	6,0	ТУ 400-24-107-91
7	Модуль упругости при 0 °С, МПа, не более (опционально)	8,5	7,5	

Таблица 5

Температура воздуха, °С	30	20	15	10
Температура заливной сероасфальтбетонной смеси, °С	140	145	150	155

Литература

1. А.Х.Уроков. "Технологии ремонта и технического обслуживания автомобильных дорог". (2019).
2. Садыков Ибрагим Салихович, Тилаков Сухроб Мухаммадиевич, М. А. Т. "Анализ зарубежного опыта применения литого сероасфальтбетона в условиях Узбекистана". Проблемы архитектуры и строительства 1, 35-37 (2022).
3. Н.Ахмад. "A laboratory Studio of the use of Sulfur in sand-asphalt mixes for flexible Pavement". 175 (1974).
4. Иванов Владимир Борисович, Валиев Тагир Шарифьянович, Козлов Валерий Семенович. "RU 2 452 748 K1 поможет получить серобитум". 1–11 (2012).
5. Василев Юрий Эммануилович, Мотин Николай Васильевич, Шубин Александр Николаевич. "RU 2 554 585 K2-возможность получения модифицированной серии". 1–7 (2015).
6. ГОСТ 22245-90. "Битумные нефтяники дорожают". 69–77 (1991).
7. ГОСТ 9128-2013. "Смеси асфальтобетонные, полимера асфальтобетонные, асфальтобетонные, полимера асфальтобетонные для автомобильных дорог и аэродромов". 1–54 (2019).
8. "ТУ 5718-001-53737504-03 Смеси сероасфальтобетонные литые и литые сероасфальтобетонные технические условия". 1–12 (2003).

УДК 625.85.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МАЛОШУМНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Р. А. Пахолак

Белостокский технический университет,
ул. Wiejska 45E, 15-333, г. Белосток, Республика Польша, r.pakholak@doktoranci.pb.edu.pl

Целью данного исследования является оценка поведения асфальтобетонных смесей с пониженным уровнем шума на воздействие синусоидальных нагрузок методом ИТ-СУ (*Indirect Tension - Cylindrical specimen*). Результаты, полученные при помощи данного метода, имеют высокую корреляцию с результатами в реальных условиях. Исследование показало, что каждый из модификаторов увеличивает модуль жесткости малошумных асфальтобетонных смесей во всем диапазоне анализируемых температур, тем самым продлевая долговечность дорожного покрытия.

Ключевые слова: модифицированный битум, резиновая крошка, сополимер СБС, модуль жесткости.

Постоянное развитие техники и технологий увеличивает нагрузку на автомобильные дороги и вносит свой негативный вклад в воздействие транспорта на окружающую среду [1]. При высоких скоростях движения транспортного средства (более 50 км/ч) шум в значительной степени создается вблизи плоскости контакта шины с поверхностью покрытия [2]. На него влияют тип и состояние дорожного покрытия, используемые

материалы, а также технология устройства покрытия. До недавнего времени самым популярным решением для борьбы с чрезмерным шумом было использование шумозащитных экранов, что неизбежно влекло за собой высокие затраты на их строительство и обслуживание. Поэтому во многих странах Европы для устройства слоя износа все чаще используются шумопоглощающие асфальтобетонные смеси, снижающие уровень шума в плоскости контакта шина/покрытие. К таким смесям относят [3]: пористый асфальтобетон PA (*Porous Asphalt*), тонкие и сверхтонкие слои асфальтобетона ВВТМ и ВВУМ (*Béton Bitumineux Très Mince* и *Béton Bitumineux Ultra Mince*), щебеночно-мастичный асфальтобетон SMA (*Stone Mastic Asphalt*) с максимальным размером зерна 5(8) мм и щебеночно-мастичный асфальтобетон SMA LA (*Lärmarm*) оптимизированный с точки зрения уровня шума.

Использованные материалы и программа исследования

Для проведения исследования выбрано следующие вяжущие вещества:

- битум 50/70;
- битум 50/70 модифицированный 5% сополимером СБС (обозначение СБС-5);
- битум 50/70 модифицированный 10% резиновой крошки (обозначение РК-10).

Для оценки влияния типа модификатора на модуль жесткости малошумных асфальтобетонных смесей было отобрано 3 типа смесей с максимальным размером зерен 8 мм:

- щебеночно-мастичный асфальтобетон SMA8;
- пористый асфальтобетон PA8;
- щебеночно-мастичный асфальтобетон, оптимизированный с точки зрения уровня шума SMA8 LA. Гранулометрический состав смесей приведен на рисунке 1.

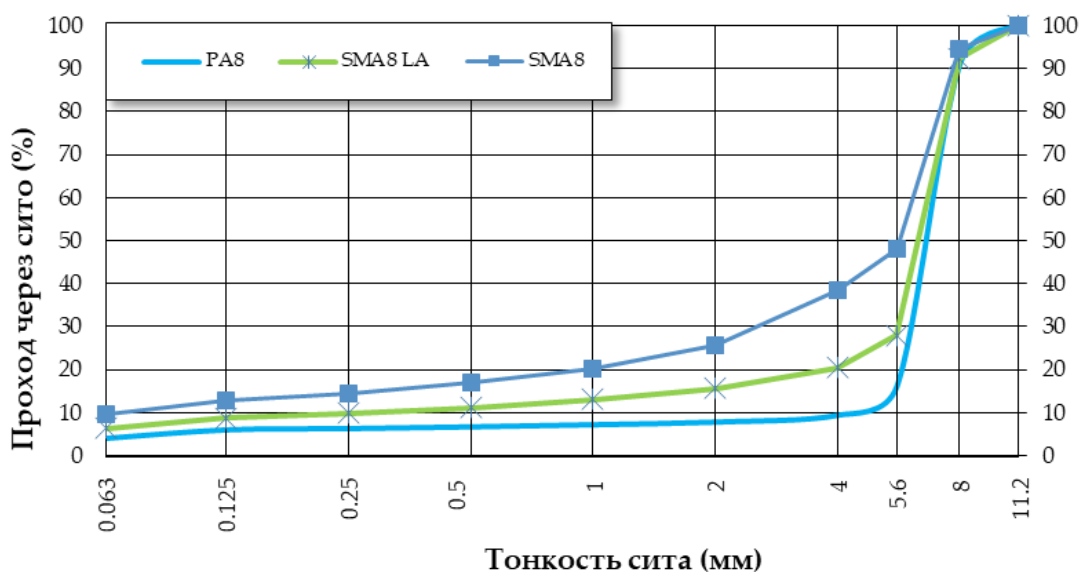


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава асфальтобетонных смесей

Определение модуля жесткости при непрямом растяжении методом ИТ-СУ проводились в соответствии с требованиями стандарта EN 12697-26. Модули жесткости были определены в широком диапазоне положительных температур: 5°C, 15°C и 25°C. Цилиндрические образцы высотой $63,5 \pm 2,5$ мм были уплотнены в автоматическом уплотнителе по схеме Маршалла по 50 ударов с каждой стороны. Образцы были подвергнуты пятикратной динамической нагрузке, приложенной вертикально, вдоль формы вала. Время увеличения силы от нуля до максимального значения составило $0,124 \pm 0,4$ с. Согласно вышеупомянутому стандарту, время задержки между последовательными импульсами нагрузки составляло $3,0 \pm 0,1$ с, а максимальная сила

вызывала горизонтальное смещение образца на 5 ± 2 мкм. Затем образец поворачивался на 90° относительно горизонтальной оси, и определения повторялись.

Величина модуля жесткости ИТ-СУ была определена в соответствии с формулами 1 и 2:

$$S_{IT-CY} = \frac{F \cdot (v + 0,27)}{z \cdot h}, \text{ МПа} \quad (1)$$

$$v = 3,59 \frac{z}{\Delta V} - 0,27 \quad (2)$$

где: F – максимальная сила, приложенная к образцу (Н),

z – амплитуда горизонтального перемещения образца при нагружении (мм),

h – высота образца (мм),

v – коэффициент Пуассона,

ΔV – максимальное вертикальное перемещение образца (мм).

Результаты испытаний

Подробные результаты испытаний асфальтобетонных смесей, используемых в исследовании описаны в публикациях [4, 5], в то время как значения модулей жесткости, определенные методом ИТ-СУ представлены на рисунке 2.

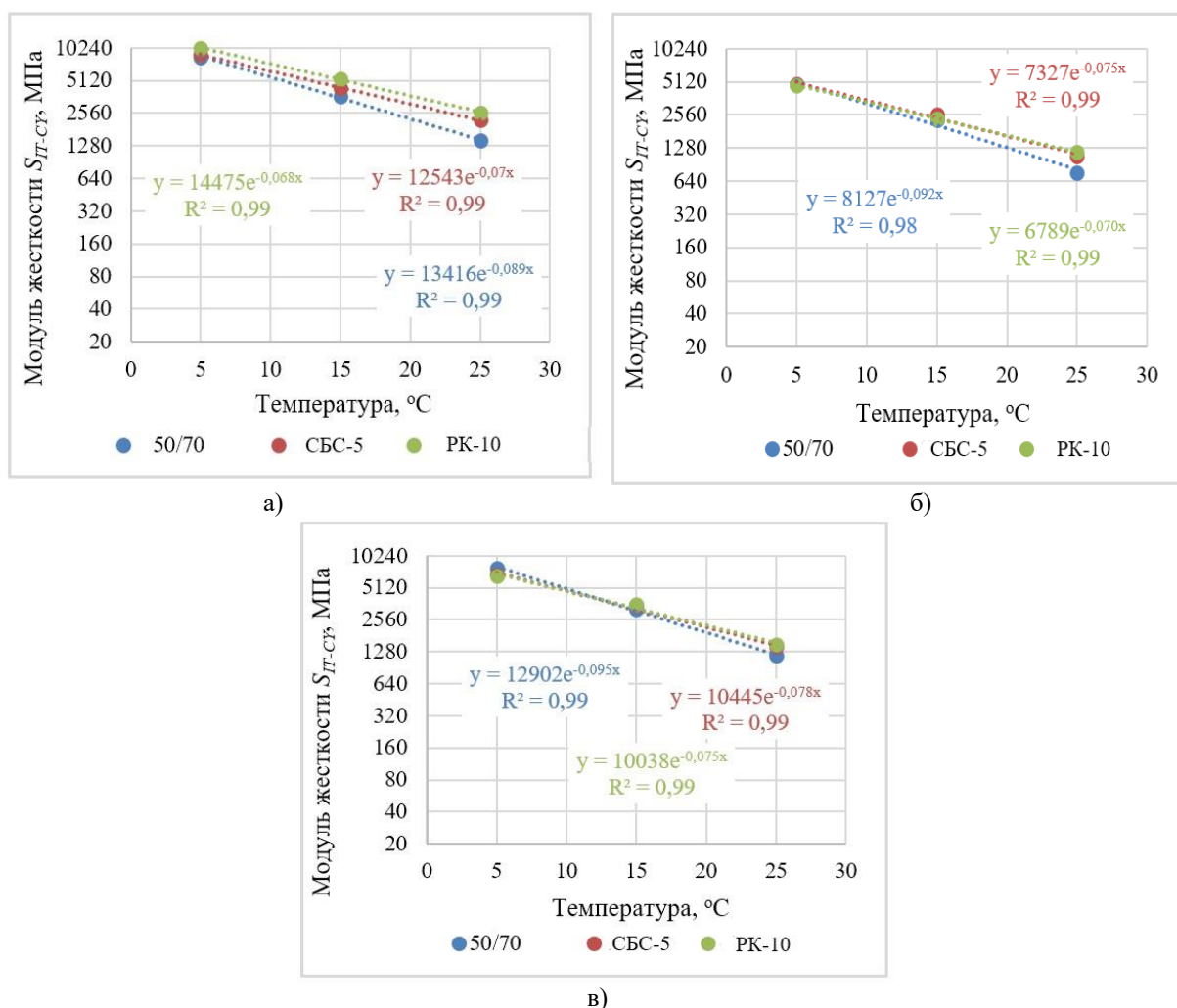


Рис. 2. Модули жесткости ИТ-СУ в зависимости от температуры и вида вяжущего для асфальтобетонных смесей типа: а) SMA8, б) PA8, в) SMA8 LA

На основании результатов испытаний, представленных на рис. 2 установлено, что тип смеси, вид битума и температура испытания оказывают значительное влияние на значения модулей жесткости, определенных методом ИТ-СУ. При температуре 15°C , принятой для

механистического анализа расчетов усталостной долговечности конструкций дорожных одежд, наибольшие значения модуля жесткости были получены для щебеночно-мастичных смесей SMA8 с битумом модифицированным 10% резиновой крошки (5314 МПа), а наименьшие для смеси PA8 с немодифицированным битумом 50/70 (2068 МПа).

Большинство асфальтобетонных смесей имеют повышенную температурную чувствительность при использовании в качестве вяжущего битума 50/70 (наибольший угол наклона кривой к оси абсцисс). С другой стороны, самая низкая температурная чувствительность была характерна для асфальтобетонных смесей приготовленных с использованием битумов модифицированных СБС-5 и РК-10.

При увеличении температуры с 5°C до 25°C модуль жесткости асфальтобетонных смесей снижается. Так при температуре 5°C наибольшие значения модулей жесткости получены при модификации битума 5% полимером СБС. Например, в асфальтобетонных смесях PA8 с использованием данного вяжущего модуль жесткости составил 4861 МПа, а для смесей SMA – 10 183 МПа. Эти значения больше на 5% и 17% соответственно по сравнению со смесями с базовым асфальтом 50/70 (4617 МПа и 8447 МПа). При повышении температуры с 5°C до 25°C, разница в значениях модулей жесткости ИТ-СУ между анализируемыми вяжущими составляет уже 29% для PA8 и 35% для SMA8. Такие большие изменения могут указывать на то, что благоприятные свойства модифицированных вяжущих проявляются в большей степени при более высоких рабочих температурах, придавая асфальтобетонным смесям более высокую несущую способность (жесткость). Благодаря модифицирующим добавкам в виде сополимера СБС в вяжущем формируется полимерная сеть, которая позволяет эффективно противодействовать температурным изменениям, а модификация битума резиновой крошкой при снижении температуры и возникновении тепловых напряжений в вяжущем придает ему большую эластичность, способствуя тем самым снижению образования низкотемпературного растрескивания дорожного покрытия в зимних условиях.

На основании проведенных исследований асфальтобетонных смесей с пониженным уровнем шума на воздействие синусоидальных нагрузок методом ИТ-СУ можно сделать следующие выводы:

1. Битум, модифицированный резиновой крошкой и сополимером СБС придает приготовленным с его использованием асфальтобетонным смесям высшие значения жесткости, тем самым позволяя переносить более высокие нагрузки без разрушения покрытия.
2. Асфальтобетонные смеси с использованием базового битума 50/70 имеют более высокую температурную чувствительность по сравнению с модифицированными битумами.
3. Модификация битума сополимером СБС позволяет сформировать полимерную сеть, которая эффективно противодействует температурным изменениям, а модификация резиновой крошкой при снижении температуры придает битуму большую эластичность.

Литература

1. Piłat J., Radziszewski P., Król J. Nowe technologie asfaltowe w budownictwie drogowym. Inżynier budownictwa, 2007. С. 72–77.
2. Gardziejczyk W. Hałaśliwość nawierzchni drogowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok, 2018. С. 225.
3. Gardziejczyk W. Influence of Road Pavement Macrotexture on Tyre/Road Noise of Vehicles. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, T. 9, 2014. С. 180–190.
4. Gardziejczyk W., Plewa A., Pakholak R. Effect of Addition of Rubber Granulate and Type of Modified Binder on the Viscoelastic Properties of Stone Mastic Asphalt Reducing Tire/Road Noise (SMA LA). Materials, T. 13, 2020.
5. Pacholak R., Plewa A., Gardziejczyk W. Analysis of the Behavior of Low-Noise Asphalt Mixtures with Modified Binders under Sinusoidal Loading. Materials, T. 15, 2022.

К ВОПРОСУ КОРРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко, Е.П. Ходан
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, zhukovskye@gmail.com

В статье рассмотрен вопрос влияния противогололедных материалов на коррозионную устойчивость асфальтобетона. Приведено сравнение действующих технических нормативных правовых актов на территории Беларуси касаясь данного вопроса. Даны теоретические предпосылки разрушения асфальтобетона под воздействием хлорида натрия. Приведены результаты визуального наблюдения за состоянием покрытия.

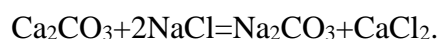
Ключевые слова: асфальтобетон, коррозионные разрушения, противогололедные материалы, хлорид натрия

В настоящее время противогололедные материалы, используемые в Республике Беларусь, должны соответствовать СТБ 1158-2013 «Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия». Кроме того, на территории нашей страны действует ГОСТ 33387-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Противогололедные материалы. Технические требования».

В этих стандартах предъявляются требования к плавящей способности материалов, их температуре замерзания, коррозионной активности и агрессивности воздействия на цементобетон. Однако вопросы коррозионной устойчивости асфальтобетона не рассматриваются. При этом ДМД 02191.2.042-2010 рекомендует проводить щадящую противогололедную обработку асфальтобетонных покрытий с минимальным расходом материала.

Большое значение на развитие коррозионных разрушений оказывают свойства применяемых материалов и наличие воды в конструктивных слоях. При увеличении содержания в асфальтобетоне минерального порошка и(или) отсева дробления в системе вяжущее-минеральный порошок появляется воздушная фаза, увеличивается пористость, а битума не хватает для полного обволакивания зерен минерального порошка и появляются контакты по твердой поверхности. [4] Попадание воды значительно снижает прочность асфальтобетона, хотя сами по себе компоненты асфальтобетона являются водонерастворимыми.

В настоящий момент основным противогололедным материалом в Республике Беларусь является хлорид натрия. При его длительном взаимодействии с минеральным порошком образуются водорастворимое соединение – карбонат натрия:



Такая ситуация приводит к изменению зернового состава минеральной части асфальтобетона, разрушению основных структурообразующих связей и как результат разрушение асфальтобетона в процессе нормативного содержания дорог.

Кроме того, такое разрушение характерно для асфальтобетона, приготовленного на гравии. Поскольку в гравии допускается наличие слабых зерен, преимущественно карбоната кальция, то взаимодействие его с хлоридом натрия вызывает его разрушение, что также вносит существенный вклад в коррозионную устойчивость асфальтобетона наряду с преобразованием минерального порошка.

Данная проблема характерна не только для Республики Беларусь, но также и для Российской Федерации и других стран. Это видно по результатам визуальных наблюдений, на рисунке 1.

Таким образом, на сегодняшний день остро стоит вопрос разработки новых противогололедных материалов, обладающих высокой плавящей способностью, **низкой коррозионной активностью к металлам, цементно- и асфальтобетону**, при этом должна быть обеспечена их минимальная стоимость.

а) улица Шоссейная, а.г. Михановичи, Республика Беларусь



б) Невский проспект, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация



в) проспект Любимова, г. Минск, Республика Беларусь



г) улица Садовая, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация



д) Биржевая площадь, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация



Рис. 1. Визуальное наблюдение за покрытием

Литература

1. Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия: СТБ 1158-2013. – Минск : Госстандарт, 2013.
2. Дороги автомобильные общего пользования. Противогололедные материалы. Технические требования: ГОСТ 33387-2015. – Москва : Стандартинформ, 2019.
3. Рекомендации по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : ДМД 02191.2.042-2010. – Минск : Минтранс, 2010.
4. Веренько, В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий. Причины и пути устранения / В. А. Веренько. – Минск, 2008. – 303 с.

УДК 625.67

РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Ж.И.Садиков, К.Н.Мусулманов, Д.М.Имамалиев
Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, osmijam@gmail.com

В данной статье рассматривается форма регистрации дорожно-транспортных происшествий и обсуждается существующая практика, применяемая в Узбекистане. Популярность мобильных телефонов/планшетов и интернет-технологий в повседневном использовании и их растущая мощность с точки зрения скорости и объема памяти могут способствовать повышению эффективности и точности сбора данных о дорожно-транспортных происшествиях. Авторы рассматривают современные мобильные/интернет-технологии для регистрации данных о дорожно-транспортных происшествиях и предлагают новый подход, который охватывает различные источники данных, включая данные полиции, данные больниц, данные дорожного департамента, данные страховой компании, данные транспортной компании и данные социальных сетей. Предлагаемый подход объединяет все данные в единую систему (базу данных), которая может быть использована для целей государственного аудита и исследований.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, регистрационная форма, геолокация, мобильные/интернет-технологии.

Введение

Вероятность дорожно-транспортных происшествий (ДТП) обусловлена тем, что дорожно-транспортные происшествия происходят из-за нескольких факторов или комбинации факторов, которые характеризуют их случайность. Принято рассматривать систему водитель-транспортное средство-дорога как основной фактор, влияющий на возникновение аварии. Львиная доля несчастных случаев из-за этих факторов приходится на водителя, около 80%. Дорожно-транспортные происшествия в настоящее время являются одной из важнейших социальных проблем. С улучшением благосостояния и ростом уровня автомобилизации темпы роста несчастных случаев на дорогах увеличиваются с каждым днем.

Согласно последним данным Всемирной организации здравоохранения [1], ежегодно во всем мире умирает 1,35 миллиона человек, другими словами, почти 3700 человек ежедневно умирают на дорогах мира и около 20-50 миллионов человек получают различные несмертельные травмы, что составляет более половины всех смертей и травмы получают уязвимые участники дорожного движения, такие как пешеходы, велосипедисты и мотоциклисты, а также их пассажиры. Молодые люди особенно уязвимы на дорогах мира, а дорожно-транспортный травматизм является основной причиной смерти детей и молодых людей в возрасте от 5 до 29 лет. Молодые мужчины в возрасте до 25 лет чаще попадают в

дорожно-транспортные происшествия, чем женщины, причем 73% всех смертей в результате дорожно-транспортных происшествий приходится на молодых мужчин этого возраста.

Согласно концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Узбекистан на 2018-2022 годы, статистические показатели свидетельствуют о том, что ежегодно на территории Республики Узбекистан происходит в среднем около 9-10 тысяч дорожно-транспортных происшествий, в том числе более 2000 из них - человеческие жертвы [2].

Литературный обзор

Для правильной оценки безопасности дорожного движения должна быть доступна электронная база данных о дорожно-транспортных происшествиях. А для создания электронной базы данных о дорожно-транспортных происшествиях следует внедрить электронную систему регистрации дорожно-транспортных происшествий. В настоящее время несчастные случаи в Узбекистане регистрируются в бумажном формате, но хранятся в электронной базе данных. Недостатком такого подхода является то, что при переходе с бумажной версии на электронную существует высокая вероятность субъективных факторов, влияющих на качество и достоверность введенных данных. Существует также задержка во времени, когда вам нужно получать последние отчеты в режиме реального времени. Одним из основных недостатков этого метода учета несчастных случаев является то, что невозможно точно определить место происшествия, поскольку при заполнении регистрационной карточки местоположение привязывается к ближайшему объекту, например, школе, магазину, зданию и т.д.

Следовательно, актуальность развития электронной регистрации дорожно-транспортных происшествий возрастает, с существующими технологиями, такими как планшеты, смартфоны и другие устройства, подключенные к Интернету, которые имеют встроенные модули GPS, позволяющие эффективно решать проблемы электронной регистрации дорожно-транспортных происшествий. Также важно, какой объем данных требуется для сбора данных о сбоях. Поскольку чем больше данных требуется собрать, тем больше времени и денег требуется для их сбора. Содиков Ж.И. [3], в 2018 году предоставляет таблицу существующей карточки регистрации дорожно-транспортных происшествий. Он состоит из 12 форм, заполняемых сотрудником органа внутренних дел (сотрудником ГИБДД), таких как 1. Общая информация, 2. Местоположение (село, населенный пункт), 3. Место дорожно-транспортного происшествия, 4. Состояние дороги, 5. Нарушение правил дорожного движения пешеходами, 6. Информация о водителе, 7. Информация о транспортном средстве, 8. Владелец транспортного средства, 9. Информация о жертве, 10. Дополнительная информация, 11. Описание и схема аварии, 12. Принятые меры.

Поскольку существующая регистрация несчастных случаев требует сбора большого количества данных, следовательно, время, затрачиваемое на ее заполнение, увеличивается. Программное обеспечение для распознавания фотографий (компьютерное зрение), машинного обучения (обработка больших данных и прогнозирование) и другие уже доступны и широко используются. Поэтому для повышения производительности и точности сбора данных необходимо своевременно внедрять новые информационные технологии. В этом направлении научные предпосылки были предложены рядом исследователей [4-9]. Кроме того, исследователи, перечисленные в таблице 1 работали над этим вопросом, и предложили свои рекомендации по подходу к регистрации дорожно-транспортных происшествий. В настоящее время органы безопасности дорожного движения ведут учет дорожно-транспортных происшествий по соответствующим формам, в рукописном виде. Сбор данных о дорожно-транспортных происшествиях требует много времени, иногда для районного или городского масштаба требуется несколько дней, а для

уровня страны - неделя, а иногда и больше. Электронная регистрация дорожно-транспортных происшествий с использованием геоинформационных технологий была предложена следующими исследователями [10-12]. Для сбора данных предлагается использовать планшетный компьютер под управлением Android или IOS. Предлагаемая электронная карта дорожно-транспортных происшествий имеет ряд преимуществ и позволит сэкономить время сотрудника. Прежде всего, после прибытия на место происшествия сотрудник делает фотографию с функцией геолокации, которая позволит визуализировать данное ДТП на электронной карте (QGIS, ArcGIS или Google Fusion). После этого вы можете использовать базу данных электронных водительских прав для определения характеристик водителя /транспортного средства или для распознавания фотографии. Встроенная библиотека схем может быть использована для построения схемы дорожно-транспортного происшествия.

Методология

Несчастные случаи регистрируются несколькими государственными учреждениями. Это Государственная инспекция безопасности дорожного движения Республики Узбекистан, Министерство здравоохранения, Дорожные службы. Но существует проблема обмена данными между правительственными организациями. Несмотря на наличие различных источников сбора и регистрации дорожно-транспортных происшествий, существует ряд проблем, таких как неполнота данных, отсутствие единой электронной базы данных, отсутствие электронного обмена данными между правительственными ведомствами и причины занижения отчетности о дорожно-транспортных происшествиях.

Независимо от источника данных о дорожно-транспортных происшествиях, существуют определенные проблемы, связанные с регистрацией и сбором данных. Наиболее полной базой с точки зрения хранения и обработки данных можно считать электронную базу данных Государственной инспекции безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел, которая в настоящее время более или менее соответствует современным требованиям.

Автопарки и транспортные компании также ведут учет несчастных случаев с участием своих транспортных средств. На рис. 1 показаны страницы журнала дорожно-транспортных происшествий городского автопарка. Он учитывает техническое состояние транспортного средства, состояние водителя (трезвый / пьяный) и другие характеристики. Точно так же, как в дорожных организациях, автопарках и транспортных компаниях, несчастные случаи хранятся в бумажном виде и не передаются другим организациям и подразделениям, которые ведут учет несчастных случаев.

Йўл транспорт ҳолати хавфаси туғилган вақти (кун, ой, йил, соат)	Йўл транспорт ҳолати хавфаси хабар берган шахслар ҳақидаги ушбуқ маълумотлар	Йўл транспорт ҳолати хавфаси бўлиб чиққан, туғилган вақти ва қўшничи йўли ва қўшничи йўли ва км.	Йўл транспорт ҳолати хавфаси оқибати (бадди, вақти), ҳақидаги сабаб ва тури
1 2 11 16 06:00	Хайрабдилов Ахмеджон Хайрабдилов Шайхмурод Пурани	Душанбе шаҳри Автомобил йўли Бўриқўрғон қўшничи	«Якшима» фирмаси автомобил йўли Сариқ Болалар
2) 3 11 16 5 15 30	Хайрабдилов Ахмеджон Хайрабдилов Шайхмурод Пурани	КХВ қўрғон Йўл ва қўшничи йўли Ички қўрғон	«Якшима» фирмаси автомобил йўли Ички қўрғон
3) 16 11 16 5 8 30	Хайрабдилов Ахмеджон Хайрабдилов Шайхмурод Пурани	Душанбе шаҳри Кўча ва қўшничи йўли Ички қўрғон	«Якшима» фирмаси автомобил йўли Ички қўрғон

Рис. 1. Журнал регистрации дорожно-транспортных происшествий в автопарках. (Источник: Автобусный парк № 1 Яшнабадского района, Ташкента)

Департаменты Министерства здравоохранения также ведут учет дорожно-транспортных происшествий при поступлении пострадавших в больницы, а также при проверке водителей транспортных средств на трезвость. Как и в предыдущих случаях, несчастные случаи регистрируются в бумажном виде, и электронный обмен с другими подразделениями отсутствует. Страницы регистрационного журнала медицинского освидетельствования водителей, попавших в дорожно-транспортные происшествия, показаны на рисунке 2. Наиболее часто цитируемое определение дорожно-транспортного происшествия со смертельным исходом - “любое лицо, которое немедленно погибает или скончалось в течение 30 дней в результате дорожно-транспортного происшествия” (Предварительный отчет, 2003 год). Однако существуют разные периоды для определения дней, по истечении которых человек может считаться погибшим в результате несчастного случая. Например, в Европейском союзе, Греции, Португалии и Испании используется 24 часа, во Франции - 6 дней, в Италии - 7 дней, а в других странах - 30 дней [15].

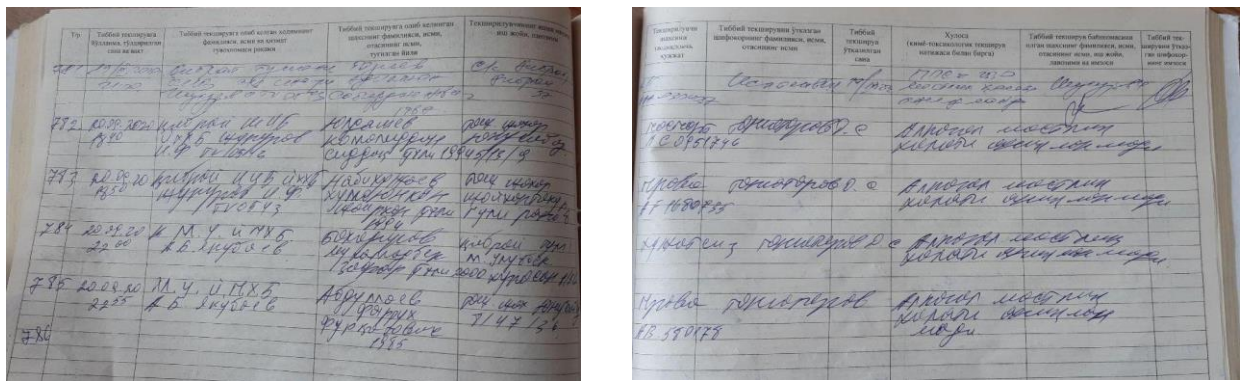


Рис. 2. Журнал регистрации медицинского освидетельствования водителей, попавших в дорожно-транспортные происшествия. (Источник: Республиканский научный центр неотложной медицинской помощи, Ташкент [3])

На рисунке 3 приведен пример визуализации аварии, а также площадь, освещение, погодные условия, тип покрытия. Это приложение основано на программном обеспечении с открытым исходным кодом, которое позволяет разрабатывать дополнительные функции для статистического анализа и построения различных тематических карт, таких как концентрация дорожно-транспортных происшествий, зоны опасных зон (тепловые карты) и другие.

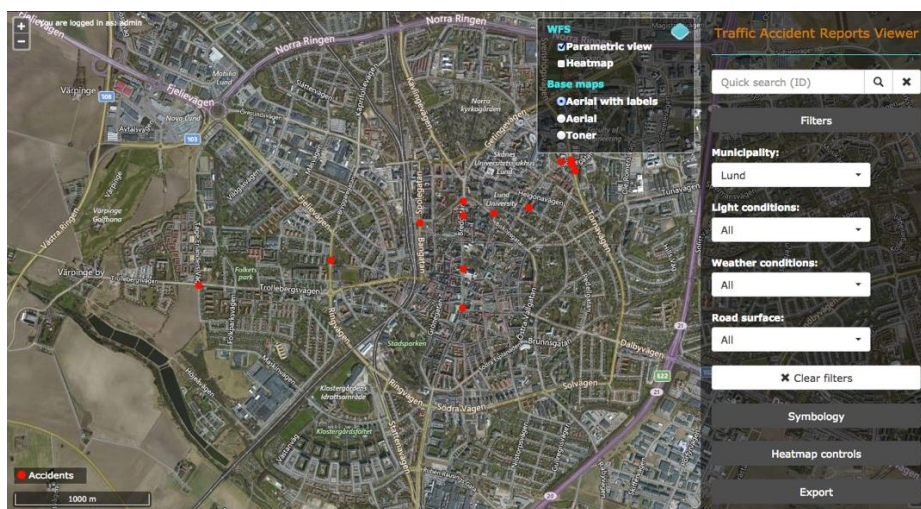


Рис. 3. Пример визуализации места аварии [10].

Обзор литературы показывает, что даже страна с самым низким числом дорожно-транспортных происшествий на 100 000 человек находится на стадии разработки электронного учета и анализа дорожно-транспортных происшествий.

В то же время основной целью исследования является сбор и использование данных для участков транспортной сети, где инфраструктура физических датчиков в лучшем случае ограничена. На рисунке 4 показан пример того, как в режиме реального времени можно получать из социальных сетей и визуализировать. Хотя данные, которые собираются таким образом, не позволяют получить подробные данные о дорожно-транспортных происшествиях, они играют огромную роль в своевременном реагировании полиции и скорой помощи.



Рис. 4. Пример визуализации аварий и дорожных проблем в штате Нью-Джерси (Abdulla и др., 2019).

С его помощью можно в режиме реального времени определить участки дороги, на которых произошла авария. Фотографию места происшествия также можно получить, если пользователь разместил фотографию в своем аккаунте в Twitter.

При переходе от бумажной технологии или полуавтоматизированной системы учета дорожно-транспортных происшествий к полной электронной системе учета с использованием мобильных устройств (смартфонов, планшетов) это может повысить точность, своевременность, более подробно описать происшествие с использованием аудио, видео, фотографий, эскизов и геолокации. Это показывает, что устаревшие методы сбора данных о дорожно-транспортных происшествиях не предоставляют данные оперативно, порой это может достигать до 50 дней с момента регистрации дорожно-транспортных происшествий на месте происшествия до хранения центральной базы данных для дальнейшей обработки и разработки мер по предотвращению возникновения дорожно-транспортных происшествий. несчастные случаи. Соответственно, это влечет за собой не только неполноту базы данных, но и занижение количества дорожно-транспортных происшествий.

Обзор научной литературы показывает, что существует необходимость в разработке автоматизированной системы учета и передачи данных в режиме реального времени в центральную электронную базу данных, а также электронного обмена данными между такими ведомствами, как государственная служба безопасности дорожного движения, дорожные организации, медицинские учреждения, страховые организации и другие заинтересованные стороны. организаций. Использование современных портативных устройств (смартфонов, планшетов), оснащенных модулями GPS, фото/видеокамерами высокого разрешения, может решить проблему, с которой сталкиваются сотрудники службы безопасности дорожного движения. Другая задача - сохранить эти данные в единой электронной базе данных.

Результаты и обсуждения

Существующий метод учета дорожно-транспортных происшествий не отвечает современным требованиям с точки зрения точности, надежности, принятия правильных решений, игнорируя доступные мобильные и интернет-технологии. Следовательно, разработка современных методов учета дорожно-транспортных происшествий является актуальной в Узбекистане. Для решения вышеуказанных задач и проблем следует разработать компьютеризированную систему сбора, хранения, передачи и анализа. Должна быть создана теоретическая основа для сбора, хранения, анализа и рекомендации, которая ляжет в основу единой автоматизированной электронной системы регистрации, анализа и рекомендации дорожно-транспортных происшествий и обеспечит доступ и обмен данными между различными ведомствами и организациями. Для решения нескольких проблем, упомянутых ранее, была предложена система автоматизированного учета дорожно-транспортных происшествий для Узбекистана. Она состоит из нескольких подсистем, таких как система регистрации несчастных случаев в департаменте дорожной полиции, в Министерстве здравоохранения, в дорожной организации, в страховых компаниях, система учета несчастных случаев в транспортных организациях (рис. 5).

Идентификационный номер и местоположение автоматически отправляются в дорожную службу, которая управляет этим участком дороги, для изучения влияния дорожных условий на возникновение аварии. После изучения и исследования транспортных и эксплуатационных качеств дороги составляется отчет и отправляется на центральную базу для изучения степени влияния дорожных условий. Страховые компании учитывают ущерб в случае аварии, они также будут использовать идентификационный номер, который был создан сотрудником ГИБДД. После технической экспертизы и оценки ущерба отчет отправляется в центральную базу данных для анализа и оценки всех повреждений. Транспортные компании, в свою очередь, также используют идентификационный номер, который был присвоен этому несчастному случаю. Они оценивают психофизиологическое состояние водителя, выявляют вероятную причину аварии. Составляется отчет и отправляется в центральную базу данных для дальнейшего исследования.

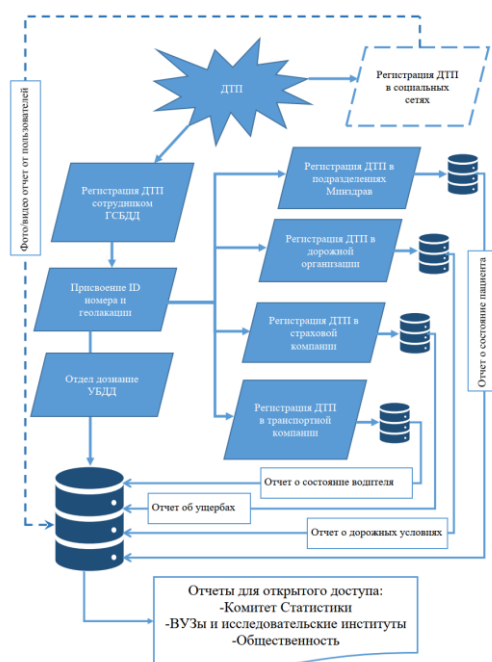


Рис. 5. Предлагаемая автоматизированная система регистрации несчастных случаев в Узбекистане.

Социальные сети играют важную роль в регистрации ДТП, поскольку у большинства пользователей есть видеорегистраторы для мобильных телефонов, которые позволяют записывать ДТП не только после происшествия, но и до, и во время происшествия.

Выводы

Анализ научно-технической литературы показал, что методика регистрации дорожно-транспортных происшествий устарела и не отвечает современным требованиям. Швеция, которая приняла концепцию нулевой смертности и имеет самый низкий уровень дорожно-транспортных происшествий в мире, разрабатывает методологию автоматизированных дорожно-транспортных происшествий с использованием современных технологий. С 2016 года мы начали создавать пилотный проект по регистрации аварий с помощью планшетов и фиксации аварий в режиме реального времени. Созданная система сбора, хранения и обработки данных о дорожно-транспортных происшествиях позволяет своевременно получать и анализировать данные. В Узбекистане проводятся масштабные преобразования для повышения безопасности дорожного движения путем внедрения современных технологий, таких как видеофиксация нарушений на основных городских перекрестках, запись камерами контроля скорости, фиксация нарушений с помощью планшетов, хранение данных о дорожно-транспортных происшествиях в электронном виде и т.д. Тем не менее, у системы регистрации дорожно-транспортных происшествий есть свои недостатки. Это использование устаревших методов регистрации дорожно-транспортных происшествий: ручной/бумажный метод учета дорожно-транспортных происшествий (заполнение регистрационной карточки дорожно-транспортного происшествия). Особенностью предлагаемой системы является синхронизированный обмен и передача данных между подсистемами, что повышает точность и достоверность данных в разы по сравнению с существующей методологией сбора, регистрации, хранения и анализа данных о дорожно-транспортных происшествиях. Каждой подсистеме присвоен идентификационный номер инцидента, который позволяет синхронизировать данные между различными подсистемами. Это позволяет на разных этапах анализа точно определить, где, когда, какие последствия, ущерб, виновника, дорожные условия и многое другое.

Литература

1. ISHRAT, R. Global status report on road safety 2018: summary [online]. World Health Organization, 2018. Available from: <http://apps.who.int/bookorders>
2. Directive No. 377. The concept of ensuring road safety in the Republic of Uzbekistan for 2018-2022 is available (in Russian) [online]. Available from: <https://lex.uz/docs/3743455>
3. SODIKOV, J. I. Electronic registration of road accidents using geoinformation technologies. Bulletin of TashIT. 2018, 1. ISSN 2091-5365
4. KHAN, M. A., KATHAIRI, A. S., GARIB, A. M. A GIS based traffic accident data collection, referencing and analysis framework for Abu Dhabi. In: World Congress: Towards more attractive urban transportation CODATU XI: proceedings. 2004.
5. MATTSSON, K., UNGERBACK, A. Traffic accidents: tutorial for reporting / Vagtrafikolyckor: handledning vid rapportering (in Swedish). Borlange: Transportstyrelsen, 2013. ISSN 1401-9612.
6. DERDUS, K. M., & OZIANYI, V. G. A mobile solution for road accident data collection. Proceedings of the 2nd Pan African International Conference on Science, Computing and Telecommunications, PACT 2014, 115–120. <https://doi.org/10.1109/SCAT.2014.7055140>
7. ADNAN, M., ALI, M. S. (2014). An effective methodology for road accident data collection in developing countries [online]. In: Data science and simulation in transportation research. JANSSENS, D., YASAR, A.-U.-H., KNAPEN, L. (Eds.). IGI Global, 2014. ISBN 9781466649200, eISBN 9781466649217, p. 103-114. Available from: <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4920-0.CH006>

8. MAHOVA, O. A. Theoretical questions of the applied analysis of mortality in road accidents (in Russian). *Statistics and Economics / Статистика и Экономика* [online]. 2016, 0(6), p. 183-187. ISSN 2500-3925. Available from: <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2014-6-183-187>
9. SODIKOV, J. Road traffic accident data analysis and visualization in R. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development* [online]. 2018, 8 (3), p. 25-32. ISSN 2249-6831, eISSN 2249-7943. Available from: <https://doi.org/10.24247/IJCSEIERDJUN20184>
10. MARKUS, P. Design and development of a prototype mobile geographic information system for real-time collection and storage of traffic accident data. Student thesis series Ines. 2016.
11. MONTELLA, A., ANDREASSEN, D., TARKO, A., TURNER, S., MAURIELLO, F., IMBRIANI, L., ROMERO, M., SINGH, R. Critical review of the international crash databases and proposals for improvement of the Italian national database. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [online]. 2012, 53, p. 49-61. ISSN 1877-0428. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.859>
12. MONTELLA, A., CHIARADONNA, S., CRISCUOLO, G., DE MARTINO, S. Development and evaluation of a web-based software for crash data collection, processing and analysis. *Accident Analysis and Prevention* [online]. 2019, 130, p. 108-116. ISSN 0001-4575. Available from: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.01.013>
13. BELIN, M., JOHANSSON, R., LINDBERG, J. E., TINGVALL, C. The Vision Zero and its consequences. In: 4th International Conference on Safety and the Environment in the 21st Century: proceedings. 1997. p. 1-14.
14. Working party on passive safety. Preliminary report on the development of a global technical regulation concerning pedestrian safety [online]. Brussels: United Nations Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, 2003. Available from: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2003/wp29grsp/ps-36.pdf>
15. MACKAY, M. Quirks of mass accident data bases. *Traffic Injury Prevention* [online]. 2006, 6 (4), p. 308-310. ISSN 1538-9588, eISSN 1538-957X. Available from: <https://doi.org/10.1080/15389580500253737>

УДК 625.7/.8

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА И ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДНО-ТЕПЛОВЫХ ФАКТОРОВ НА ДОРОЖНУЮ КОНСТРУКЦИЮ ПО ШИРИНЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, zhukovskye@gmail.com

В статье рассмотрены закономерности изменения характера и интенсивности воздействия водно-тепловых факторов на дорожную конструкцию по ширине проезжей части автомобильной дороги.

В рамках проведенного натурального эксперимента сосредоточено внимание на исследование влияния поверхностных вод и температурного режима на слои дорожной конструкции.

Результаты исследования показывают, что значительное влияние на состояние дорожной конструкции в целом оказывает параметр гидроизоляции Y , под которым понимают суммарную ширину элементов дорожной конструкции, выполняющих роль гидроизоляции слоев дорожной одежды и земляного полотна (укрепленные полосы обочин, остановочные полосы, полосы движения, гидроизоляционные прослойки на обочинах)

исчисляемую от правого края рассматриваемой полосы движения в направлении бровки обочины.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная конструкция, поверхностные воды, надежности долговечность, водно-тепловой режим

К основным факторам, которые определяют различие в условиях работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части можно отнести: воздействие транспортной нагрузки, влагонакопление и водоотведение конструкций, морозоустойчивость конструкций, влияние геометрических параметров трассы надежность дорожных одежд. Однако данные факторы не в полной мере учтены при проектировании нежестких одежд, что и является причиной их преждевременного разрушения.[1-5]

Для оценки влияния ненормированных разрушающих факторов на первые полосы движения проведено масштабное исследование [6], показывающее закономерности изменения надежности и долговечности дорожной одежды по ширине проезжей части в зависимости от особенностей водно-теплового режима работы конструкции.

Особенностью проводимого натурного эксперимента является преимущественное исследование воздействия поверхностных вод и температурного режима на верхние слои конструкции дорожной одежды. Схема распределения интенсивности воздействия водно-тепловых факторов на дорожную конструкцию показана на рис. 1.

Проведенное исследование позволяет более широко рассмотреть вопрос учета влияния водно-теплового режима на надежность и долговечность дорожных одежд, при проектировании которых на сегодняшний день традиционно рассматриваются в основном критерии морозозащиты пучинистых грунтов и водоотведения от слабофильтрующих грунтов рабочей зоны земляного полотна.

Для исследования влияния водно-теплового режима на работу дорожной конструкции на различных полосах движения была проведена оценка состояния участков автомобильных дорог по дефектности покрытий на различных полосах.



1 – атмосферные осадки; 2 – поверхностная вода; 3 – капиллярная вода от уровня грунтовых вод; 4 – уровень поверхности земли

Рис. 1. Источники увлажнения и распределение интенсивности воздействия водно-тепловых факторов на дорожную конструкцию

Схема размещения исследуемых участков приведена на рисунке 2.

Дефектность покрытия определялась по полосам движения. Для определения дефектности покрытия выбирались участки длиной 100 м. Причем определялись отдельно площади дефектов для правого и левого сегмента полосы движения. Под сегментом понимается половина полосы движения, как показано на рис. 3.

Для получения данных о состоянии покрытия использовался визуальный метод по ТКП 140. Производилась видеофиксация покрытий с последующей камеральной обработкой.

Дефектность покрытия (ДП) определяется процентом дефектности от общей площади оцениваемого участка покрытия по методике ТКП 140.

Кроме того, было определено соотношение дефектностей правого и левого сегмента полосы Δ по формуле:

$$\Delta = \frac{S_{11}}{S_{12}},$$

где S_{11} – расчетная площадь дефектности правого сегмента участка, m^2 ;

S_{12} – расчетная площадь дефектности левого сегмента участка, m^2 .

По полученным данным были построены графики зависимости соотношения дефектностей правого и левого сегмента полосы Δ от срока службы T для каждого дорожно-климатического района. Графики представлены на рисунке 4.

Для анализа полученных результатов введем понятие параметра гидроизоляции Υ .

Параметром гидроизоляции Υ называется суммарная ширина элементов дорожной конструкции, выполняющих роль гидроизоляции слоев дорожной одежды и земляного полотна (укрепленные полосы обочин, остановочные полосы, полосы движения, гидроизоляционные прослойки на обочинах) исчисляемая от правого края рассматриваемой полосы движения в направлении бровки обочины.

Из графиков на рисунке 4 видно, что при параметре гидроизоляции Υ равному 0, происходит интенсивное нарастание дефектности по причине воздействия водно-теплового режима дорожной конструкции правых сегментов по отношению к левым. Причем дефектность правых сегментов в первом дорожно-климатическом районе будет превышать дефектность левых сегментов в 2 раза уже на 3-ий год эксплуатации покрытия, во втором на 5-ый год, а в третьем на 7-ой.

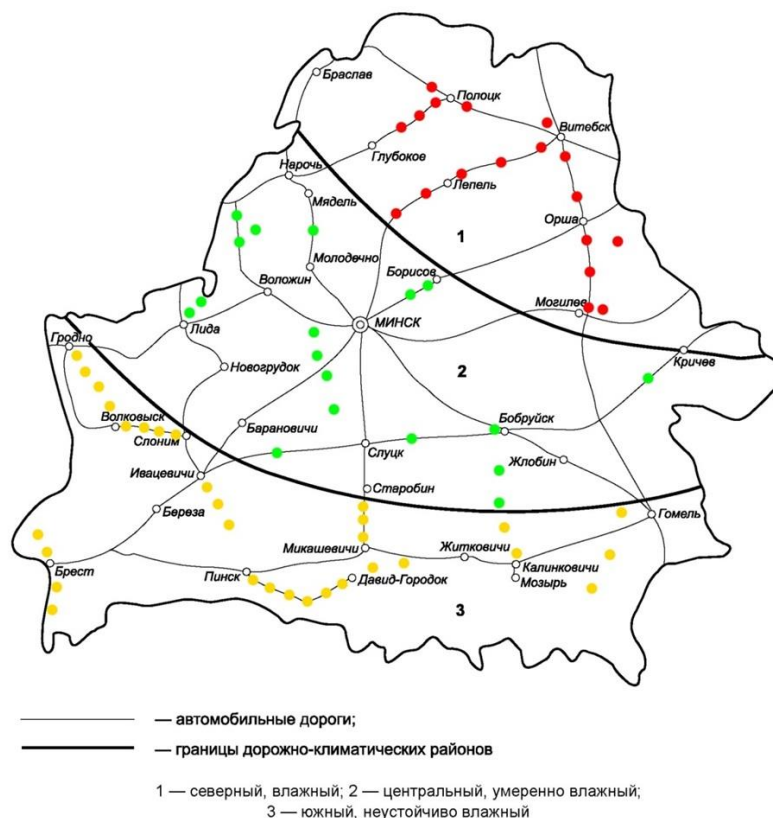


Рис. 2. Схема размещения рассматриваемых участков

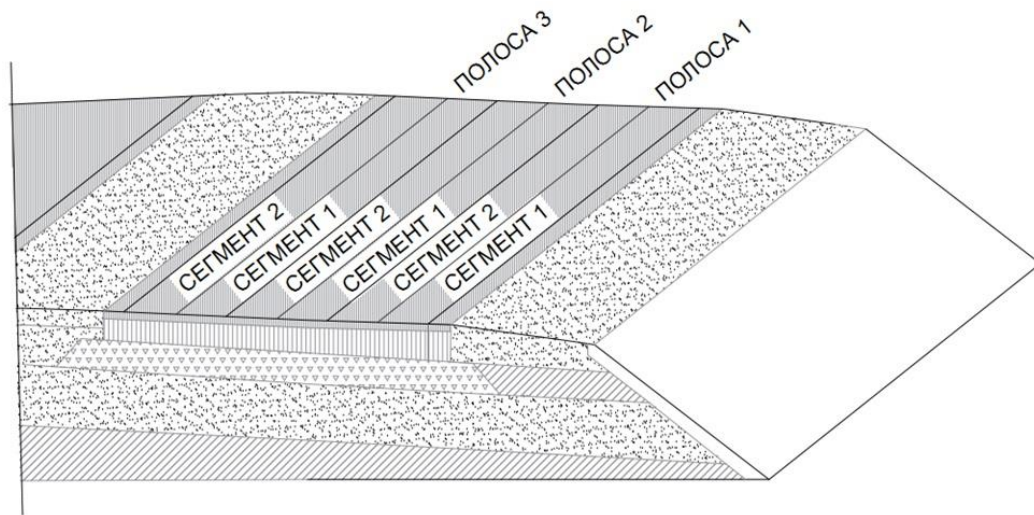


Рис. 3. Схема разбивки полос движения по сегментам

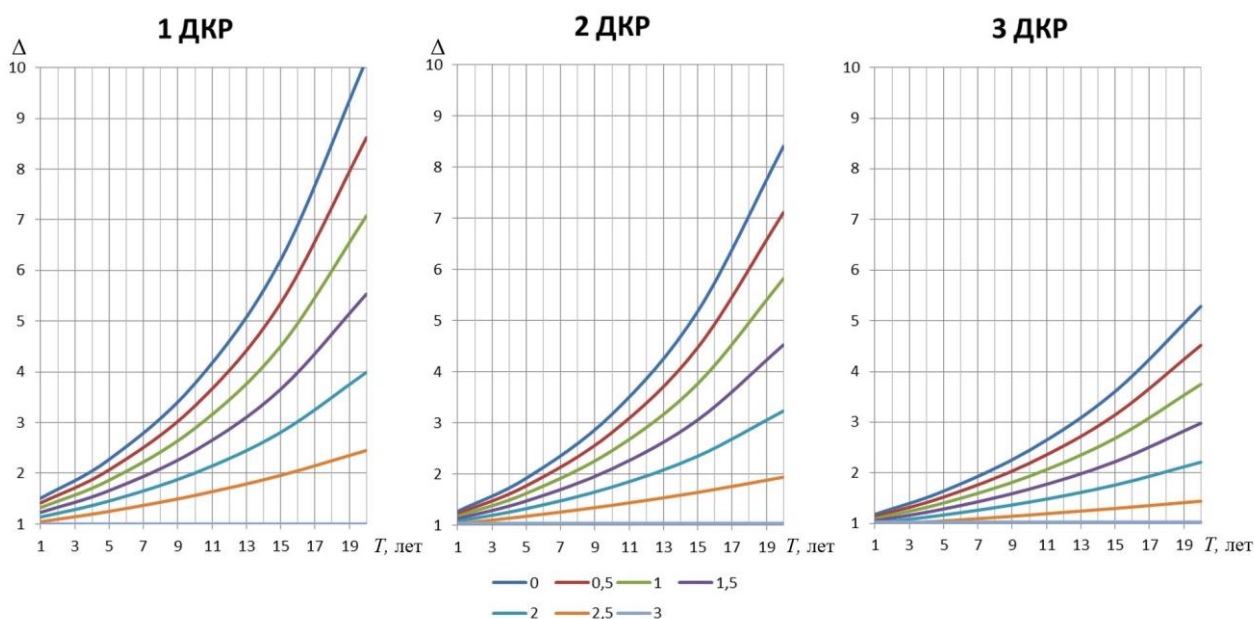


Рис. 4. Зависимость дефектностей правого и левого сегмента полосы Δ от срока службы T
Примечание: цветом показано значение параметра гидроизоляции Υ

Значение параметра гидроизоляции Υ равно нулю характерно для автомобильных дорог V-ой категории, устроенных как по СН 3.03.04, так и по ТКП 45-3.03-19 поскольку их поперечный профиль не предусматривает наличия укрепленной полосы обочины.

При увеличении параметра гидроизоляции Υ до 0,5 м, что соответствует величине укрепленной полосы обочины на автомобильных дорогах I-б-IV категории по СН 3.03.04, и дорогах I-б,в, III и IV категории устроенных по ТКП 45-3.03-19, наблюдается снижение интенсивности нарастания дефектности по причине воздействия водно-теплового режима дорожной конструкции правых сегментов по отношению к левым, однако их значение достаточно высоко. Так дефектность правых сегментов будет превышать дефектность левых в два раза уже на 5-ый год в первом дорожно-климатическом районе, на 6-ой во втором и на 9-ый в третьем.

Однако проведенное обследование автомобильных дорог показывает, что фактическая ширина укрепленной полосы обочины лежит в пределах от 0,1 до 0,5 м, что оказывает негативное воздействие на образование дефектности покрытий от водно-теплового режима дорожной конструкции.

Ширина укрепленных полос обочин на дорогах I-а категории по СН 3.03.04 и I-а и II устроенных по ТКП 45-3.03-19 должна равняться 0,75 м. Однако фактическая их ширина на дорогах II категории по ТКП 45-3.03-19 равняется от 0,5 до 1 м. При таком значении параметра гидроизоляции γ также происходит несущественное снижение интенсивности нарастания дефектности по причине воздействия водно-теплового режима дорожной конструкции.

Устройство остановочных полос шириной 2,5 м позволяет значительно снизить интенсивность прироста дефектности от воздействия водно-теплового режима дорожной конструкции. Так в первом дорожно- климатическом районе дефектность правых сегментов будет превышать дефектность левых в 2 раза на 16-ый год эксплуатации. Во втором это произойдет на 19 год эксплуатации, что соответствует максимальному рекомендуемому расчетному сроку службы дорожной одежды. В третьем районе такое соотношение не будет достигнуто в пределах рекомендуемых расчетных сроков службы дорожной одежды.

При параметре гидроизоляции γ равному 3,0 м и более влияние водно-теплового режима дорожной конструкции на возникновение дефектности не вызывает существенных различий в их дефектности. Такое значение характерно для вторых и третьих полос движения, а также для обочин с дополнительными слоями гидроизоляции.

Как видно из результатов исследования, значительное влияние на состояние дорожной конструкции оказывает параметр гидроизоляции γ . При невозможности обеспечить его традиционными методами (укрепленные и остановочные полосы), необходимо прибегать к дополнительной гидроизоляции обочин.

Для устройства слоев гидроизоляции могут быть использованы различные органические вяжущие материалы, нефтяные шламы, различные рулонные гидроизоляционные материалы.

Литература

1. Жуковский, Е. М. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 65-71.

2. Жуковский, Е. М. Анализ воздействия транспортной нагрузки на неравномерное разрушение по ширине нежестких дорожных одежд / Е. М. Жуковский // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 48-53.

3. Факторы, определяющие характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта / Е.М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2021. – №2. – с. 14-23.

4. Тришин, Г.Г. Прочность многополосных дорог / Г.Г. Тришин, Р.З. Порицкий, В.П. Корюков // Автомобильные дороги. – 1978. – № 9. – с. 22-23.

5. Жуковский, Е. М. Особенности воздействия транспорта на конструкции нежестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик, С. Е. Кравченко // Каспий и глобальные вызовы : Материалы Международной научно-практической конференции, Астрахань, 23–24 мая 2022 года / Составители: О.В. Новиченко [и др.]. – Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный университет", 2022. – С. 888-893.

6. Влияние укрепленных элементов обочин на изменение дефектности по ширине дорожных покрытий / Е.М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2022. – №1. – с. 19-27.

КОЛЬЦЕВЫЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК НЕПОЛНОГО ТИПА

А.В. Войтехович ¹⁾, Н.И. Шишко ²⁾

¹⁾Унитарное предприятие «Минскпроект»,
ул. Берсона, 3, 220050, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, gomezni@gmail.com

Современная практика в проектировании транспортных узлов в одном уровне в том числе базируется на широком применении кольцевых пересечений с приоритетным движением по кольцу, что обеспечивает существенно более высокий уровень безопасности движения и гораздо большую пропускную способность транспортного узла при прочих равных условиях эксплуатации транспортного объекта. Кольцевые пересечения в одном уровне могут функционировать при суммарной суточной интенсивности движения до 70 – 80 тыс. приведенных авт./сутки, что соизмеримо с пропускной способностью полных транспортных развязок в разных уровнях.

Ключевые слова: кольцевые пересечения, транспортная развязка, центральный островок, принудительное отклонение траектории свободного проезда кольцевого пересечения.

Транспортные узлы в разных уровнях повышают пропускную способность автомобильных дорог, улучшают условия движения за счет непрерывности и повышения комфортной скорости движения по сравнению с пересечениями в одном уровне и в целом являются более безопасными за счет исключения точек пересечения транспортных потоков. Пересечения и примыкания в разных уровнях (транспортные развязки) включают в себя непосредственно участки пересекающихся дорог, соединительные съезды (ответвления) различных направлений для поворачивающих транспортных потоков, переходно-скоростные полосы, а также необходимое обустройство дорог и искусственные сооружения [1].

Транспортные развязки должны обеспечивать движение без пересечений потоков в одном уровне на всех пересекающихся в узле дорогах (полная транспортная развязка) или на одной (главной) – неполная транспортная развязка [1]. С целью обеспечения безопасности дорожного движения в местах пересечения транспортных потоков на второстепенной дороге применяются различные технические средства: расстановка соответствующих дорожных знаков, нанесение разметки и использование других технических приёмов [1].

Альтернативным решением точек пересечения транспортных потоков может быть введение кольцевых схем движения. Однако при введении распределительного кольца увеличивается стоимость строительства транспортной развязки, увеличиваются перепробеги автомобилей.

При преимущественном движении налево кольцевое пересечение более выгодно, так как повышается безопасность дорожного движения в местах пересечения транспортных потоков. Объясняется это тем, что приоритет в движении имеют автомобили на кольцевой проезжей части. Водители автотранспортных средств не должны следить за движением с нескольких направлений с тем, чтобы найти свой временной интервал для въезда на пересечение. Движение по кольцевой проезжей части не имеет точек пересечения потоков, а также отсутствует встречное движение. Скорости движения на кольце не велики, что способствует своевременной оценке водителем дорожной ситуации. Маневрирование в потоке транспорта по слиянию и разделению потоков оказывается наименее опасными. Поэтому кольцевые пересечения наиболее безопасны по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне [2].

Кольцевые пересечения имеют следующие преимущества:

- позволяют обеспечить наиболее безопасные и удобные условия движения на пересечении дорог, заключающиеся в существенном сокращении конфликтных точек и исключении конфликтных точек пересечения транспортных потоков;
- не требуют дополнительных расходов на светофорное регулирование движения;
- обеспечивается рассредоточение конфликтных точек, снижается скорость движения, слияние и разделения транспортных потоков осуществляется под небольшими углами переплетения, что в комплексе способствует снижению аварийности и, особенно, тяжести дорожно-транспортных происшествий;
- не возникают большие потери времени из-за остановок на регулируемых пересечениях;
- схема движения на пересечении проста и понятна водителям;
- обеспечиваются лучшие условия движения для выполнения левых поворотов;
- капитальные затраты на устройство не велики;
- меньшее отрицательное воздействие на окружающую среду.

В то же время планировка и организация движения на кольцевых пересечениях могут стать причиной ухудшения ряда транспортно-эксплуатационных показателей:

- водители вынуждены снижать скорость даже в свободных условиях движения;
- при движении по кольцевому пересечению с большим центральным островком значителен перепробег автомобилей транзитного и, особенно, левоповоротного направления;
- для устройства пересечения требуется большая площадь земли по сравнению с другими типами пересечений в одном уровне;
- усложняется организация движения пешеходов и велосипедистов, возникают сложности с размещением пешеходных переходов.

Кольцевые пересечения могут быть элементами неполных транспортных развязок в местах пересечений транспортных потоков на второстепенных направлениях (например, на развязке «ромб»). Введение кольцевой проезжей части обоснованно в случае, когда интенсивности движения с левоповоротных съездов превышают интенсивности движения по второстепенной дороге в прямолинейном направлении (рис. 1).

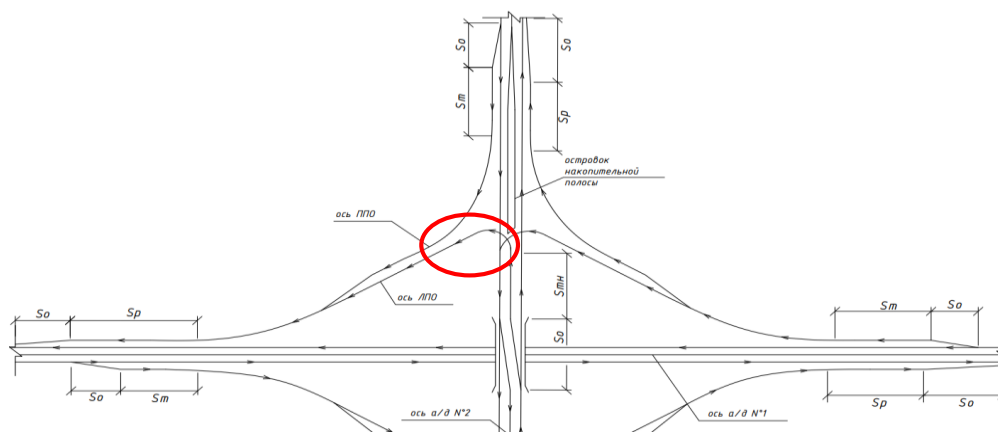


Рис. 1. Схема транспортной развязки по типу «Ромб»

Для обеспечения безопасности движения кольцевые пересечения должны быть узнаваемы, понятны, иметь достаточную обзорность. Кольцевые пересечения должны быть хорошо различимы на подходах на расстояниях видимости и обустроены соответствующими техническими средствами организации дорожного движения.

Проезжая часть в зоне пересечения с планировочным решением в виде кольца в большинстве случаев имеет постоянный радиус кривизны. Применение проектных решений с овалоидальной формой центрального островка необходимо в случаях, когда в транспортном узле имеется пересечение более двух дорог, пересечение дорог под острым

углом или главная дорога изменяет свое направление. Овальные островки вытягиваются по направлению главной дороги с большей интенсивностью движения и длины прямолинейных частей островка должны превышать величину вписанных радиусов.

При проектировании кольцевых пересечений автомобильных дорог в одном уровне основное внимание должно уделяться рациональному назначению геометрических элементов в плане и вертикальной планировке пересечения [2].

От правильности выбора размеров элементов плана зависят: условия видимости на пересечении; правильность восприятия водителем всего пересечения и направления пересекающихся дорог; условия взаимодействия между транспортными средствами; выбранная скорость движения на кольце. Высотное положение элементов проезжей части оказывает влияние на устойчивость автомобиля при прохождении закругления.

На кольцевых пересечениях следует контролировать скорость на въезде на пересечение. Контроль скорости на въезде осуществляется с помощью принудительного отклонения движения, которое обеспечивается смещением траектории свободного проезда кольцевого пересечения [2].

Принудительное отклонение траектории свободного проезда кольцевого пересечения достигается за счет изменения угла въезда на кольцевую проезжую часть за счет геометрических параметров направляющего островка. Оно обеспечивает максимально быструю траекторию проезда пересечения в прямом направлении (рис. 2).

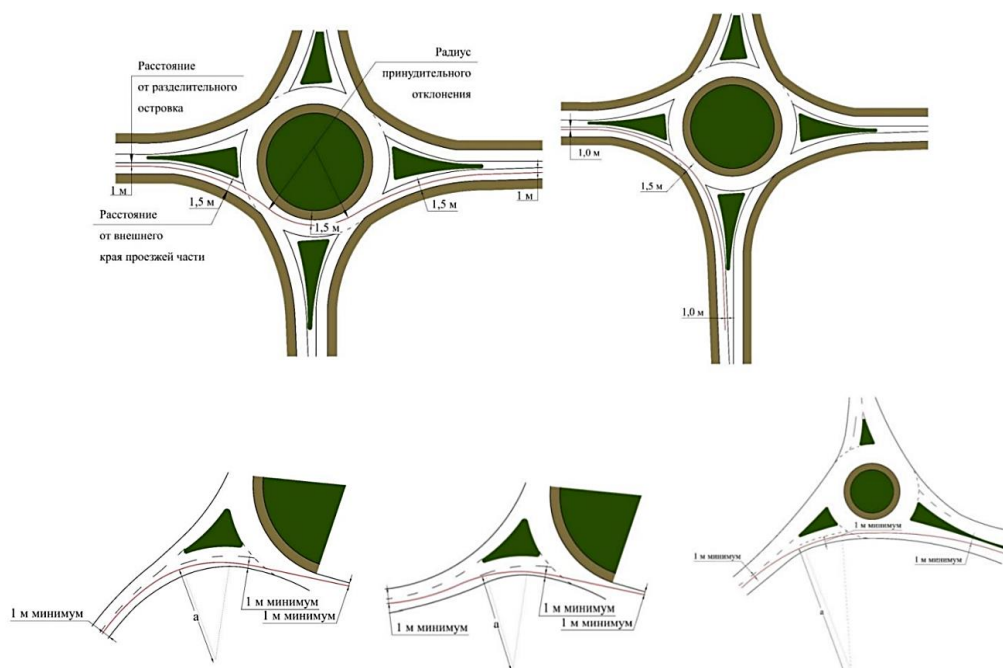


Рис.2. Формирование траектории движения транспортного средства через кольцевое пересечение

Угол въезда должен быть таким, чтобы радиус траектории свободного проезда на въезде был равен или больше радиуса такой траектории на въезде.

Малый угол въезда на кольцевую проезжую часть создает для водителей ощущение беспрепятственного въезда на кольцо и отсутствия необходимости останавливаться для пропуска транспортных средств на кольце, а также приводит к недостаточному принудительному отклонению траектории движения и не содействует снижению скоростного режима на пересечении.

Значительный угол отклонения траектории движения при въезде на кольцо может привести к искажению оптимальной траектории проезда с острой необходимостью остановить автомобиль перед въездом на кольцо.

Угол въезда транспортного средства на кольцевое пересечение измеряется как угол между направлением движения въезжающего на пересечение автомобиля и касательной к

кривой оси кольцевой проезжей части на пересечении и имеет рациональные значения от 30° до 40° [2].

На сегодняшний день широко применяется проектирование проезжей части кольца со спиральными полосами движения: упрощенная спиральная разметка (рис. 3а) и кольцевое пересечение типа «турбокольца» (рис. 3б).

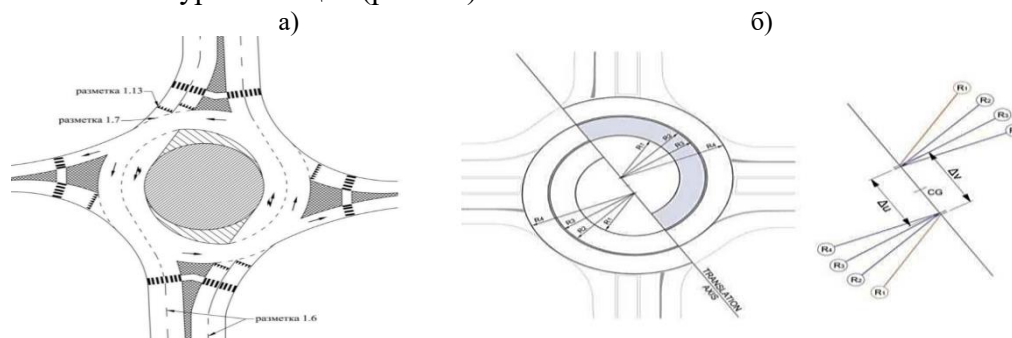


Рис.3. Кольцевых пересечений со спиральными полосами движения

Турбокольцевое пересечение состоит из двух (в некоторых случаях – трех) вложенных спиралей, которые представляют границы полосы движения. Каждая спираль состоит из трех полуколец ($1/3$ кольца в случае равномерного распределения трех подходов) с последовательно большими радиусами – каждая следующая дуга имеет радиус больше, чем предыдущая. Когда радиус дуги меняется, центр дуги смещается так, что кривая остается непрерывной [2].

Движение автомобилей по кольцу со спиральными полосами существенно компенсирует разность интенсивностей движения на подходах к транспортному узлу, уравнивает скоростной режим в зоне кольцевой проезжей части и уменьшает количество потенциальных точек дорожно-транспортных происшествий.

Литература

1. ТКП 509-2014 «Автомобильные дороги. Примыкания и пересечения. Правила проектирования», департамент "Белавтодор". – Мн.:2014 – 64 с.
2. ОДМ 218.2.071-2016 «Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог», федеральное дорожное агентство «Росавтодор». – М.:2016 – 168 с.

УДК 625.74

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

А.В. Кудласевич 1), Н.И. Шишко 2)

1) Республиканское унитарное предприятие «Институт «Военпроект»,
ф-4, ул. З.И. Азгура, 4, 220034, г. Минск, Беларусь

2) Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, remezni@gmail.com

Транспортная сеть населенных пунктов и загородных магистралей нуждается в элементах обустройства. Проектирование рациональной схемы освещения дорожного участка состоит в том, чтобы обеспечить видимость находящихся на проезжей части объектов и все возможные препятствия на ней. При этом не должно возникать чувство дискомфорта и ослепления у водителя при движении с разрешенными скоростями.

Ключевые слова: освещение, яркость дорожного покрытия, равномерность яркости, приращения пороговой разности яркостей, коэффициент периферийного освещения, аварийность.

Нормативы по искусственному освещению зоны проезжей части автомобильных дорог и улиц населенных пунктов содержат требования к некоторым параметрам: например, к значениям средней яркости дорожного покрытия, полной и продольной равномерности яркости, приращения пороговой разности яркостей и коэффициента периферийного освещения. Благодаря подбору сочетания этих параметров обеспечивается необходимое водителям качество освещения проезжей части. Средняя яркость дорожного покрытия и общая равномерность яркости влияют на зрительную восприятие и зрительную работу глаз водителя, а продольная равномерность яркости – на зрительный комфорт при управлении транспортным средством в темное время суток на участках с искусственным освещением. Значения приращения пороговой разности яркостей требуется нормировать для снижения эффекта слепящей блёскости, создаваемой элементом освещения, тогда как коэффициент периферийного освещения важен для того, чтобы сделать четко и заблаговременно видимыми объекты, расположенные вблизи дороги [1].

При обустройстве системы искусственного освещения учитывают особенности расположения участка автомобильной дороги, интенсивность движения, количество потенциально опасных участков для возникновения дорожно-транспортных происшествий. Рационально спроектированная система искусственного освещения позволяет на треть и более снизить уровень аварийности на участках дорог и улиц, учитывая что недостаточная видимость и освещенность участка движения имела значение в 65% аварий с участием транспортных средств и являлась единственной причиной – в 21% этих случаев.

При организации искусственного освещения автомобильных дорог особое внимание следует уделять равномерному распределению освещенности покрытия проезжей части за счет оптимального подбора параметров осветительных приборов. Это избавляет от затененных участков на покрытии, а также от «пересвеченных» пятен. Подбор светильников и их расстановку осуществляют в соответствии с классом дороги [1].

Особое внимание следует уделять искусственному освещению зон пешеходных переходов, где происходит непосредственное сближение транспортных и пешеходных потоков. Проектирование осветительных приборов в зонах пешеходных переходов должно способствовать отчетливому восприятию водителями и пешеходами зоны вблизи перехода. Зона пешеходного перехода при освещении должна быть контрастна по отношению к остальной проезжей части и прилегающей территории, а также должен отсутствовать эффект ослепления, поэтому световой поток направляют со стороны водителей в сторону пешеходных переходов. В целях усиления распознаваемости зоны перехода для ее освещения используются светильники с источниками света, имеющими цветность, контрастную по отношению к цветности источников света, применяемых в светильниках для освещения проезжей части улиц, также дополнительно могут применяться точечные светодиоды.

Нормативные требования по критериям освещенности к сети городских улиц и автомобильных дорог регламентируются в зависимости от интенсивности движения, категории улицы либо магистрали [2]. Нормативные требования по горизонтальной освещенности покрытия представлены в таблице 1.

При проектировании искусственного освещения технические требования к осветительным приборам учитывают ряд параметров [1]:

- технические характеристики;
- уровень энергопотребления;
- надежность работы в различных условиях, при температурных перепадах, порывах ветра, во время осадков;
- простота технического обслуживания;

– безопасность.

Освещение сложных участков автомобильных дорог таких как мосты, эстакады, путепроводы и дорожных развязок в целом – обязательное условие для организации оптимальной и безопасной транспортной инфраструктуры городов и производственных территорий. Транспортные сооружения могут выполнять совокупность функций [1]:

Таблица 1. Нормы средней яркости усовершенствованных покрытий

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги	Наибольшая интенсивность движения транспорта в обоих направлениях, ед/ч	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	Св. 3000	1,6	20
		» 1000 до 3000 включ.	1,2	20
		От 500 » 1000 »	0,8	15
Б	Магистральные улицы районного значения	Св. 2000	1,0	15
		» 1000 до 2000 включ.	0,8	15
		От 500 » 1000 »	0,6	10
		» 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения	500 и более	0,4	6
		До 500	0,3	4
		Одиночные автомобили	0,2	4

Примечания

1. Среднюю яркость покрытия скоростных дорог, независимо от интенсивности движения транспорта, принимают: 1,6 кд/м² – в черте городов и не менее 1,0 кд/м² – вне городов на основных подъездах к аэропортам, речным и морским портам.
2. Средняя яркость или средняя освещенность покрытия проезжей части в границах транспортного пересечения в двух и более уровнях на всех пересекающихся магистралях должна быть, как на основной из них, так и на съездах и ответвлениях, не менее 0,8 кд/м² или 10 лк.
3. Уровень освещения проезжей части улиц, дорог и площадей с покрытием из брусчатки, гранитных плит и других материалов регламентируется значением средней горизонтальной освещенности согласно настоящей таблице.
4. Уровень освещения улиц местного значения, примыкающих к скоростным дорогам и магистральным улицам, должен составлять не менее 1/3 от уровня освещения скоростной дороги или Магистральной улицы на расстоянии не менее 100 м от линии примыкания.

- служат для снижения загрузки дорожной сети;
- повышают пропускную способность отдельных участков дорог и транспортных узлов;
- позволяют бесперебойно маневрировать без значительных перепробегов транспорта и задержек во времени;
- упорядочивают дорожное движение, снижая уровень аварийности.

Значимость такого рода объектов неоспорима, а проектирование рациональной схемы их освещения – ключевое мероприятие, которое обеспечивает позволяет повысить эффективность и безопасность движения в темное время суток [3].

Наружное электрическое освещение на дорогах следует предусматривать [2]:

- на участках дорог, проходящих через населенные пункты;
- на железнодорожных переездах в одном уровне;
- на кольцевых пересечениях в одном уровне;
- на больших мостах;

- в пешеходных тоннелях и на лестничных сходах перед ними;
 - на пересечениях в разных уровнях республиканских дорог категорий I и II между собой;
 - на подъездах к сооружениям и объектам дорожного и придорожного сервиса, постам транспортного и весогабаритного контроля;
 - в границах накопительных полос для выполнения левых поворотов на дорогах категорий I-в и II;
 - на остановочных пунктах маршрутного пассажирского транспорта (с питанием от распределительных сетей или автономных источников) при количестве останавливающихся в темное время суток автобусов более двух в час и выраженном потоке пассажиров;
 - на подъездах к обозначенным пешеходным переходам в одном уровне;
 - в зоне пересечения велосипедных дорожек с дорогой.
- Непрерывное освещение необходимо устраивать на участках дорог [3]:
- между населенными пунктами, расположенными на расстоянии менее 500 м друг от друга;
 - между соседними освещаемыми участками, расположенными на расстоянии менее 250 м друг от друга.

Опоры освещения вне населенных пунктов следует располагать на расстоянии не менее 4 м от кромки проезжей части (внешних краев укрепленных полос или обочины с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием – при наличии таких полос или обочин), при меньшем расстоянии – предусматривать установку барьерных ограждений. Высота установки светильников на опорах над проезжей частью дорог подбирается в соответствии с условиям проектирования искусственного освещения, но не менее 6,5 м [1].

Основными правилами для организации освещения автодорожных развязок являются [1]:

- отсутствие ослепляющего эффекта, «перетененных участков» и «пересвеченных пятен», которые затрудняют движение и могут способствовать повышению уровня аварийности;
- подбор осветительного оборудования с рациональным типом конструкции опор освещения и осветительных элементов;
- учет габаритных размеров элементов транспортного узла;
- учет архитектурного образа проектируемой среды, которая окружает объект.

Исходя из этих принципов осветительные приборы подбираются как с функциональной стороны, так и с учетом эстетической составляющей.

В большинстве случаев для оптимальной освещенности транспортных развязок достаточно применение типовых опор с консольными светильниками. Если они действительно могут обеспечить нужный уровень освещенности, то использовать громоздкие дорогие конструкции не имеет смысла – они будут дороже и в установке, и в обслуживании.

С другой стороны, для освещения многоуровневых транспортных развязок более рационально использование единичных мачт с блоком прожекторов, чем ряд опор с точечным расположением элементов освещения. Такие конструкции способны создать равномерное общее освещение всех необходимых зон.

Нас сегодняшний день существует множество разновидностей типовых решений для освещения путепроводов и прочих элементов транспортных развязок [1]:

- стальные опоры освещения высотой 10 м с одно-, двух- или трехрожковыми консольными кронштейнами;
- прожекторные мачты с мобильной короной высотой от 20 м. Оптимальный вариант для двухуровневых пересечений с четырьмя петлевыми съездами. За счет мобильной короны облегчается обслуживание осветительной мачты – его можно производить с земли. В районе каждого петлевого съезда можно установить по одной мачте.

Расположение опор и мачт освещения подбирается индивидуально: осветительные элементы могут находиться как по краю проезжей части на определённом расстоянии от кромки дорожного покрытия, так и на разделительных полосах с подобранным шагом друг от друга. Если конструкция опоры позволяет монтирование на ней дополнительного оборудования – это увеличивает эксплуатационные качества такого элемента.

В качестве источников света широко используются светодиодные светильники, как наиболее экономичные и долговечные (ресурс составляет 50 – 100 тыс. часов) (рис. 1).



Светодиодный светильник – визуализация проектного решения в программе DIALux

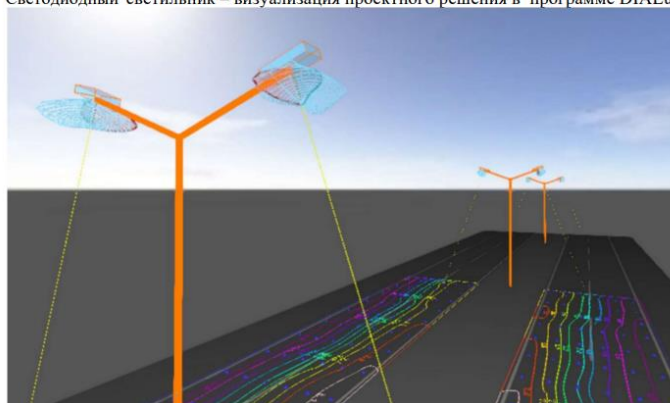


Рис.1. Пример конструктивного решения по искусственному освещению дороги первой технической категории (по нормативам Республики Беларусь)

В проектировании декоративного освещения к объектам применяется также подсветка с использованием LED-светильников, которые создают из транспортного сооружения уникальный архитектурный объект.

В первую очередь устройство искусственного освещения для транспортной сети должно способствовать повышению безопасности движения, удобству для водителей и пешеходов, а также иметь эстетическая привлекательность.

Литература

1. <https://ksosvet.ru/blog/osveshchenie-mostov-ehstakad-puteprovodov-i-transportnyh-razvyazok> – Date of access: 06.09.2022.
2. СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение», РУП "Стройтехнорм". – Мн.: 2020. – 63 с.
3. СН 3.03.04-2019 «Автомобильные дороги», Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:2019. – 61 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ РАЗМЕРНОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ

В.Т. Калайда, А.И. Шапошников,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
пр. Ленина, 36, 634050, г. Томск, Российская Федерация, albertelena@mail.ru.

В работе рассматривается несовпадение результатов даваемых методом box counting для различных объектов. Цель работы найти такие тестовые примеры изображений множеств, для которых можно оценить фрактальную размерность, найденную методом box counting или сравнить фрактальную размерность, найденную методом box counting с ее истинным значением. Исследования основано на изучении свойств изображений различных множеств и на использовании программ подсчета фрактальной размерности, имеющих в открытом доступе. Были найдены тестовые образцы, для которых теоретические и расчетные значения размерностей совпадают абсолютно точно. Построены примеры, дающие фрактальную размерность, рассчитанную методом box counting, равную точно 1 и 2. Для тестов, для которых теоретические и расчетные значения фрактальной размерности различаются, дается оценка погрешности. Значения, получаемые методом box counting, в общем случае фрактальной размерностью не являются, но могут быть использованы для получения оценки фрактальной размерности.

Ключевые слова: фрактальная размерность, box counting, оценка, ошибка, погрешность.

Введение

Исследование свойств окружающего нас пространства неизбежно заставляет математиков пытаться определить понятие размерности пространства. Существует несколько различных концепций определения размерности множества. Оставляя в стороне причину выбора, мы называем, следуя, например, Википедии [1], размерностью Минковского множества величину $-\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \log_{\varepsilon} N(\varepsilon)$, где ε – размер шара (для метрики играет роль и форма «шара») и $N(\varepsilon)$ – количество шаров, достаточное для покрытия этого множества.

Еще в 1917 году Феликс Хаусдорф описал структуру, свойства которой совпадают с интуитивными размерностями геометрических тел. Однако, до него Анри Леон Лебег дал свое определение размерности, которая теперь называется топологической размерностью. Герман Минковский, один из учителей Альберта Эйнштейна, использовал свойства размерности, чтобы дать определение, позже дополнительно уточненное Жоржем Булиганом. В настоящее время именно эта конструкция широко используется для практических расчетов.

Тот факт, что размерность может быть нецелочисленной [2], кажется уже привычным. Но на самом деле это состояние размерности оказалось настолько удивительным для специалистов, что дробная размерность получила собственное родовое прозвище – фрактальная, а первооткрыватели множеств имеющих дробную размерность увековечили свои имена в названиях этих множеств [2].

Успехи последних десятилетий в применении знаний о фракталах в медицине [3], особенно при обнаружении раковых клеток, дают исследователю необходимые моральные стимулы, а успехи применения фракталов в экономике вселяют достаточную надежду на неспонтанное, независимое и регулярное финансирование работ.

Эффективный и популярный метод расчета размерностей – box counting вместе с методом наименьших квадратов, на самом деле, дает только оценку размерности. Этот факт вызывает ряд вопросов:

Нужно ли уточнять результат, получаемый с помощью метода box counting, или в некоторых задачах такой необходимости нет («и так сойдет»)?

Какова природа ошибки или же погрешность является не ошибкой, а отклонением (например, как описано в [4])?

Какова величина ошибки?

Материалы и методы. Фрактальная размерность изображений

В качестве примера рассмотрим автодорогу Витебск – Брест, проходящую по территории Белоруссии. На рис. 1 слева показан участок карты [5] а справа выделена сама дорога для вычисления её фрактальной размерности.

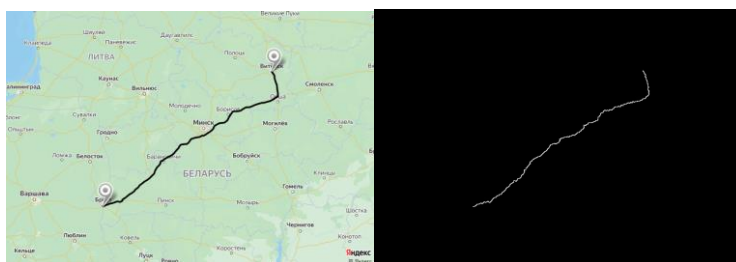


Рис. 1. Фрактальная размерность этого изображения дороги $D = 0,975451$

Но ведь карта вполне может оказаться повернутой на некоторый угол (рис. 2, 3). Заметить этот факт можно разве что по надписям на картах, но не по земле: земля Белоруссии не подписана. Фрактальная размерность от такого изменения изображения изменится не может, а результат вычислений вполне имеет право измениться.

Как видно из приведенных выше примеров (рис. 1-3), результат применения метода box counting чувствителен к эквиаффинным преобразованиям. Отметим так же и точность результатов. Хотя значащие цифры выписаны так, чтобы при округлении ничего не менялось, округление уже третьей цифры после запятой даст различие четвертого результата от первых трех.

Складывается впечатление, что метод box counting и должен давать лишь приближенную оценку фрактальной размерности, однако, существуют объекты, фрактальные размерности которых, найденные с помощью box-counting, инвариантны относительно эквиаффинных преобразований и идеально совпадают с теоретическим значением (Рис. 4 и 5).

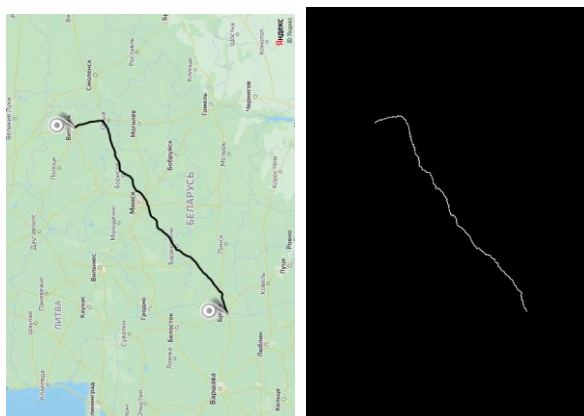


Рис. 2. Фрактальная размерность другого изображения той же самой дороги $D = 0,979672$

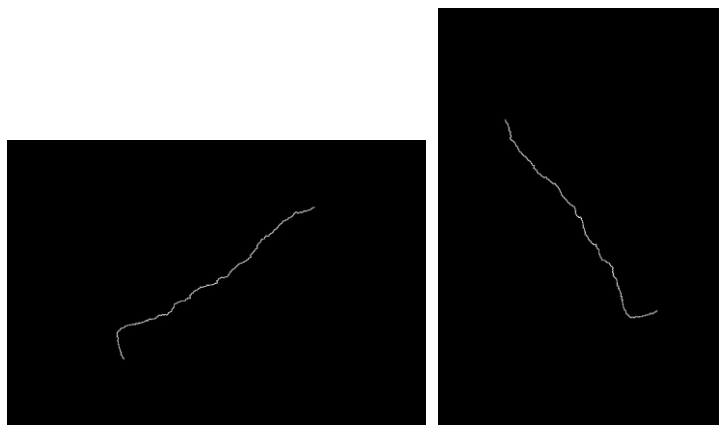


Рис. 3. Изображения той же самой дороги, что и на верхних двух снимках имеют фрактальные размерности 0,978963 и 0,972545571

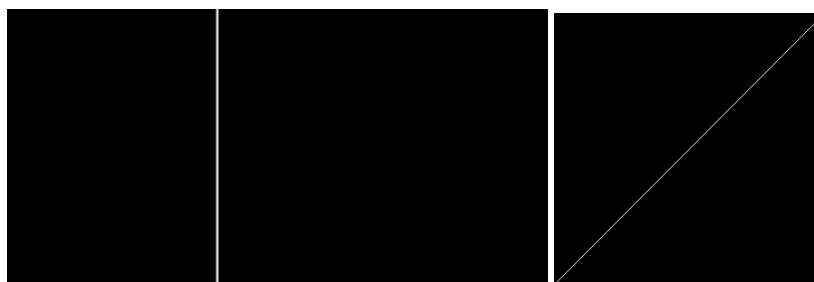


Рис. 4. Бесконечная тонкая линия и теоретически, и в расчетах имеет фрактальную размерность $D = 1$

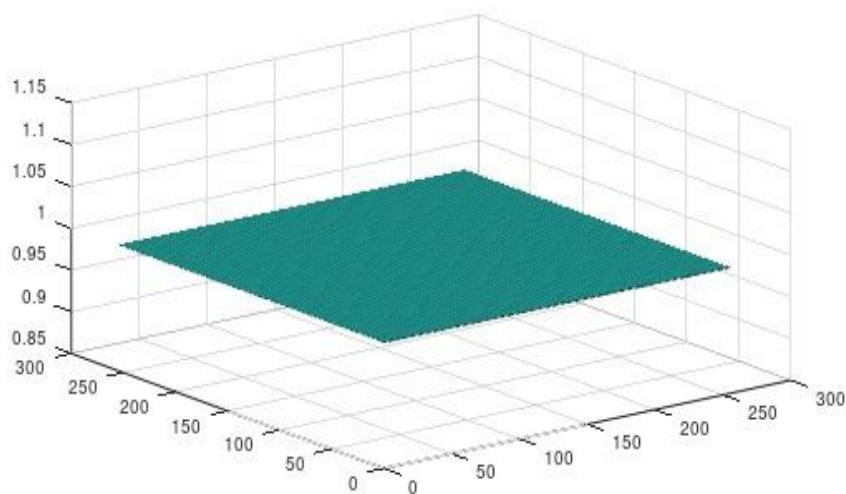


Рис. 5. И расчеты, и теория дают для бесконечной плоскости фрактальную размерность $D = 2$

Результаты

Результаты исследований собраны в представленной ниже таблице 1.

Заключение

Метод box counting широко применяется для оценки (дробной) размерности множеств, порождаемых самыми ранними объектами потому, что он прост и нагляден. Однако дискуссионным является вопрос какая именно величина получается в качестве итога и насколько точным является результат применения метода. Поэтому на текущий момент сфера применения метода box counting ограничивается сравнением характеристик одного объекта при его видоизменениях. Выяснение погрешностей и ошибок даваемых методом box counting позволит расширить область его применимости.

Таблица 1. Объекты и их размерности – точная, получаемая из теории и расчетная, получаемая как итог применения метода box counting.

№	Описание	Размерность	Оценка размерности	Ошибка
1	Бесконечные тонкая линия и тонкая плоскость	1 и 2	1	10^{-16}
2	Дорога на карте	1	0,972545571 – 0,979672	0,006 или 0,03
3	Изображения облаков	2	1.484094 – 1.522049	0,04 или 0,5

Литература

1. Minkowski– Bouligand dimension [Электронный ресурс] // Википедия, 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Minkowski-Bouligand_dimension (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.
2. List of fractals by Hausdorff dimension [Электронный ресурс] // Статья в википедии, 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_fractals_by_Hausdorff_dimension (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.
3. Box counting [Электронный ресурс] // Статья в википедии, 2022. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Box_counting (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.
4. Степин П.А. Сопротивление материалов: учебник для немашиностроительных вузов: Москва : Высшая школа, 1988. – 367 с..
5. Электронные карты Яндекс [Электронный ресурс] // Яндекс Карты, 2022. URL : <https://yandex.ru/maps> (access date: 07.07.2022). – Access mode: free.

УДК 625.855.3

ОПТИЧЕСКИ-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ СЛАНЦЕВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

И. С. Садиков, А. М. Карабаев, Ш. Ч. Буриев
Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, ab.karabayev@gmail.com

В статье приводятся результаты исследований асфальтобетонной смеси на основе минерального порошка из сланцевых горных пород. Приведен оптически-микроскопический анализ минерального порошка. Выявлены преимущества этих порошков: - размеры частиц минерального порошка, полученного из сланцевой породы, расположены в близкой последовательности. Преимущество этого в том, что он позволяет почти полностью занять ту часть, которую необходимо заполнить между крупными и мелкими заполнителями в смеси: - минеральный порошок, полученный из сланцевых пород по сравнению с минеральным порошком известняка и ацикрета, кубической формой частиц и наличием очень малого количества игольчатых частиц. Даны количества в процентном отношении отдельных фракций частиц порошка. Указаны содержание частиц кубической, игольчатой и листовидной формы. Проведен анализ на влияния различных минеральных порошков на свойства асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, минеральный порошок, сланцевая порода, известняк, химический анализ.

Термин «минеральный наполнитель» обычно относится к мелким минеральным частицам, которые проходят через стандартное сито 200 (75 микрон). Применение минерального порошка в горячих плотных асфальтобетонных смесях призвано улучшить вяжущие свойства за счет уменьшения содержания вяжущего. [1]. Они, прежде всего действует в составе минерального инертного материала, заполняя промежутки между крупными и мелкими наполнителями в смесях, тем самым обеспечивая прочность асфальтобетонных покрытий, во-вторых; при смешивании со вяжущим минеральный порошок образует мастику [2].

Состав наполнителя, площадь поверхности и впитывающая способность поверхности влияют на оптимальный состав связующего в смеси. Существующие методика расчета асфальтобетонных смесей не имеют общих ограничений для отношения массы порошка к массе вяжущего. По опыту Словакии оптимальное соотношение вяжущего на единицу массы порошковой массы составляет от 1,5 до 1,75. Высокая масса порошкообразного вещества в смеси улучшает сцепление и внутреннюю стабильность смеси, повышает модуль асфальтобетона. Но минеральный порошок может повысить твердость битума, а это влияет на удобоукладываемость смеси. С другой стороны, низкое содержание порошка и высокое содержание битумного вяжущего могут увеличить подверженность смеси трещинообразованию [3].

Соответствующий минеральный порошок получают из природных известняковых и доломитовых пород. Помимо физико-механических свойств смеси, это также положительно влияет на композиционный эффект между битумом и инертным материалом. Наполнители имеют разные параметры градации, геометрические характеристики, удельную поверхность, структуру поверхности; состава воздушных пустот и других физико-механических свойств. Сделан вывод о том, что добавление гашеной извести в порошок увеличивает количество мелкодисперсных частиц, удельную поверхность [3,4].

Смешивание различных порошковых материалов для замены минерального порошка для улучшения характеристик асфальтобетонных смесей широко распространено во всем мире [5-6].

Использование минеральных порошков, полученных из сланцевых пород, в качестве минерального порошка в горячих асфальтобетонных смесях для устройства дорожных покрытий, увеличивает среднюю плотность асфальтобетонного покрытия, повышает его водопроницаемость, водостойкость, активность вяжущего, улучшает ее вязкость по отношению к минеральной части смеси, повышает прочность смеси [7].

В работах [8,9] показаны результаты исследований свойств.

Испытания минерального порошка, полученного из сланцевых пород, проводились в лабораторных условиях, согласно ГОСТ 16557-2005 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей». Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Большое влияние на качество и долговечность асфальтобетонных смесей оказывают степень измельчения минеральных порошков и форма их частиц. Поэтому минеральные порошки известнякового материала и минеральные порошки ацикритового материала, были проанализированы под микроскопом (рис.1.).

Оптически-микроскопическим анализом установлено, что минеральный порошок, полученный из сланцевых пород, состоит из частиц следующих размеров:

- L1- 67 мкм - 0,9 %;
- L2- 44,1 мкм - 1,78 %;
- L3- 17,0 мкм - 5,35 %;
- L4 – 27,5 мкм – 3,57 %;
- L5 – 21,0 мкм – 6,25 %;
- L6 - от 5,0 до 0,8 мкм - 71,42 %;
- L7- 12,0 мкм - 10,73 %.

Эти минеральные порошки на 96,35 % состоят из частиц кубической формы и на 3,65 % игольчатой и листовидной формы.

Таблица 1. Свойств минерального порошка из слонцевых горных пород

№	Имена указателей	Единица измерения	Значение показателей		
			Стандартное значение	Среднее значение	Совместимость с НД
1	Естественная влажность	%	0-1,0	0,8	-
2	Зерновой состав, мм	1,25	не менее 100	99,6	соот.
		0,315	не менее 90	91,7	соот.
		0,071	не менее 80	81,2	соот.
3	Плотность	г/см ³	не модерируется	2,6	-
4	Пористость, не менее	%	30	28,9	соот.
5	Размножение образца битумной смеси с минеральным порошком		1,8	1,6	соот.

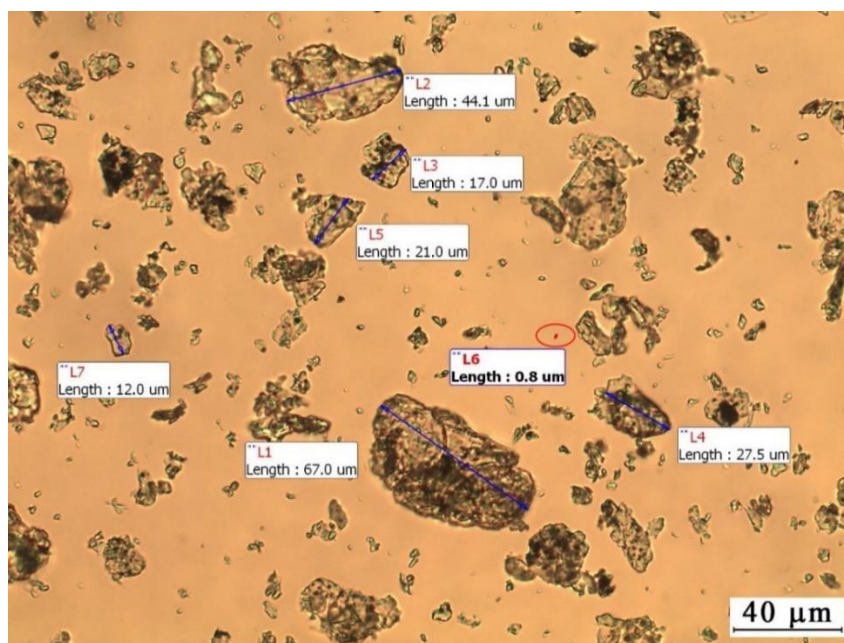


Рис. 1. Внешний вид минерального порошка, полученного из сланцевых пород, в оптическом микроскопе Motic VA 210.

Оптически-микроскопическим анализом установлено, что минеральный порошок, полученный из известняка (рис.2), состоит из частиц следующих размеров:

- L1- 70 мкм – 0,4%;
- L2, L4- 40,0 мкм - 1,19%;
- L3- 30,0 мкм - 1,6%;
- L5, L7 – 21,0 мкм – 2,39 %;
- L6 – 22,4 мкм – 2,39 %;
- L8- 34,5 мкм - 1,19%;
- L9- от 9 до 20, мкм - 11,16%;
- L10- от 0,8 до 9, мкм - 79,68%.

Из рисунка видна, что 6,72 % этого минерального порошка состоит из частиц игольчатой и листовидной формы. Иглы в основном встречаются в частицах размером 30-70 мкм.

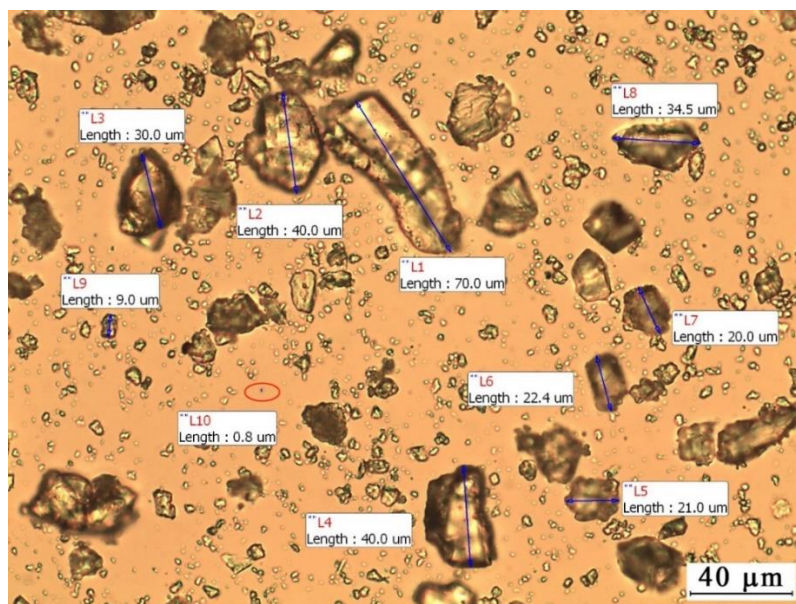


Рис. 2. Внешний вид минерального порошка, полученного из известнякового материала, в оптическом микроскопе Motic VA 210

В рис. 3 показан внешний вид ацикретного материала под микроскопом.

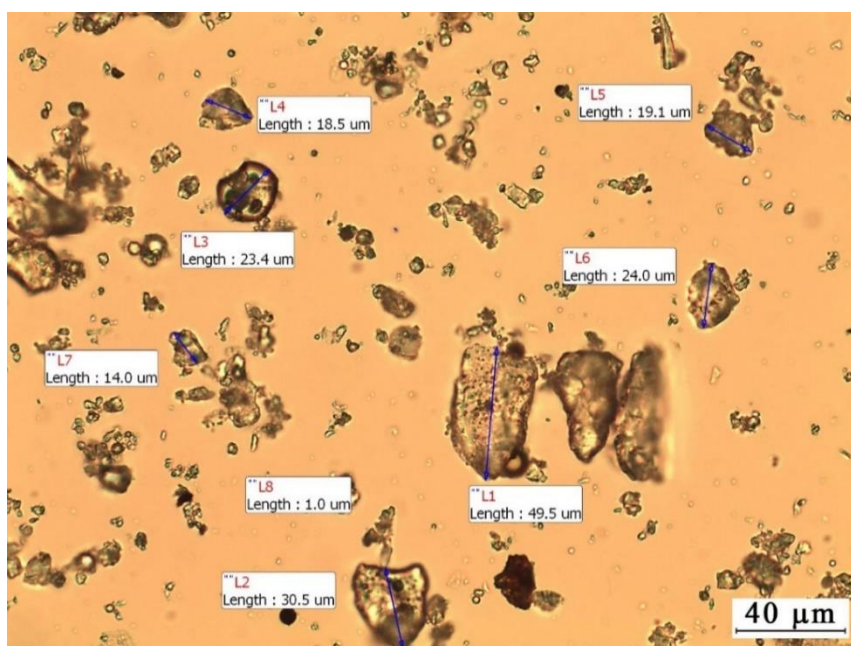


Рис. 3. Внешний вид частиц минерального порошка, полученного из ацикретного материала, в оптическом микроскопе Motic VA 210

- L1- 49,5 мкм – 3,27%;
- L2, - 30,5 мкм - 1,63%;
- L3, L6- от 23,4 до 24,0 мкм - 3,27%;
- L4, L5 – от 18,5 до 19,1 мкм – 3,27 %;
- L7 – от 14,0 до 18,5 мкм – 6,60 %;
- L8- от 1,0 до 14,0 мкм - 81,96%.

7,12% этого минерального порошка состоят из игольчатых и листовидных частиц. Хвойные породы встречаются в основном в диапазоне размеров частиц от 45 до 45 микрон и 1-14 микрон.

По результатам приведенного выше оптического анализа трех видов минеральных порошков между собой был сделан следующий вывод:

- размеры частиц минерального порошка, полученного из сланцевой породы, расположены в близкой последовательности. Преимущество этого в том, что он позволяет почти полностью занять ту часть, которую необходимо заполнить между крупными и мелкими заполнителями в смеси.

- минеральный порошок, полученный из сланцевых пород по сравнению с минеральным порошком известняка и азцикрета кубической формой частиц и наличием очень малого количества игольчатых частиц.

Литература

1. Al-Sayed, M.H., "The Effect funeral filler performance of tolled Asphaltic Mixes", Ph.D. Thesis, University of Leeds, 1988.

2. Xarris BM va Stuart KD, "Tosh matritsali asfaltda ishlatiladigan mineral kukun moddalari va mastikalar tahlili", J. Dots. Asfalt yotqizish texnologiyasi. , 1995 yil.

3. Remišová E. 2013. Navrhovanie asfaltových zmesí pre netuhé vozovky, theses, University of Zilina.

4. Grabowski, W. and Wilanowicz, J. 2011. The specific surface of mineral fillers and their functional properties, 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements Thessaloniki, Greece, 1–3 June 2011, ISBN 978-960-99922-0-6. pp. 246–255.

5. Wasilewska, M.; Małaszkiwicz, D.; Ignatiuk, N. Evaluation of different mineral filler aggregates for asphalt mixtures. In Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Prague, Czech Republic, 12–16 June 2017; IOP Publishing: Bristol, UK, 2017; Volume 245.

6. Modarres, A.; Ramyar, H.; Ayar, P. Effect of cement kiln dust on the low-temperature durability and fatigue life of hot mix asphalt. Cold Reg. Sci. Technol. 2015, 110, 59–66.

7. Содиқов И.С. ва Ш.Буриев “Сланецли минерал куқунларнинг асфальтобетон қоришмалари мустақкамлигига таъсири”. ТАЙЛҚЕИ. 2019 й.

8. Содиқов И.С. ва Ш.Буриев “Investigation of the effect of shale mineral powder on the physical and mechanical properties of asphalt concrete” Harward educational and scientific Review 2021-35-45 p.

УДК 625.074

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД КАРЬЕРА “УЗБЕКИСТАН”

И.С. Садиков, А. М. Карабаев

Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, ab.karabayev@gmail.com

В статье показывается важность роли минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси. Даны значения удельной поверхности щебня, песка, минерального порошка и суммарная поверхность каменных материалов. Предложена замена традиционно применяемого известнякового порошка на порошки из сланцевых горных пород. Изучены химический состав, физико-механические и технологические свойства предлагаемого минерального порошка карьера “Узбекистан” Республики Каракалпакстан. В химическом составе сланцевой породы преобладают оксид кремния, оксид алюминия и оксид кальция. Установлено возможность получения сланцев блоков,

фрезированных и полированных плит, щебня, песка и строительного камня. По радиоактивности сланцев можно отнести к I классу и рекомендуется использовать их во всех видах строительства без ограничений.

Ключевые слова: удельная поверхность, минеральный порошок, сланцевая порода, карьер, химический состав, технологические свойства.

Процесс объединения минерального порошка с битумом имеет важное значение в структурообразовании асфальтобетонов. Это связывается с развитой удельной поверхностью зерен минерального порошка. Например, удельная поверхность зерен щебня не превышает 10 см²/г, песка – 100 – 200 см²/г, а минерального порошка достигает 4000 см²/г. В 100 г. смеси асфальтобетона типа Б (имеющем в своем составе 45 % щебня, 45 % песка и 10 % минерального порошка) суммарная поверхность щебня будет равна 45 x 10 = 450 см²/г, песка 45 x 200 = 9000 см²/г, минерального порошка 10 x 4000 = 40000 см²/г. Если принять суммарную поверхность всех минеральных материалов 49450 см²/г за 100 %, то на долю щебня приходится 0,91%, песка – 18,2 %, минерального порошка – 80,89 %. Именно такое высокое значение удельной поверхности минерального порошка позволяет ему при контакте с битумом, переводить последний в пленочное состояние, изменяя его структуру и свойства. Обосновывается возможность замены традиционно применяемых в асфальтобетонах известняковых минеральных порошков на порошки из сланцевых горных пород.

Разрабатываются составы асфальтовых вяжущих веществ с применением минеральных порошков из сланцевых горных пород, определяются их физико-механические характеристики. Установлено, что асфальтовяжущие с применением предлагаемых минеральных порошков обладают повышенными значениями водостойкости, что положительно сказывается на водостойкости асфальтобетонов и улучшает показатели долговечности асфальтобетонных покрытий.

Нами изучен химический состав (табл. 1), физико-механические и технологические свойства (табл. 2) предлагаемого минерального порошка. Один из них является карьер «Узбекистан». Ниже даны схематическая геологическая карта и схематический геологический разрез сланцев карьера «Узбекистан»(рис.1).

Карьер Узбекистан находится в Берунийском районе, в 14 км севернее поселка и железнодорожной станции Дуслик Республики Каракалпакстан., с которыми связано грунтовой дорогой.

С поверхности продуктивные породы перекрыты современными щебнистыми элювиально-делювиальными осадками мощностью до 1 м, на глубину от 0,1 до 2,0 м (в среднем 0,8 м) сланцы затронуты выветриванием. Сланцы представляют собой серую до темно-серой породу с оригинальным структурно-текстурным рисунком, обусловленным как частичными изменениями минерального состава, так и наличием прослоек и линз мраморов, гнезд и ветвящихся прожилков белого и желтоватого кальцита. Основная масса породы скрытокристаллическая или мелкозернистая с обильными крупными порфиоровыми выделениями биотита почти черного цвета, имеющими четко выраженную линейную ориентировку параллельную простиранию пород. Выделения (гнезда) биотита составляют до 30-40 % и более от общего объема породы.

Теоретический выход блоков на всю горную массу в целом по месторождению составляет 54,02 %. В опытном карьере этот показатель составлял 30 %, в том числе по группам: II группа - 5,8 %, III группа - 8,7 %, IV группа - 6,7 %, V группа - 8,8 %.

Выход плит толщиной 30 мм с 1 м³ блоков составил в среднем 6,62 м². После полирования плиты приобретают зеркальную поверхность.

Технологическими исследованиями (в том числе трех блоков на Нукусском гранитно-мраморном заводе) установлена возможность получения:

- из не затронутых выветриванием сланцев блоков, отвечающих требованиям ГОСТ 9479-76 "Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий";
- фрезированных и полированных плит соответствующих по размерам ГОСТ 9480-76 "Плиты облицовочные пиленные из природного камня";
- щебня и песка декоративных соответствующих ГОСТ 22856 "Щебень и песок декоративные из природного камня";
- строительного камня соответствующего ГОСТ 8267 "Щебень из природного камня для строительных работ".

Таблица 1. Химический состав сланцев, %:

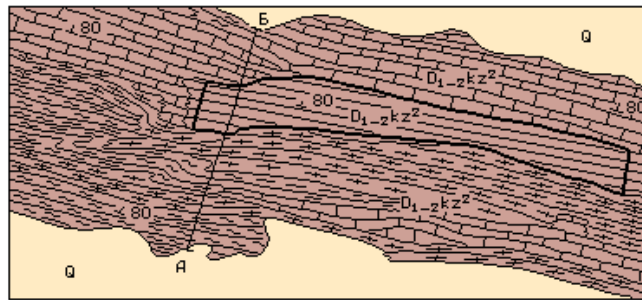
	от	до	сред.		от	до	сред.
SiO ₂	25,57	54,15	45,18	Na ₂ O	1,31	2,93	2,00
Al ₂ O ₃	7,13	18,33	12,79	K ₂ O	0,46	3,20	1,85
Fe ₂ O ₃	0,50	3,30	1,35	CO ₂	0,64	25,90	11,66
FeO	0,90	5,24	3,58	SO ₃ сульфат.	< 0,10	0,50	0,26
TiO ₂	0,21	0,65	0,43	SO ₂ сульфид.	0,90	1,29	0,32
CaO	6,59	32,81	16,90	H ₂ O при			
MgO	< 0,30	4,10	2,32	105°С	< 0,10	0,27	0,14
MnO	0,03	0,11	0,06	п.п.п.	6,52	26,52	12,85
P ₂ O ₅	0,07	0,24	0,14				

Таблица 2. Физико-механические и технологические свойства сланцев

	от	до	средне е
а) поверхностные пробы			
- объемная масса, г/см ³	2,36	2,79	2,57
- водопоглощение, %	0,11	4,27	2,19
- пористость эффективная, %	0,30	9,91	5,10
- предел прочности на сжатие в сухом состоянии, МПа	37,74	149,33	93,53
- предел прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	46,69	178,69	112,69
- предел прочности на сжатие после испытания на морозостойкость (50 циклов), МПа	23,73	116,80	70,27
- коэффициент размягчения	0,66	0,95	0,81
- истираемость, г/см ²	0,80	3,01	1,91
б) пробы керновые (2127)			
- общая плотность, г/см ³	2,64	2,86	2,77
- плотность, г/см ³	2,71	2,83	2,77
- водопоглощение, %	0,04	0,74	0,13
- пористость эффективная, %	0,13	1,99	0,30
- пористость истинная, %	0,36	2,06	1,21
- предел прочности на сжатие в сухом состоянии, МПа	42,65	206,13	124,39
- истираемость, г/см ²	0,80	3,01	1,90

Схематическая геологическая карта
проявления кварц-биотитовых сланцев Узбекистан
(облицовочные камни и материалы)

100 0 100 200 300 м

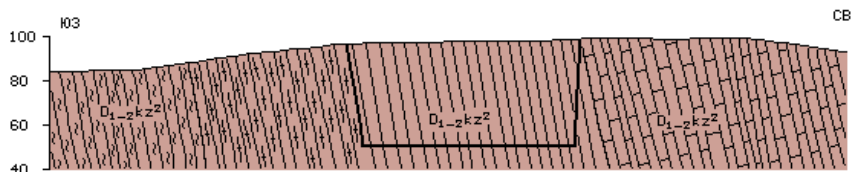


Четвертичные отложения: 1 - песчано-гравийная смесь; девонская система, нижний-средний отделы, верхнеказанская подсвита: 2 - известняки органогенные, 3 - сланцы кварц-биотитовые (продуктивная толща), 4 - известково-сланцевые породы, 5 - сланцы роговообманково-биотитовые; 6 - контур подсчета запасов по категории С₁.

Схематический геологический разрез по линии А-Б
проявления кварц-биотитовых сланцев Узбекистан
(со снятым четвертичным покровом)

(облицовочные камни и материалы)

20 0 20 40 60 м



Девонская система, нижний-средний отделы, верхнеказанская подсвита: 1 - известняки органогенные, 2 - сланцы кварц-биотитовые (полезная толща), 3 - известково-сланцевые сланцы, 4 - сланцы рогово-обманково-биотитовые; 5 - контур подсчета запасов по категории С₁.

Рис. 1.

Радиоактивность сланцев находится в пределах 8-12 мкр/час, что в соответствии с требованиями НРБ-76 позволяет отнести их к I классу и использовать во всех видах строительства без ограничений.

По сложности геологического строения Узбекистанское проявление сланцев кварц-биотитовых согласно инструкции ГКЗ относится ко 2 группе.

Запасы сланцев подсчитаны методом геологически однородного тела до уровня горизонта +50,0 м, с учетом требований технического задания Минпромстройматериалов, предусматривавшим выявление запасов сланцев по категории С₁, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 9479-76 "Блоки из природного камня для производства облицовочных плит".

Литература

1. Беляев В.В. Отчет по предварительной разведке месторождения темноцветных пород Узбекистан и белого мрамора Кахралысай как облицовочного камня и крошки в Республике Каракал-пакстан за 1978-1981 г.г. Экспедиция "Химгеолнеруд" ПГО Ташкентгеология, 1981 г. Госгеолфонд, Ташкент.

UDC 625

INFLUENCE OF THE INERTIA FORCE OF UNDERGROUND PIPELINE SYSTEMS UNDER SEISMIC LOADS

Sh.Sh. Shojalilov

Tashkent State Transport University,

1-House of Temiryulchilar street of Mirabad District of Tashkent City, Uzbekistan, shuxrat0648@gmail.com

The article provides research on assessing the degree of influence of inertial forces when solving problems of seismodynamics of underground polymer pipelines. The problems of the stress-strain state of underground pipeline systems under seismic impact are considered. The tasks are solved by analytical methods. Dangerous points of occurrence of maximum normal stresses under the influence of seismic loads on the underground pipeline of elastic interaction in the "pipe-soil" system are determined.

Key words: inertial force, seismodynamics, interaction in the "pipeline - soil" system, underground pipelines, normal stress.

Extensive structures - pipelines, tunnels, bridges, foundations of extended buildings, etc. during earthquakes behave differently in comparison with high-rise structures - buildings, towers, and therefore the former, in addition to inertial forces, also experience forces caused by soil deformation. The development of the pipeline system cannot be realized without ensuring a high level of reliability of structures. Thus, world experience shows that almost every major earthquake leads to damage to pipelines.

Influence of the inertia force of underground pipeline systems under seismic loads.

The seismic action on an underground pipeline is the field of soil displacement determined by seismic waves with a finite velocity of their propagation. Seismic waves are represented by a spectrum of similar waves of different lengths, each of which dominates in different periods of the earthquake impact. Underground structures are mainly destroyed by inertial forces caused by earthquakes. In this case, the interaction of the structure with the base can also affect the properties of the stress state. Damage and destruction of a structure does not affect the neighboring life, such as underground support systems (primarily pipes), where the force of inertia only slightly affects the mutual forces in the "pipe-ground" system, in some cases they can be ignored simplifies some tasks. At the same time, the collapse of part of the underground structures (piping systems) leads to the failure of the entire system. Seismic action on an underground pipeline is the field of soil displacement determined by seismic waves with a finite velocity of their propagation. Seismic waves are represented by a spectrum of similar waves of different lengths, each of which dominates in different periods of the earthquake impact. Therefore, in some cases, the forces caused by soil deformation during an earthquake can play a major role than inertial ones. It should be noted that for overground structures inertial forces play a leading role, and for underground structures, these forces are insignificant in some cases.

Differential equations of underground pipelines without taking into account inertia forces under seismic loads

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - p^2(u - u_0) = 0, \quad (1)$$

boundary conditions

$$u|_{x=0} = u^0, EF \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0. \quad (2)$$

Knot equations

$$m_1 \frac{\partial^2 u^0}{\partial t^2} + \pi D_H k_x^{uz} H_{uz} (u^0 - u_0) = 0, \quad (3)$$

Consider an analytical solution to the inhomogeneous equation (3). Analytical solution of differential equation (3).

It can be seen from the results that an increase in the value of the parameter k_x^{uz} leads to a decrease in the value of the stresses of the underground pipeline in all sections, and an increase in the value of the parameter at the nodes leads to an increase in the value of the stresses of the underground pipeline. It was revealed that the force of inertia does not always have the same effect on the dynamics of the system of underground structures. Only in some cases does the quasi-static formulation allow one to obtain satisfactory results. Analysis of numerical results shows that viscoelastic interaction has a significant impact on the stress-strain state of underground pipelines. In the examples considered, the difference between the results of elastic and viscoelastic solutions in stresses is 15 - 20%. The carried out computational and experimental studies solve the problems of assessing the stress-strain state of pipelines under seismic loads, which is important for practical calculations. The results obtained using quasi-static calculations should be considered as the first approximation. It is necessary to provide for sufficient safety margins of the pipeline structures, or check the results of a quasi-static calculation using a more accurate, dynamic one.

References

1. Virginia Corrado, Berardino Dacunto, Nicola Fontana, Maurizio Giugni. Journal of Mathematical Problems in Engineering. 11(2012).
2. Silvia Petkova, Dimitar Kisliakov, Yordan Yordanov. Journal of Theoretical and Applied Mechanics. 9(2011).
3. Corrado V., Dacunto B., Fontana N., M. Giugni. Journal of Mathematical and Computer Modelling. 3-4(2009).
4. Vasudeo Ch., Venkata Dilip Kumar P., Ramancharla Pradeep K. Journal of Earthquake Science and Engineering. 20(2014).
5. Rashidov T.R., Bekmirzaev D.A. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering. 3(2015).
6. Polynikis Vazourasa., Spyros Karamanosb., Panos Dakoulasa. Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 5(2010).
7. Olarewaju A. J., Kameswara Rao N.S.V., Mannan M. A. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 1(2010).
8. Selcuk Toprak, Engin Nacaroglu, A. Cem Koc. Journal of Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. 2(2014).
9. Bekmirzaev D.A and Rashidov T.R. Journal of Siberian Federal University. 8(2015).
10. Rashidov T.R and Nishonov N.A. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering.3(2016).

УЛІК АСАБЛІВАСЦЕЙ УЗДЕЯННЯ ТРАНСПОРТУ НА КАНСТРУКЦЫІ НЯЖОРСТКІХ ДАРОЖНЫХ АДЗЕННЯЎ ПРЫ ПРАЕКТАВАННІ КАНСТРУКЦЫЙ

Я.М. Жукоўскі

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт,
пр. Незалежнасці, 65, 220013, г. Мінск, Беларусь, zhukovskye@gmail.com

У артыкуле прадстаўлены аналіз фактараў, якія вызначаюць характар напружана-дэфармаванага стану дарожнай канструкцыі на розных палосах руху транспарта і, адпаведна, іх эксплуатацыйны стан. Атрыманыя вынікі ўказваюць на неабходнасць уліку інтэнсіўнасці, характарыстык транспартнага патоку і геаметрычных параметраў пры праектаванні няжорсткага дарожнага адзення.

Ключавыя словы: дарожнае пакрыццё, няжорсткае дарожнае адзенне, дэфектнасць, інтэнсіўнасць руху, роўнасць, каэфіцыент палоснасці, першая паласа

Назіранне за нежорсткім дарожным адзеннем паказвае, што зніжэнне іх транспартна-эксплуатацыйных характарыстык адбываецца нераўнамерна па шырыні праезнай часткі. Першыя палосы руху больш схільныя ўзнікненню розных дэфектаў, якія значна змяншаюць бяспеку руху і спажывецкія якасці пакрыццяў. Часта яны маюць крытычны характар, што выклікае неадкладнае прыняцце мер па іх устараненню. Фактычныя тэрміны службы пакрыцця па шырыні праезнай часткі аказваюцца рознымі.

На заўчаснае разбурэнне асобных палос аўтамабільнай дарогі істотна ўплывае нераўнамернае ўздзеянне транспартнай нагрузкі і пагодна-кліматычныя фактары па шырыні праезнай часткі. Аднак дадзеныя фактары ў наш час не ў поўнай меры ўлічаны пры праектаванні няцвёрдага дарожнага адзення, што і з'яўляецца чыннікам нераўнамернага разбурэння розных палос руху.[1-4]

Для ацэнкі эксплуатацыйнага стану дарожных пакрыццяў былі выбраны аўтамабільныя дарогі з розным лікам палос руху з асфальтабетонным пакрыццём.[1]

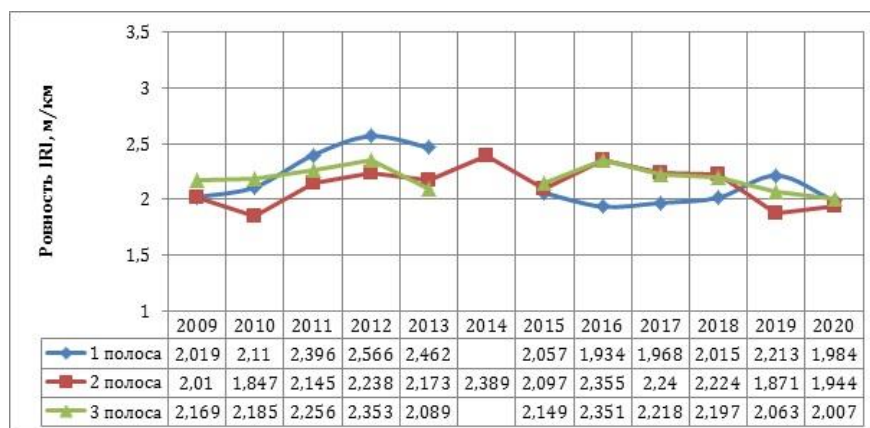
На эксплуатацыйны стан дарожнага пакрыцця істотна ўплываюць такія дэфекты як каразійныя, пластычныя дэфармацыі, стомленыя і тэмпературныя разбурэнні.[5] Аднак адсочваць дынаміку змены стану пакрыцця па дадзеных паказчыках цяжка, па гэтым у далейшым для ацэнкі стану пакрыццяў выкарыстоўваўся міжнародны індэкс роўнасці IRI. Міжнародны індэкс роўнасці IRI з'яўляецца інтэгральным паказчыкам стану дарожнага пакрыцця.

Для назірання за дынамікай змены роўнасці, быў прааналізаваны стан дарожнага пакрыцця на разгляданых участках за перыяд 10 гадоў. У якасці прыкладу, на малюнак 1, паказана змяненне роўнасці на адным з абследаемых участкаў. Паколькі на дарогах за гэты перыяд праводзіўся бягучы рамонт на розных палосах, тое ацаніць абсалютную змену роўнасці дарожных пакрыццяў немагчыма. Таму для адзнакі дынамікі быў выкарыстаны паказчык пікавага прыросту няроўнасці, які вызначаецца як стаўленне максімальных прырашчэнняў няроўнасці па палосах руху за год.[3]

Так па малюнку 1 відаць, што максімальнае прырашчэнне няроўнасці на разгляданым участку адбылося ў перыяд з 2010 па 2011 год. Роўнасць пры гэтым змянілася са значэння 2,110 м/км да 2,396 м/км на першай (правай) паласе, а на левых палосах (другая і трэцяя) сярэдняя роўнасць змянілася са значэнняў 2,016 м/км да 2,200 м/км. Прырашчэнне на першай паласе складала 0,286 м/км, а на другой 0,184. Пікавы прырост роўны 1,55.

Аналізуючы даныя па ўсіх разглянутых дарогах відаць, што пікавы прырост няроўнасці на першай паласе ў сярэднім у 2,88 раза большы чым левых на 6-ці палосных дарогах, і ў 2,5 раза на 4-х палосных. [1,3] Гэта сведчыць неабходнасць дыферэнцыраванага

падыходу пры праектаванні няжорсткіх дарожных адзенняў з рознай трываласцю па шырыні праезнай часткі.



Мал. 1. Дынаміка змянення стану пакрыцця ў 2009-2020 гг на 25 км а/д Р-1 Мінск – Дзяржынск (прама)

Для адзнакі ўздзеяння транспарта быў праведзены візуальны ўлік інтэнсіўнасці руху. [2]. Пры праектаванні дарожнага адзення выкарыстоўваюць прыведзеную інтэнсіўнасць уздзеяння нагрузкі N_p .

Для вызначэння прыведзенай інтэнсіўнасці ўздзеяння нагрузкі выкарыстоўваюць каэфіцыент палоснасці f_{nal} , які ўлічвае лік палос руху і размеркаванне руху па іх. У Беларусь значэнне дадзенага каэфіцыента вызначаюць па ТКП 45-3.03-112 [6].

Па выніках натурных назіранняў [2,3] устаноўлены фактычныя каэфіцыента f_{nal} . Сярэднія значэнні атрыманых каэфіцыентаў прадстаўлены ў табліцы 1.

Як бачна пры супастаўленні табліцы 1 з фактычнымі каэфіцыентамі f_{nal} па [6] перавышаюць нарматыўныя значэнні, прычым у выпадку Рэспублікі Беларусь у 1,3 раза. Такім чынам, за кошт таго, што дзеючыя нарматывы не ў поўнай меры адлюстроўваюць рэальнае размеркаванне транспартных сродкаў у межах праезнай часткі, першыя палосы руху значна перагружаны транспартам, а астатнія наадварот недагружаны. Гэта пацвярджаецца вынікамі візуальнага абследавання і гэтым тлумачыцца нераўнамернае па шырыні разбурэнне канструкцый дарожнага адзення.

Табліца 1. Значэнне фактычных каэфіцыентаў палоснасці f_{nal} па выніках візуальнага ўліку інтэнсіўнасці

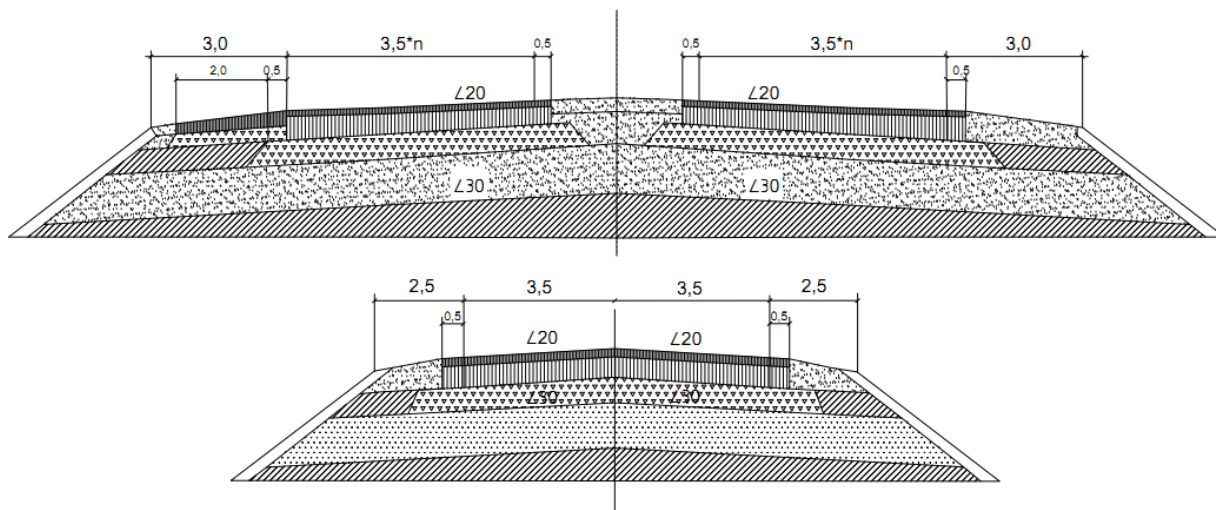
Колькасць палос руху	Значэнне каэфіцыента f_{nal} для паласы з нумарам		
	1	2	3
4	0,47	0,03	-
6	0,34	0,16	0,01

Як бачна пры супастаўленні табліцы 1 з фактычнымі каэфіцыентамі f_{nal} па [6] перавышаюць нарматыўныя значэнні, прычым у выпадку Рэспублікі Беларусь у 1,3 раза. Такім чынам, за кошт таго, што дзеючыя нарматывы не ў поўнай меры адлюстроўваюць рэальнае размеркаванне транспартных сродкаў у межах праезнай часткі, першыя палосы руху значна перагружаны транспартам, а астатнія наадварот недагружаны. Гэта пацвярджаецца вынікамі візуальнага абследавання і гэтым тлумачыцца нераўнамернае па шырыні разбурэнне канструкцый дарожнага адзення.

Для зніжэння адрозненняў у тэрмінах службы розных палос аўтамабільных дарог прапануецца прылада рознатрывалых дарожных канструкцый [7]. Гэтыя канструкцыі павінны значна павялічыць фактычныя тэрміны эксплуатацыі аб'ектаў без павелічэння матэрыяльных затрат на іх будаўніцтва, а таксама забяспечыць больш раўнамернае зніжэнне рэсурсу дарожных канструкцый на розных палосах, што прывядзе да істотнага зніжэння затрат на іх рамонт і ўтрыманне. Забяспечыць патрабаваныя суадносіны

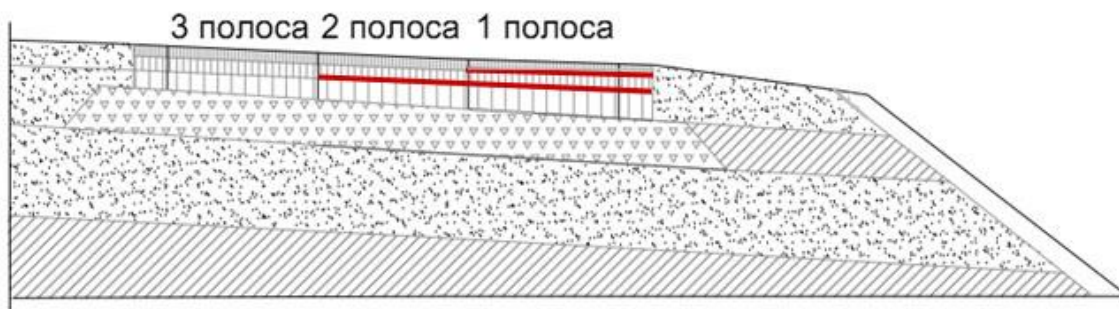
тывальных параметраў канструкцыі на розных палосах руху транспарту ў адпаведнасці са ступенню ўздзеяння разбуральных фактараў (транспартная нагрузка і водна-цеплавы рэжым) магчыма шляхам прымянення дарожных адзенняў з зменнай таўшчынёй канструктыўных пластоў, армавання пакрыццяў крайніх правых палос праезнай часткі геасінтэтычнымі матэрыяламі, рознай тываласці па шырыні праезнай часткі.

На дарогах з лікам палос руху больш за чатыры, пры праектаванні дарожнага адзення магчымы ўлік рэальнага размеркавання транспартных сродкаў па шырыні праезнай часткі. Для гэтага можна ўладкоўваць канструктыўныя пласты зменнай шырыні [4]. Акрамя таго, у адмысловых выпадках, дадзеныя канструкцыі можна выкарыстоўваць і на двухпалосных дарогах. Прымеры такіх канструкцый дарожнага адзення паказаны на малюнку 2.



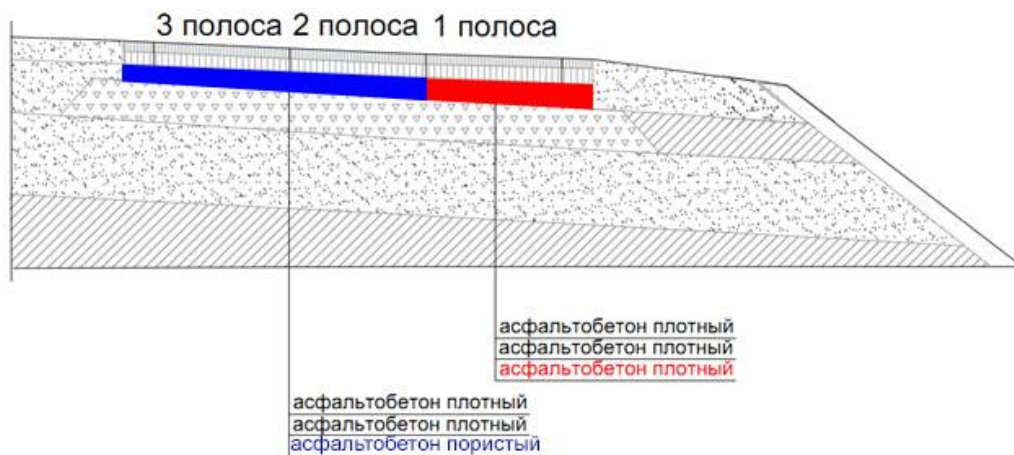
Мал. 2. Канструкцыя дарожнага адзення са зменнай таўшчынёй пластоў

Перспектывным варыянтам праектавання рознатывальных дарожных канструкцый з'яўляецца прылада армавальных геасінтэтычных праслоек у асфальтабетонным пакрыцці ў межах правых палос праезнай часткі (мал. 3).



Мал. 3. Арміраванне пакрыцця дарожнага адзення

Варыянтам праектавання рознатывальных дарожных канструкцый з'яўляецца прылада асфальтабетонных пластоў пакрыцця рознай шчыльнасці ў межах правых палос праезнай часткі (мал. 4).



Мал. 4. Дорожная адзення з пластамі пакрыцця рознай шчыльнасці

Вынікі тэхніка-эканамічнага параўнання паказваюць, што павелічэнне кошту гэтых канструкцый не перавышае 10 працэнтаў у параўнанні з традыцыйнымі, пры гэтым павялічваецца тэрмін службы дарожнага адзення ў цэлым, зніжаючы неабходнасць у матэрыяльных затратах на вытворчасць рамонтных работ.

Літаратура

1. Жуковский, Е. М. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 65-71.
2. Жуковский, Е. М. Анализ воздействия транспортной нагрузки на неравномерное разрушение по ширине жестких дорожных одежд / Е. М. Жуковский // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 48-53.
3. Факторы, определяющие характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта / Е.М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2021. – №2. – с. 14-23.
4. Тришин, Г.Г. Прочность многополосных дорог / Г.Г. Тришин, Р.З. Порицкий, В.П. Корюков // Автомобильные дороги. – 1978. – № 9. – с. 22-23.
5. Веренько, В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий. Причины и пути устранения / В. А. Веренько. – Минск, 2008. – 303 с.
6. Аўтамабільныя дарогі. Няжорсткае дарожнае адзенне. Правілы праектавання: ТКП 45-3.03-112-2008 (02250). - Мінск, 2008. - 114 с.
7. Жуковский, Е. М. Особенности воздействия транспорта на конструкции жестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик, С. Е. Кравченко // Каспий и глобальные вызовы : Материалы Международной научно-практической конференции, Астрахань, 23–24 мая 2022 года / Составители: О.В. Новиченко [и др.]. – Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный университет", 2022. – С. 888-893.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В РЕЦИРКУЛЯЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Артющик В.С.1), Чжан Цин2), Минченя В.Т.3), Алексеев Ю.Г.1), Нисс В.С.1)

1) Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,
ул. Сурганова, 37/1, 220013, г. Минск, post@.park.bntu.by

2) Henan Gaoyuan Highway Maintenance Technology Co., Ltd, 7379349@qq.com

3) Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, vladimir.minchenya@park.bntu.by

В статье приведены результаты исследования по определению целесообразности разработки технических решений в области технологий получения материалов для дорожного строительства с использованием ультразвукового воздействия. Установлено, что ультразвуковое воздействие позволяет повысить проникающую способность регенерирующих добавок, снижает водонасыщение и жесткость асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием асфальтогранулята.

Ключевые слова: дорожное строительство, асфальтобетон, асфальтогранулят, ультразвук, регенерирующая добавка

В строительстве дорожных покрытий, большую долю в себестоимости выполнения работ занимает процент затрат на материал, его производство и транспортировку. Поэтому повторное использование материала старого асфальтобетонного покрытия - ресайклинг существенно снижает финансовые затраты. И применение технологий ресайклинга дорожных покрытий является весьма актуальным и находит широкое применение, особенно в таких странах как США и ЕС, где высока протяженность автомагистралей с асфальтобетонным покрытием. В большинстве стран, особенно где запасы сырьевых ресурсов не высокие, до 80% асфальтовых покрытий, после эксплуатации используются повторно. Используются разнообразные технологии ресайклинга. Наиболее известные разработчики и производители специализированной техники в этой сфере являются немецкие и американские компании: Германия – комплексы фирм «Wirtgen» и «Hamm», оборудование фирмы «Teerbau» совместно с фирмой «Ammann»; США - комплексы фирм «Roadtec», «Caterpillar», «Roadtec», «Terex», оборудование фирм «Iowa Manufacturing» (Cedarapids), «Boing air space Company» (Pirocon), «G.M.I.» (Rotocycler).

В Китае основным разработчиком и производителем оборудования для содержания дорог является компания «Henan Gaoyuan Maintenance Technology of Highway Co. Ltd.», основанная в 2004 году. Её производство охватывает большое количество серий оборудования для содержания дорог и испытания дорожных покрытий. Компания имеет свой научно-исследовательский центр и постоянно разрабатывает, модернизирует и совершенствует выпускаемую технику под современные технологии дорожного строительства. В том числе и для выполнения дорожных ремонтных работ.

Компанией выпускается мобильный рециклер – машина для содержания дорожного покрытия типа HGY5130NYH (рис. 1), в основном используется для ямочного ремонта. К достоинствам машины следует отнести быстрый набор температуры, использование вторичных ресурсов, эксплуатация непосредственно при разборке старого покрытия, сохранение свойств асфальтобетонной смеси с отсутствием её расслоения.

Специалисты компании «Henan Gaoyuan Maintenance Technology of Highway Co. Ltd.» совместно с белорусскими учеными в рамках проекта «Outstanding Foreign Scientist Studio of Green Low-carbon Technology for Pavement Construction and Maintenance» (Grant No.: GZS2022004) (道路绿色低碳建养技术杰出外籍科学家工作室 (项目号: GZS2022004)) проводят исследования, связанные с применением ультразвукового воздействия при

рециклинке дорожного покрытия с использованием асфальтогранулята и битумного вяжущего.



Рис. 1. Мобильный рециклер – машина для содержания дорожного покрытия типа HGY5130NYH

Из анализа предыдущих исследований следует учитывать, что:

- введение асфальтогранулята и наличие в его составе состаренного битума оказывает существенное влияние на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси, и как следствие снижается долговечность асфальтобетонного покрытия [1];

- асфальтобетоны, изготовленные горячим методом с асфальтогранулятом, имеют повышенную сдвигоустойчивость по сравнению с традиционными плотными асфальтобетонами. Но, введение асфальтогранулята снижает температурную и усталостную трещиностойкость асфальтобетона, что обусловлено старением битума в процессе устройства и эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Увеличение содержания асфальтогранулята приводит к росту значения коэффициента водостойкости асфальтобетона, а значение коэффициента морозостойкости падает. В связи с чем, достаточной долговечностью обладают асфальтобетонные смеси с содержанием до 20% асфальтогранулята [2].

Причиной снижения долговечности асфальтобетона является недостаточная «активность» используемого асфальтогранулята. Под активностью следует понимать способность вяжущего в составе асфальтогранулята образовывать после нагрева и последующего остывания прочные связи, способные выдерживать многократную транспортную нагрузку. Степень активности асфальтогранулята определяется количеством и качеством битума на поверхности зерен минеральных частиц.

Активность асфальтогранулята может быть повышена улучшением реологических свойств битума. Одним из возможных вариантов является обработка поверхности асфальтогранулята регенерирующими «омолаживающими» составами [3]. Известно, что при добавлении в асфальтогранулят регенерирующих добавок физико-механические свойства битума восстанавливаются. При этом проникающая способность добавок в структуру материала имеет решающее значение. За счет изменения группового химического состава состаренного битума восстанавливается работоспособность асфальтобетона, приготовленного с использованием асфальтогранулята [4, 5].

Возможным решением задачи обеспечения проникновения добавок в структуру асфальтогранулята может стать применение ультразвуковой технологии. На сегодняшний день энергия ультразвука широко применяется для ускорения технологических процессов в самых разных сферах производства, протекающих в жидких, твердых и газообразных средах. Наиболее широко ультразвуковое воздействие применяется в жидких средах за счет использования явления кавитации, которое повышает эффективность процессов очистки,

диспергирования, пропитки. Использование ультразвука в твердых средах осуществляется при наличии гомогенной среды для распространения ультразвуковых колебаний [6].

В целях установления перспективности использования ультразвукового воздействия в процессе регенерации материалов для дорожного строительства проведено исследование воздействия ультразвука на асфальтогранулят, осуществляемое для повышения его «активности», т.е. повышения способности асфальтового вяжущего в составе асфальтогранулята образовывать с использованием технологии нагрева и последующего остывания прочные и долговечные связи [3].

На первом этапе исследования изготовлено лабораторное оборудование в составе чаши с прикрепленным к ее днищу излучателем ультразвука мощностью 30 Вт и генератора мощностью 100 Вт. Асфальтогранулят массой 30,0 грамм размещали в чаше. Добавляли 1% покрашенной жидкости и в течение 1 минуты осуществляли механическое перемешивание. Далее в чаше было размещено аналогичное количество асфальтогранулята и жидкости. Однако, перемешивание осуществлялось при одновременном ультразвуковом воздействии. После извлечения из чаши с помощью стереоскопического микроскопа проводилось визуальное сравнение полученных образцов асфальтогранулята.

Установлено, что при ультразвуковом воздействии краситель в меньшей мере оставался на поверхности гранул, а через поры (микротрещины) интенсивно проникал внутрь. Полученный результат обосновывается ультразвуковым капиллярным эффектом (открытие, зарегистрированное в СССР № 109 от 31 мая 1961 г., автор - академик Академии наук БССР Е.Г. Коновалов) – и состоит в том, что под действием ультразвуковых колебаний увеличивается высота подъема жидкостей в капиллярах и ускоряется сам процесс проникновения жидкостей в капилляры. Время пропитки сокращается в 3 - 4 раза и более. Различные исследователи обращают внимание на роль волн, распространяющихся в теле капилляра, изменение вязкости и смачиваемости под действием ультразвуковых колебаний, а также на кавитационные явления на границе жидкости с твердым телом.

На втором этапе исследования изготовлено лабораторное оборудование в составе цилиндрической емкости (ванны) с прикрепленными к ее днищу шестью излучателями ультразвука мощностью 50 Вт каждый и генератора мощностью 400 Вт. Использовали асфальтогранулят, приготовленный путем дробления на мелкую фракцию 5,0-7,5 мм и общей массой 800,0 г. К нему добавлялось минеральное моторное масло 10W40 с массовой долей 1,4% от массы асфальтогранулята и вносилась адгезионная добавка амфотерного типа ДАД-1 в количестве 0,015% от массы асфальтогранулята или около 2% от массы битума в составе асфальтогранулята.

ДАД-1 содержит анионные и катионные функциональные группы и применяется в дорожном строительстве для улучшения сцепления нефтяного дорожного битума с каменными материалами, как кислых, так и основных пород. Важно, что ДАД-1 экологически чистый продукт, производится из абсолютно безопасного для человека экологически чистого сырья, имеет очень низкую рыночную стоимость и очень технологичен в использовании.

Подготовленная смесь механически перемешивалась в течение 2 минут. Затем в ванне размещалась новая аналогичная по массе партия асфальтогранулята и аналогичное количество моторного масла и добавки ДАД-1. Перемешивание осуществлялось также в течение 2 минут, однако оно уже сопровождалось ультразвуковым воздействием.

Оценка полученных результатов осуществлялась визуальным методом посредством изучения срезов образцов асфальтогранулята с помощью стереоскопического микроскопа. Визуально асфальтогранулят, подвергнутый ультразвуковому воздействию, выглядит более насыщенным. При этом добавка ДАД-1 действует в основном как смазка между гранулами. Стоит отметить, что в ванне после обработки асфальтогранулята с использованием ультразвука оставалось гораздо меньшее количество компонентов, смешиваемых с асфальтогранулятом, чем при обработке без ультразвукового воздействия.

Затем проводились испытания образцов асфальтогранулята на прочность на прессе при температуре 20°C, в соответствии с практикой проведения испытаний контрольных проб на стандартных образцах асфальта на прочность в нормальных условиях. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний на прочность

Исследуемые образцы	Давление разрушения при 20°C, МПа
Асфальтогранулят (в исходном состоянии)	8,39
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла без УЗ	4,90
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла с УЗ	3,13

Полученные результаты свидетельствуют о том, что взаимодействие добавки ДАД-1 с асфальтогранулятом приводит к снижению прочности полученных образцов, что является показателем снижения жесткости битума в составе асфальтогранулята. Разрушенные образцы исследовались на стереоскопическом микроскопе. Установлено, что в образцах, обработанных ультразвуком, при разрушении практически не появлялись растрескивания и выкрашивания каменного материала, т.е. разрушение в основном происходило по битумным пленкам, что косвенно указывает на снижение жесткости битума.

На третьем этапе исследования в ванне лабораторного оборудования проводилось смешивание в течение 2 минут асфальтогранулята с добавкой ДАД-1, в соотношении составляющих аналогично предыдущему этапу. Дополнительно вносили битум с массовой долей 2,5% от массы асфальтогранулята. Смешивание также проводилось двумя способами с и без наложения ультразвука.

Аналогичным образом было произведено смешиванием асфальтогранулята с минеральным моторным маслом 10W40 с массовой долей 0,015% от массы асфальтогранулята. В целях создания контрольного образца провели смешивание без ультразвукового воздействия асфальтогранулята с битумом с массовой долей 2,6% от массы асфальтогранулята. Далее были проведены испытания полученных образцов на прочность. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

На четвертом этапе исследования в ванне лабораторного оборудования проводилось смешивание асфальтогранулята с добавкой (стабилизатором) АНТ, массовая доля которой составляла 1,2% от массы асфальтогранулята. Смешивание проводилось в течение 2 минут двумя способами: с осуществлением и без осуществления ультразвукового воздействия. Ионный стабилизатор АНТ, представляет собой водорастворимую активную органоминеральную добавку, содержащую амфотерные поверхностно-активные вещества и микроэлементы. Данные модификаторы создают прочные кристаллизационные и коагуляционные связи, применение которых рекомендуется совместно с минеральным вяжущим веществом. В этом случае модификатор способствует повышению физико-механических характеристик, а также снижению расхода минерального вяжущего.

Таблица 2. Результаты испытаний на прочность.

Исследуемые образцы	Давление разрушения при 20°C, МПа
Асфальтогранулят + 2,6% битума без УЗ	6,51
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 2,5% битума без УЗ	2,13
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 2,5% битума с УЗ	1,73
Асфальтогранулят + 0,015% масла без УЗ	3,54
Асфальтогранулят + 0,015% масла с УЗ	4,01

Далее было проведено исследование водонасыщения полученных образцов по стандартной методике. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследования водонасыщения

Исследуемые образцы	Водонасыщение, в % от объёма
Асфальтогранулят	7,80
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла без УЗ	1,10
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла с УЗ	1,01
Асфальтогранулят + 0,015% масла с УЗ	1,12
Асфальтогранулят + 0,015% масла без УЗ	1,24
Асфальтогранулят + 1,2% АНТ без УЗ	3,08
Асфальтогранулят + 1,2% АНТ с УЗ	2,71
Асфальтогранулят + 0,01% ДАД-1 + 2,5% битума без УЗ	1,56
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 2,5% битума с УЗ	1,42

Снижение водонасыщения после ультразвукового воздействия свидетельствует о том, что вода в меньшей степени проникала в поры (микротрещины) асфальтогранулята. Это обуславливается тем, что поры (микротрещины) асфальтогранулята в результате ультразвукового воздействия были в большей степени заполнены компонентами, с которыми непосредственно смешивался асфальтогранулят

На основании того, что ультразвуковое воздействие снижает уровень водонасыщения и жесткости асфальтогранулята за счет более полного заполнения пор и микротрещин жидкими компонентами, можно сделать вывод о росте степени активности асфальтогранулята. Как следствие это определяет количество и качества битума на поверхности зерен минеральных частиц в асфальтогрануляте и расширяет способность вяжущего в составе асфальтогранулята образовывать после нагрева и последующего остывания прочные связи.

Таким образом, использование ультразвуковых технологий при производстве рециклинга дорожного покрытия можно охарактеризовать как перспективное направление, особенно в рамках процессов регенерации асфальтобетона. При обработке ультразвуком асфальтогранулята повышается глубина проникновения используемых при смешивании компонентов в поры, трещины и пустоты асфальтогранулята, что позволяет улучшить технические характеристики получаемого асфальтобетона.

Литература

1. Инновационные асфальтобетонные смеси / Н.В. Майданова [и др.] // Дороги России. 2020. №1 (115). С.42-53
2. Игошкин Д.Г. Применение асфальтогранулята при устройстве асфальтобетонных покрытий // Мир дорог. 2014. №73. С. 65-69.
3. Игошкин Д.Г., Кравченко С.Е. Активность асфальтогранулята – фактор, определяющий эффективность его применения в асфальтобетонных смесях // Автомобильные дороги и мосты. – Минск : БелдорНИИ. 2016. № 2. С. 67-70.
4. Определение расчетного срока службы асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием регенерирующих добавок [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://www.npfselena.ru/opredelenie-raschetnogo-sroka-sluzhby-asfaltobetonnyh-smesei-prigotovlennyh-s-ispolzovaniem-regeneriruyushhih-dobavok/> . – Дата доступа: 02.02.2021.
5. Теплоустойчивость и теплообмен дорожных покрытий / Б.М. Хрусталева, ЛюТингуо, В.Д. Акельев, Ли Чжунюй, Ю.Г. Алексеев, В.В. Занкович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. № 62(6). С. 536-546.
6. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники / С.П. Кундас, В.Л. Ланин, М.Д. Тявловский [и др.] Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. Минск : Бестпринт, 2002. В 2 т., т. 1. 404 с.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ РУСЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОЦЕССОВ НАМЫВА ИЛИ РАЗМЫВА

А.Х.Туляганов¹⁾, Б.Р.Махкамов²⁾

¹⁾ Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, Slimcher@mail.ru

²⁾ ООО «Йўл-Лойиҳа Бюроси»,
ул.Мустакиллик, 6ба, г. Ташкент, Узбекистан

В статье получена система дифференциальных и интегральных уравнение, с соответствующими ей краевыми и начальными условиями для расчета площади сечения русла в результате процессов намыва или размыва.

Ключевые слова: Площадь сечения русла, площадь намыва (размыва), периметр руслового сечения, наинизшая точка дна, объем донных отложений

Существующие в настоящее время методы расчета площади сечения в результате деформации далеко от совершенства и требует их уточнение [1,2,3]. Такое уточнение может быть осуществлено на основе теоретических результатов, полученных Ю.М.Денисов [4] в области механики многофазных и многокомпонентных сред.

Введем в рассмотрение функцию $F(s,z,t)$, представляющую собой площадь русла ниже горизонтали z на расстоянии s от выбранного начало в момент времени t .

Пусть $B(s,z,t)$ есть ширина русла на уровне z на на расстоянии s в момент времени t . Она выражается через $F(s,z,t)$ следующим образом:

$$B(s,z,t) = \frac{\partial F}{\partial z} \quad (1)$$

Обозначим через $\chi(s,z,t)$ длину периметра руслового сечения и через $z_d(s,t)$ отметку наинизшей точки дна.

Связь между площадью живого сечения $\omega(s,t)$ и функцией $F(s,z,t)$ следующая:

Если $z_B(s,t)$ есть уровня воды в створе s в момент времени t , то

$$\omega(s,t) = F(s, z_B(s,t), t); \quad (2)$$

ширина живого сечения $B(s,t)$ есть

$$B_B(s,t) = \frac{\partial F}{\partial s} \Big|_{z=z_B}; \quad (3)$$

Длина смоченного периметра $\chi(s,t)$ равна

$$\chi(s,t) = \chi(s, z_B(s,t), t). \quad (4)$$

Из равенства (1), (2) и (3) следует

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial t} \Big|_{z=z_B} + B_B \frac{\partial z_B}{\partial t}, \quad (5)$$

и

$$\frac{\partial \omega}{\partial s} = \frac{\partial F}{\partial s} \Big|_{z=z_B} + B_B \frac{\partial z_B}{\partial s} \quad (6)$$

Так как z_d есть наименьшая точка дна, то

$$F(s, z_d(s, t), t) = 0. \quad (7)$$

Продифференцируем (7) по s

$$\frac{\partial F}{\partial s} \Big|_{z=z_D} + \frac{\partial F}{\partial z} \Big|_{z=z_D} \frac{\partial z_D}{\partial s} = 0. \quad (8)$$

Но

$$-\frac{\partial z_D}{\partial s} = I_D, \quad (9)$$

где I_D - есть уклон дна.

Тогда из (8) и (9) следует важное соотношение:

$$I_D = - \left(\frac{\partial z_D}{\partial s} / \frac{\partial F}{\partial z} \right) \Big|_{z=z_D}. \quad (10)$$

Для нахождения длины периметр сечения русла χ знание функции $F(s, z_d, t)$ недостаточно, так как одному и тому же F могут соответствовать различные значения χ . Однако с помощью функции F можно получить приближенную оценку периметра сечения русла. Она будет следующей:

$$\begin{aligned} \chi(s, t) = & B(s, z_B(s, t), t) + [z_B(s, t) - z_D(s, t)] + \\ & + \int_{z_D}^{z_B} \sqrt{1 + \left[\frac{\partial^2 F(s, z, t)}{\partial z^2} \right]^2} dz. \end{aligned} \quad (11)$$

Перейдем к расчету изменения площади сечения русла в результате процессов намыва или размыва.

При оценки площади сечения функцией $F(s, z, t)$ невозможно учесть и описать конкретное место размыва или намыва в этом сечении. По этой причине общую площадь размыва за единицу времени мы будем равномерно распределять по смоченному периметру. Среднюю глубину размыва по нормали к смоченному периметру обозначим через $a_n(s, t)$. Её величина, согласно исследованием [5], будет равна:

$$a_n(s, t) = \frac{1}{\alpha_D} \int_{\delta_{min}}^{\delta_{max}} k_w \delta^3 \varepsilon_p(a, \delta, t) d\delta, \quad (12)$$

где α_D - относительный объём отложений у дна;

k_w - безразмерный

δ - коэффициент;

δ - размер частиц;

ε_p - объём частиц.

Расчет этих параметров дан в работе [5].

Тогда

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \begin{cases} \chi(a, s, t) a_n(s, t) & \text{для } z_D \leq z \leq z_B \\ \chi(a, z_B(s, t)) a_n(s, t) & \text{для } z > z_B \end{cases} \quad (13)$$

В дифференциальное уравнение (13) входит два неизвестные функции F и χ . Чтобы получить уравнение от одной искомой функции, продифференцируем (13) по Z , и учитывая, что

$$\frac{\partial F}{\partial z} \left(\frac{\partial F}{\partial t} \right) = \frac{\partial F}{\partial F} \left(\frac{\partial F}{\partial z} \right) = \frac{\partial B}{\partial t},$$

$$\frac{\partial \chi}{\partial z} = 1 + \sqrt{1 + \left[\frac{\partial^2 F(s, z, t)}{\partial z^2} \right]^2} = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\partial B(a, s, t)}{\partial z} \right)^2},$$

а также

$$\frac{\partial \chi(a, z_B(a, t), t)}{\partial z} = 0,$$

найдем:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \begin{cases} a_n(s, t) \left[1 + \left(\frac{\partial B(a, s, t)}{\partial z} \right)^2 \right] & \text{для } z_D \leq z \leq z_B, \\ 0 & \text{для } z > z_B \end{cases} \quad (14)$$

Это дифференциальное уравнение в частных производных первого порядка относительно $B(s, z, t)$ или второго порядка относительно $F(s, z, t)$, решается в общем случае численными методами при заданных начальных и граничных для F условиях:

$$\begin{aligned} B(s, z, 0) &= \frac{\partial F}{\partial z} = \varphi(s, z), \\ F(s, z_D(s, t), t) &= 0, \end{aligned}$$

Где

$$z_D(s, t) = z_D(s, 0) - \int_0^t a_n(s, t) dt. \quad (15)$$

Литература

1. Аполлов Б.А. Учение о реках. -М.: Изд. МГУ.-1963. -424 с.
2. Караушев А.В. Речная гидравлика. -Л.: Гидрометеиздат, 1969.-416 с.
3. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел.-Л.: Гидрометеиздат.-1988.-303 с.
4. Денисов Ю.М., Боровикова Л.Н. Описание движения твердых частиц в жидкости (газе) с помощью кинематических уравнений // Тр. САННИ Госкомгидромет.- 1981.-Вып. 81 (162), с.67-76.
5. Денисов Ю.М., Туляганов А.Х. Метод расчета твердого стока и русловых деформаций//Тр. САННИГМИ, 1996, вып.149 (230), с.131-145.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЛЯ СЛОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА

М.М. Каширипур, В. М. Борейко
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 20013, г. Минск, Беларусь, mkashiripour@gmail.com

Автоматический мониторинг является частью необходимого и неизбежного развития как части инфраструктуры города. Необходимость его ведения обусловлена нарастающим накоплением многофункциональной и сложной инфраструктуры, контроль за техническим состоянием которой является необходимостью обеспечения безопасной и комфортной жизни населения. Современный человек уже не представляет своей жизни без повседневного использования сложной инфраструктуры, которая тесно связана с обеспечением его здоровья, труда и культурного развития является важной задачей для повышения уровня жизни населения.

Цель данного исследования является разработка системы автоматического мониторинга для последующего внедрения в процесс проектирования и строительства инфраструктуры.

Задачи, которые предстоит решить в процессе данного исследования является анализ современных технологий, программного обеспечения и оборудования для проектирования в сфере строительства; анализ и обработка данных, необходимых для внедрения автоматического мониторинга сложных сооружений и инфраструктуры города в проектировании с последующей эксплуатацией.

Методом исследования является использование современной литературы и анализ технологий в строительстве и проектировании, связанных с автоматическим мониторингом. Необходимо отметить, что передовая система автоматического мониторинга нуждается в определенном программном обеспечении, направленном на BIM-проектирование, например: Autodesk Revit, Tekla Structures, Renga и другие, а также в организации наблюдения за объектами с использованием такого оборудования, как камеры, датчики и, самое важное, центров обработки данных.

По результатам исследования авторы предлагают методику автоматического мониторинга для сложных сооружений и инфраструктуры города в рамках передовых направлений проектирования и строительства города как «умного города».

Ключевые слова: bim, автоматический мониторинг, строительство, инфраструктура, сооружение, датчик.

ВВЕДЕНИЕ

Повседневная социальная жизнь людей требует постоянного общения, коммуникаций между ними, активного и пассивного отдыха, оздоровления и развлечений. Как правило, ни один человек не находится на месте в течении дня и ему требуется постоянное перемещение.

Эти потребности человека вызывают спрос на их удовлетворение, которое проявляется в обеспечении данных нужд социальной инфраструктурой. Все больше зданий и сооружений, возводимых в настоящее время, являются многофункциональными.

Так, например, жилые здания могут оборудоваться в уровне первого этажа объектами социальной направленности, такими как детские сады, парикмахерские, магазины, рестораны и многое другое, современные больничные учреждения имеют сложнейшее медицинское оборудование, требующее специфических условий эксплуатации, высокоточные технологичные производственные здания и научные лаборатории здания должны иметь определенный микроклимат, а инженерные сооружения, вроде мостов и

тоннелей, должны обеспечивать проход большеразмерных транспортных средств. При этом, все вышеперечисленные здания и сооружения могут находиться в сложных метеорологических, геологических и географических местах, в зависимости от их необходимости конечному потребителю. Это обуславливает необходимость учета при проектировании, строительстве и эксплуатации значительное количество факторов, влияющих на последующую нормальную эксплуатацию данных объектов.

Изучив и проанализировав различные источники, автоматический мониторинг сложных и уникальных сооружений и элементов инфраструктуры города является не тривиальной задачей, требующей индивидуального подхода в каждом конкретном случае, при этом мониторинг является важной частью, влияющей на безопасность и комфорт повседневной жизни населения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Современные сооружения инфраструктуры города имеют важное значение в повседневной жизни людей. Несвоевременное устранение поломки может привести к значительным последствиям, таким как человеческие жертвы в результате обрушения, экономические последствия в связи с необходимостью проведения ремонтно-восстановительных работ большего масштаба, нежели могло быть изначально, а также нарушение логистических маршрутов и временные издержки, нарушающие привычную комфортную жизнь людей.

В целях повышения качества жизни населения, обеспечения безопасности и рационального расходования денежных средств требуется непрерывный контроль за техническим состоянием объектов городской инфраструктуры.

В области современного проектирования 21-го века набирает популярность BIM-проектирование. Как было сказано в [1] BIM — это не только 3D. Данное направление позволяет производить полную электронную модель здания и сооружения с полным перечислением физических, экономических, временных и прочих, при необходимости, наборов параметров для каждого элемента. Данная особенность позволяет получить наглядное и достаточно точное представление о проектируемом объекте. Тем не менее, процесс проектирования не может быть абсолютно автоматизирован и принятие технических решений остается за проектировщиком. Данная информационная модель может лишь содержать данные, заполненные пользователем, либо вычисленные в автоматическом режиме. Наиболее распространенными на данный момент программными обеспечениями, реализующими данные возможности, являются Autodesk Revit, Tekla Structures, Renga и некоторые другие.

Правильный учет на стадии проектирования параметров, влияющих на нормальную эксплуатацию сооружений, позволяет снизить эксплуатационные издержки на данные сооружения. При этом, в области компетенции эксплуатирующей организации не находится анализ принятых проектных решений и произведенных строительно-монтажных работ. В связи с этим, для облегчения контроля за состоянием конструкций может применяться специальное оборудование и программное обеспечение, способное в автоматическом режиме контролировать параметры, заложенные в алгоритмы их работы.

Таким оборудованием может являться система датчиков, камер наблюдения и центров обработки данных, которые будут являться частью системы «Умный город».

На протяжении всего периода эксплуатации конструкций здания и сооружения подвергаются определенным воздействиям, например температурным, ветровым, сейсмическим и функциональной нагрузке. Как было указано в [2], при строительстве в условиях плотной городской застройки особое внимание уделяется обустройству площадей под зданием, т.е. организацией подземных парковок, технических цокольных этажей и т.д. Все вышеперечисленные факторы оказывают прямое воздействие на условия, в которых эксплуатируются здания и сооружения. Данные условия оказывают влияние в виде вибраций, температурных излучений и непосредственного воздействия нагрузки на

конструкции., в результате чего в конструкциях могут образовываться чрезмерные, деформации и трещины [3, 4]. На стадии проектирования объекта данные типы нагрузок должны быть предусмотрены и определены значения деформаций, при которых не нарушается нормальная эксплуатация сооружений.

В настоящее время мониторинг регламентируется [5]. Согласно данному документу, стационарную станцию мониторинга технического состояния уникального здания устанавливают с целью выявления на ранней стадии изменений напряженно-деформированного состояния конструкций здания, чтобы решить вопрос о необходимости проведения обследования конструкций для уточнения категории технического состояния. Таким образом, подразумевается мониторинг уникального здания, либо сооружения, до достижения определенных параметров, после наступления которых будет проводиться его обследование с детальным определением технического состояния конструкций. При этом, сама станция мониторинга не принимает решений, это остается за оператором станции.

В составе данной статьи рассматривается возможность создания городской базы данных под условным названием «Умный город», которая будет хранить и обрабатывать результаты автоматического мониторинга, осуществляемого системой установленных и объединенных в сеть датчиков, контролирующими заданные эксплуатирующей организацией параметры. Данные значения параметров должны быть внесены в базу данных системы «умный город» и впоследствии происходить автоматическое сравнение параметров непрерывного мониторинга значений, определенных датчиком и значений, заложенных в базе данных. В случае отклонения от диапазона допускаемых значений, должен быть передан сигнал оператору для принятия дальнейших решений и подаче сигнала аварийным службам, либо организации, выполняющей текущий ремонт.

В системе жизни современного города присутствуют объекты стратегического назначения, сведения о конструкции и местах расположения которых предоставляются ограниченному перечню лиц в целях безопасности. Для таких случаев должен быть предусмотрен различный уровень доступа для операторов системы «умный город».

Одной из важных составляющих объектов сложной инфраструктуры города является комфорт ее эксплуатации. За данный комфорт отвечает значительное число параметров, таких как температура, влажность, эстетическая составляющая и функциональность.

Современные мосты могут проектироваться с подогревом в целях предотвращения образования наледи на поверхности. В вечернее время комфорт и безопасность передвижения по путепроводам требуют освещения. Для комфортной эксплуатации и работы сотрудников метрополитена, в тоннеле метро должен поддерживаться определенный диапазон температуры. Таким образом, мониторинг элементов инфраструктуры города должен заключаться не только в контроле их прочностных параметров, а также в наблюдении за соблюдением комфортных эксплуатационных показателей [6]. Данные датчики должны быть установлены на соответствующие инженерные системы и подключены в состав системы «Умный город».

Нередко случаются ситуации, когда строительство одного сооружения может оказывать влияние на иное сооружение, работы по которому не предусмотрены в рамках выполняемого объекта. При объединении сооружений в общей информационной базе будет иметь место возможность слежения за результатами воздействия и своевременное принятие мер по их компенсации.

Структура системы «умный город», предусматривающей систему онлайн-мониторинга за состоянием важных объектов социальной инфраструктуры, должна иметь следующий вид:

Определяется допускаемый диапазон значений показаний датчика и место его размещения в составе проектной документации.

Датчик в процессе строительно-монтажных работ устанавливается в предусмотренное место и передает информацию по сети на центр обработки данных.

В центре обработки данных присутствует личный кабинет каждого сооружения, в котором присутствует перечень элементов, проходящих мониторинг и информация о проектном сроке эксплуатации, датах ремонта сооружения, перечне инженерного оборудования, контактных данных эксплуатирующих организаций и проектно-сметной документации по данному сооружению.

Центр обработки данных сравнивает значение показаний датчика с диапазоном допускаемых значений по данному объекту.

При получении значений, выходящих за значение допускаемого диапазона, выводится сигнал дежурному оператору, в чьем ведомстве находится сооружение.

Дежурный оператор определяет порядок дальнейших действий, при необходимости вызывает аварийную службу на данный объект и в ответе на сигнал центра обработки данных высылает отчет о принятых решениях.

Подобный подход позволит выполнять корректировку планирования выполнения капитальных ремонтов и реконструкций объектов сложной инфраструктуры города, исходя из контроля их технического состояния на основании актуальных показаний оборудования.

ВЫВОДЫ

В связи с ежедневным развитием и инновациями в различных сферах жизнедеятельности, в том числе строительстве, мониторинг и обслуживание инфраструктуры нуждаются в детальном наблюдении, в том числе в городах, где население массово эксплуатирует данные блага.

Данное исследование предлагает подход для создания системы автоматического мониторинга для сложных сооружений и инфраструктуры города, которая основана на передовых современных технологиях и инновациях в строительстве, а также обработке данных с помощью автоматизированного программного обеспечения. Мировая практика показывает, что значительной частью требуемой информации располагают различные организации, функционирующие в городской среде, но такой масштабный центр обработки данных нуждается в доработке в результате перехода к развитию городской среды как «умного города». Поэтому, с момента формирования данной концепции, нужно выделять больше внимания на объекты сложной инфраструктуры города и их автоматического мониторинга. Можно сказать, что с помощью автоматического мониторинга, городская инфраструктура будет не только эффективнее работать, но и благоприятно повлечет на повышение безопасности, экономичности и уровне жизни горожан.

Литература

1. Талапов, В. В. Технология BIM : суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов // Москва : ДМК Пресс, 2015. — 410 с.
2. Леденев, В. В. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений / В. В. Леденев, В. П. Ярцев // Тамбов : ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. — 252 с.
3. ГОСТ 32019-2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга = Маніторинг технічного стану унікальних будинкаў і збудаванняў. Правілы праектавання і ўстаноўкі стацыянарных сістэм (станцый) маніторынгу. – введ. 2016-10-01. – Минск: Госстандарт, 2016. – 24 с.
4. Automated assessment of cracks on concrete surfaces using adaptive digital image processing / Y.F. Liu, S.J. Cho, Jr. B.F. Spencer, J.S. Fan // Smart Structure and Systems. 2014. Vol. 14, No. 4. p. 719–741.
5. Spencer B., Hoskere V., Narazaki Y. Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring / B. Spencer, V. Hoskere, Y. Narazaki // 2019. Vol. 5, No. 2. p. 199–222.
6. A. Anatoly A., Statsenko A., Obukhov V., and Smirnova A. Development of artificial intelligence systems for megacities transport infrastructure management / A. Anatoly, A.

Statsenko, V. Obukhov, and A. Smirnova // In 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), p. 1663-1666.

7. Feng D., Feng M.Q. Computer vision for SHM of civil infrastructure: From dynamic response measurement to damage detection – A review / D. Feng, M.Q. Feng // Engineering Structures. 2018. Vol. 156. p. 105–117.

УДК 691.492, 54.084

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МИКРОКАПСУЛ, СОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ САМОВООТАНОВЛЕНИЯ БЕТОНА

Тан Дунян, Ван Минюань, С.Н. Бондаренко, С.Н. Ковшар
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, bosn@mail.ru

Concrete cement is the most widely used building material applicable in road construction. Under real exploitation conditions concrete structures are subjected to different types of local destructions such as cracks which lead to the destruction of the roadway as a whole.

In order to ensure the safety, stability and durability of the road coating, technology scheme for using microcapsules with concrete self-healing components is proposed. Scientific and practical approaches to the preparation of such type microcapsules containing components for self-healing concrete are proposed.

The structural features and strength characteristics of the obtained microcapsules have been studied. An assessment of the kinetic features of the restoration of the destroyed structure of cement concrete is given.

Key words: self-healing concrete, microcapsules, structural durability

Традиционно используемые в дорожном строительстве композитные строительные конгломераты, например, цементобетон, подвержены старению. В процессе эксплуатации это приводит к образованию трещин, локальных дефектов и, в конечном итоге, к разрушению дорожного полотна. В настоящее время эту проблему пытаются решать путем добавления в цементобетонную матрицу материала дорожного покрытия микрокапсул, наполненных "восстанавливающими" веществами, ещё на стадии формирования композитной структуры бетонного конгломерата.

Идея самовосстановления заключается в том, что напряжения, возникающие в процессе образовании трещин и других структурных дефектов, разрывают капсулы и освобождают при этом ядро, содержащее «заживляющие» вяжущие и расширяющиеся компоненты. Эти компоненты вступают в химическую реакцию с водой, проникающей в бетон и формируют целевой «заживляющий» продукт, который поступая в образовавшуюся дефектную полость или трещину, обеспечивает восстановление и стабилизацию композитной структуры материала.

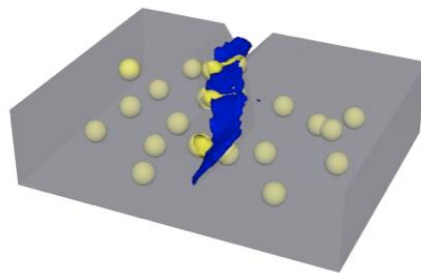


Рис 1. Схема, иллюстрирующая принцип работы микрокапсулы после её разрыва и активизации ядра, содержащего «заживляющие» компоненты.

Микрокапсулами принято называть частицы твердых, жидких, газообразных веществ, растворов, дисперсий или более сложных систем, которые заключены в оболочку из какого-либо другого соединения, например, из какого-либо плёнкообразующего полимера. Характерная особенность микрокапсул – эффективная, максимально тонкая оболочка. Обычно для твёрдых веществ используется такой способ упаковки в капсулу, когда содержимое капсулы (ядро или по другому, сердцевина) заключено в оболочку из материала, имеющего толщину стенок капсулы, которая обеспечивает изоляцию от окружающей среды не менее 70 % по весу полезного компонента [1-3].

Существующие методы микрокапсулирования могут быть условно разделены на три основные группы [4 - 8].

Первая группа - физико-химические методы, которые включают коацервацию, осаждение нерастворителем, образование новой фазы при изменении температуры, упаривание летучего растворителя, отверждение расплавов в жидких средах, экстракционное замещение, высушивание распылением, физическую адсорбцию.

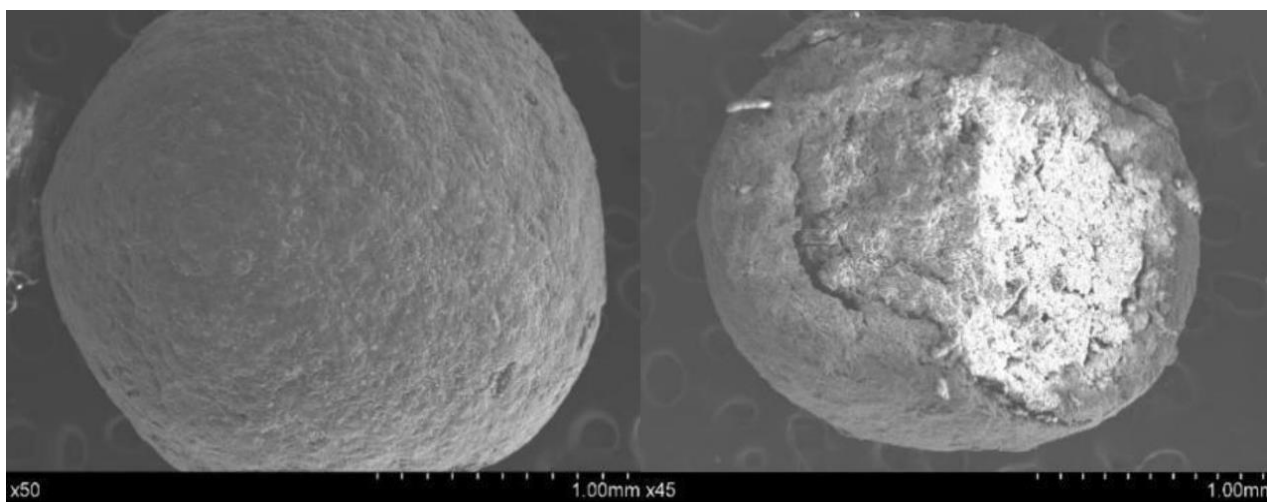
Ко второй группе относятся химические методы: образование новой фазы путём поликонденсации, полимеризация или сшивания полимеров.

Третья группа - это физические методы: напыление в псевдооживленном слое, экструзия и конденсация паров и некоторые другие методы. Такая классификация, в основу которой положена природа процессов, протекающих при микрокапсулировании, достаточно условна. На практике часто используется сочетание различных методов.

Нами была разработана и опробована технологическая схема приготовления микрокапсул для самовосстановления повреждённого цементобетонного покрытия, представляющая собой одну из разновидностей метода, основанного на реакции полимеризации в эмульсиях и суспензиях [4,5]. Был подобран состав реакционной смеси для проведения полимеризации *in situ* (на месте) и также базовый состав материала для формирования ядра. Реализация метода полимеризация *in situ* происходила в реакционной среде, включающей присутствие реакционного мономера и раствора, содержащего диметилбензол, этиловый спирт и этилцеллюлозу для формирования стенок капсулы. Дисперсионной средой являлся эмульгатор Твин 80 (Полисорбат 80). Этот эмульгатор представляет собой неионогенный ПАВ, имеющий в качестве липофильной группы производное олеиновой кислоты (химическое название - полиоксиэтилен (20)-сорбитанмоноолеат). В состав ядра (сердцевины) микрокапсулы вводится базовый компонент на основе традиционных неорганических вяжущих, и компонент сердцевины, который после разрыва оболочки обеспечивает протекание процессов расширения и заполнения дефектных полостей и трещин в бетонной матрице (т.е. самовосстановление). В состав композиции, формирующей сердцевину микрокапсулы также вводился связующий (клеящий) компонент, который обеспечивает адгезию на поверхности трещины и последующее связывание (склеивание) заполненных дефектов в единый конгломерат. В качестве связующего компонента сердцевины (ядра) был выбран силикат натрия, а в качестве набухающего компонента - бентонит, который удовлетворяет требованиям к расширению и адгезии микрокапсул. Вклад каждого компонента материала сердцевины должен, во-первых, обеспечивать хороший эффект склеивания, а во-вторых, гарантировать, что расширяющийся компонент может полностью заполнить трещину после расширения. При определении количественного состава компонентов ядра нами были установлены их оптимальные соотношения (пропорции). Слишком большое содержание расширяющего компонента создаёт дополнительные усилия, которые могут разрушить структуру самовосстанавливающегося бетона. Внешний вид микрокапсул, изготовленных по предложенной нами технологической схеме представлен на рисунке 2.

Изображения на микрофотографиях получены с помощью сканирующего электронного микроскопа Micro SEM, совмещённого с анализатором энергетического спектра. На изображении поврежденной микрокапсулы (рисунок 2.), можно видеть, что материал сердцевины (ядра) и материал оболочки капсулы чётко дифференцированы.

Структура материала сердцевины не такая плотная, как у материала оболочки. Микрофотографии показывают, что форма микрокапсул представляет собой относительно правильную сферу, а размер частиц колеблется от 1000 мкм до 1200 мкм, поверхность покрыта более грубой целлюлозой, а структура относительно плотная, что в принципе может обеспечить герметизацию микрокапсул в неповреждённом состоянии. Конструкция таких микрокапсул может обеспечить после их раскрытия самовосстановление бетона, используемого в составе дорожного покрытия. Предложенный нами компонентный состав материала ядра (сердцевины) микрокапсул отвечает основным нормативным требованиям, предъявляемым к материалам для обеспечения качественного ремонта бетонных покрытий автомобильных дорог. То есть: высокой скорости протекания восстановительных реакций при контакте с водой, отсутствию дополнительных побочных реакций с бетонной матрицей, нетоксичности и безопасности при эксплуатации, стабильности химических свойств и некоторым другим требованиям. После растрескивания материал стенки в определенной степени размягчается в водной среде, поэтому он более чувствителен к образованию трещин. Таким образом, микрокапсулы, приготовленные в этом эксперименте, соответствуют требованиям к их конструкции, которая может обеспечить запуск механизма самовосстановления при раскрытии сердцевины. Материал сердцевины микрокапсул подбирался таким образом, чтобы удовлетворять следующим двум основным требованиям: первое – при соблюдении определенных условий материал сердцевины должен увеличиваться в объеме, блокировать трещины и предотвращать попадание агрессивных веществ из внешней среды (то есть реализуется возможность расширения). При этом, благодаря тщательному контролю и соблюдению пропорций компонентов микрокапсулы, а также регулированию режимов вспенивания предотвращается чрезмерное расширение, растрескивание и вторичное повреждение восстанавливаемой бетонной матрицы. Второе требование – хорошая адгезия структурных компонентов микрокапсул. В частности, материал сердцевины должен прикрепляться и вступать в контакт с конкретным участком трещины, чтобы способствовать локальному протеканию реакций по восстановлению структуры и прочности матрицы.



Микрофотографии исходной капсулы

Микрофотография капсулы с повреждённой оболочкой

Рис. 2

Формирование микрокапсул. Таким образом, в качестве основных компонентов для формирования структуры ядра микрокапсул нами были отобраны силикат натрия, бентонит и метилцеллюлоза. В качестве базового полимерного материала оболочки (стенки) микрокапсулы была выбрана этилцеллюлоза. Химическая формула этилцеллюлозы - $[C_6H_7O_2 (OC_2H_5)_3]_x$ n. Этилцеллюлоза представляет собой неионный эфир целлюлозы, который нерастворим в воде, но растворим в органических растворителях (в нашем случае

в качестве растворителя используется ксилол). После получения из подготовленной смеси компонентов вязкой суспензии, путём испарения при высокой температуре удаляется вода. Это приводит к постепенной потере реакционной активности смеси, уплотнению материала формируемой стенки капсулы и, в итоге, к полной инкапсуляции содержимого ядра. Значение pH реакционной среды играет важную роль в формировании структуры микрокапсул. В зависимости от показателя pH структура формируемого материала может различаться; она может быть или линейной или поперечно-сшитой. Предложенная схема приготовления даёт возможность контролировать и эффективно управлять такими характеристиками формируемой капсулы как размер частиц целевого продукта, толщина и прочность стенок капсулы. Эту возможность обеспечивают как различные режимы полимеризации *in situ* так и дополнительные методы обработки реакционной смеси (такие как, экструдирование, послойное формирование оболочек, высушивание дисперсионной среды в различных режимах). Реализация предложенной нами технологической схемы обеспечивает возможность формирования микрокапсул с размерами от 1 – 5 мкм до 0,5 - 2,0 мм. Капсулы размерами от 100 мкм до нескольких мм можно получить с использованием центрифуг, грануляторов, экструдированных устройств и в псевдооживленном слое. Такая схема обеспечивает возможности практического применения таких микрокапсул в самых различных областях строительной отрасли, в соответствии с их реальными эксплуатационными характеристиками, простотой промышленного производства и низкой стоимостью.

Существует много параметров характеризующих микрокапсулы, таких как константа проницаемости, прочность стенки капсулы, размер частиц и толщина стенки микрокапсул. В данной работе для проведения испытаний были отобраны микрокапсулы с размером частиц около 1200 мкм. Для этих микрокапсул с использованием сканирующей электронной микроскопии и анализа энергетического спектра было проведено изучение состава, а также предварительное опробование целесообразности добавления микрокапсул в бетон на стадии приготовления цементного раствора.

Технический принцип использования микрокапсул для самовосстановления повреждённых цементобетонных матриц предполагает включение в образцы, изготовленные на основе цементобетона, микрокапсул, на которые после формования и отверждения материала воздействуют компоненты структурного напряжения, которые разрывают их.

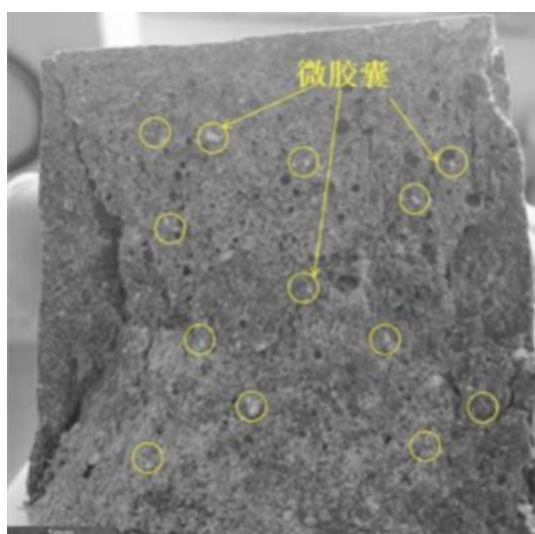


Рис. 3. Разрез образца цементобетона с микрокапсулами (сканирующий электронный микроскоп Micro SEM)). Стрелками на фотографии показаны места локализации микрокапсул

Когда в образце под нагрузкой появляются микротрещины или зазоры и оболочка микрокапсул разрывается, окружающая вода за счет капиллярного действия проникает в

трещины и вступает в реакцию с материалом сердцевин. Силикат натрия из материала сердцевин в присутствии воды может участвовать в определенных процессах отверждения при взаимодействии с материалом матрицы на основе цемента по реакции:



В дальнейшем, в присутствии достаточного количества воды и добавки фторсиликата натрия происходит реакция с образованием $\text{Si}(\text{OH})_4$ имеющего свойства геля, по реакционной схеме:



производя больше силиката кальция и диоксида кремния, которые являясь основными компонентами материалов на основе цемента, устраняют (залечивают) трещины путём склеивания их по границам. В то же время бентонит в составе материала сердцевин после поглощения воды расширяется, адсорбируется на их активной поверхности и также заполняет трещины. Это приводит к дополнительному восстановлению повреждённой матрицы за счёт связывания её структурных элементов в единую конгломератную структуру (см. рисунок 4)

Таким образом, проведенное исследование показывает, что используемый нами материал сердцевин в принципе может удовлетворить потребности в ремонте трещин в результате протекания реакций «самозалечивания».

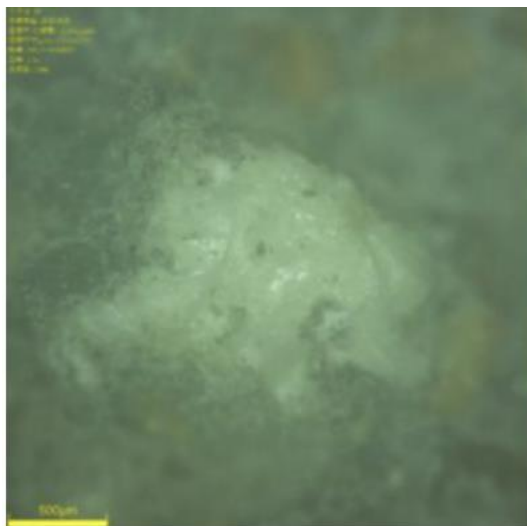


Рис. 4. Содержимое сердцевин микрокапсулы после разрыва (изображение получено с помощью электронного микроскопа Micro SEM)

Поскольку прочность на сжатие образцов цементобетона с разным содержанием микрокапсул различна, невозможно оценить эффект самовосстановления всех образцов с только одной прочностью на сжатие. Поэтому для оценки эффекта восстановления также используется скорость восстановления прочности образцов R . Образец был предварительно нагружен с давлением, которое составляло 70% от предела прочности образца на сжатие. После приложения в течение 3 мин нагрузки на испытуемый образец эту нагрузку снимали, а предварительно нагруженные образцы помещали в дистиллированную воду для отверждения соответственно на 10 и 20 суток. После отверждения было проведено испытание на сжатие. Нами предполагалось, что полученный результат испытаний соответствует показателю по прочности, который может быть получен при проведении соответствующих нормативам ремонтных работ. Что касается механических свойств самовосстанавливающихся образцов цементного раствора, содержание микрокапсул влияет на прочность на сжатие образцов материала на основе микрокапсульного цемента,

отвержденных в течение 28 дней при различных дозировках микрокапсул, как показано на рисунке 5. Из рисунка видно, что прочность на сжатие образца цементного раствора имеет тенденцию к снижению, а с увеличением содержания микрокапсул прочность на сжатие постепенно снижается. По сравнению с прочностью на сжатие обычных образцов материалов на цементной основе при содержании микрокапсул 4,0 % прочность микрокапсульного цементного раствора снижается на 12 %. При содержании микрокапсул 5,0 % прочность на сжатие на 17 % ниже, чем у образцов материала на основе цемента без включения микрокапсул, что не удовлетворяет общетехническим требованиям. Однако при содержании микрокапсул 1 % прочность образцов временно возрастает по сравнению с прочностью обычных образцов. Даже при содержании микрокапсул 2 % прочность образцов материала на основе микрокапсульного цемента все же выше, чем у обычных образцов. Результаты испытаний прочности образцов на сжатие представлены на рисунке 5. Предполагаются две причины снижения прочности на сжатие. С одной стороны, сами микрокапсулы имеют низкую прочность. После добавления к образцу они действуют как внутренняя пористая структура, которая разрушает первоначальную структуру образца и снижает прочность образца. С другой стороны, при добавлении микрокапсул снижается относительная плотность материала, прочность которого обеспечивается цементом, что ослабляет прочность образца. Однако при содержании микрокапсул 1% прочность образцов раствора увеличивалась. Анализ показал, что фторсиликат натрия который был добавлен во время изготовления образцов для испытаний, является своего рода замедлителем схватывания бетона, а правильно подобранное количество этой добавки помогает повысить прочность бетона. Во время начального процесса перемешивания раствора небольшое количество микрокапсул разрывается, и материал сердцевин из разорванных предварительно микрокапсул выполняет связующую роль, что и улучшает прочность испытываемого образца. Результаты испытаний прочности на сжатие образцов с различным относительным содержанием микрокапсул (от 1% до 6% , представлены на рисунке 5.

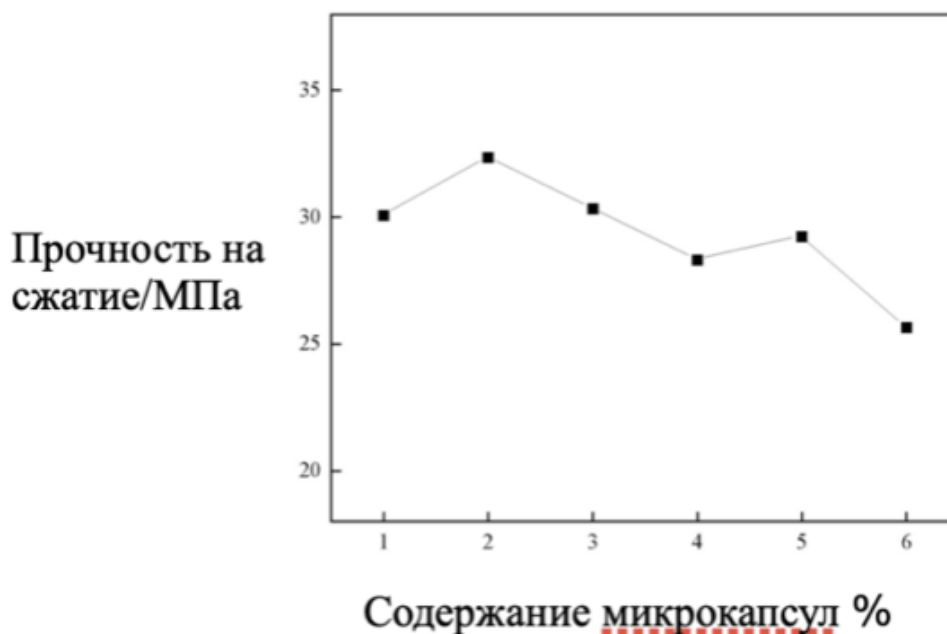


Рис. 5. Распределение прочности на сжатие в зависимости от содержания (в %) микрокапсул в испытываемом образце цементобетона

Принимая во внимание влияние временного цикла отверждения на прочность образцов на сжатие, был изготовлен образец с содержанием микрокапсул 2%, а образец материала на основе обычного цемента использовался в качестве контрольного эталона (см. рисунок 6.).

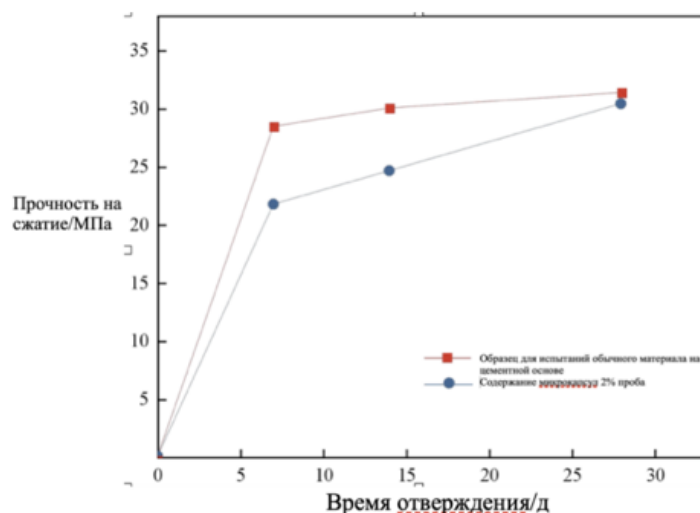


Рис. 6. Изменение прочности на сжатие при сравнении образцов содержащих 2% микрокапсул (зависимость на нижнем графике) с контрольным эталонным) образцом (зависимость на верхнем графике)

Из рисунка 6 видно, что начальная прочность образца материала на основе микрокапсульного цемента низкая, скорость набора прочности ниже, чем у контрольного; прочность на сжатие после отверждения в течение 7 дней составляет всего 70% прочности на сжатие образца из обычного цементного раствора. Прочность на сжатие образцов материала на основе микрокапсульного цемента быстро увеличивается в среднесрочной перспективе (после 10, 20 и 28 суток отверждения). В результате конечная прочность образцов становится даже выше, чем у контрольных образцов на основе обычного цемента. Это связано с тем, что по причине замедления схватывания фторсиликата натрия снижает начальную прочность образцов из строительного раствора. Механическая прочность самой микрокапсулы низкая, а ее введение в качестве слабого элемента снижает прочность образца на сжатие. Кроме того, фторсиликат натрия является своего рода замедлителем схватывания цементобетона. Однако, в среднесрочной перспективе прочность образца увеличивается, поскольку замедляющее действие фторсиликата натрия ослабевает и в дальнейшем прочность образца может изменяться в нормальном режиме. В процессе подготовки образцов при перемешивании цементного раствора часть микрокапсул разрывается и силикат натрия из материала сердцевин также принимает участие в процессах цементации, что в совокупности приводит к значительному увеличению прочности испытываемого образца.

Резюме: Объектом исследования в проведенных нами экспериментах были микрокапсулы, содержащие компоненты для самовосстановления бетона. Нами была разработана и опробована технологическая схема приготовления таких микрокапсул для самовосстановления поврежденной цементобетонной матрицы дорожного покрытия. Предложенная схема даёт возможность контролировать и эффективно управлять такими характеристиками формируемой микрокапсулы как размер, толщина и прочность стенок. Был подобран состав реакционной смеси для проведения полимеризации (*in situ*), а также базовый компонентный состав материала для формирования ядра. Изготовленные по предложенной схеме микрокапсулы были введены в образцы цементобетона и испытаны для оценки эффекта восстановления и стабилизации композитной структуры поврежденного материала. Установлена принципиальная возможность использования полученных микрокапсул для активации процессов восстановления поврежденной цементобетонной матрицы дорожного покрытия в режиме самовосстановления.

Литература

1. Microencapsulation, Process and Applications. Ed. J. E. Vandegaer, N. Y., London: Plenum Press, 1974, p. 180
2. Солодовник В.Д. Микрокапсулирование. М.: Химия, 1980, 216 с.
3. Афанасьев А.Г. Микрокапсулирование и некоторые области его применения -М.; Знание.1982, 64 с.(Новое в жизни, науке, технике. Сер.«Химия» 1982, №3)
4. Arshady R. / Preparation of microspheres and microcapsules by interfacial polycondensation techniques. // Journal of Microencapsulation. –1989. –Т. 6.– № 1. – С. 13-28.
5. Tiarks F., Landfester K., Antonietti M. / Preparation of polymeric nanocapsules by miniemulsion polymerization. // Langmuir. – 2001. – Т. 17. – № 3. – С. 908-918.
6. Gouin S. / Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. // Trends in Food Science & Technology. – 2004. – Т. 15. – № 7-8. – С. 330-347.
7. M. Wu, B. Johannesson, M. Geiker, Constr. A review: Self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material. Build. Mater. 2012, 28, 571.
8. Ши Да, Ши Кайцзюнь, Ву Земей и др. Прогресс в исследованиях самовосстановления на основе компонентов материалов на основе цемента [J]. Китайский журнал материалов. 2021 (7) : с.35.

УДК 625. 7/8. 004

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ И ПЛОТНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

А.Х. Уроков¹⁾, Д.В. Ташев²⁾

¹⁾ Ташкентский государственный транспортный университет,
ул. Адылходжаева, 1, 100067, г. Ташкент, Узбекистан, asil2000@mail.ru,

²⁾Ферганский политехнический институт,
ул. Ферганская, 86, 150107, г. Фергана, Узбексистан, tashev_2020@mail.ru

Данная статья посвящена изучению влияния скорости и плотности движения на автомобильных дорогах с целью обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах Ферганской долины.

Ключевые слова: Дороги, скорость движения, транспортный поток, уровень опасности, дорожное районирование.

В мире, в том числе и в Узбекистане, автомобильные дороги являются важным достоянием страны, основой экономики республики и одним из главных приоритетов ее развития.

В Республике Узбекистан сегодня автомобильным транспортом перевозится около 98 % пассажиров и более 92 % грузов.

На сегодняшний день в условиях быстрого роста населения и транспортных потоков определение уровня опасности дорожного движения и обеспечение безопасности движения на автомобильных дорогах и улицах города остается одной из главных актуальных проблем.

Территория республики составляет 448,9 тыс. км², из них территория Ферганской долины 19,2 тыс. км², т.е. 4,2%. Население республики составляет более 35 271,2 млн человек, из них доля населения Долинных областей «Андижан-Фергана-Наманган» составляет 29%.

В том числе, общая протяженность сети автомобильных дорог нашей Республики составляет более 209496 км, из них Ферганская долина составляет 24% сети автомобильных

дорог, плотность сети автомобильных дорог составляет 2327 км/1000 км², плотность населения составляет 525,1 человек. тыс. человек/1000 км².

Скорость движения транспортных средств и потока во многом зависит от системы «А-В-Д-П-С», и выбор скорости осуществляется по двум критериям: 1) наименьшее количество затраченного времени; 2) обеспечение безопасности движения. Безусловно, на выбор скорости влияют навыки водителя, опыт работы, психическое состояние, цель движения. Также на изменение скорости большое влияние оказывает техническое состояние автомобиля, условия окружающей среды, пешеходный трафик.

Рассмотрено изменение скорости транспортного потока в зависимости от дорожных условий и интенсивности движения на 2-х полосных 4Р-112, 4Р-127 и 4-х полосных А-373, 4Р-112 международных и государственных дорогах.

По мере увеличения плотности транспортного потока уменьшается расстояние между транспортными средствами, снижается скорость движения, затрудняется умственный режим работы водителей, что приводит к неудобству общего движения. Наибольшая плотность движения наблюдается в состоянии затора.

Плотность транспортного потока можно оценить следующим образом:

$$q = \frac{N}{V}; \quad (1)$$

где: N - интенсивность движения по одной полосе, авт./ч;

V - скорость транспортного потока, км/ч.

Этот показатель зависит от количества потока « N » и изменения дорожных условий, поскольку, как мы уже упоминали выше, показатель « N » переменный. Например, « q » изменяется следующим образом при приближении к населенному пункту.

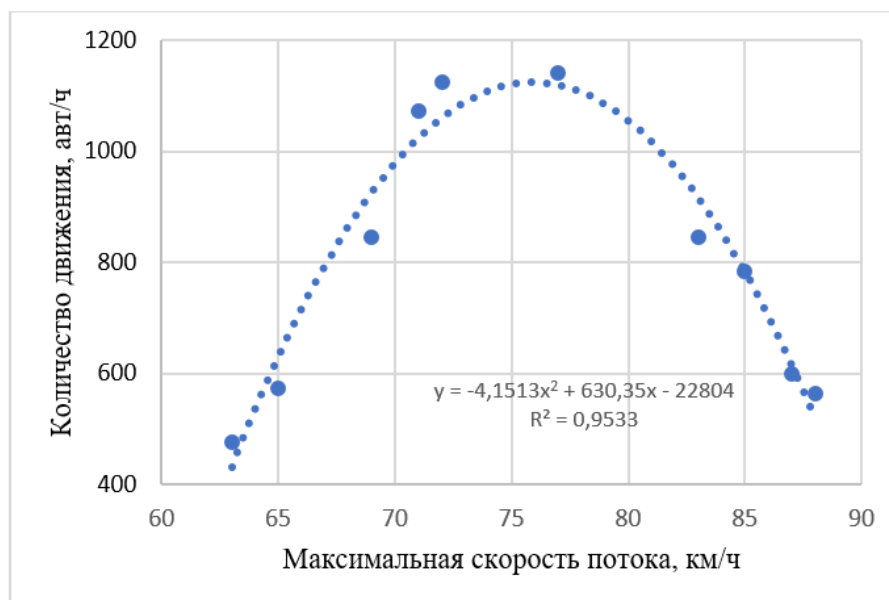


Рис 1. График зависимости количества движений и скорости

Как мы упоминали выше, из проведенных исследований закономерностей изменения скорости на дорогах известно, что с каждым годом улучшаются динамические характеристики автомобилей и увеличивается их средняя скорость движения по дорогам. Более 60% типа транспортного средства в транспортном потоке указывает на то, что транспортный поток репрезентативен для этого типа транспортного средства.

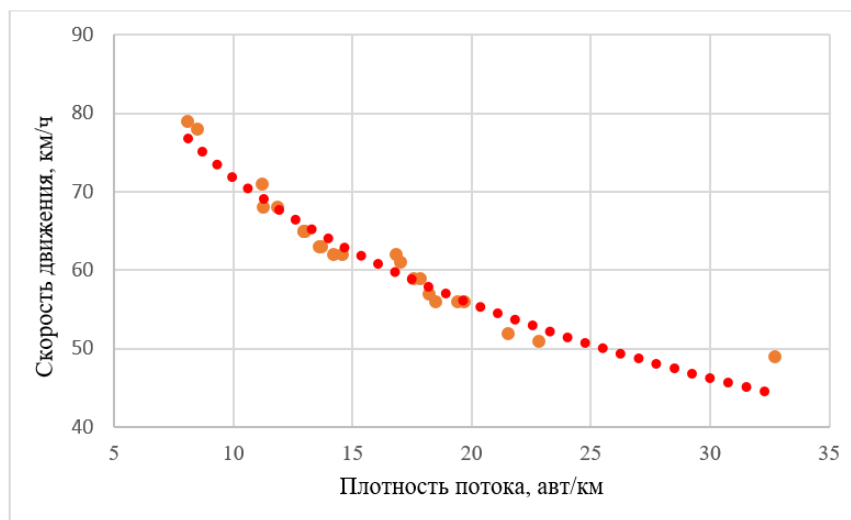
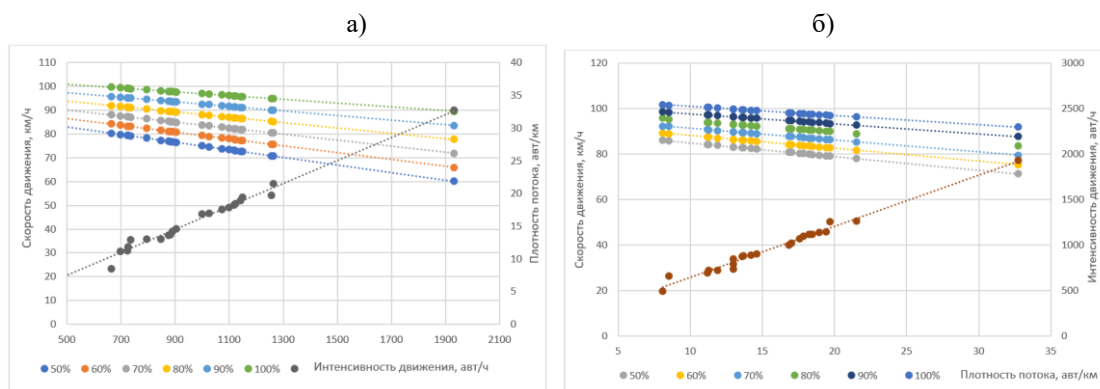


Рис 2. График изменения плотности транспортного потока в зависимости от скорости движения.

Из рисунка видно, что средняя скорость в свободном потоке при 5-15 авт/км составляет 70 км/ч, в частично связанном потоке 15-20 авт/км средняя скорость составляет 55 км/ч, в присоединенном токе 20-30 авт/км средняя скорость 43 км/ч, в насыщенном потоке составляет 35 авт/км.

Исходя из целей и задач, поставленных в научной работе, изучены закономерности изменения транспортных потоков на сети автомобильных дорог общего пользования.



а) “Количество движения – со скоростью движения”;
 б) “плотность потока – скорость движения”; 50%, 60%, 70%, 80%, 90%,100% - процент легковых автомобилей в составе потока.

Рис 3. Взаимосвязь условий транспортного потока на четырехполосной дороге.

Максимальная скорость транспортного потока на четырехполосных дорогах составляет 73 км/ч при 70% составе движения легковых автомобилей и интенсивности движения 1568 авт/ч, модальная скорость 60 км/ч, среднеквадратичное отклонение скорости 12,1 км/ч, изменение скорости показано на рисунке 3.

На основе графика определены закономерности изменения транспортного потока на четырехполосных дорогах. Зависимости скорости движения, количества движения, состава движения (V, N, q), скорости движения, плотности потока, количества и состава движения (V, q, N) в состоянии транспортного потока описываются линейным графиком с тремя переменными.

Литература

1. Азизов Қ.Х. Ҳаракат хавфсизлигини таъкил этиш асослари. Т., Фан ва технология, 2009,-244б.

2. Ўроқов А.Х. Ўзбекистон Республикаси ҳудудини автомобиллар ҳаракат шароити бўйича туманлаштириш. - Т.: ТАЙИ, 2012. – 129 б.

3. А.Х. О'роков, D.V. Tashev, Research of traffic safety conditions on the roads of the ferghana valley. ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal (Double Blind Refereed & Reviewed International Journal) DOI: 10.5958/2249-7137.2020.00774.0 Vol. 10, Issue 6, June 2020 Impact Factor: SJIF 2020 = 7.13

4. А.Х. Urakov, D.V. Tashev, Z. Xametov, R. Soataliev. Road Maintenance and Climate Zoning of the Territory of the Republic of Uzbekistan. International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia – 2021 С. 1213-1225 bet Volume 1 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-96380-4>

5. А.Х. Ўроқов, Д.В. Ташев. Автомобил йўлларида йўлга оид чизиқли туманлаштириш. //Научно-технический журнал, ФерПИ / - Фергана, 2019. №3. –С. 171-175.

6. А.Х. Ўроқов, Д.В.Ташев Фарғона водийсининг автомобиль йўлларида ҳаракат хавфсизлиги шароитини тадқиқ қилиш. //Научно-технический журнал, ФерПИ / - Фергана, 2021. №1. –С. 14-19

7. А.Х. Уроков, Д.В. Ташев. Фарғона водийси автомобиль йўлларидаги транспорт оқим ҳаракатнинг хавфлилик даражасига таъсирини тадқиқ

**СЕКЦИЯ
«МОСТЫ И ТОННЕЛИ»**

ALLPLAN BRIDGE, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ BIM ИЗ ГЕРМАНИИ ДЛЯ МОСТОСТРОЕНИЯ

V. Shkatov¹⁾, В. А. Гречухин²⁾

¹⁾ Allbau Software GmbH/Berlin

²⁾ Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Республика Беларусь, vag_ftk@bntu.by

Allplan Bridge - BIM в мостостроении из Германии. Представлены реализованные международные проекты, технические детали, в том числе для балочных сооружений. Даны обоснованные выводы о реальных выгодах BIM для заказчика и подрядчика.

Ключевые слова: Allplan Bridge, BIM, мостостроение, мосты, несущие конструкции.

Введение

Компания Nemetschek Allplan GmbH, Мюнхен. Основана в 1963 году, опыт САПР 40 лет, BIM 35 лет, имеет 240,000 клиентов по всему миру. Присутствие в 142 странах, 13 филиалов. 1200 сотрудников по всему миру, 3 европейских, 1 американский центр разработок. TOP3 в Европе на рынке САЕ, котирующаяся на Франкфуртской бирже (напр., №1 по данным Cambashi 2010).

Компания Allbau Software GmbH, Берлин это 20 сотрудников в 3 офисах. Компания имеет 25-летний опыт работы с программным обеспечением для строительной отрасли на рынках СНГ. Она оказывает поддержку в обучении, внедрении, проектировании.

Что такое и зачем BIM?

BIM – не программа, а философия, не Allplan, не Revit и т.д. Широко распространен OpenBim – «союз сильных», который позволяет осуществлять импорт и экспорт разработанных проектов между аналогичными программными продуктами.

Для процесса разработки данных проектов характерны скорость, безошибочность, прозрачность, что позволяет получать «быстрые чертежи». Одновременно ход проектирования и строительства, затраты и сроки близки к реальности.

Еще одним преимуществом применения данного программного комплекса является совместная работа. На сводной модели BIM все участники имеют единую информацию о проекте и взаимодействуют между собой.

Характерная черта программного комплекса - управление строительным проектом, возможность переноса важных решений на ранние стадии и определение затрат в течение жизненного цикла. Вся информация об объекте строительства заложена в модели, что дает возможность ранней оптимизации затрат.

Open BIM.

Все комплексные BIM системы имеют сильные и слабые стороны, такие как:

- затраты на внедрение и переобучение высоки;
- от внедренного 3D раздела не просто отказаться;
- разные фирмы выполняют разные разделы;
- нет одного продукта, закрывающего все;
- вне стадии проектирования применяются другие программы.

Это приводит к использованию различных BIM программ в одной фирме и в разных разделах одного проекта, - нормальная практика в Европе.

На рисунке 1 представлены участники строительного процесса и их взаимодействие с Allplan BIM.

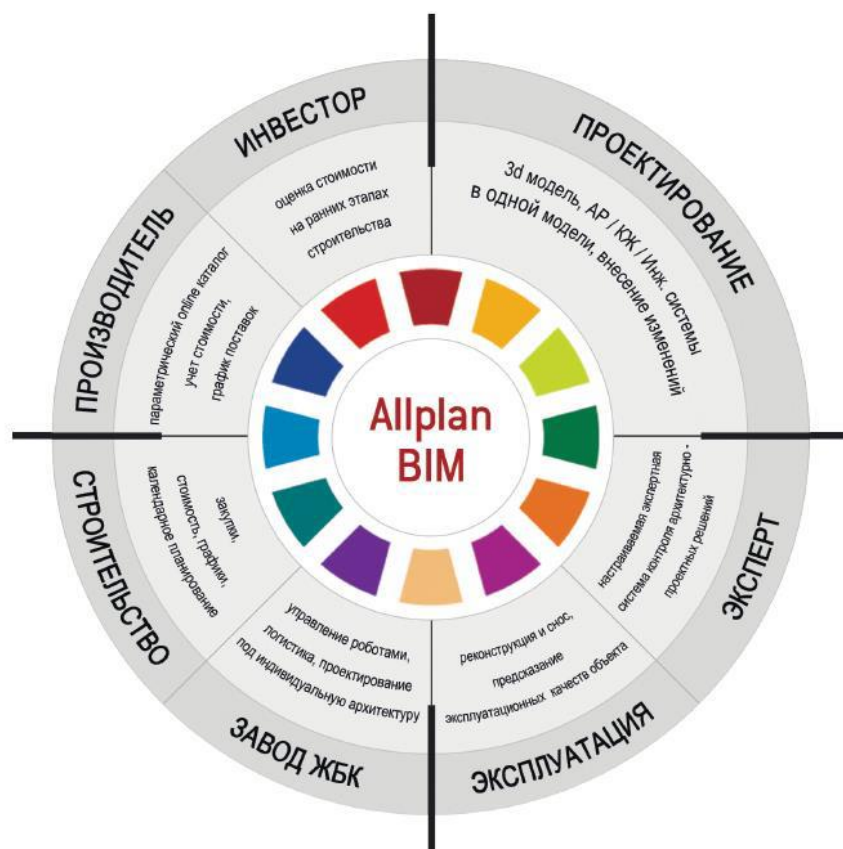


Рис. 1. Участники строительного процесса и их взаимодействие с Allplan BIM

Организация процессов.

Для строительной отрасли характерны потери по меньшей мере 20% бюджетов строительства, которые выглядят следующим образом:

- 10% материалов тратится впустую;
- 30% строительства переделывается;
- 40% работ непродуктивны;
- 40% проектов превышают бюджет;
- 90% проектов сдают с опозданием.

Это во многом связано с неэффективными коммуникациями, планированием и взаимодействием.

Allplan Bridge представляет возможности для решения вышеперечисленных проблем за счет моделирования, расчетов и детализации в 4D.

- параметрический моделиер на настраиваемых правилах;
- легкие изменения в любое время;
- календарный план строительства;
- автоматическое формирование расчетной модели;
- встроенный и внешний расчет конструкций;
- моделирование и расчет напряженного армирования;
- детализировки и выпуск рабочих чертежей;
- взаимодействие на BIM модели

Примеры проектов.

При проектировании самого большого арочного моста в Швейцарии пролетом 265 м (рисунок 2) применение Allplan Bridge позволило учесть требования по опалубке, каждая из 55 прямых бетонных секций арок была безошибочно интегрирована в единую 3D модель. Работа в 3D облегчила комплексное проектирование сложных структур создать генплан и армирование.

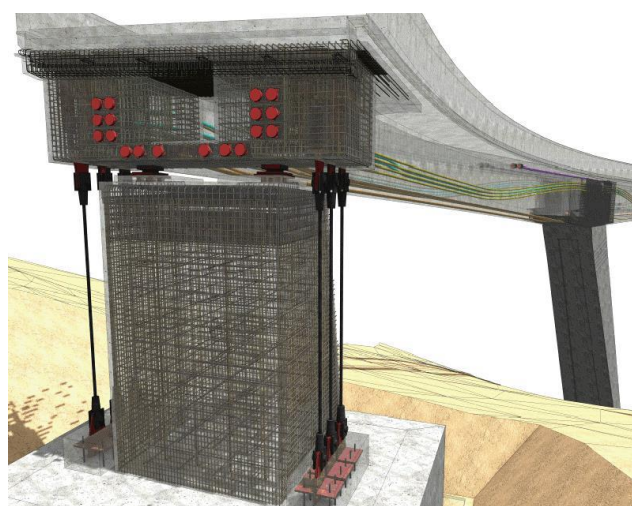


Рис. 2. Арочный мост в Швейцарии пролетом 265 м

Одним из проектов который создан с применением Allplan является железнодорожный ж/б мост длиной 104 метра с напряженным армированием в Нидерландах. 3D модель, представленная на рисунках 3 и 4, была необходима для разработки вариантов армирования, она позволила проанализировать варианты и получить чертежи, позволившие снизить затраты на проектирование и строительство, исключить потери строительных материалов и сократить сроки строительства.

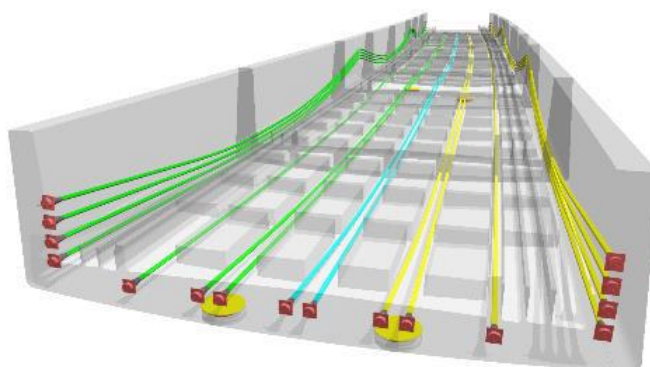


Рис.3. 3D модель железнодорожного ж/б моста с армированием напряженной арматурой

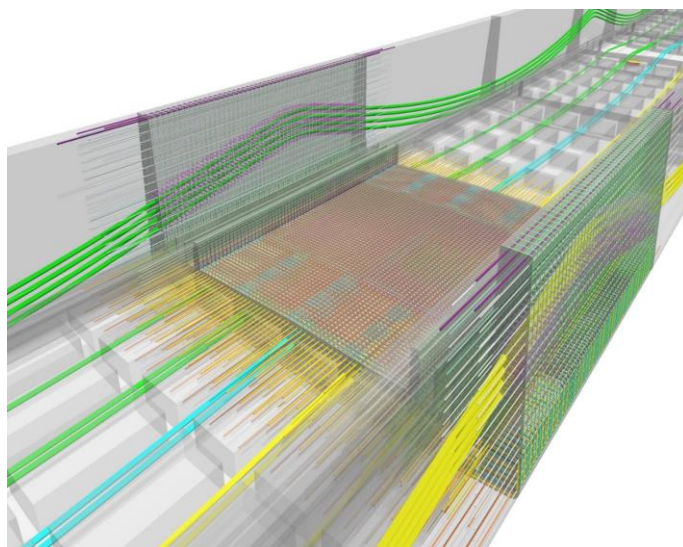


Рис. 4. 3D модель железнодорожного ж/б моста. Варианты армирования

Самый длинный вантовый мост в мире Queensferry, Эдинбург, Шотландия 2638 м (рисунок 5) спроектирован с применением программного комплекса Allplan. Благодаря Allplan полностью исключены проблемы с армированием (рисунок 6). Вся арматура была доставлена нарезанной по проектным размерам и очертанию, и уложена без дополнительных операций в соответствии с проектным положением и в кратчайшие сроки.



Рис. 5. Вантовый мост Queensferry, Эдинбург, Шотландия

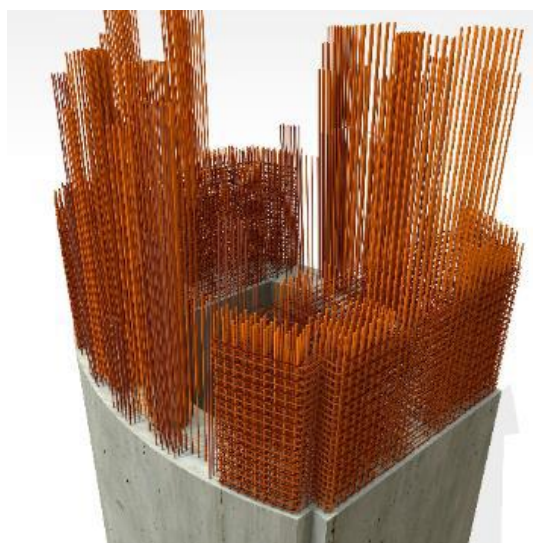


Рис. 6. Армирование пилона

Allplan Bridge - моделирование, расчеты, проектирование и выпуск рабочей документации в 4D.

Allplan Bridge делает все это возможным в одной программе. Модификации модели моста являются частью ежедневной работы. Внесение изменений обычно трудоемко и сопровождается возникновением ошибок. С Allplan Bridge проектировщики мостов и инженеры-строители могут избежать этих проблем. Благодаря высокой степени детализации параметрическая модель идеально подходит для визуального планирования и координации: если вы изменяете свою модель в одном месте, все связанные элементы моста автоматически корректируются. Оси, сечения, опоры изменяются по заданным законам. Напряженные канаты рассчитываются и оптимизируются; расчетная модель сооружения генерируется автоматически; поддерживаются встроенные расчеты конструкции, в т.ч. в ходе возведения, а также передача расчетных моделей в другие расчетные программы. Уникальный модуль армирования ускоряет процесс выдачи рабочей документации КЖ/КЖИ в разы.

Выводы

Allplan Bridge это многолетнее ноу-хау по мостам, дающее возможность выполнять все виды протяженных объектов, интегрированные расчеты, имеющая настраиваемую параметрику, продвинутые инструменты армирования, современную BIM платформу. Ее применение дает возможность управления вариантными концепциями, расчетами, конструированием, объемами, поставками, монтажом, производством, сроками и сметами.

OpenBIM имеет много преимуществ, поэтому широко распространен. Это свобода, в отличие от зависимости. Применение специализированных решений, таких как Allplan Bridge, дает максимальную производительность, точность и существенно сокращает затраты при проектировании и потери при строительстве.

BIM система Allplan Bridge является русифицированной, поддерживает строительные нормы стран СНГ, поддержка происходит на русском языке.

Литература

1. Allplan 2022. Руководство. Установка, основные положения. © ALLPLAN GmbH, Muenchen. октябрь 2021. 357 с.
2. Allplan Bridge – BIM в мостостроении. В. Шкатов. Allbau Software GmbH, Берлин. 2021. 34 с.
3. Allplan 2021. Пособие. Конструирование. © ALLPLAN GmbH, Muenchen. 2021. 410 с.
4. Allplan 2022. Пособие. Основы. © ALLPLAN GmbH, Muenchen. 2022. 311 с.

УДК 69.04

ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ И РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УЧЕБНОМ И ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ

В. А. Гречухин¹⁾, V. Shkatov²⁾

¹⁾ Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Республика Беларусь, vag_ftk@bntu.by

²⁾ Allbau Software GmbH/Berlin

В условиях повышения интенсивности при выполнении производственных процессов не остается в стороне и такая интеллектуальная составляющая транспортного строительства, как проектирование объектов транспортной инфраструктуры. На сегодняшний день самым эффективным инструментом повышения качества и интенсивности проведения проектных работ является компьютерное моделирование и автоматизация. Данный процесс не возможен без постоянного совершенствования программных продуктов, которые развиваются за счет совершенствования имеющихся и разработки новых.

Ключевые слова: информационные технологии, компьютерное моделирование, учебный процесс, обучение студентов, allplan bridge, BIM

Введение

Кафедра «Мосты и тоннели» начала свою историю в 1977 году, в год начала строительства метрополитена. С 2001 года впервые в Беларуси начался выпуск специалистов по специализации «Метрополитены». В создании этой специализации кафедра получила поддержку и помощь многих автодорожных и железнодорожных вузов РФ. Результаты научных исследований кафедры в области железобетонных мостовых и тоннельных конструкций, гидроизоляции транспортных сооружений, эксплуатации и

реконструкции мостов нашли признание в республике и за рубежом. Успехи разработок работников кафедры подтверждаются авторскими свидетельствами (свыше 300), патентами США, Канады, Франции, Италии, Германии, Японии, Швеции, Великобритании. По проектам студентов построены и реконструированы в Беларуси десятки малых и средних мостов. За период существования кафедры выпущено более 1800 инженеров по мостам и тоннелям, в том числе около 200 магистров технических наук для Европы и стран Азии, Африки и Латинской Америки, защищено 17 кандидатских и 1 докторская диссертации.

В настоящее время кафедра «Мосты и тоннели» является единственным в Беларуси специализированным подразделением по подготовке и выпуску инженерных кадров в области проектирования, строительства и эксплуатации мостов и тоннельных сооружений. Студенты, обучающиеся на кафедре, решают в процессе курсового и дипломного проектирования сложные технические задачи.

В свою очередь это предъявляет к подготовке студентов высокие требования, которые невозможно достичь, не пользуясь современными образовательными технологиями, включающими современное оборудование и программные продукты [1-4]. На рисунке 1 представлен общий вид моста, выполненный студентом кафедры «Мосты и тоннели» в рамках дипломного проектирования.



Рис. 1. Общий вид моста

В задачи автоматизации проектирования входит построение модели, проведение расчетов, анализ, интерпретация и сопоставление результатов моделирования с реальным поведением изучаемого объекта. При обнаружении несоответствия проводят уточнение модели. Компьютерное моделирование является эффективным инструментом в случаях, когда натурный эксперимент провести невозможно или он является слишком дорогостоящим [1-5]. Это требует от студентов наличия теоретических знаний и владение информационными технологиями [1-5]. Поэтому дисциплину компьютерное моделирование студенты кафедры начинают изучать со второго семестра. На последующих курсах студенты изучают дисциплины автоматизированное проектирование мостов и тоннелей, а также применяют полученные навыки при выполнении курсовых и дипломных проектов. Это возможно потому что у студентов старших курсов уже имеются необходимые знания основных учебных дисциплин, таких как проектирование мостов, проектирование тоннелей и др. На рисунке 2 представлен общий вид платформы Минского метрополитена, выполненный студентом кафедры «Мосты и тоннели» в рамках дипломного проектирования.

В течение продолжительного периода студенты кафедры «Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета изучают предметы компьютерное моделирование и автоматизация проектирования.

Полученные навыки применяются при выполнении курсовых и дипломных проектов. Для этих целей на кафедре оборудована специализированная аудитория с мощными компьютерами и лицензионным программным обеспечением. Часть компьютеров закуплена за средства организаций отрасли. Поставщики программного оборудования безвозмездно предоставили лицензионные ключи. Для повышения эффективности и ответственности за использование полученного программного обеспечения, кафедра регулярно сотрудничает с поставщиками программных продуктов.

По состоянию на сегодняшний день изучение дисциплины компьютерное моделирование ведется с использованием программных продуктов Autodesk и Allplan. Причем в силу сложившихся обстоятельств сегодня наиболее интересным и реально применимым продуктом является Allplan [6-8], который полностью адаптирован для последующей передачи компьютерной модели в Midas и Sofistik, которые изучаются студентами в курсе автоматизация проектирования мостов и тоннелей.



Рис. 2. Платформа Минского метрополитена

Изучение Midas и Sofistik связано с их широким применением проектными организациями Республики Беларусь.

На рисунках 3 и 4 приведены данные расчетов, полученные студентами.



Рис. 3. Эшюры моментов, продольных и поперечных сил



Рис. 3. Расчет пролетного строения моста

Связка Allplan – Midas и Sofistik позволяет максимально адаптировать студентов к условиям реального проектирования.

Используют студенты в своей работе и другие программные комплексы, см. рисунок 5.

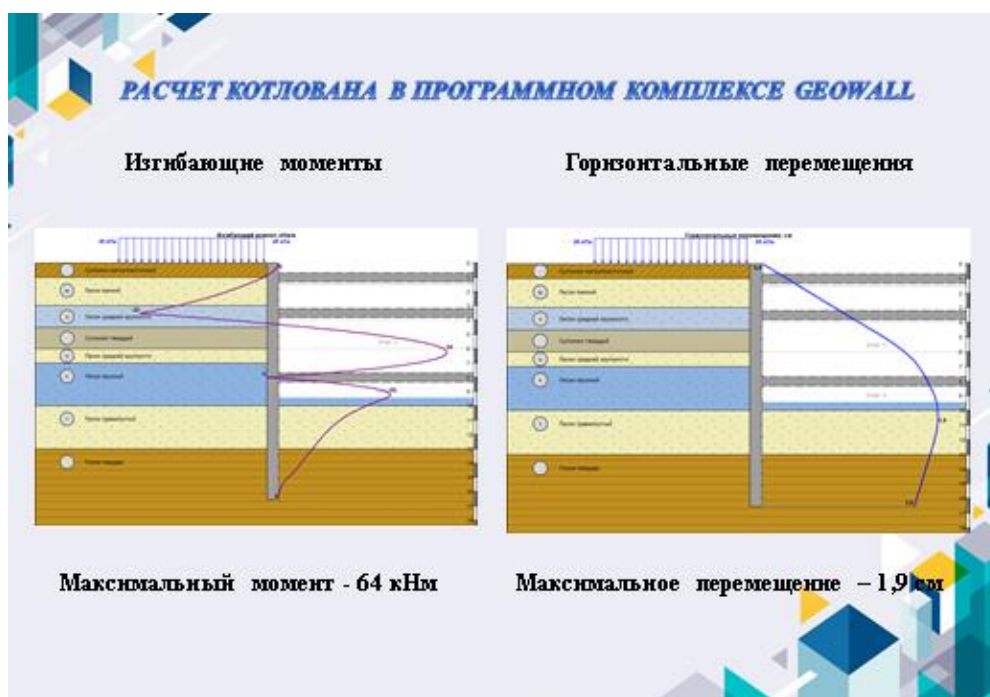


Рис. 5. Расчет крепления котлована

Заключение

Компьютерное моделирование в образовательном процессе является эффективным механизмом, позволяющим студентам смоделировать реальные конструкции со степенью максимального соответствия и реального восприятия. Это способствует повышению эффективности усвоения студентами сложного теоретического материала. Выпускники, освоившие методы компьютерного моделирования способны успешно решать задачи профессиональной деятельности.

Литература

1. Басалин П.Д., Тимофеев А.Е. Оболочка гибридной интеллектуальной обучающей среды продукционного типа // Международный электронный журнал «Образовательные

технологии и общество (Educational Technology & Society)». – 2018. – V.21. – № 1. – С. 396-405.

2. Басалин П.Д. Организация интеллектуальной обучающей среды с применением новых информационных технологий // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Межвузовская серия «Моделирование и оптимизация сложных систем». Н. Новгород: 2002. – С. 21-25.

3. Макаров Е.М. Использование Java для проверки компетенций по геометрическому моделированию // Образовательные технологии и общество. – 2018. – т. 21, № 1. – с. 494–505.

4. Макаров Е. М. Использование домашних заданий по программированию для развития практических компетенций курса «Геометрическое моделирование» // Образовательные технологии и общество. – 2019. – т. 22, № 1. – с. 164–174.

5. Комарова С.Н. Компьютерное моделирование как средство развития исследовательской компетенции студентов / Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). 2015.5 (158). С. 217-222.

6. Allplan 2022. Пособие. Основы. ALLPLAN GmbH, Мюнхен. 2022. - 311 с.

7. Allplan 2021. Пособие. Конструирование. ALLPLAN GmbH, Мюнхен. 2021. - 311 с.

8. Allplan Bridge – BIM в мостостроении. В. Шкатов. Allbau Software GmbH, Берлин. 2021. - 34 с.

9. Дипломные проекты студентов кафедры «Мосты и тоннели».

УДК 691

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

А.В. Устинович

Завод ЖБИ УП «Минскметрострой»,

ул. Селицкого, д.15в, 220075, г. Минск, Республика Беларусь

В настоящий момент заметно увеличения тенденции в использовании монолитного железобетона при возведении зданий и сооружений. Не исключением является и метрополитен. Если при устройстве перегонных тоннелей применяют сборный железобетон, то уже станционные комплексы возводят с использованием технологии монолитного строительства. Не исключением является и метрополитен города Минска.

Первый пусковой комплекс третьей линия Минского метрополитена включает в себя 4 станции которые между собой соединены перегонными тоннелями. Основной способ строительства станций – это монолитное строительство. В тоже самое время сборный железобетон, тоже широко применяется при возведении объектов и при подготовительных мероприятиях (перенос и/или устройство коммуникаций).

При устройстве перегонных тоннелей тоннеле-проходческим механизированным комплексом (ТПМК) создаётся тоннель круглого сечения (рисунок 1) наружным диаметром 6,0 м стенки которого состоят из железобетонных тубингов высокоточной тоннельной обделки, изготавливаемых на предприятии в соответствии с требованиями [1]. В сборе кольцо обделки включает в себя четыре прямых тубинга, один замковый и два прилегающих к нему. Преимуществом такого способа в сравнении с ранее использованными является более высокая скорость проходки, до 12,0-15,0 м в сутки, а за счёт использования резиновых уплотнителей, устанавливаемых в виде рамок в заводских условиях в тубинги, достигается высокая герметичность конструкции тоннеля.



Рис. 1. Перегонный тоннель из железобетонных тубингов высокоточной тоннельной обделки

Полностью отказаться от старых технологий проходки тоннелей (использовались при строительстве первых двух линий) не получилось. Короткие пешеходные соединительные и перегонные тоннели устраивали с использованием немеханизированных щитов. Это было обусловлено экономической целесообразностью использования менее производительной технологии. В этом случае для устройства тоннеля использовалась тоннельная обделка другой конфигурации и меньших габаритных размеров. Наружный диаметр составляет 5,5 м, а кольцо в сборе включает в себя шесть тубингов и один лотковый блок. Длина кольца составляет 1,0 м.



Рис. 2. Перегонный тоннель с использованием тоннельной обделки старого образца

Данный тип конструкции тоннеля обладает рядом недостатков: низкая производительность при возведении тоннеля, не высокая герметичность и тд. Производство тубингов осуществляется в соответствии с требованиями [1] кассетным способом в заводских условиях.

Пристанционные сооружения, тупики, ветка съезда сооружаются открытым способом. В качестве ограждающих конструкций (стен) используются стеновые блоки различных типоразмеров и конфигураций (рисунок 3). Стеновые блоки могут быть с выпусками арматуры, предназначенными для последующего устройства монолитной конструкции, так и без выпусков, с консолью и без её. По верх стеновых блоков монтируются плиты покрытия [2].



Рис. 3. Станция «Вокзальная»

В качестве элемента верхнего строения пути фиксирующего рельс и позволяющий снижать вибрацию от подвижного состава на тетьей линии Минского метрополитена использовались виброизоляционные блоки упругого крепления рельсового пути БВ2-М [3] (рисунок 4). Они использовались вместо деревянных шпал, широко распространённых на первой и второй линии Минского метрополитена. Проведённые натурные испытания в тоннеле показали их эффективность в гашении вибрации, возникающей при движении метрополитена [4].



Рис. 3. Подготовка верхнего строения пути на блоках БВ2-М к бетонированию

Также необходимо не забывать, что перед устройством котлованов, в которых в последствии ведётся строительство объектов метрополитена, необходимо произвести перенос всех коммуникаций с пятна застройки. Для этих целей используются различные железобетонные изделия: лотки для прокладки теплотрасс, крышки и др. Отдельно необходимо отметить использование труб бетонных и железобетонных безнапорных с интегрированными уплотнителями. Использование данных изделий позволяет снизить затраты на устройство стыковых соединений трубопроводов и большую герметизацию стыкового соединения.



Рис. 5. Безнапорный трубопровод

Наибольшее распространение получили трубы железобетонные при производстве которых на современных установках используется арматурный каркас [5]. Однако проведенные исследования показывают, что в трубах диаметром от 300 мм до 600 мм и до 3-й группы по несущей способности при производстве по технологии радиального прессования возможно исключение арматурного каркаса. При этом несущая способность бетонных изделий остаётся на прежнем уровне. Это достигается за счёт более плотной структуры бетона. Отсутствие арматурного каркаса позволяет снизить затраты на производство изделий (стоимость материалов, трудозатрат на производство каркаса, амортизации оборудования) и как следствие на устройство трубопроводов.

Литература

1. Блоки железобетонные, обделки тоннелей метрополитена. Технические условия: СТБ 1288-2001 – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь. – 2001. – 11 с.
2. Изделия бетонные и железобетонные сооружений метрополитена. Технические условия: СТБ 1289-2001 – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь. – 2001. – 14 с.
3. Устинович А.В. О верхнем строении пути метрополитена / А.В. Устинович, В.А. Гречухин // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Международной научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С.Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. - Минск : БНТУ, 2020. - С. 137-139.

4. Шепелевич Н.И. Исследование вибрации обделки тоннеля метрополитена при упругом креплении рельсового пути / Н.И. Шепелевич, А.Л. Коноплицкий, А.В. Устинович // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О.Н. Лешкевич [и др.]. - Минск, 2018. - Вып. 10. - С. 78-92.

5. Трубы бетонные и железобетонные безнапорные. Технические условия: СТБ 1163-2013 – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь. – 2013. – 20 с.

УДК 624.21(075.8)

ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ И ПУТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

М. Л. Берестевич¹⁾, В. А. Гречухин²⁾, Е. К. Мойсейчик²⁾, Е. А. Мойсейчик²⁾

¹⁾ Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», 4-й загородный пер., 60, 220073, г. Минск, Республика Беларусь,

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Республика Беларусь, emoisseitchik@mail.ru

Значительная часть мостовых сооружений, запроектированных в советское время, содержат различные дефекты, подвержены авариям, имеют срок службы, ниже нормативного. Повреждения и аварии мостовых несущих конструкций вызываются многими факторами, имеющими случайную природу. Их возникновение рассматривается как способ верификации в естественных условиях комплекса научно-технических, нормативных, технологических и управленческих решений и действий. Каждая авария (повреждение и т. д.) является результатом естественного эксперимента (испытания) мостового сооружения, проходящего при действии комплекса случайных нагрузок (механических, тепловых и др.) и воздействий (влажностных, химических, радиационных и др.), случайно изменяющихся во времени и длящихся от начала эксплуатации до возникновения фиксируемого события (повреждения, обрушения и т. д.). В статье с помощью статистических методов исследуются причины аварий автодорожных мостов, выявляются особенности аварийных нагрузок и воздействий на мосты, рассматриваются пути предотвращения отказов мостов и повышения их долговечности.

Ключевые слова: автодорожные мосты, несущие конструкции, повреждения, база данных, повреждения, выявление дефектов, комплексные неразрушающие методы.

Введение. На республиканских автомобильных дорогах Беларуси эксплуатируются 2273 мостовых сооружения. Из них 551 сооружение (24,2%) не соответствуют действующим нормативным требованиям по грузоподъемности и (или) габариту [1]. На сети местных автомобильных дорог не соответствуют этим требованиям 1102 моста (36,4 %) из общего количества 3025 мостов [1].

Большинство мостов Беларуси имеют малые и средние пролеты и выполнены из железобетона. Несущие пролетные конструкции указанных мостов, возведенные в 1958–1971 гг., в основном представляют собой сборные диафрагменные балочные строения. В последующие годы применялись типовые бездиафрагменные балки [2]. По расчетной схеме 70% железобетонных мостов относятся к балочному типу, а 30 % – к плитному [2]. Усилия от пролетных строений воспринимают и передают на фундаменты и грунты оснований опоры из железобетонных свай, стенок и стоек. Несущие конструкции больших мостов выполнялись из железобетонных балок коробчатого сечения, свай-оболочек и др. Пролетные и опорные несущие конструкции часто содержат повреждения, снижающие их работоспособность и долговечность. Срок службы этих объектов не соответствует нормативным значениям по различным причинам [2]. Жизненный цикл отдельных мостов

заканчивается обрушением несущих конструкций, приводящим к авариям с последствиями различной тяжести [3]–[5].

Целью настоящей статьи является исследование причин повреждений и аварий автодорожных мостов, запроектированных в советское время, с использованием данных по их авариям на территории бывшего СССР, выявление особенностей аварийных нагрузок и воздействий на мосты, определение основных направлений работ по предотвращению отказов мостов и повышению их долговечности.

Данные статистики аварий. Возникновение повреждений и аварий несущих конструкций мостовых сооружений можно рассматривать как способ верификации в естественных условиях комплекса научно-технических, нормативных, технологических и управленческих решений и действий. Отказы конструкций в этой цепочке означают, что отдельные решения и действия не являются оптимальными. Вследствие этого наблюдается повышенное внимание к их изучению, установлению причин возникновения и развития, следствий для мостового сооружения, экологии, оценки ущерба, долговечности. При решении частных задач этой проблемы каждую аварию (повреждение и т. д.) можно рассматривать как естественный эксперимент (испытание) над мостовым сооружением, проходящий в условиях комплекса нагрузок (механических, тепловых и др.) и воздействий (влажностных, химических, радиационных и др.), случайно изменяющихся во времени и длящихся от начала эксплуатации до возникновения фиксируемого события (повреждения, аварии и т. д.). Такое событие является случайной величиной, зависящей от сочетаний отдельных нагрузок и воздействий в структуре комплекса. Если рассматривать совокупность однородных событий (аварий и т. д.), отвечающих различным случайным соотношениям нагрузок и воздействий в комплексе, то такие сочетания могут рассматриваться как случайный процесс (случайная функция).

Если иметь N испытаний (аварий и т. д.), в которых возможно появление некоторого фиксируемого события A и при этом k раз событие A фактически имело место, тогда относительная частота (частость) $W(A)$ появления события A в данной серии из N испытаний равна $W(A) = k/N$. При увеличении N частость появления события A будет стремиться к некоторому положительному постоянному числу, представляющему собой количественную оценку возможности случайного события A , называемому его вероятностью. Продолжая подобным образом рассматривать некоторую однородную совокупность аварий сможем ввести и другие понятия и рассмотреть прикладные методы математической статистики [6].

С использованием таких методов несложно получить научно обоснованные выводы о причинах и следствиях аварий. Эти выводы будут относиться не к отдельным авариям, а будут проявлять общие вероятностные характеристики аварий мостовых несущих сооружений. Например, если имеется ограниченная совокупность аварий (испытаний) несущих конструкций данного типа, возведенных и эксплуатируемых по конкретным производственным технологиям, то полученные по отдельным авариям данные могут представлять интерес при рассмотрении и анализе аварии при конкретном комплексе нагрузок и воздействий. Статистические характеристики позволяют характеризовать качество технологических процессов, в результате которых произошла авария. Для выполнения соответствующих расчетов необходимо иметь исчерпывающую базу данных по авариям мостовых сооружений за длительный период. Допустим, что имеется многочисленная (генеральная) совокупность случайных аварий однородных несущих элементов. Из генеральной совокупности можно случайным образом выделить меньшее количество аварий (случайная выборка). Такая выборка будет представительной (репрезентативной), если она достаточно хорошо отображает пропорции генеральной совокупности. При обработке и представлении статистических данных используются методы, изложенные в [6] и других источниках.

Репрезентативную выборку по авариям белорусских мостов создать сложно. Прежде всего это является следствием того, что заинтересованные ведомства Республики Беларусь

не представляют полных отчетов с технической информацией по авариям мостовых сооружений. Так, информация МЧС РБ за соответствующий год содержит лишь количество транспортных аварий. Получить доступ к ограниченным сведениям по мостовым сооружениям, предоставляемым инфоцентром РУП «Белдорцентр», возможно только работникам дорожных организаций на договорных условиях. Опыт зарубежных стран убеждает, что большая открытость доступа к технической информации по мостам, привлечение широкого круга ученых к исследованию возникающих проблем позволяет снизить затраты на управление состоянием мостовых сооружений, повысить его эффективность и увеличить срок эксплуатации мостов без проведения капитальных ремонтов и реконструкций [7].

Несмотря на указанные информационные затруднения возможность создать представительную выборку аварий мостов с балочными, плитными и другими типами пролетных конструкций имеется. С этой целью нами сформирована картотека сведений по авариям таких мостов из открытых источников, включая [3, 8] и другие. Данные относятся к произошедшим на территории бывшего СССР авариям мостов, запроектированных и построенных по технологиям и нормам того периода. В выборке использованы материалы 52 аварий. Сюда не включались аварии пролетных строений на стадии монтажа конструкций. По данным выборки построены гистограммы, представленные на рисунках 1–4. Согласно рисунку 1 выявлено два пика аварий: «в возрасте» 31–35 и 46–55 лет. Первый пик связан с авариями железобетонных балочных мостов коробчатого сечения. Второй пик показывает частоту аварий железобетонных балочных (ребристых) мостов двутаврового и подобных сечений. Видно, что долговечность железобетонных мостов значительно меньше долговечности стальных мостов. В выборке около 80 % аварий относится к средним и малым мостам (рис. 2). Из рисунка 3 следует, что частота аварий балочных мостов в значительной мере определяется принятой конструкцией пролетного строения. Около 80 % аварий мостов с железобетонными пролетными строениями вызываются перегрузом конструкций и коррозионным износом стальной арматуры (рис. 4). Недостаточная культура эксплуатации и неправильные проектные решения играют значительную роль в снижении долговечности автодорожных мостов (рис.4).



Рис. 1. Частота возникновения аварий железобетонных (синий цвет) и стальных (красный цвет) пролетных строений мостов в зависимости от срока эксплуатации

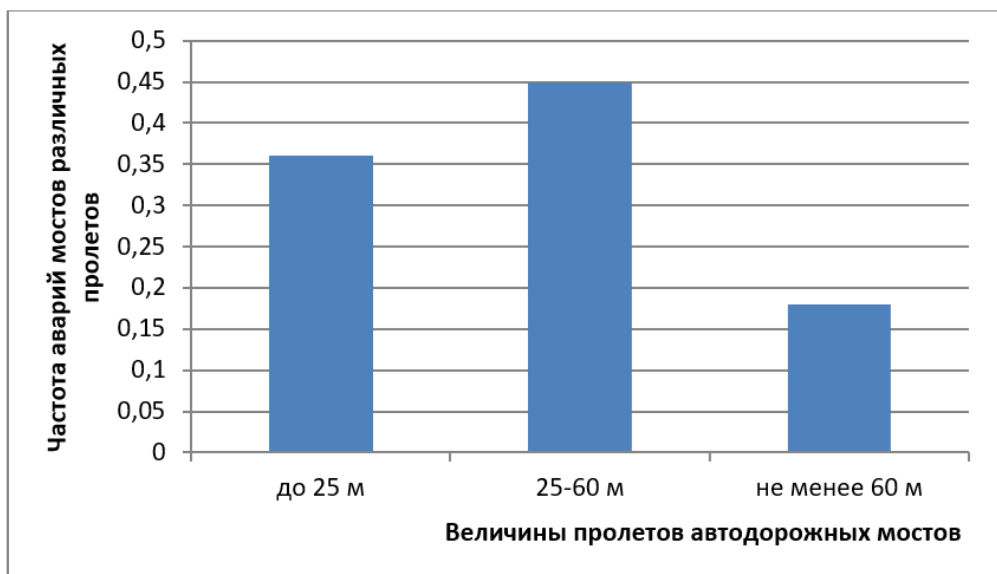


Рис. 2. Частота аварий малых, средних и больших автодорожных мостов

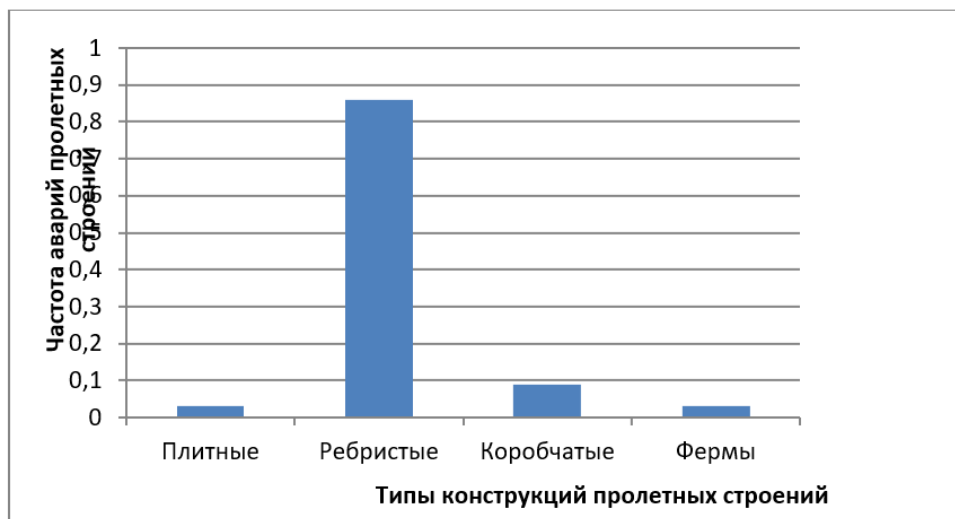


Рис. 3. Частота аварий различных типов пролетных строений



Рис. 4. Частота аварий мостов, вызванных неблагоприятными факторами Ф1–Ф7

Обсуждение данных аварий. Выводы, следующие из гистограмм (рис. 1–4), имеют неодинаковую достоверность. Так, долговечность мостов определялась точными датами начала эксплуатации и аварии. Численно определялись величины пролетов конструкций, формы поперечных сечений обрушенных пролетных строений фиксировались по фотографиям. Факторы, вызвавшие аварию (рис. 4), в каждом случае фиксировались экспертами различной компетенции. Более достоверными могут быть сведения, содержащиеся в отчетах специализированных организаций, расследующих аварию по единой методике и ведущих регулярный учет аварий, как это определено, например, в России [9].

Дополнительные вопросы возникают при совместном рассмотрении рисунка 1 и рисунка 4. Из рисунка 1 следует, что долговечность стальных балочных пролетных строений значительно выше, чем железобетонных. Вместе с тем для обоих типов конструкций антикоррозионная защита выполнялась в соответствии с обоснованными нормативными требованиями: для железобетонных конструкций выбором материалов и защитного слоя бетона, стальных конструкций – выбором стали и окрасочных слоев. Коррозионную устойчивость стальных конструкций можно повысить путем выполнения конструктивных требований по назначению минимальных толщин элементов, отвода влаги с поверхности профилей (расположение профилей в пространстве, сверление отверстий в зонах застоя влаги, открытость профилей для обдува ветром и т. п.). В балочных пролетных конструкциях бетон работает на изгибающие и сдвигающие усилия, в результате в нем всегда возникает зона растяжения и трещины в ней, вследствие этого создаются условия для развития коррозии. В лучших условиях работает бетон в конструкциях, в которых дополнительно к балочным возникают продольные сжимающие усилия (арки, рамы). В ряде поперечных сечений таких конструкций можно избежать возникновения зон растяжения в бетоне. Пониженная долговечность железобетонных балочных коробчатых конструкций прежде всего объясняется дефектами, возникающими вследствие особенностей напряженного состояния железобетонной коробки [10], неотлаженной технологии их строительства, сложностью контроля состояния предварительно напряженной арматуры при строительстве и эксплуатации и другими факторами (см. главу 4 [11]). Долговечность железобетонных пролетных строений существенно снижается из-за ускорения коррозии бетона и стали при действии солевых растворов [12,13], используемых эксплуатационными дорожными службами для борьбы с зимней скользкостью. Кстати, расчетные предсказания срока начала коррозионного поражения стальной арматуры железобетонной коробчатой конструкции с учетом накопления ионов хлора сверх критического количества [13] близки к статистически выявленным величинам (рис. 1).

Обращает на себя внимание основной неблагоприятный фактор Φ_1 , ответственный за аварию почти половины автодорожных мостов (рис. 4). Основными составляющими Φ_1 являются чрезмерная толщина асфальтобетонного покрытия на мостах (до 30–40 см) и значительное превышение временной нагрузки от действия транспортных средств. На российских дорогах участились случаи ударных воздействий по пролетным строениям путепроводов, пешеходных мостов поднятыми кузовами автосамосвалов. Такие воздействия создают аварийные ситуации для мостовых сооружений и в других странах [14], [15]. Имеются в выборке случаи аварий мостов из-за разрушений опорных частей пролетных строений и опор (рис. 4).

Заключение.

1. Аварии мостовых несущих конструкций вызываются многими факторами, имеющими случайную природу. Статистическая обработка репрезентативных выборок аварий позволяет характеризовать качество технологических процессов, в результате которых произошла авария. Для создания таких выборок необходимо иметь базу данных по авариям мостовых сооружений.

2. Выполненный выше статистический анализ аварий автодорожных мостов и литературных данных показывает, что срок службы мостовых сооружений может быть

значительно увеличен за счет повышения качества проектной документации и строительства, внедрения современных строительных технологий, научно-технического сопровождения строительства, организации системы надзора и контроля качества работ по содержанию, ремонту и реконструкции мостов.

3. Система контроля и диагностики состояния несущих конструкций эксплуатируемых мостов должна обеспечивать большую объективность в выявлении, фиксации, росте дефектов (трещин, зон коррозионного поражения арматуры и др.) в элементах конструкций, быть дистанционной и быстродействующей. Таким требованиям в значительной мере удовлетворяют комплексные методы, включающие визуально-оптические неразрушающие методы, работающих одновременно в нескольких волновых диапазонах (видимом, инфракрасном и др.) для выявления дефектных зон конструкций и их дальнейшего исследования традиционными методами неразрушающего контроля.

Литература

1. Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 212.

2. Леонович, И. И. Проблемы эксплуатации железобетонных мостов на сети автомобильных дорог Беларуси / И. И. Леонович, Г. П. Пастушков // Вестник БГПА. – 2002. – № 1. – С. 11–15.

3. Аварии транспортных сооружений и их предупреждение / И. И. Овчинников [и др.]. – Чебоксары : ИД «Среда», 2020. – 216 с.

4. Дмитриев, Ф. Д. Крушения инженерных сооружений. Историко-технические очерки / Ф. Д. Дмитриев. – М. : Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. – 188 с.

5. Scheer, Joachim. Failed bridges: case studies, causes and consequences / Joachim Scheer. – Berlin : Ernst & Sohn, 2010. – 321 p.

6. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1969. – 512 с.

7. Нигаматова, О. И. Системы управления состоянием мостовых сооружений / О. И. Нигаматова, И. Г. Овчинников // Интернет-журнал «Науковедение». – Т. 7, №3. – 2015. – С. 1–15.

8. Реестр аварий зданий и сооружений 2001–2010 годов / К. И. Еремин [и др.]. – М. : VELD, 2011. – 318 с.

9. О порядке расследования причин аварий зданий и сооружений на территории Российской Федерации. МДС 12-4.2000 : приказ министерства строительства Российской Федерации от 06.12.1994 № 17-48.

10. Матвеев, С. А. Расчет конструкций мостовых пролетных строений коробчатого сечения на изгиб с кручением / С. А. Матвеев, Е. А. Мартынов // Вестник СибАДИ. – 2011. – Вып. 4 (22). – С. 26–30.

11. Мухаммад, Е. М. Условия применения составных по длине железобетонных пролетных строений автодорожных мостов в Сирийской Арабской Республике : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. М. Мухаммад. – М. : 1992. – 23 с.

12. Бусел, А. В. Управление зимним содержанием мостов и их защита от солевой коррозии / А. В. Бусел, Е. В. Вольский, С. Е. Исаков // Дороги і мости : зб. наук. пр. / Держ. Служба авт. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 10. – С. 51–53.

13. Бабицкий, В. В. Метод прогнозирования коррозионного состояния стальной арматуры железобетона / В. В. Бабицкий, С. Н. Ковшар // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. – 2016. – № 8. – С. 33–37.

14. Response to Bridge Impacts – An Overview of State Practices. FHWA-HIF-20-087 / Federal Highway Administration. Office of Bridges and Structures. DC 20590. – September 2020. – 15 p.

15. A Study of U.S. Bridge Failures (1980-2012). MCEER-13-0008 / G. C. Lee [et al.] / University at Buffalo. – 2013. – 148 p.

УДК 624.26:666.97

ФИБРОБЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ЗОЛОЙ ОТ СЖИГАНИЯ БУРОГО УГЛЯ БЕЛАРУСИ

Г. Д. Ляхевич¹⁾, И. И. Лиштван²⁾, В. А. Гречухин¹⁾, А. В. Кулан¹⁾,
Е. Н. Савина¹⁾, В. М. Дударчик²⁾, В. М. Крайко

¹⁾ Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Республика Беларусь

²⁾ Институт природопользования НАН Беларуси
ул. Франциска Скарины, 10, 220076, г. Минск, Республика Беларусь

Одним из основных путей улучшения физико-механических свойств цементобетона является введение в бетонную смесь волокон, например, полипропиленовых волокон, модифицированных золой от сжигания бурого угля, микрокремнезема, суперпластификатора, при низком водоцементном отношении 0,28 - 0,35.

Факторы положительного влияния полипропиленовых волокон на структуру и физико-механические характеристики армобетона следующие: снижение общей пористости цементного камня при увеличении объемной концентрации и дисперсности наполнителя; связывание гидроксида кальция кремнеземом. Использование исследованных зол Республики Беларусь совместно с микрокремнеземом МК-85, суперпластификатором С-3 для производства мостовых и тоннельных конструкций будет способствовать решению важных задач:

- расширение сырьевой базы для изготовления строительных конструкций;
- уменьшение расхода цемента;
- обеспечение высоких физико-технических параметров армобетонов;
- обеспечение высокой долговечности и надежности мостовых и тоннельных конструкций, продолжительной эксплуатационной пригодности их и др.;
- обеспечение более длительного межремонтного периода;
- защиты окружающей среды от дисперсных зол, загрязняющих воздушный бассейн, землю, воду.

Ключевые слова: полипропиленовые волокна, зола, сжигание, бурый, уголь, Беларусь, микрокремнезем, суперпластификатор, цементобетон, физико-механические свойства, бетонные, железобетонные, мостовые, тоннельные, конструкции, эффективность использования.

1. Введение: теоретические аспекты.

Ранее нами и другими исследователями [1-26] показано, что дисперсное армирование волокнистой арматурой обеспечивает трехмерное упрочнение композитов и позволяет принципиально изменять свойства цементного камня и других видов искусственных композитов, повышая сопротивление ударным и динамическим нагрузкам, создавая необходимый запас прочности, сохраняя целостность конструкции, даже после появления сквозных трещин и др. Высокодисперсные волокнистые наполнители в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования. Наличие границы раздела между армирующими элементами и цементной матрицей существенно повышает деформативные свойства материала.

В наших и в других работах [27-51] показано, что улучшение физико-механических свойств цементобетона может быть достигнуто путем введения в бетонную смесь различных добавок, и прежде всего, зол от сжигания твердого топлива. В мире ежегодно образуется более 390 млн. т зол, при этом объём их использования составляет менее 15% [27]. Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большую прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к сульфатной коррозии, меньшую теплопроводность.

Строение и состав зол зависит от целого комплекса одновременно действующих факторов: вида и морфологических особенностей сжигаемого топлива; тонкости помола в процессе его подготовки; зольности топлива; химического состава минеральной части топлива; температуры в зоне горения; времени пребывания частиц в этой зоне и др.

Одной из существенных характеристик золы как активной минеральной добавки в бетон является ее гидравлическая активность. Традиционными методами она определяется по способности зол поглощать известь из известкового раствора, а также проявлять вяжущие свойства в сочетании с гидратной известью.

Требования к золам, как к активным минеральным добавкам в бетонную смесь, обусловлены физико-химическим механизмом их влияния на процессы твердения и структурообразования бетона. Гидравлическая активность зол, как и других веществ пуццоланового типа, в значительной мере обусловлена химическим взаимодействием входящих в них оксидов кремния и алюминия с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидролизе клинкерных минералов, с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Гидратации зол способствует их стекловидная фаза, кристаллическая фаза в этом процессе практически инертна. Химическая активность зол непосредственно связана также с их дисперсностью.

Зола представляет собой преимущественно силикатное стекло, слагающий его аморфный кремнезем химически активен по отношению к $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации цемента (т.н. пуццоланическая активность). Реакция между ними приводит к образованию высокодисперсных гидросиликатов кальция (типа $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) с высокой связующей способностью взамен мало прочного $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Кроме пуццоланического эффекта, зола оказывает на бетон и значительное физическое воздействие, которое принято называть «эффектом микронаполнителя». В чистом виде он проявляется в повышении прочности при введении в бетон инертных порошков, например, пылевидных отходов дробления. Его основой можно считать увеличение концентрации дисперсных частиц в цементном тесте, что вызывает снижение его пористости. Другой аспект этого эффекта проявляется в бетонных смесях с низким расходом цемента, где имеет место явный дефицит дисперсных частиц. Введение золы его ослабляет или ликвидирует, в итоге улучшается зерновой состав цементно-песчаной составляющей, уменьшается расслоение бетонной смеси и повышается однородность бетона. Следует отметить, что «стабилизирующая» роль золы возрастает в связи с тенденцией применения в монолитном строительстве все более подвижных смесей, с повышенной склонностью к расслоению.

При увеличении расхода цемента расслоение бетонной смеси снижается, но повышается тепловыделение твердеющего бетона, что может привести к образованию микротрещин уже на ранних стадиях твердения. Сокращение расхода цемента при введении золы снижает тепловыделение и вероятность образования термических микротрещин, что также улучшает структуру бетона. В массивном бетоне опасность микротрещин существенно возрастает, и положительная роль золы проявляется во всем диапазоне расхода цемента.

Существенный вклад в технологию использования зол в неорганических вяжущих, бетонных смесях, в механизм взаимодействия высокодисперсных наполнителей – зол с цементным камнем, установлении роли и влияния зол на физико-механические свойства бетона внесли научно-исследовательские учреждения и высшие учебные заведения, а также

целая плеяда замечательных ученых и практиков, как отечественных, так и зарубежных, таких как: И.А. Рыбьев, П.А. Ребиндер, А.В. Волженский, В.В. Бабков, В.С. Рамачандран, А.Г. Ольгинский, С.С. Каприелов, Ж.А. Ларби, Л. Опоски, Ж.М. Бижен, В.К. Власов, В.Е. Крекшин, И.М. Красный, М.С. Шендипа, А.Г. Комар, А.Г. Зоткин, И.Ю. Данилович, Е.Е. Бери, М. Мальхотра, Ю.М. Баженов, В.А. Выров, В.И. Соломатов и многие другие [30-40].

Положительному влиянию золы на структурообразование бетона способствует «эффект мелких порошков», расширяющих свободное пространство, в котором осаждаются продукты гидратации, что ускоряет процесс твердения цемента [35-49]. Факторы, которые считаются основными при оценке влияния высокодисперсных наполнителей на свойства цементного камня и бетона связаны с физическим эффектом – «эффект микронаполнителя», либо с реакциями активных гидравлических составляющих. «Эффект микронаполнителя» проявляется в том, что мелкие частицы золы обычно имеют более тонкий гранулометрический состав, чем портландцемент. Пуццолановая активность проявляется при любых способах введения добавок, а микро наполняющий эффект – лишь при росте содержания дисперсных частиц в смеси. Но при высокой степени наполнения после достижения его максимума происходит уменьшение прочности бетонов, несмотря на продолжающееся снижение пористости цементного камня, вследствие, ухудшения сцепления наполненного цементного камня с заполнителем. Увеличение количества наполнителя выше оптимального приводит к разбавлению цементного камня наполнителем, к нарушению непосредственных контактов между гранулами клинкера и уменьшению прочности. При оптимальном количестве минерального наполнителя в бетоне структура цементного камня характеризуется оптимальным насыщением цемента наполнителем. Наглядным критерием этого состояния является достижение максимально плотной упаковки частиц в тесте, если частицы наполнителя значительно мельче частиц цемента, или достижение максимального насыщения цемента наполнителем без образования контактов частиц наполнителя между собой, если частицы наполнителя и цемента соизмеримы. Экспериментальные данные на цементном тесте с добавкой 20% кремнеземистой пыли показали, что кремнеземистая пыль – побочный продукт производства ферросилиция ускоряет гидратацию портландцемента и шлакопортландцемента уже в первые часы после затворения. Изучено влияние высокодисперсной золы на свойства бетона. Введение в бетон добавки – высокодисперсной золы заметно влияет на его свойства. Рассматриваемая добавка снижает водопотребность бетонных смесей. При осадке конуса бетонных смесей, равной 165-210 мм, добавка высокодисперсной золы снижает расход суперпластификатора на 10%, расход воды на 8% по сравнению с бездобавочными бетонными смесями. Добавка высокодисперсной золы оказывает также положительное влияние на удобоукладываемость бетонных смесей. При этом с ростом количества золы снижается расход суперпластификатора (в отличие от микрокремнезёма, наличие которого бетонных смесях требует увеличения количества суперпластификатора). Исследования выявили также, что добавка высокодисперсной золы способствует повышению сульфатостойкости бетона (при использовании добавки в сочетании с высокоалюминатным цементом). Установлено, что при содержании в бетоне золы в количестве 8% от массы цемента он отличается высокой, а при содержании золы 12 и 16% – очень высокой сульфатостойкостью.

Экспериментальная часть

Цель и задачи исследования

Цель – улучшить физико-технические свойства фибробетона путем модификации его золой от сжигания бурого угля Белоруси.

Задачи исследования: с использованием фундаментальных и специальных методов исследования изучить характеристику исходных, промежуточных и конечных материалов – золы, микрокремнезема, цемента, суперпластификатора, бетонных смесей. Показать возможность использования полипропиленовых волокон, золы от сжигания бурого угля

Беларуси, микрокремнезема МК-85 и суперпластификатора С-3 для получения бетона с повышенными физико-механическими свойствами.

Экспериментальные исследования

Для решения поставленной задачи были использованы: – цемент марки М-500 (ГОСТ 10178-85), ОАО «Красносельскстройматериалы» ПЦ-Д0, с тонкостью помола 93,4%, истинной плотностью 3,1051 г/см³, величиной удельной поверхности 3048 см²/г, активностью 52,1 МПа.

– крупный заполнитель – щебень производства ГП «Гранит» (г.п. Микашевичи) с максимальной крупностью зерен 10 мм. Физико-механические свойства щебня: насыпная плотность 1514 кг/м³, плотность 2676 кг/м³, водопоглощение 1,37 мас. %, дробимость 5,4 %, содержание глинистых и пылеватых частиц 0,38 мас. %, влажность 0,32 мас. %. Марка щебня 1200, соответствует ГОСТ 8267;

– песок кварцевый для строительных работ, ГОСТ 6139-78, с модулем крупности – М_к = 2,12; плотность 2586 кг/м³; влажность 0,25 мас. %; содержание глинистых и пылеватых частиц – 0,11 мас. %;

– для затворения бетонных смесей применялась водопроводная вода, которая отвечала требованиям СТБ 1114;

– стабилизированная зола от сжигания бурых углей Лельчицкого месторождения (Республика Беларусь); химический состав в мас. %: SiO₂ – 54,46; Al₂O₃ – 19,23; Fe₂O₃ – 1,94;

CaO – 22,59; MgO – 0,14; MnO – 0,06; TiO₂ – 0,25; SO₃ – 0,21; потери при прокаливании – 0,56; влажность 0,41; остаток на сите 0,15. Необходимо отметить, что зола от сжигания бурых углей получена и изучена в лаборатории академика Лиштвана И.И. НАН Беларуси.

– микрокремнезём марки МК-85 (ТУ5743-048-02495332);

– суперпластификатор «по от сжигания липласт СП-1» – смесь натриевых солей полиметиленафталинсульфоокислот различной молекулярной массы по ТУ 5870-005-58042865-05 с характеристикой: массовая доля сухих веществ – 63,6%; плотность при 20 °С – 1,2784 г/см³; показатель активности водородных ионов – 8,7;

– полипропиленовые фибры ВСМ-II-20/6 по ТУ 2272-006-1349727-2007. Диаметр фибр – 20 мкм, длина – 12 мм, прочность на разрыв – 364 МПа, температура размягчения – 169°С, химическая устойчивость – полная ко всем кислотам, щелочам, растворителям. Содержание фибр в бетоне составляло 2,4 кг/м³, плотность полипропилена – 0,92 г/см³.

Технология приготовления бетонной смеси

В соответствии с инструкцией стандарта ASTM C192 приготовление бетонной смеси осуществлялось следующим образом: первоначально в бетономешалку подавался щебень и 1/5 часть воды от расчетного количества. При вращении щебень равномерно увлажнялся водой, в этот момент добавлялся песок и перемешивание продолжалось. Полипропиленовая фибра предварительно обрабатывалась золой, затем смесь затворялась пластификатором и после полного распределения волокон смесь добавлялась в бетономешалку. После перемешивания в течение 6 мин. в бетономешалку вводились смесь цемента, микрокремнезёма, остаток воды и перемешивание продолжалось еще в течение 8 минут. Приготовленная бетонная смесь заливалась в формы и уплотнялась. Образцы изготовили в соответствии со стандартом ASTM C192 и АСІ [6]. Образцы в течение 24 часов выдерживались в металлической опалубке во влажной среде. Для набора проектной прочности бетона опытные образцы хранили в течение 28 суток в воде.

Методы исследования

Определение оксидов, исследуемых образцов золы проводили по ГОСТ 10538-87. Определение плотности, водопоглощения бетона осуществляли по ГОСТ 12730.1, ГОСТ 12730.3; а предела прочности при осевом сжатии, предела прочности при осевом растяжении бетонов, насыпной плотности, удельной поверхности, влажности цемента, зол и других высокодисперсных материалов по методикам, представленным в источниках [52-54]. Определение водонепроницаемости бетона осуществлялось по ГОСТ 12730.5

ускоренным методом. При определении водонепроницаемости бетона используют устройство типа "Агама-2Р", в котором герметизирующая мастика удовлетворяет ГОСТ 14791.

Составы бетонных смесей

В таблице указаны материалы и их содержание, необходимые для приготовления образцов высокопрочного бетона.

Анализ данных таблицы показывает, что увеличение содержания золы от сжигания бурых углей от 12 до 22 мас. % (см. составы 1-5 таблица 1), способствует улучшению пределу прочности при осевом сжатии, предел прочности на растяжение при изгибе водонепроницаемости бетонов: так марки по водонепроницаемости заявляемых бетонов были W4 – W23 против W3 для контрольного состава.

Таблица 1. Составы смесей и физико-механические показатели армобетонов, содержащих золу от сжигания бурого угля Беларуси

Наименование	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Составы бетонных смесей, мас. %:						
щебень	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2
песок	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4
цемент ПЦ-Д0	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
вода	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Добавки в % от массы цемента						
полипропиленовая фибра	-	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
зола	-	12	16	20	22	24
микрокремнезем МК-85	-	6	6	6	6	6
суперпластификатор С-3	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6
Физико-механические показатели образцов бетона						
плотность, кг/м ³	2248	2337	2342	2356	2354	2353
предел прочности при осевом сжатии, МПа	58	84	92	113	95	86
предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	4,8	10,3	11,7	12,5	10,4	8,5
марка по водонепроницаемости	W 4	W10	W 14	W 18	W 12	W8

Экспериментальные данные показывают, что увеличение количества наполнителя выше оптимального (см. состав 5, таблица 1) приводит к нарушению непосредственных контактов между гранулами клинкера. При 12-22% золы в бетоне (см. составы 2 – 5, таблица) структура цементного камня характеризуется оптимальным насыщением цемента наполнителем. Наглядным критерием этого состояния является достижение максимально плотной упаковки частиц в тесте, если частицы наполнителя значительно мельче частиц цемента. В смешанной системе цемента с дисперсным материалом важно, чтобы частицы золы способствовали образованию контактов срастания между кристаллогидратами и полипропиленовыми волокнами. Это условие может быть соблюдено при оптимизации объемной концентрации дисперсного материала в смешанной системе с учетом гидравлической активности микронаполнителя. Для инертного микронаполнителя оптимальной дозировкой может быть объем, сопоставимый с объемом капиллярных пор и необходимый для заполнения соответствующих пустот, а также уплотнения структуры. Эффект заполнения пустот является физическим фактором и наблюдается независимо от

гидравлической активности дисперсного материала. Однако увеличение дозировки сверх объема указанных пор в зависимости от гидравлической активности может привести к противоположным результатам, т.е. ухудшению физико-механических показателей армобетона (см. состав 6, таблица). Таким образом для исследуемого бетона оптимальное количество высокодисперсной золы составляет 12-22 мас. % от цемента.

Заключение

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что благодаря модификации полипропиленовых волокон, золой от сжигания бурых углей достигнуты различные технологические и экономические эффекты при изготовлении бетонов. Модифицирующий эффект проявился в повышении прочности, что способствует долговечности бетона. Эффективность применения ППВ, модифицированных золой, определяли сравнением показателей качества контрольного образца бетона и исследуемых образцов армобетона, а также способностью модифицированных волокон принимать участие в структурообразовательных процессах, оценки их влияния на физико-механические характеристики армобетонов. Наряду с основным положительным эффектом армирования цементного камня полипропиленовыми волокнами и золой от сжигания бурых углей, определяли наличие положительных эффектов, например, ускорение процесса твердения. Эффективность применения полипропиленовых волокон, высокодисперсных зол основана на модифицирующем, армирующем и уплотняющем действии их на цементный камень.

Литература

1. Ляхевич Г.Д. Теоретические аспекты, экспериментальные исследования и эффективность использования высокопрочных бетонов для мостовых конструкций. / Ляхевич Г.Д., Звонник С.А., Ляхевич А.Г., Альаззави Аюб Басим Абдулхуссейн // "Наука и техника". – Минск: БНТУ, 2014, N5. – С. 48-54.
2. Теоретические аспекты создания фибробетона для мостовых и тоннельных конструкций метрополитена / Ляхевич Г.Д., Гречухин В.А. // Материалы 17-й международной научно-технической конференции (72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ). - Минск: БНТУ, 2019. - С. 39.
3. Шепелевич Н.И. О дисперсном армировании бетонных безнапорных труб с использованием фиброволокна из полипропилена. / Шепелевич Н.И. - Минск: Ин-т БелНИИС. Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС. – 2014. – Вып. 6. – С. 459-467.
4. Ляхевич Г.Д., Физико-механические свойства высокопрочного бетона, армированного полипропиленовыми волокнами / Ляхевич Г.Д., Гречухин В.А., Мотамеди Сайед // Сборник научных трудов, Проблемы современного бетона и железобетона, Выпуск 12. - Минск: «Колорград», 2020. -132 – 152 с.
5. Ляхевич Г.Д., Звонник С.А., Волкович А.А., Андреева А.А. Влияние высокодисперсной добавки на активность цемента // Материалы девятой междунар. науч.-техн. конф. «Наука – образованию, производству, экономике». – Мн.: Технопринт, 2012. - Т.3. – С. 159.
6. Урецкая Е.А. Сухие строительные смеси: материалы и технологии / Е.А. Урецкая, Э.И. Батяновский. – Минск: НПООО «Стринко», 2001. – 208 с.
7. Органические добавки в бетон [Электронный ресурс] / Экология на предприятии. – Минск, 2015. – Режим доступа: http://ecologia.by/number/2011/2/_ispolzovanie_dobavok_v_betonk. – Дата доступа: 24.03.2015.
8. Hertz, K.A. Heat Induced Explosion of Dense Concretes / K.A. Hertz. – Report No. 166. – Copenhagen: Institute of Building Design, Technical University of Denmark, 1984. – pp 128.

9. Hertz, K.A. Danish Investigations on Silica Fume Concretes at Elevated Temperatures / K.A. Hertz. – Copenhagen: ACI Spring Convention, Beton, 1991. – 200 pp.
10. Diederichs, U.L. Material Properties of High Strength Concrete at Elevated Temperatures / U.L. Diederichs, U.M. Jumppanen, V.A. Penttala. – Helsinki: IABSE 13th Congress, 1988. – 150 pp.
11. Castillo, C.C. Effect of transient high temperature on high-strength concrete / C.C. Castillo, A. J. Durrani. – Rome: ACI Material Journal, 1990. – 47-53 pp.
12. Felicetti, R.B. Residual Mechanical Properties of High-Strength Concrete Subjected to High-Temperature Cycles / R.B. Felicetti, P.G. Gambarova, G.P. Rosati. – Paris: Proceedings, 4th International Symposium on Utilization of High-Strength/High-performance Concrete, 1996. – 250 pp.
13. Phan, L.T. Effects of test conditions and mixture proportions on behavior of high-strength concrete exposed to high temperatures / L.T. Phan, N.J. Carino. – London: ACI Materials Journal, 2002. – 54-66 pp.
14. Han, C.G. Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement / C.G. Han, Y.S. Hwanga, S.H. Yangb. – New York: Cement and Concrete Research, 2004. – 1747-1753 pp.
15. Behnood, A.H. Effects of silica fume addition and water to cement ratio on the properties of high-strength concrete after exposure to high temperatures / A.H. Behnood, H.C. Ziari. – Paris: Cement & Concrete Composites, 2008. – 106-112 pp.
16. Sahmaran, M.N. Assessing Mechanical Properties and Microstructure of Fire-Damaged Engineered Cementitious Composites / M.N. Sahmaran, M.R. Lachemi, V.C. Li. – Tehran: ACI Materials Journal, 2010. – 297-304 pp.
17. Применение добавок в бетоны [Электронный ресурс]/ Эффективность применения волокнистых добавок в бетон. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2008/02/sn80215.html>. – Дата доступа: 03.04.2014.
18. Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions, specifications and conformity: BS EN 14889-1:2006. – Publication Date 29.09.06. – The European Committee for Standardization: BSI, 2006 – 30 pp.
19. Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete: ASTM C116 / C116-03. – Publication Date 10.05.08. – ASTM International: West Conshohocken, 2008 – 22 pp.
20. Корнеев В.И. Сухие строительные смеси (состав, свойства, применение): учеб. пособие / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля, И.Н. Медведева. – М.: СПбГТИ (ТУ), 2008. – 319 с.
21. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. спец. вузов / И.А. Рыбьев. – М.: Высш.шк., 2002. – 701 с.
22. Родионов, Р.Б. Перспективы применения волластонита в строительной отрасли. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №4 / Р.Б. Родионов – М.: Высш.шк., 2009. – 44-45 с.
23. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500 с.
24. Пухаренко, Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов / Ю.В. Пухаренко. – М.: Строительные материалы №10, 2004. – 47-50 с.
25. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory: ASTM C192 / C192M-14. – Publication Date 01.01.14. – ASTM International: West Conshohocken, 2014 – 25 pp.
26. Иранское научное издание [Электронный ресурс] / Строительство Ирана. – Тегеран, 2009. – Режим доступа: <http://www.sedika.ir/articles-info>. – Дата доступа: 15.05.2012.
27. Геополимербетон с золой уноса. [Электрон. ресурс]/Строительный мир. – 11.01.2006. – Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru/d19dr5492m2.html>.

28. Ляхевич Г.Д. Инновационная технология получения бетона, содержащего золу от сжигания твердого топлива. / Ляхевич Г.Д., Ортнер Д.В. // *Материалы РНТК.* – Минск.: БНТУ, 2014, – С. 63-67.
29. Ляхевич Г.Д. Технология и эффективность использования торфяных зол в цементобетоне. / Ляхевич Г.Д., Ляхевич А.Г., Ортнер Д.В. // «Наука и техника». – Минск.: БНТУ, 2015, № 2. – С. 16-23.
30. Лиштван И.И. Утилизация зольных отходов сжигания торфо-древесного и торфяного топлива с получением материалов строительного назначения. / Лиштван И.И., Ляхевич Г.Д., Дударчик В.М., Крайко В.М., Ануфриева Е.В., Смолячкова Е.А. // IV Международная научная Экологическая Конференция на тему: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар. – Кубанский госагроуниверситет, 2015. – Ч. I. – 805 с.; Ч. II. – 519-524 с.
31. Ляхевич Г. Д., Лиштван И.И., Ляхевич А.Г., Дударчик В.М., Крайко В.М., Звонник С.А. Технология и эффективность использования золы бурых углей Лельчицкого месторождения в цементе и бетонных смесях. // *Наука и техника.* – Мн.: БНТУ, Том 16, 2017, N2. – С. 104-112.
32. Геополимербетон с золой уноса. [Электрон. ресурс]/*Строительный мир.* - 11.01.2006. – Режим доступа: <http://www.stroinauka.ru/d19dr5492m2.html>
33. Волженский А.В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. / А.В. Волженский, И.А. Иванов, Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 247 с.
34. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2002. – 701 с.
35. Баженов Ю.М. Развитие теории формирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин // *Изв. вузов. Строительство.* 1996. – № 7. – С. 55-58.
36. Рамачандран В.С и др. Добавки в бетон: Справ. Пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М.Коллепарди и др.; Под ред. В.С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 168-184.
37. Власов В.К. Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками // *Бетон и железобетон.* – 1993. – №4. – С.10-12.
38. Власов В.К. Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя // *Бетон и железобетон.* –1988. – №10. – С.9-11.
39. Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete", 22-29 July, 2001, Chennai (Madras), INDIA. Editor V.M. Malhotra, Volume 2, pp.815-834, 2001 // Printed in USA, ACI, Farmington Hills, Michigan, SP 199-47.
40. Berry E.E., Malhotra V.M. Fly Ash for Use in Concrete – A Critical Review // *ACI Journal.* – 1982. – V2. – №3. – pp. 59-73.
41. Composite Cementless Binder From Mechanical Active Industrial Wastes Text. / Yu.M. Bazhenov, U.Kh. Magdejev, S.I. Pavlenko, N.M. Kulagin, A.V. Aksenov, V.V. Tkachenko, N.L. Dobretsov, N.Z. Lyakhov, E.G. Avvakumov Proceedings of the 5 International Symposium on the Cement and Concrete Shanghai, China, Oct. 28Nov. 1, 2002. pp. 832-840.
42. Feng Nai-Qian, Li Gui-Zhi, Zang Xuan-Wu. High-strength and flowing concrete with a zeolitic mineral admixture // *Cem., Concr., and Aggreg.* – 1990. – V12. – №2. –pp. 61-69.
43. Larbi J.A., Bijen J.M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems // *Cem. and Concr. Res.* –1990. – V20. – №5. – pp. 783-794.
44. Malhotra, V.M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and case Histories Text. / V.M. Malhotra, P.K. Mehta -Ottawa, Canada: Printed by Marguardt Printing Ltd., 2002. - pp. 101

45. Sarcar Shondeep L., Diatta Yaya, Autcin Pierre-Claude. Microstructural study of aggregate /hydrated paste interface in very high strength rivet gravel concretes //Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2-4, 1987. – Pittsburgh. –1988. – pp.111-116.
46. Xu Ziyi, Liu Linzhy. Research on superfineflyashactivity// Proc.Beijing Int. Symp. Cem. and Concr., Beijing, May 14-17, 1985. Vol.1. –Beijing. – 1986. – pp.493-507.
47. Sarkar Shendeep L. Mikrostruktura of a very low water/cement silica fume concrete //Microscope –1990. – V38. – №2. – pp.141-152.
48. Аспекты формирования высокопрочных и долговечных цементных связей в технологии бетонов / Бабков В.В., Каримов И.Ш., Комохов П.Г. //Известия ВУЗов. Стр-во. – 1996. – №4. –С.41-48.
49. Зоткин А.Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне // Бетон и железобетон. – 1994. – №3. – С.7-9.
- Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон, – 1995. – №6. – С.16-20.
50. Красный И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей //Бетон и железобетон. – 1987. – №5. – С.10-11.
51. Леонович И.И. Испытание дорожно-строительных материалов / И.И Леонович, В.А. Стрижевский, К.Ф. Шумчик. - Минск: «Высшая школа», – 1991. - 232 с.
52. Попов Л.Н. Лабораторный контроль строительных материалов и изделий /Л.Н. Попов. Справочник. - М.: Стройиздат, 1986. - 349с.
53. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В Тимашев, В.Г. Савельев. - М.: Высш. шк., 1981. – 333 с.

УДК 669.14.018.29:620179.13

ТЕПЛОЙ КОНТРОЛЬ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Е. А. Мойсейчик¹⁾, С. Д. Шафрай²⁾, А. Е. Мойсейчик¹⁾

¹⁾ Белорусский национальный технический университет,

пр. Независимости, 146а, 220114, г. Минск, Беларусь, emoisseitchik@mail.ru

²⁾ Новосибирский государственный университет архитектуры дизайна и искусств,

Красный пр-т, д. 38, 630099, г. Новосибирск, Россия

Приведены характеристики наиболее вероятных зон расположения дефектов в мостовых пролетных строениях из стали. Рассмотрены часто используемые на практике приемы выявления трещиноподобных дефектов в стальных элементах мостов. Показано, что более эффективными методами выявления дефектов могут быть тепловые методы, основанные на анализе инфракрасного излучения с поверхности исследуемых элементов. Рассмотрены достоинства и недостатки теплового контроля трещин и приведены рекомендации по его применению в пролетных строениях мостов.

Ключевые слова: тепловой контроль, мосты, стальные элементы, повреждения, выявление.

При эксплуатации стальных мостовых конструкций обращают пристальное внимание на развитие повреждений конструкций, дефекты в металле элементов, в заклепочных, болтовых, сварных соединениях (коррозия, трещины, различные повреждения соединений, расслаивание металла, «распучивание» клепанных листовых пакетов и сдвоенных элементов), на проверку состояния элементов конструкций (искривленных, деформированных с потерей устойчивости и др.). Особое внимание уделяют местам, в которых наиболее вероятно появление трещин.

В заклепочных соединениях конструкций трещинообразованию предшествует ослабление заклепок соединений. Трещины в таких соединениях появляются:

- в узлах прикрепления элементов сквозных пролетных строений;
- в связях и пересечениях упругих плоских элементов;
- во втором, третьем и четвертом рядах заклепок узлов сопряжения продольных и поперечных балок;
- в соединительных накладках продольных балок и в соединениях, узлах прикрепления элементов связей к продольным балкам;
- в клепаных элементах, усиленных сваркой;
- в плитах верхнего и нижнего балансирования опорных частей пролетных строений;
- в верхних узлах прикрепления поперечных балок к главным балкам пролетных строений с ездой поверху.

При болтовых соединениях элементов трещины появляются в аналогичных местах.

В сварных соединениях конструкций трещины возможны как в сварных швах, так и в основном металле. Наиболее вероятно зарождение и развитие трещин в зонах:

- резкого изменения сечения элементов;
- на концах сварных швов горизонтальных и вертикальных ребер жесткости;
- вблизи стыков, ребер, диафрагм, накладок;
- в соединительных швах и швах, расположенных поперек усилий в соответствующем элементе, околошовной зоне;
- в сварных швах с технологическими дефектами - непроварами, подрезами по углам, протечками расплавленного металла, шлаковыми включениями, порами, прогарами, незаполненными кратерами и др.

Обнаружение трещин в стальных элементах устанавливается визуально-оптическим методом или посредством неразрушающего контроля. Технология визуально-оптического контроля достаточно сложная. При визуальном осмотре обращают внимание на трещины в краске, на подтеки ржавчины как косвенные признаки присутствия трещин. Эти места очищают от краски и исследуют с помощью лупы или дефектоскопа. Более надежные результаты дает снятие тонкой стружки металла по предполагаемому направлению расположения трещины. При выполнении работ не допускают резких и глубоких надрезов металла. Раздвоение стружки свидетельствует о наличии трещины. Дефекты на концах сварных швов выявляют инструментальным исследованием предварительно очищенной до металлического блеска и промытой 10-20% водным раствором азотной кислоты.

Изложенная технология обнаружения трещин должна повторяться для всех опасных зон. Такая «ручная» технология весьма трудоемкая, с большими затратами времени, дорогостоящая.

Кроме трещин элементы стальных пролетных строений мостов содержат и другие дефекты, в окрестности которых сталь находится в предельном состоянии, предшествующем зарождению трещин. Выявить такое состояние металла традиционными методами неразрушающего контроля затруднительно. К тому же такие опасные зоны часто контроленепригодны.

Для исследования труднодоступных мест элементов стальных пролетных строений новые возможности предоставляет использование тепловых пассивных технологий неразрушающего контроля в комбинации с визуально-оптическими методами. Действительно, теплообразование в зонах дефектов, трещин происходит при действии переменной технологической нагрузки. Так, при прохождении по мосту поезда возникает переменное нагружение конструкций и металл нагревается в местах ослабленных заклепок, болтов, конструктивных дефектов, трещин и др. Образование тепла на таких участках происходит в результате внешнего и внутреннего трения. Такого нагрева достаточно, чтобы зафиксировать расположение его источника высокочувствительным тепловизионным прибором (например, ИРТИС-2000 и др.) и удостовериться в существовании дефекта смежным методом.

Тепловая диагностика фрикционных соединений элементов стальных пролетных строений мостов. К таким элементам относятся сопряжения и узлы стальных конструкций на заклепках и с соединениями на высокопрочных болтах. Особенности их работы на сдвиг иллюстрируются схемами рисунка 1.

Работу заклёпок можно разделить на три стадии. В первой стадии сила на соединение распределяется на листы пакета фрикционными усилиями, которые возникают на контактных поверхностях листов при обжатии пакета заклёпками. При дальнейшем увеличении нагрузки на соединение происходит сдвиг соединяемых листов пакета до касания с поверхностью стержня заклепки. Вторая стадия завершается искривлением оси стержня заклепки, возникновением силы смятия и среза заклёпки. Увеличение нагрузки на соединение усиливает изгиб стержня заклепки, вызывает внецентренное растяжение в зонах сопряжения головок со стержнем заклепки. Начальные силы трения (внешнего) на этой стадии ослабевают. На 3 стадии внешнее усилие воспринимается смятием металла листов в зоне контакта со стержнем заклепки и срезом стержня заклепки по сечениям *а-а* и *б-б* (рис.1).

Аналогично заклёпочному соединению могут работать соединения на высокопрочных болтах. Для мостовых конструкций с такими соединениями расчет ведут по первой стадии (работа сил трения).

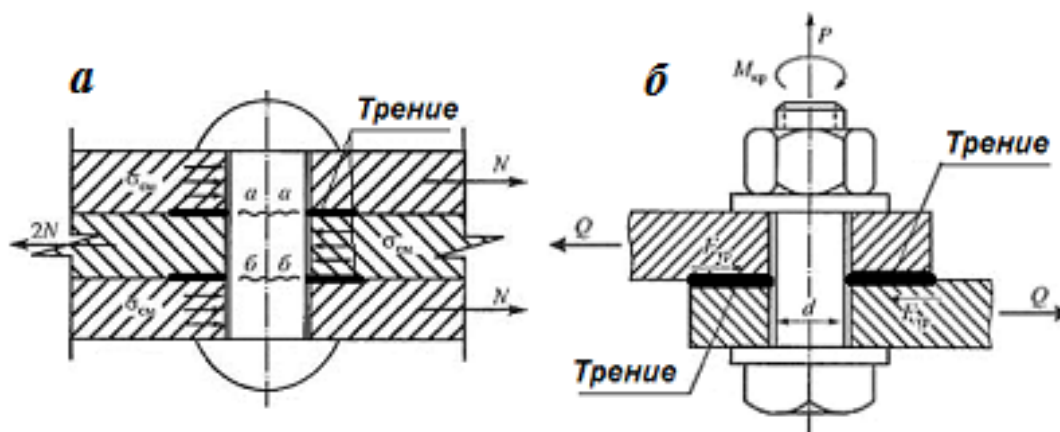


Рис. 1. Схема работы заклёпочного (а) и фрикционного (б, с высокопрочным болтом) соединений

При статическом растяжении образцов со стыком стальных листовых элементов на заклепках (рис. 2, а) и на фрикционных болтах (рис. 2, б) установлено [1], что в сечениях листов проявляется неравномерность распределения напряжений в соединении с заклепками. Также получено, что выносливость соединений на фрикционных болтах выше, чем у заклёпочных [1]. Можно предполагать, что такие особенности работы двух типов сопряжений объясняются их конструктивным исполнением и различиями в состоянии зоны контакта трущихся поверхностей.

Теплообразование при работе на статическую и переменную нагрузку. Для обеспечения более высоких коэффициентов трения соединений на высокопрочных болтах используют различные виды обработки контактных поверхностей (дробеструйную, пескоструйную, газопламенную, дробеметную и др.). Относительное смещение таких шероховатых контактных поверхностей приводит к пластическому деформированию металла в плоскости контакта и его разогреву [2]. Повышение температуры в зоне контакта за десятитысячные и меньшие доли секунды достигает в микрообъемах температуры плавления металла. Тепло от разогретых очагов распространяется вглубь контактирующих тел. Величина температуры в объемах металла, примыкающих к поверхностям трения, зависит от теплофизических свойств тел, их размеров, условий теплоотвода, мощности трения и величины площадки, на которой производится тепло. Экспериментально получено, что в тепло переходит до 90% всей мощности трения [2].

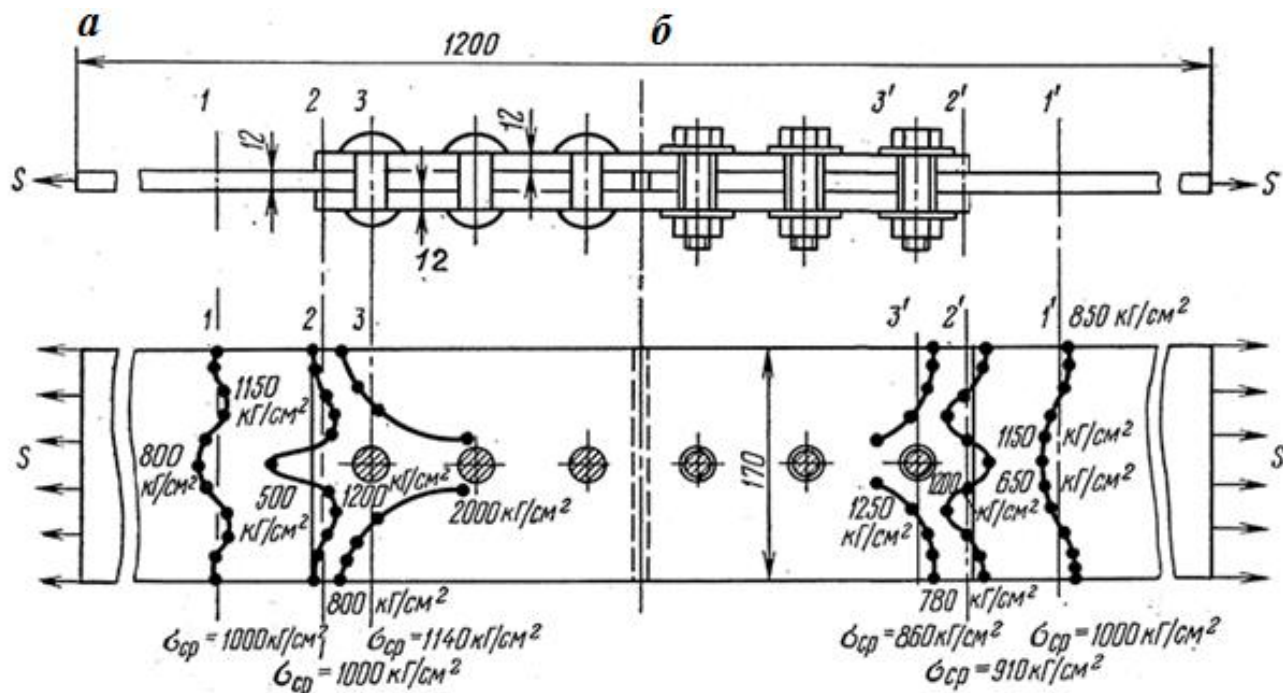


Рис. 2. Эпюры напряжений в сопоставимых сечениях соединений стальных листов на заклепках (а) и высокопрочных болтах (б) [1]

Расчеты тепловыделения при трении выполняют в рамках различных модельных представлений [3; 4]. При проведении расчетов трущиеся тела принимаются гомогенными, а их теплофизические характеристики постоянными. Предполагается, что работа сил трения полностью переходит в тепло. Сравним зону прогрева тела у поверхности трения с толщинами соединяемых мостовых конструкций (h_i) по выражению (1) [4]:

$$h_i > \sqrt{a_i t}. \quad (1)$$

Принимая a_i по [5] при $t = 1$ сек получим для низкоуглеродистой стали условие $h_i > 7$ мм, которое для несущих элементов мостовых конструкций выполняется. Это позволяет трущиеся тела моделировать полупространствами [4]. Для простейшей одномерной модели сплошного фрикционного контакта, работающего при больших давлениях на трущиеся тела при допущении постоянной мощности тепловыделения, можно в первом приближении определить среднюю поверхностную температуру T в плоскости сухого трения по выражению (2) [4]:

$$T = T_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{q_1 \sqrt{t}}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}} \quad (2)$$

где $q_1 = 0.5 f p V$; f – коэффициент трения; p – контактное давление; V – скорость относительного скольжения тел трения.

Для фрикционного соединения двух одинаковых листов из низкоуглеродистой стали, стянутых высокопрочным болтом диаметром 24 мм, с поверхностью трения, обработанной дробеструйным способом, получаем по формуле (2), что $T - T_0 = 680$ °С. Такое повышение температуры во фрикционном соединении происходит в тонком слое толщиной в два-три десятка микрон. На поверхности листа толщиной 12 мм повышение температуры тогда будет немного выше одного градуса.

При прохождении поезда по мосту нагрузка периодически повторяется. Это может вызвать более значительное повышение температуры в фрикционных соединениях. Кроме

того, на величине повышения температуры поверхности могут сказаться и другие факторы, например, смятие металла соединяемых листов, деформирование заклепок и др.

О тепловой диагностике фрикционных соединений. Из формулы (2) следует, что фрикционный нагрев пропорционален мощности трения. При предельном сжатии контактируемых элементов температура поверхности будет выше, чем в зонах с ослабленными заклепками или болтами. Это позволяет выполнять тепловую диагностику фрикционных соединений. Измерение поверхностной температуры элементов следует вести тепловизионными приборами с точностью не ниже $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, с записью термофильма, в течение всего процесса нагружения фрикционного соединения. Необходимо принимать меры по устранению помех термографированию [6] (например, выбирать удобное время суток, применять экраны для защиты от солнечного и рассеянного теплового излучения и т.д.). Расстояние от объектива камеры до исследуемой поверхности должно быть минимальным ($0,7 - 1,5\text{ м}$). Бесплезными для исследований температурных полей являются панорамные термокадры (например, всего моста, отдельной пролетной конструкции). Для систематизации узлов, расшифровки результатов полезно использовать контрастные маркеры, выполнять съемку в двух спектрах (видимом и инфракрасном).

Обнаружения усталостных трещин в стальных мостовых конструкциях с использованием метода инфракрасной термографии. В работе [7] изложены результаты лабораторных и полевых (натурных) исследований возможностей обнаруживать усталостные трещины активным и пассивными тепловыми методами. Натурные испытания проводились на пролетных строениях стального моста (рис. 3). На инфракрасную диагностику трещин в элементах моста влияют многие факторы. В число таких факторов входят размеры трещин, расстояние до камеры, величина приложенного напряжения, время нагрева, время задержки, состояние поверхности (неокрашенный и матово окрашенный образец). Трещины можно выявлять при активном (внешнем тепловом воздействии) и пассивном (появление тепла при деформировании металла, трении между элементами) тепловом контроле.

В качестве источника тепла при активном методе (рис. 4) можно использовать галогенную лампу кварта-Т3 (quart-T3) [7]. Потребляемая лампой мощность - около 500 Вт при напряжении 120 вольт. Лампа излучает большую часть своей энергии в ближнем инфракрасном диапазоне (ниже 3 мкм), что существенно не противоречит диапазону чувствительности типичной ИК-камеры (3–5 мкм и 8–12 мкм). Проектор преобразует излучение линейного источника в одну полосу света с помощью плоскоцилиндрических выпуклых линз размером 1 на 2 дюйма (длина фокуса - 80 см). Линзы изготовлены из стекла ВК7, которое может выдерживать высокие температуры и имеет высокую эффективность (90%) в передаче энергии ближнего инфракрасного диапазона по сравнению с другими типами материалов. Для управления режимом и периодом подачи тепла (время нагрева и время задержки) использовался контроллер. Фиксация температурных полей велась инфракрасной (ИК) камерой, которая могла обнаруживать изменение температуры приблизительно в $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ с быстродействием 434 кадра в секунду. ИК-камеру и контроллер можно было настроить, контролировать и калибровать с помощью программного обеспечения DeltaTherm, разработанного StressPhotonic, Inc.

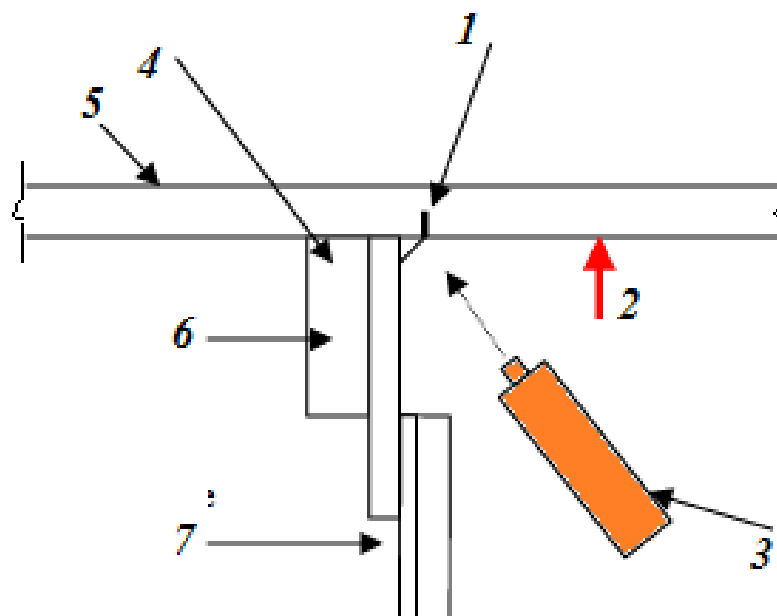
Результаты полевых испытаний показывают, что наименьшая трещина, обнаруживаемая ИК-камерой, больше, чем наименьшая трещина, обнаруживаемая невооруженным глазом. Эти испытания выявили, что глубина трещины является важным фактором, влияющим на обнаружение трещины. Сквозные трещины можно уверенно выявлять с помощью ИК-камеры. Однако трещины, не проходящие по всей толщине, нелегко обнаружить при использовании ИК-камеры. Поверхность и условия освещения существенно влияют на результаты. Время нагрева в полевых условиях больше, чем то, которое используется в лабораторных испытаниях. Это происходит из-за повышенной температуры поверхности стенки балки и из-за отражения тепла от глянцевой поверхности стенки балки. Основным недостатком, замеченным при полевых испытаниях, является то,

что эта система ИК-обнаружения трещин требует соответствующего пространства и времени для надлежащей калибровки приборов перед использованием. Калибровка должна выполняться в закрытом помещении с минимальным освещением, чего трудно добиться в полевых условиях. Таким образом, использованный комплекс приборов для ИК-обнаружения трещин не совсем подходит для применения в полевых условиях. Исследования [7] показали, что приборная система для полевых условий должна быть устройством портативным, объединяющим источник тепла, ИК-камеру и компьютер в одном модуле.

В результате лабораторных исследований и результатам выявления трещин в элементах мостовых конструкций установлены следующие особенности неразрушающего теплового контроля мостовых сооружений.



Рис. 3. Тепловой контроль узла соединения поперечной связевой рамы со стенкой стальной балки автодорожного моста (с использованием подъемника) [7]



1 – ИК-камера, 2 – внешний источник тепла, 3 – трещина в зоне сварки, 4 – ребро жесткости, 5 – элемент конструкции, 6 – соединительная пластина, 7 – связевой элемент

Рис. 4. Инспекция трещины методом активного теплового контроля (ИК-камера на том же уровне, что и трещина)

Влияние критических факторов на эффективность ИК излучения.

Размер трещины.

1. Глубина трещины по отношению к толщине элемента является важным фактором, влияющим на обнаружение ИК-трещины. Для пассивного подхода разная глубина трещин дает разные коэффициенты интенсивности напряжения. При активном подходе, независимо от длины трещины, чем выше отношение глубины трещины к толщине элемента, тем сильнее затруднен тепловой поток и тем легче обнаружить трещину.

2. Значительное падение температурного профиля проявляется только после того, как трещина становится сквозной. Неглубокие трещины, как правило, не могут быть обнаружены.

3. Наименьшая трещина, которую можно обнаружить при активном или пассивном подходе с помощью использованной системы больше наименьшего размера трещины, которую можно обнаружить невооруженным глазом.

Расстояние от ИК-камеры до образца.

1. Существует ограничение на максимальное эффективное расстояние как при активном, так и при пассивном методах. Самое длинное эффективное расстояние активного подхода больше, чем самое длинное эффективное расстояние пассивного подхода для того же размера трещины.

2. Трещина, обнаруженная по эффектам заторможенного теплового потока (эффекты излучательной способности), может быть обнаружена с большего расстояния, чем трещина, выявленная по эффектам контрастного отражения на поверхности.

3. Матовая и глянцевая поверхности обеспечивают одинаковое эффективное расстояние при проведении теста в закрытых лабораторных условиях, но эффективное расстояние от матовой поверхности значительно больше, чем от глянцевой поверхности при той же длине трещины, времени нагрева и времени задержки при тестировании на открытом воздухе из-за помех при отражении.

Величина приложенного напряжения.

1. Существует минимальное значение напряжения, при котором трещина обнаруживается тепловыми методами. Более высокий уровень приложенного напряжения делает трещину более заметной.

2. Эффект концентрации напряжения из-за трещины неотличим от эффектов концентрации напряжения из-за окружающей неправильной геометрии (отверстие под заклепку, сварной шов и т. д.) при приложении напряжения ниже минимального значения.

3. Минимальное значение напряжения, которое делает трещину обнаруживаемой, часто намного выше, чем напряжение от эксплуатационных воздействий в реальной конструкции.

Время нагрева и время задержки

1. Начальная температура и начальное тепловое распределение в образце существенно сказываются при активном методе. Если начальная температура образца повышена по отношению к калибровочной пластине, то при активном подходе обнаружение трещины затруднено.

2. Для выявления трещины необходимо минимальное время нагрева места вероятного нахождения трещины. Трещина не может быть обнаружена, если продолжительность нагрева меньше этого минимального времени.

3. Для сквозной трещины время нагрева, превышающее минимально необходимое время нагрева, не оказывает отрицательного влияния на ИК-детектирование при активном подходе. Отношение максимального температурного градиента в трещине к среднему градиенту существенно не изменяется при разном времени прогрева.

4. Для сквозной трещины чем больше время нагрева, тем выше тепловой контраст из-за затруднения движению теплового потока.

5. Сквозную трещину невозможно обнаружить ни при каком времени нагрева, если это время меньше минимально необходимого времени нагрева. Для времени нагрева,

превышающего минимально необходимый период, изменение времени прогрева не оказывает существенного влияния на обнаружение трещины.

6. В случае очень мелкой трещины (глубина трещины менее 50 % толщины элемента) ее, как правило, невозможно обнаружить. В случае трещины средней глубины (трещина не сквозная, но имеет глубину более 50 % толщины элемента), тепловизионная камера часто ее проявляет.

7. Для трещины с глубиной меньше толщины элемента или трещины на неровной поверхности сочетание времени нагрева и времени задержки оказывает существенное влияние на возможность ее обнаружения.

8. Различные времена нагрева приводят к различию максимального температурного градиента в трещине. Более того, оптимальное время задержки дает максимальное значение температурного градиента в трещине.

Состояние поверхности.

1. Поверхности, окрашенные в матовый цвет, улучшают качество тепловизионных изображений и позволяют увеличивать максимальное эффективное расстояние между камерой и контролируемой поверхностью. Окрашивание матовым цветом уменьшает эффекты отражения от поверхности и другие ложные сигналы, исходящие от неоднородной поверхности образца.

2. Результаты для образцов с матовой поверхностью незначительно отличаются от результатов для более отражающих (глянцевых) образцов, когда исследования проводятся в закрытых лабораторных условиях. Однако результаты для матовых образцов отличаются от результатов для глянцевых образцов, когда испытания проводятся на открытом воздухе. Разница в результатах, наблюдаемых для образцов с глянцевой и матовой поверхностью, связана со значительными различиями в количестве света, отраженного двумя поверхностями.

Наблюдения по результатам полевых испытаний.

1. Наименьшая трещина, обнаруживаемая ИК-камерой в полевых условиях, больше, чем наименьшая трещина, обнаруживаемая невооруженным глазом.

2. Результаты полевых испытаний, соответствующие результатам лабораторных, показывают, что глубина трещины является важным фактором, влияющим на обнаружение трещины.

3. Только сквозные трещины могут быть четко обнаружены в полевых условиях с помощью ИК-камеры.

4. Поверхность и условия освещения существенно влияют на результаты ИК-термографирования. Для создания заметного теплового контраста требуется время нагрева, превышающее соответствующее время в лабораторных испытаниях.

Общие выводы и рекомендации.

1. Трудно найти уникальный набор оптимальных значений критических факторов (время нагрева, время задержки, расстояние от ИК-камеры до объекта и т. д.), для каких-либо конкретных условий тестирования. Многие факторы (например, температура поверхности объекта, мощность и форма источника тепла, чувствительность ИК-камеры, условия тестирования, взаимосвязаны, а эффекты взаимодействия) затрудняют установление набора оптимальных параметров, условий.

2. Существенным недостатком системы ИК-тестирования трещин, используемой в исследовании [7], является то, что для ее реализации требуется как пространство, так и время для надлежащей калибровки перед использованием. Калибровка при этом должна выполняться в закрытом помещении с минимальной освещенностью, что в полевых условиях трудно выполнимо. Поэтому рассмотренная в [7] система ИК-обнаружения трещин не совсем подходит для использования в полевых условиях. Более оптимальна система представляющая собой портативный блок, объединяющий источник тепла, ИК-камеру и компьютер в одном модуле.

3. Наименьший размер трещины, обнаруживаемой при активном или пассивном подходе с помощью системы, использованной в [7], больше, чем наименьший размер трещины, обнаруживаемой невооруженным глазом.

4. Наименьшая трещина, обнаруживаемая в лабораторных и полевых условиях, составляет 1,25 см и 70 мм соответственно. Однако возможность обнаружения небольшой трещины зависит от чувствительности ИК-камеры. Повысив чувствительность камеры, можно обнаружить более мелкие трещины.

5. Концепция обнаружения трещин с помощью ИК-термографии считается жизнеспособной для определенных приложений. Результаты исследования [7] доказывают, что трещины можно обнаружить с помощью ИК-термографии. Производительность ИК-системы можно увеличить, если использовать ИК-камеры с высокой чувствительностью.

В работе [8] показано, что тепловыми методами в сочетании с визуальными и георадаром можно эффективно выявлять дефекты в железобетонных настилах канадских мостов. Такие настилы быстро приходят в негодность из-за воздействия различных механизмов деградации. Воздействие циклов заморозания и оттаивания в сочетании с проникновением ионов хлорида из противогололедных составов обычно повреждает настил моста с большей скоростью, чем другие воздействия.

Обнаружение подповерхностных дефектов с помощью дистанционного зондирования и сбора данных без физического контакта является преимуществом при комплексном применении инфракрасной термографии и георадарных исследований. Совместное использование двух методов позволяет достоверно выявлять подповерхностные расслоения, растрескивания, коррозионные дефекты. При этом данные инфракрасной термографии поверхности дорожного настила используются для получения местоположения дефектов (карты расположения) в настиле моста, а георадарные данные - для создания карты коррозионных дефектов.

Литература.

1. Протасов, К. Г. Металлические мосты/ К. Г. Протасов, А.В. Теплицкий, С.Я. Крамарев, М. К. Никитин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во «Транспорт», 1973. – 352 с.
2. Крагельский, И.В. Трение и износ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1968. – 480 с.
3. Амосов, А. П. Теплофизические модели трения инертных и взрывчатых материалов. – М.: Машиностроение, 2011. - 363 с.
4. Амосов, А. П. Элементарные теплофизические модели трения. – Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – т. 13. – №4(3).– 2011.– С.656–662.
5. Казанцев, Е. И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: Metallurgy, 1975. – 368 с.
6. Вавилов, В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В. П. Вавилов. – 2-е изд. – М.: Спектр. – 2013. – 575 с.
7. Trakulyingyong, V., and M. D. Bowman. The Examination of Infra-Red Techniques for Inspection of Steel Structures I & II. Publication FHWA/IN/JTRP-2000/18. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2002, doi: 10.5703/1288284313332.
8. T. Omar, M. L. Nehdi, Non-Destructive Testing of Bridge Deck Using Passive Infrared Thermography and Ground Penetrating Radar, (2016), Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, ON.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Ю.В. Василевич¹⁾, Е.А. Мойсейчик¹⁾, Е.Ю. Неумержицкая²⁾, Л.Н.Беляцкая¹⁾, В.А. Чигарев¹⁾,

¹⁾Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, vasilevich.bntu@mail.ru

²⁾Академия последиplomного образования
ул. Некрасова, 20, г. Минск, Беларусь

Аннотация: Выполнены натурные экспериментальные исследования по вибрационному взаимодействию тоннелей метрополитена неглубокого заложения. Закономерность влияния параметров вибрационного поля, создаваемого подвижным составом, движущимся по одному тоннелю, на уровень колебаний близ расположенного тоннеля, востребована необходимостью прогноза виброакустической обстановки в зданиях и сооружениях, расположенных в технической зоне метрополитена и планируемых для застройки объектов. Прогнозные показатели уровней вибрации подлежат сравнению с предельно допустимыми уровнями виброускорения (виброскорости, виброперемещения), предусмотренными санитарными нормами Республики Беларусь по вибрации для жилых, общественных и других зданий и сооружений; после чего принимается решение о необходимости осуществления виброзащитных мер.

Ключевые слова: вибрация, тоннель, лоток, децибел, виброзащита, среднегеометрические частоты октавных полос.

Решение проблемы по виброзащите зданий и сооружений, подвергающихся интенсивным вибрационным полям, приобретает в настоящее время актуальное значение, в связи с бурно развивающейся инфраструктурой наземных и подземных транспортных коммуникаций. По принятому закону об экологической безопасности в Республике Беларусь все строящиеся объекты должны быть «экологически чистыми» по уровням вибрации и шума; указанные уровни не должны превышать утвержденные Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь гигиенические нормы вибрации и шума. Обеспечение вибро- и шумобезопасности в строительстве – важная задача, имеющая не только социальное и гигиеническое, но и большое технико-экономическое значение.

Для решения задачи по оценке виброакустической взаимозависимости между тоннелями метрополитена неглубокого заложения выполнены экспериментальные исследования в тоннелях Минского метрополитена. Тоннели расположены на глубине 10 м и на таком же расстоянии друг от друга. Грунт в технической зоне тоннелей является неоднородным. Конструкция тоннелей имеет круглое очертание и одинаковое верхнее строения пути.

Регистрация вибросигналов осуществлена виброметром, анализатором спектра Экофизика - 110В (Белая), поверенным в установленном порядке в Республиканском Институте метрологии. Виброметр изготовлен в фирме Октава, г. Москва.

В некоторых моделях приборов, к которым относятся приборы фирмы Октава, используемые при проведении экспериментальных исследований, опорное значение для виброускорения составляет 10^{-6} м/с^2 и логарифмические уровни относительно данного опорного значения превышают на 50дБ логарифмические уровни относительно опорного значения $3 \times 10^{-4} \text{ м/с}^2$, принятому в Республике Беларусь. Поэтому для сравнения с

гигиеническими нормативами, в этом случае из измеренных уровней виброускорения вычитают 50 дБ.

Запись вибросигналов виброметрам производилась одновременно с трех датчиков в трех взаимно перпендикулярных направлениях, совпадающих с направлениями вертикальной составляющей Z (канал 3) виброускорения, дБ, поперечной горизонтальной Y (канал 2) компоненты виброускорения, дБ, продольной горизонтальной X (канал 1) составляющей виброускорения, дБ, (совпадающей с направлением продольной оси тоннеля) при движении подвижного состава. Датчики были установлены на лотке вблизи рельса в тоннеле под номером 1. На боковой стенке тоннеля напротив датчиков был закреплен виброметр, регистрирующий вибросигналы от подвижного состава поступающие как из тоннеля 1, так и из тоннеля 2, расположенного в 10 м от тоннеля 1.

В таблицах 1–3 содержится информация об уровнях виброускорения лотка тоннеля 1 при движении подвижного состава поэтому же тоннелю и тоннелю 2. Разность уровней виброускорения дает возможность оценить взаимодействие вибрационного поля, создаваемого тоннелями.

Таблица 1. Уровни горизонтальной продольной составляющей виброускорения, дБ, лотка тоннеля в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 2 до 63 Гц при движении подвижного состава.

Время измерения	Вибрация (октавы), 2.0 Гц; X Канал К1	Вибрация (октавы), 4.0 Гц; X Канал К1	Вибрация (октавы), 8.0 Гц; X Канал К1	Вибрация (октавы), 16.0 Гц; X Канал К1	Вибрация (октавы), 31.5 Гц; X Канал К1	Вибрация (октавы), 63.0 Гц; X Канал К1
1	2	3	4	5	6	7
08:02:35	61.51	55.97	55.97	56.23	60.94	63.91
08:02:36	62.45	56.49	55.43	56.52	61.56	64.81
08:02:37	63.13	57.11	56.06	57.12	62.56	65.82
08:02:38	63.32	58.01	56.34	57.13	63.31	65.81
08:02:39	63.23	58.44	56.48	57.41	63.79	65.35
08:02:40	62.39	59.37	56.29	57.38	63.52	64.72
08:03:51	63.59	60.75	60.11	61.55	76.86	96.46
08:03:52	65.41	63.93	64.36	61.88	78.50	97.95
08:03:53	65.68	66.61	65.66	62.47	79.05	98.52
08:03:54	69.46	68.49	66.82	63.14	78.36	97.82
08:03:55	76.00	72.51	67.29	62.64	77.63	96.80
08:03:56	77.36	73.37	67.07	60.87	76.18	96.09
08:09:36	62.22	58.52	57.23	56.71	60.28	63.20
08:09:37	62.63	58.71	57.55	56.73	61.43	64.12
08:09:38	62.60	58.33	58.03	57.00	62.10	64.51
08:09:39	63.18	57.73	58.03	57.04	63.14	64.86
08:09:40	62.34	59.97	58.13	56.79	63.48	65.07
08:09:41	62.70	60.46	57.86	57.00	63.55	64.36
08:09:42	62.78	60.75	57.46	56.82	63.10	63.47
08:11:06	66.77	60.14	60.04	59.89	75.77	95.31
08:11:07	66.86	61.73	61.61	60.63	77.65	97.02
08:11:08	67.25	63.00	64.84	62.29	78.98	98.26

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
08:11:09	65.50	64.19	67.20	62.89	79.74	98.41
08:11:10	68.86	72.12	68.26	63.66	78.80	96.86
08:11:11	71.51	73.36	68.75	63.08	77.85	95.93
08:16:43	60.01	59.27	57.59	55.95	61.18	63.88
08:16:44	60.21	59.32	57.14	56.40	62.50	65.30
08:16:45	60.25	59.33	57.59	56.57	63.57	65.82
08:16:46	59.82	58.67	57.00	56.38	64.46	65.99
08:16:47	60.18	58.59	57.17	56.99	64.65	65.77
08:16:48	59.20	57.70	57.03	57.19	64.52	65.06
08:16:49	57.79	58.43	57.25	57.01	64.09	63.57
08:18:03	65.75	59.76	59.11	58.47	74.52	93.86
08:18:04	63.74	60.70	61.06	59.50	76.36	96.45
08:18:05	63.43	62.83	62.50	60.86	77.35	98.30
08:18:06	62.44	66.93	62.99	61.14	78.63	99.06
08:18:07	65.25	68.39	63.83	61.36	78.47	98.37
08:18:08	68.77	71.00	64.77	61.59	77.27	97.52
08:18:09	69.96	71.70	64.20	60.95	75.86	95.65
08:18:10	72.82	72.28	63.94	60.04	75.11	92.40
08:18:11	77.80	71.63	63.07	59.00	72.61	89.57
08:23:47	58.37	58.02	57.64	56.45	60.06	63.06
08:23:48	57.61	58.43	57.23	55.75	60.91	64.45
08:23:49	59.12	57.89	57.10	56.72	61.91	65.05
08:23:50	59.63	58.22	56.61	56.90	63.06	65.51
08:23:51	59.75	57.16	56.03	57.44	63.44	65.56
08:23:52	60.39	56.63	55.48	57.71	63.58	64.90
08:23:53	59.93	56.70	55.59	58.30	63.66	64.05
08:23:54	58.50	57.17	55.33	58.29	63.06	63.18
08:25:04	65.03	60.86	58.71	58.07	67.85	90.80
08:25:05	64.79	60.67	59.17	58.12	73.68	93.92
08:25:06	66.19	60.70	63.15	60.16	75.97	95.78
08:25:07	65.37	64.74	64.05	61.43	77.04	96.86
08:25:08	65.45	65.91	66.82	63.46	78.37	97.93
08:25:09	65.54	67.73	67.85	63.89	78.84	97.55
08:25:10	69.59	73.50	68.09	64.51	77.85	96.47
08:25:11	74.11	73.74	67.75	63.87	76.55	94.94
08:25:12	75.61	75.14	67.36	63.19	75.37	93.13

В таблице 1 содержится информация об уровнях виброускорения в децибелах лотка тоннеля метрополитена с железобетонной обделкой круглого очертания, вызванных в разное время подвижным составом в двух тоннелях. В одном из тоннелей на лотке вблизи рельса были установлены три координатные датчики и регистрирующий вибросигналы прибор. По каналам К1, К2, К3 соответствующим компонентам виброускорения X, Y и Z

вибросигналы регистрировал виброметр при движении подвижного состава как в тоннеле с находящейся в нем измерительной аппаратурой, так и от проходящих поездов в соседнем тоннеле. В таблице содержатся время прохождения каждого подвижного состава по обоим тоннелям и уровни вызванной ими вибрации лотков. Анализ данных показал, что наибольшие уровни виброускорения зафиксированы на лотке тоннеля, в котором проводились измерения (его обозначили цифрой 1, а дальний тоннель - цифрой 2). Максимальные уровни виброускорения зарегистрированы на лотке тоннеля 1 в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63 Гц; их уровни соответственно равны 79 дБ и 98дБ. В октавах этих же частот при движении составов по дальнему тоннелю 2 в тоннеле 1 зафиксированы максимальные уровни 64дБ и 66дБ, т.е. уровни виброускорения уменьшились на 15дБ и 32 дБ.

Таблица 2. Уровни горизонтальной поперечной составляющей виброускорения, дБ, лотка тоннеля в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 2 до 63 Гц при движении подвижного состава.

Время измерения	Вибрация (октавы), 2.0 Гц; Y Канал К2	Вибрация (октавы), 4.0 Гц; Y Канал К2	Вибрация (октавы), 8.0 Гц; Y Канал К2	Вибрация (октавы), 16.0 Гц; Y Канал К2	Вибрация (октавы), 31.5 Гц; Y Канал К2	Вибрация (октавы), 63.0 Гц; Y Канал К2
1	2	3	4	5	6	7
08:02:35	62.37	57.34	56.51	56.70	65.52	71.36
08:02:36	64.43	58.41	55.49	57.43	67.28	73.25
08:02:37	63.89	58.65	55.66	57.35	68.16	74.39
08:02:38	63.55	58.30	55.71	56.60	68.83	74.89
08:02:39	64.05	58.74	56.38	57.25	70.02	74.70
08:02:40	63.50	60.34	56.23	57.28	70.03	74.04
08:02:41	61.94	60.87	56.00	56.71	69.27	72.55
08:03:50	64.89	66.74	64.91	69.52	79.74	93.17
08:03:51	66.05	67.99	72.94	72.21	81.08	93.91
08:03:52	67.51	71.05	75.98	72.81	81.67	95.36
08:03:53	68.69	73.34	76.29	73.14	82.25	95.93
08:03:54	71.54	80.95	76.99	75.84	83.50	95.11
08:03:55	77.45	81.94	78.80	75.57	81.96	93.86
08:03:56	82.76	83.13	77.88	74.82	81.09	93.13
08:09:37	61.85	58.43	56.57	57.63	66.64	72.96
08:09:38	62.63	59.16	56.58	57.49	67.25	73.42
08:09:39	63.35	59.59	57.04	56.83	68.08	73.90
08:09:40	62.44	60.13	57.00	56.72	69.17	74.29
08:09:41	62.87	60.31	57.20	56.36	70.09	73.36
08:09:42	62.69	60.60	56.76	55.91	69.75	72.01
08:11:05	69.21	64.16	62.77	60.99	73.34	91.52
08:11:06	68.88	63.34	63.07	69.18	78.07	93.13
08:11:07	68.69	64.36	71.61	70.54	79.47	94.57
08:11:08	68.38	69.21	73.76	72.49	81.27	96.01
08:11:09	68.85	73.55	76.84	73.29	82.03	95.98

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
08:11:10	70.49	82.14	77.37	74.56	83.16	94.66
08:11:11	78.43	82.99	79.81	74.26	82.25	93.59
08:11:12	85.09	83.86	79.66	73.75	81.52	91.70
08:16:43	64.34	58.24	57.98	56.54	66.12	72.04
08:16:44	63.76	58.41	58.28	56.87	67.96	74.13
08:16:45	63.26	58.87	57.52	56.75	69.36	74.89
08:16:46	62.87	59.71	57.83	56.46	70.76	75.39
08:16:47	62.35	60.09	58.13	56.28	71.36	75.31
08:16:48	62.09	60.65	56.85	55.82	71.45	74.58
08:16:49	62.22	60.72	57.52	55.83	70.72	72.74
08:16:50	61.70	60.36	57.66	55.86	69.43	70.30
08:18:03	69.50	63.51	65.46	65.62	74.74	91.59
08:18:04	69.28	66.97	66.32	67.12	77.21	94.06
08:18:05	69.35	68.33	70.54	69.02	78.25	96.09
08:18:06	68.92	71.44	72.41	70.25	79.39	96.82
08:18:07	69.97	76.06	73.43	70.43	81.08	96.15
08:18:08	70.68	77.89	76.45	71.98	81.38	95.39
08:18:09	80.50	78.62	77.15	71.79	80.62	93.72
08:18:10	82.32	80.41	76.95	70.87	80.36	91.53
08:23:48	63.34	59.27	57.29	56.87	65.94	72.29
08:23:49	62.93	59.46	57.06	56.78	67.39	73.98
08:23:50	63.05	59.42	56.71	56.73	68.23	74.66
08:23:51	62.65	59.42	56.81	57.07	68.73	74.73
08:23:52	61.75	59.74	56.79	56.31	69.86	74.59
08:23:53	61.36	60.88	57.12	56.18	69.90	73.45
08:23:54	61.64	60.89	57.82	56.14	69.20	71.70
08:25:05	67.37	65.33	64.71	64.37	74.11	91.63
08:25:06	66.34	66.86	68.60	66.62	76.20	93.28
08:25:07	66.44	67.45	73.25	68.54	78.34	94.39
08:25:08	67.16	75.16	76.94	70.42	79.95	95.52
08:25:09	67.38	80.99	77.66	71.00	81.14	95.43
08:25:10	71.16	82.47	77.77	72.28	82.06	94.20
08:25:11	78.04	84.14	79.02	72.11	82.21	92.92
08:25:12	84.15	85.17	78.25	71.70	81.64	91.27

Проведя аналогичные рассуждения по анализу полученных данных таблицы 2, как для таблицы 1, можно сделать следующие выводы для составляющей Y виброускорения:

- в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63Гц средние максимальные уровни виброускорения лотка тоннеля 1 соответственно равны 82дБ и 95дБ;

- в октавах этих же частот при движении составов по тоннелю 2 в тоннеле 1 зафиксированы максимальные уровни 70дБ и 74дБ, т.е. уровни виброускорения уменьшились на 12дБ и 21 дБ.

Таблица 3. Уровни вертикальной составляющей виброускорения, дБ, лотка тоннеля в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 2 до 63 Гц при движении подвижного состава

Время измерения	Вибрация (октавы), 2.0 Гц; Z Канал К3	Вибрация (октавы), 4.0 Гц; Z Канал К3	Вибрация (октавы), 8.0 Гц; Z Канал К3	Вибрация (октавы), 16.0 Гц; Z Канал К3	Вибрация (октавы), 31.5 Гц; Z Канал К3	Вибрация (октавы), 63.0 Гц; Z Канал К3
1	2	3	4	5	6	7
08:02:35	60.05	58.68	60.25	59.24	71.76	77.31
08:02:36	60.64	58.61	60.01	59.16	73.93	78.64
08:02:37	60.70	59.86	59.74	59.59	75.09	79.68
08:02:38	60.23	60.79	60.18	60.16	76.16	80.11
08:02:39	59.39	60.80	60.46	60.45	77.32	79.36
08:02:40	59.81	61.67	60.25	60.68	77.23	78.34
08:03:50	61.39	62.80	62.98	61.83	84.98	104.45
08:03:51	61.80	63.71	65.15	63.01	86.67	105.28
08:03:52	61.99	65.84	71.24	64.23	88.17	106.89
08:03:53	62.21	70.28	71.96	66.24	88.84	107.37
08:03:54	61.91	75.31	73.36	67.36	87.91	106.63
08:03:55	64.92	77.79	74.02	67.14	87.03	105.49
08:09:38	63.30	60.43	60.07	61.25	74.23	78.73
08:09:39	63.24	59.76	59.62	61.12	76.00	79.29
08:09:40	62.79	60.00	59.84	61.26	77.21	79.56
08:09:41	61.69	60.98	60.35	60.83	77.80	78.52
08:09:42	61.62	61.64	60.49	60.44	77.33	77.32
08:09:43	62.04	61.38	61.26	60.12	76.63	75.73
08:11:06	59.73	64.85	61.96	62.05	84.65	104.36
08:11:07	63.18	66.06	66.42	63.49	86.76	106.16
08:11:08	63.54	66.04	67.54	66.82	88.17	107.44
08:11:09	63.11	68.37	70.22	67.48	88.95	107.45
08:11:10	63.64	72.47	71.68	68.02	88.05	106.07
08:11:11	67.73	77.78	72.77	68.14	87.10	105.14
08:16:45	63.25	61.60	58.11	57.45	76.49	80.83
08:16:46	62.45	61.48	58.39	58.07	78.16	81.30
08:16:47	62.41	61.36	58.82	58.55	78.79	81.02
08:16:48	62.42	61.68	59.23	59.39	78.62	80.14
08:16:49	60.45	61.38	59.66	59.83	77.80	78.32
08:18:03	62.45	63.69	62.27	60.44	83.66	103.48

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
08:18:04	62.96	63.95	63.79	62.19	85.71	105.96
08:18:05	63.00	64.53	67.12	63.54	86.68	107.66
08:18:06	62.92	69.68	69.20	65.69	87.93	108.32
08:18:07	61.59	72.27	70.77	66.14	87.75	107.55
08:18:08	63.92	74.05	71.27	66.43	86.52	106.64
08:18:09	71.27	75.20	71.20	65.89	84.90	104.62
08:23:48	58.04	63.36	59.74	59.57	72.49	77.90
08:23:49	57.73	62.70	60.25	59.55	74.29	79.16
08:23:50	59.47	61.77	59.63	59.87	75.46	80.05
08:23:51	59.27	62.18	59.97	60.70	76.06	80.25
08:23:52	61.71	61.39	60.23	60.45	76.99	79.77
08:23:53	62.38	60.68	60.15	60.36	76.80	78.37
08:25:05	64.02	60.28	61.36	59.24	83.11	103.07
08:25:06	63.91	60.07	65.43	61.55	85.19	104.89
08:25:07	63.47	62.16	70.30	67.18	86.37	106.02
08:25:08	63.11	68.74	74.76	67.98	87.86	107.17
08:25:09	61.68	75.95	75.41	68.50	88.57	107.02
08:25:10	62.02	77.39	76.16	68.93	87.54	105.93
08:25:11	72.32	79.60	76.55	68.61	86.46	104.57

Анализ данных таблиц 1–3 показывает, что определяющей составляющей виброускорения лотка тоннеля является вертикальная компонента Z , численное значение которой является наибольшим по сравнению с численными значениями горизонтальных составляющих. Проведя аналогичные рассуждения по анализу полученных данных таблиц 1, 2 можно сделать следующие выводы для составляющей Z виброускорения:

- в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63Гц средние максимальные уровни виброускорения лотка тоннеля 1 соответственно равны 88дБ и 106дБ;
- в октавах этих же частот при движении составов по тоннелю 2, отстоящего от исследуемого тоннеля 1 на расстоянии 10м зафиксированы максимальные уровни 76дБ и 79дБ, т.е. уровни виброускорения уменьшились на 12дБ и 27 дБ.

Выводы. Результаты выполненных исследований являются основой оценки вибрационного взаимодействия тоннелей метрополитена неглубокого заложения. Исходя из полученных уровней виброускорения лотка тоннеля можно осуществлять прогноз виброакустической обстановки в технической зоне проектируемых и строящихся участков и линий метрополитена с целью необходимости эффективной виброзащиты зданий и сооружений, подвергающихся интенсивной вибрации.

СПОСОБ СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ПРОХОДКИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТОННЕЛЬНОГО ТИПА

Н.М. Прибыльская, В.А. Гречухин
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, pnm17@tut.by

Серьезным препятствием для развития транспортной инфраструктуры на современном этапе становятся объекты городской застройки и действующие железнодорожные и автомобильные магистрали.

Традиционно применяемые методы строительства тоннелей со вскрытием земной поверхности в условиях плотной городской застройки зачастую не применимы, а в случае нагруженных транспортных магистралей потребовали бы остановки на период строительства движения по ним, что неизбежно привело бы к финансовым потерям и созданию дискомфорта для людей. Проходка тоннелей щитовым способом в этих условиях экономически невыгодна, так как в большинстве случаев подземные транспортные коммуникации залегают на относительно небольшой глубине от земной поверхности, проходят в слабых грунтах и имеют небольшую длину.

При отсутствии какого-либо укрепления грунта над данным сооружением, это может привести к вертикальному смещению несущих слоев грунта в зоне строительства, и как следствие оказать негативное влияние на расположенные на поверхности земли здания и сооружения.

В связи с вышеизложенным, определено направление дальнейших исследований для решения данной проблемы. Рассмотрены наиболее применяемые имеющиеся варианты и представлены основные причины нецелесообразности их применения для устройства защитных экранов. Предложено техническое решение конструкции и технологии устройства защитного экрана.

Ключевые слова: подземные транспортные коммуникации, защитные экраны, продавливание, нарушение структуры вышележащих слоев грунта, деформации и просадка поверхности несущего слоя.

Для устройства подземных транспортных коммуникаций без нарушения структуры вышележащих слоев грунта в условиях интенсивной городской застройки применяют различные технические решения.

Наиболее известна щитовая проходка. Однако для устройства подземных коммуникаций небольшой протяженности она неприменима.

Одним из решений является метод крепления выработки - ADECO-RS. Метод ADECO-RS появился в результате двадцатилетней практической и теоретической работы компании РокСойл С.п.А.

Суть метода заключается в предварительном армировании массива грунта и последующем тщательном отслеживании параметров деформационной реакции окружающего земляного массива. В качестве армирующих элементов используют стекловолоконные элементы, которые укрепляют слабые грунты и уменьшают деформации. Такой метод крепления эффективен при проходке тоннелей в полусвязных грунтах и грунтах с очень низкими прочностными характеристиками.

Использование стекловолокна для армирования обосновано сочетанием достаточно высокого сопротивления на изгиб и его хорошей ломкостью при работе на срез, что позволяет легко скалывать его при разработке грунта, используя тот же проходческий инструмент.

Таким образом, стекловолокно в представленной конструкции выполняет функцию армирующего каркаса в цементном растворе, кондуктора для нагнетающей трубы и обсадки при незамедлительном введении элемента в пробуренную скважину [1].

Однако использование вышеописанного метода высокочувствительно и требует применения сложной техники. Поэтому одним из наиболее распространенных методов является устройство защитных экранов из труб или других элементов, устраиваемых по контуру будущего подземного сооружения. Данный способ позволяет проводить работы без нарушения несущего слоя грунта. Что особенно актуально при наличии слабых грунтов.

Для сооружения защитного экрана применяют стальные, железобетонные трубы, возможно изготовление труб из других материалов. Эти трубы вдавливают в грунт домкратной установкой, расположенной на поверхности земли или в котловане, или проталкивают в пробуренные скважины отдельными секциями, объединяя их различными способами. Процесс вдавливания сопровождается извлечением грунта из образовавшегося контура, и последующим созданием монолитной или сборной обделки.

Защитный экран может быть использован в двух функциях. Первая в качестве временной крепи, вторая с его включением в работу постоянной конструкции в качестве несущего элемента.

Цель настоящей работы – показать, что новое техническое решение конструкции и технологии устройства металлического защитного экрана, используемого при строительстве подземных транспортных коммуникаций, позволяет предотвратить деформации и просадки поверхности несущего слоя; свести к минимуму влияние проводимых строительно-монтажных работ на городскую и транспортную инфраструктуру; обеспечить безопасность проведения строительных работ; предотвратить перерывы и какие-либо ограничения движения железнодорожного и автомобильного транспорта на участке строительства объекта.

Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

улучшить санитарно-гигиенические условия работы;

снизить трудозатраты и сократить сроки строительства;

снизить металлоемкость процесса;

снизить мощность, применяемого при производстве работ оборудования.

Были рассмотрены известные способы устройства и сооружения защитных экранов. Например, строительство транспортных сооружений, под автомобильными и железными дорогами с применением защитного экрана, который создают путем ступенчатого продавливания труб, с последующей выемкой породы из продавленной секции и вырезки из нее продольной полосы на величину ступени продавливания очередной секции. Вырез осуществляют в пределах сектора $90 \div 120$ градусов. Для предотвращения деформаций в месте вырезанной продольной полосы приваривают ребра жесткости.

Перед продавливанием очередную секцию заводят в упомянутый выше вырез. Каждая секция состоит из двух труб с вырезанными секторами соединенных друг с другом [2].

Данный защитный экран предотвращает деформацию и просадку поверхности, минимизирует влияние строительно-монтажных работ на городскую и транспортную инфраструктуру, обеспечивает безопасные условия труда, отсутствие перерывов движения и ограничений железнодорожного и автомобильного транспорта на участках строительства объекта [3].

Недостатком данного варианта является работа человека в трубе, заключающаяся в удалении из нее породы, вырезку сектора трубы и осуществление сварочных работ [3]. При горизонтальном продавливании труб для таких случаев установлено ограничение минимального диаметра трубы, не менее 1,2 м, что ведет к увеличению металлоемкости защитного экрана, а также к необходимости применения более мощного оборудования при производстве работ (пункт 19.24 ТКП 45-1.03-44-2006) [4].

Для устранения вышеперечисленных недостатков, предложено решение, позволяющее улучшить санитарно-гигиенические условия труда, снизить трудозатраты и

сократить сроки строительства при одновременном уменьшении металлоемкости процесса и возможности применять менее мощное оборудование для выполнения работы.

В данном решении результат достигается за счет использования при продавливании трех видов однотипных элементов. Первый вид элементов представлен на рисунке 1. Он применяется в качестве промежуточного элемента, перекрывающего участки без резких изменений положения поверхность, например, горизонтальные и вертикальные плоскости, цилиндрические поверхности.

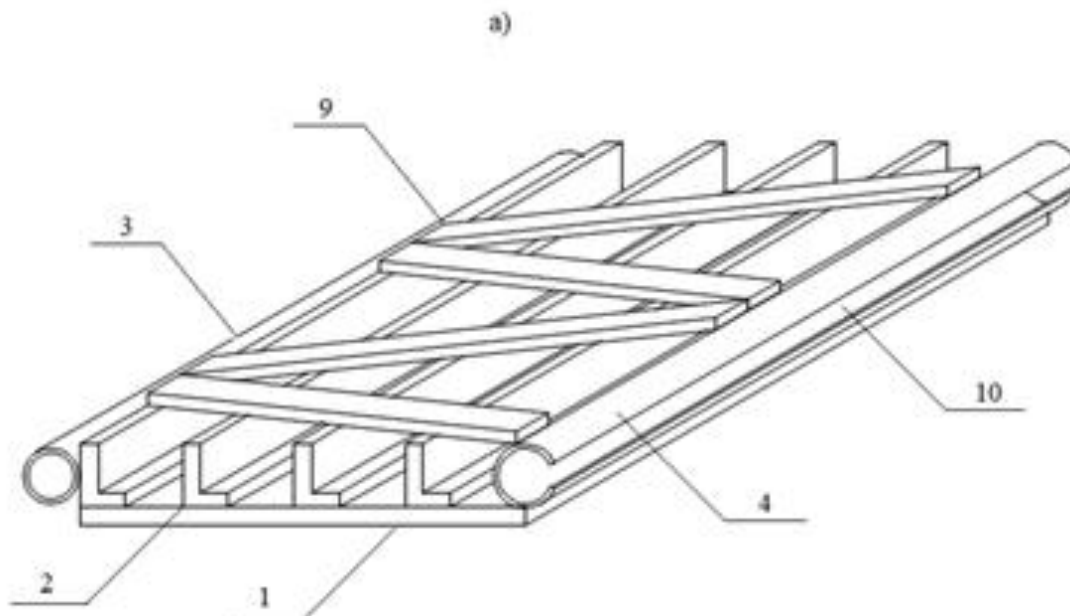


Рис. 1. Первый вид элемента защитного экрана

Он сконструирован следующим образом: к прокатному листу 1 вдоль направления продавливания привариваются прокатные уголки 2, вместо которых можно использовать другой прокатный профиль. Число уголков может варьироваться в зависимости от ширины листа 1. Уголки привариваются параллельно направлению продавливания защитного экрана. Первый уголок приваривается таким образом, что не приваренная сторона уголка, является продолжением боковой грани листа 1. К не приваренной стороне первого приваренного уголка приваривается труба 3 кольцевого сечения, а с противоположной стороны к листу 1 приваривается труба 4 кольцевого сечения с вырезанным по всей ее длине сектором, внутренний радиус трубы 4 должен быть больше внешнего радиуса трубы 3. С целью повышения жесткости поверх данной конструкции зигзагообразно привариваются стальные полосы 9. Количество полос и угол, под которым они привариваются к направлению продавливания, зависят от длины листа.

Второй вид используемых элементов представлен на рисунке 2. Данный элемент и элемент, представленный на рисунке 3, применяются в качестве элементов, с помощью которых резко изменяют положение поверхности, например, на угол 90° в месте сопряжения горизонтальной поверхности и боковых стенок.

Он конструируется следующим образом: к прокатному листу 5 параллельно направлению продавливания привариваются прокатные уголки 6, число уголков может варьироваться в зависимости от ширины листа 5. Первый уголок приваривается таким образом, что не приваренная сторона уголка, является продолжением боковой грани листа. Для изменения положения прокатных листов с горизонтального на вертикальное, к листу 5 под первым приваренным уголком приварена труба 7 кольцевого сечения, а с противоположной стороны листа, к листу приварена труба 8 кольцевого сечения, с вырезанным сектором, внутренний радиус трубы 8 должен быть больше внешнего радиуса трубы 7. Поверх данной конструкции зигзагообразно привариваются стальные полосы 9.

Количество полос и угол, под которым они привариваются к направлению продавливания, зависят от длины листа.

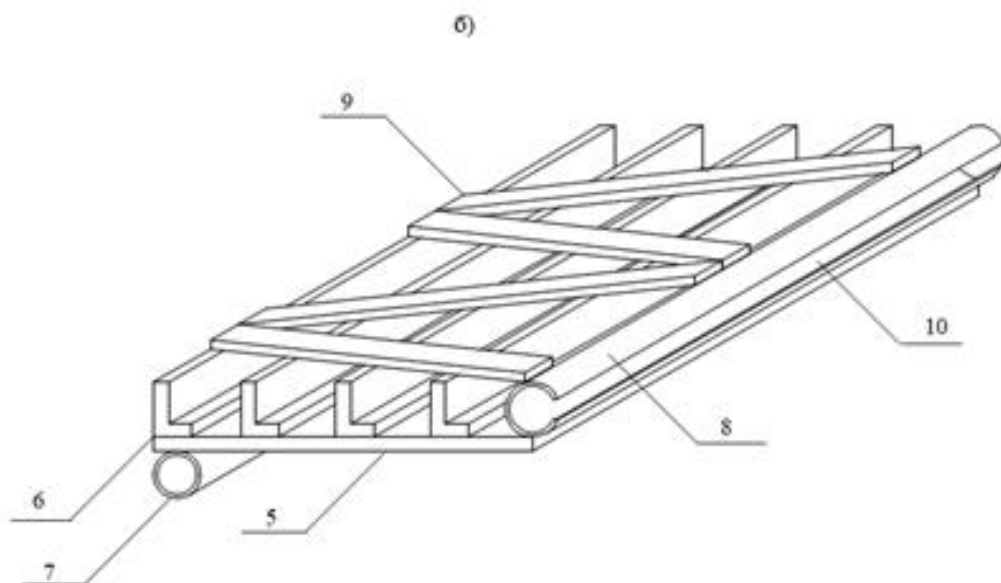


Рис. 2 Второй вид элемента защитного экрана

Третий вид используемых элементов представлен на рисунке 3, назначение данного элемента представлено выше.

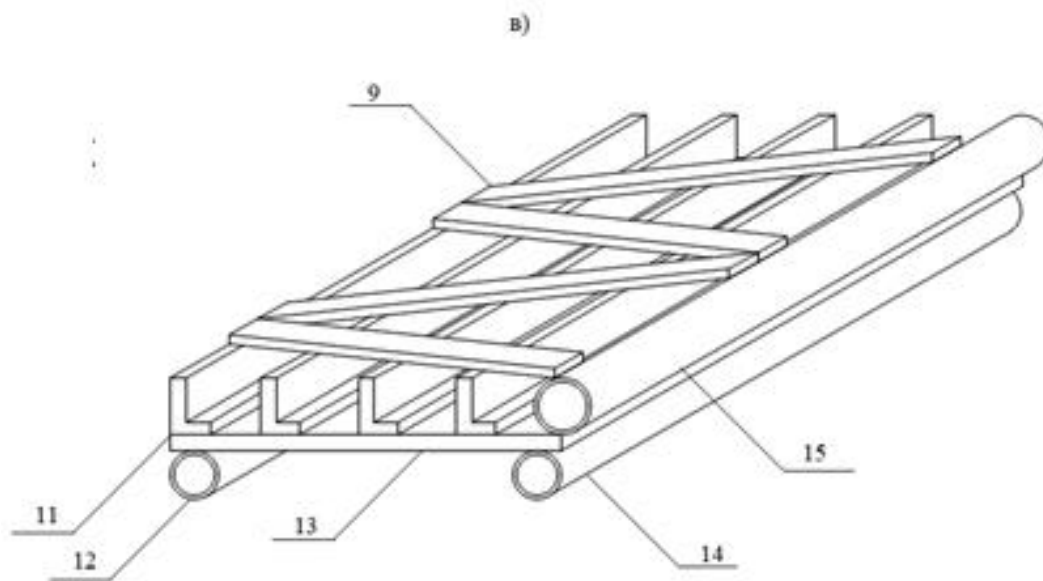


Рис. 3 Третий вид элемента защитного экрана

Он конструируется следующим образом: к прокатному листу 13 в вдоль направления продавливания привариваются прокатные уголки 11, число уголков может варьироваться в зависимости от ширины листа 13. Уголки привариваются параллельно направлению продавливания. Первый уголок приваривается таким образом, что не приваренная сторона уголка, является продолжением боковой грани листа. К листу 13 под первым приваренным уголком приваривается труба 12 кольцевого сечения, а с противоположной стороны листа, к листу привариваются две трубы: труба 14 кольцевого сечения и труба 15 кольцевого сечения. Поверх данной конструкции привариваются стальные полосы 9. Полоски привариваются зигзагообразно, количество полос и угол, под которым они привариваются к направлению продавливания, зависят от длины листа.

Защитный экран состоит из центрального элемента или нескольких элементов (рисунок 1) и двух боковых (рисунки 2, 3).

На начальном этапе продавливания выстраивается центральная секция. Для этого однотипные элементы первого вида продавливаются один за другим последовательно (рисунок 4).

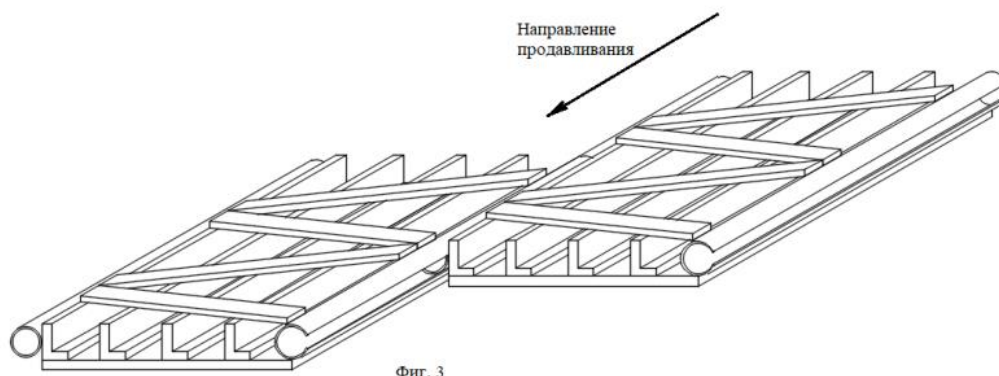


Рис. 4. Элементы защитного экрана

Элементы соединяются друг с другом при помощи замково-направляющего соединения, которое выполнено в виде приваренных на обращенных друг к другу поверхностях смежных элементов экрана: трубы 3, 7 и трубы с вырезанным сектором 4, 8. При переходе к сборке боковых секций используются элементы второго (рисунок 2) и третьего (рисунок 3) видов. За счет изменения положения сектора 10 на трубах 4 и 8, а также места приваривания труб, можно менять вид защитного экрана, который может иметь как прямоугольную, так и сводчатую формы. При этом элементы жесткости: прокатные уголки или другие прокатные профили, и стальные полосы могут располагаться как внутри, так и снаружи защитного экрана.

Таким образом, создается защитный экран прямоугольной или цилиндрической формы. В конце с обеих сторон экран жестко заделывается в железобетонные порталы, после чего производится выработка грунта с 2-х сторон подземного сооружения. Экран укрепляется временными стальными опорными рамами до бетонирования сооружения.

Выводы

Предлагаемый защитный экран предотвращает деформацию и просадку поверхности, минимизирует влияние строительного-монтажных работ на городскую и транспортную инфраструктуру, так как однотипные элементы являются достаточно жесткими за счет использования в их конструкции прокатных уголков или другого прокатного профиля и зигзагообразно приваренных полос. Вышесказанное подтверждают расчеты, выполненные с использованием программного продукта SolidWorks. Напряжения, возникающие в элементах конструкции, не превышают предел текучести простой углеродистой стали, а перемещения укладываются в рамки допустимых и не требуют остановки движения или снижения скорости движения при производстве работ.

В результате данное технологическое решение позволит:

1. улучшить санитарно-гигиенические условия работы и снизить трудозатраты;
2. сократить сроки строительства, так как отсутствует необходимость работы персонала внутри секций: производить вырезку сектора трубы и осуществлять сварочные работы в ней, удалять породу из трубы и многое другое;
3. снизить металлоемкость процесса за счет использования однотипных элементов;
4. дать возможность применять менее мощное оборудование при производстве работ;

Перечисленные выше результаты ведут к снижению себестоимости строительства и уменьшению его продолжительности.

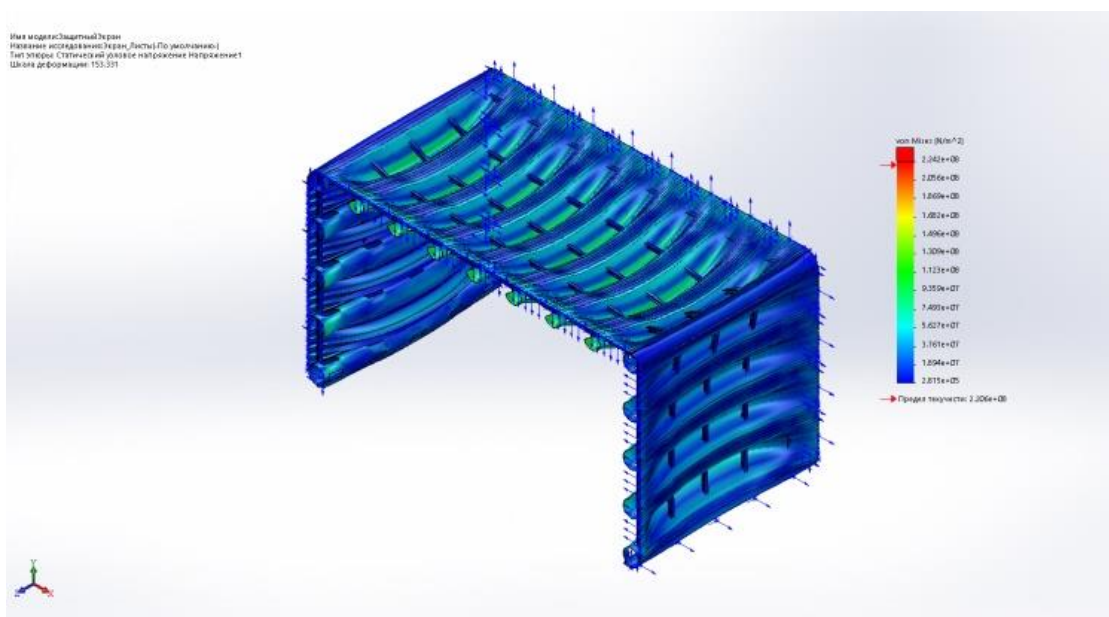


Рис.5 Результаты исследования напряженного состояния защитного экрана.

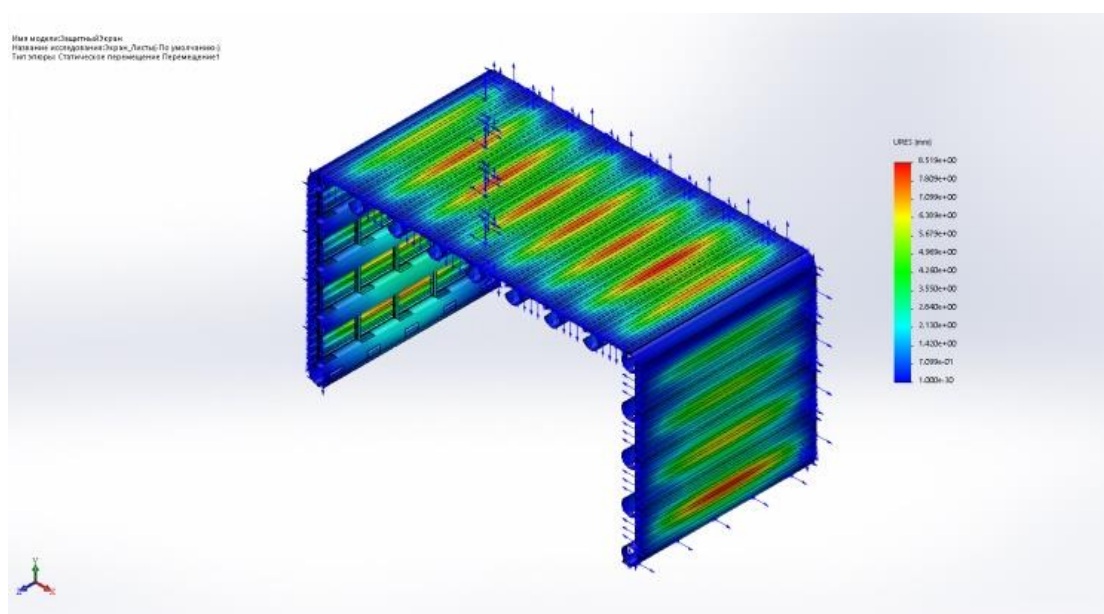


Рис.6 Результаты исследования перемещений, возникающих в защитном экране.

Литература

1. Проектирование тоннелей. Метод ADECO-RS // Дорожная держава. – СПб.: Отраслевая медиа-корпорация “Держава”, 2010. – №27. – с.18-21.
2. Патент № 121860 U1, Российская Федерация, МПК7 E21D 9/04, E21D 29/02. Секция защитного экрана : № 2012119721/03 : заявл. 14.05.2012, : опубл. 10.11.2012, / Сон И. Б., Ким В. М., Ананидзе Г. А., Коньков А. А., Зубов В. А. ; патентообладатель И. Б. Сон.
3. Патент № 2501953, Российская Федерация, МПК7 E21D 9/04, E21D 11/04. Способ создания защитного экрана : № 2012119720/03 : заявл. 14.05.2012, : опубл. 20.12.2013, / Сон И. Б., Ким В. М., Ананидзе Г. А., Коньков А. А., Зубов В. А. ; патентообладатель И. Б. Сон.
4. ТКП 45-1.03-44-2006 (02250) / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь – Минск: Минстройархитектуры, 2007 – 37 с.

УСИЛЕНИЕ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ КОМПОЗИТНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

С.В. Шевченко

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Беларусь, tshevchenko62@bntu.by

Представлены примеры усиления железобетонных балок пролётных строений мостов и путепроводов углеродными ламелями. В современном мостостроении полимерные материалы часто применяются в сочетании с традиционными материалами: сталью, железобетоном. В этой связи возникает важный вопрос о наиболее эффективном сочетании этих материалов.

Многолетняя практика эксплуатации железобетонных зданий и сооружений во всем мире показала, что расходы на ремонт и реконструкцию современных объектов из железобетона за последние два десятилетия значительно возросли. Это, в частности, объясняется значительным усложнением условий эксплуатации сооружений за счет постоянного возрастания рабочих нагрузок на железобетонные конструкции, с одной стороны, и загрязнения окружающей среды – с другой. Этим отрицательным факторам особенно подвергаются мостовые конструкции. Существенное увеличение грузоподъемности автомобильного транспорта, общего объема транспортировки, интенсивное применение антиобледенителей различного типа, а также агрессивность естественных природных условий (таких, к примеру, как многократный переход температуры в течение суток через нулевую отметку, привели в лучшем случае к сокращению сроков межремонтной эксплуатации мостовых конструкций, а в худшем – к моральному износу и снижению грузоподъемности отдельных мостов.

При капитальном ремонте автодорожного путепровода над железнодорожными путями у вокзала г. Барановичи производилось усиление железобетонных балок углеродными ламелями.

Ключевые слова: примеры усиления железобетонных балок, композитные материалы, углеродные ламели, полимерные материалы.

В последнее время в мостостроении находит применение высокопрочное волокно, в том числе из графита, арамида, стекла и полимерных соединений на основе тяжелых эфиров. К сожалению, высокая прочность достигается за счет высокой стоимости, поэтому попытки найти достойную замену стали пока остаются безуспешными. Во всех случаях успешного применения таких материалов используется прежде всего меньший вес, что упрощает монтаж элементов и дает ряд других преимуществ.

Полимерные и композитные конструкции находят все более широкое применение при сооружении мостов. В автодорожных мостах композиты чаще всего применяются при сооружении проезжей части или других элементов.

В настоящее время в ряде случаев из композитных материалов изготавливаются целые мосты, а не только их элементы.

Во всех странах стремятся справиться с обостряющейся проблемой разрушения мостов, сопровождаемой и усложняемой истощением технических ресурсов, бюджетными расходами и трудозатратами. Доля мостов на автодорогах Республики Беларусь, определяемых как дефектные, достигает 50%. Одним из средств решения этой проблемы может быть разработка и применение композитов.

Композиционные материалы обладают рядом свойств, которые стимулируют их применение в мостостроении [1]:

- высокая удельная прочность (отношение прочности к плотности) по сравнению с железобетоном и металлом позволяет создавать более легкие конструкции, обеспечивая снижение материалоемкости, а значит, и собственного веса и нагрузки на фундаменты и основания и тем самым уменьшение трудоемкости работ по возведению и фундаментов, и самих сооружений, железобетоном. В результате обеспечивается также возможность перевозки большого количества сооружений, а также снижается или исключается потребность в тяжелой грузоподъемной технике; в результате все эти факторы приводят к сокращению сроков строительства;

- значительная сопротивляемость воздействию агрессивных эксплуатационных средств (коррозионная стойкость) позволяет уменьшить расходы на эксплуатацию конструкций и антикоррозионные работы и продлить срок службы мостовых сооружений из композиционных материалов до 80-100 лет.

- высокая усталостная прочность;

- очень низкий коэффициент линейного температурного расширения в направлении волокон.

В современном мостостроении полимерные материалы часто применяются в сочетании с традиционными материалами: сталью, железобетоном. В этой связи возникает важный вопрос о наиболее эффективном сочетании этих материалов.

Необходимо обратить особое внимание на то, что композиционные материалы обладают выраженной анизотропией, то есть наиболее эффективно работают на растяжение. Несмотря на это, полимеры могут применяться и в элементах, работающих на сжатие. В таком случае наиболее целесообразно применять их не в виде традиционных массивных элементов, а в виде тонкостенных оболочек в сочетании с традиционными материалами.

Учитывая вышесказанное, необходимо заметить, что мостовые конструкции из композиционных материалов нельзя проектировать по тем же самым методикам, что и стальные или железобетонные конструкции. Необходимо разрабатывать новые подходы к проектированию и расчету.

Композитные материалы предлагают создателям строительных конструкций такое сочетание свойств, которое не может предложить ни один другой материал. Тросы, выполненные из композитных материалов, можно использовать в качестве подвесок в мостах висячей конструкции, вант в вантовых мостах и тросов для постнапряжения. К достоинствам материала относятся:

- устойчивость против обычной коррозии и так называемой коррозии напряжения;

- простота обработки;

- малая подверженность усталости;

- несмотря на высокую начальную стоимость, материал экономически эффективен при длительном сроке службы конструкции.

Применение при постнапряжении полос из современных композитных материалов вместо металлических пластин позволяет получить экономическую выгоду благодаря следующим их особенностям:

- отпадает необходимость в антикоррозионных мероприятиях;

- появляется возможность поднятия элементов на сооружение без дорогостоящих подмостей (1 кг армированных графитовым волокном полимерных полос по прочности эквивалентен 30 кг металлических пластин);

- в отличие от металлических пластин их не надо держать прижатыми к сооружению во время схватывания клея: они находятся в рулоне наподобие обоев;

- полосы из армированных графитовым волокном полимерных материалов (АГВПМ), намотанные на барабаны, имеют «бесконечную» длину, поэтому швы исключаются;

- в отличие от стальных пластин под воздействием сжимающих усилий полосы из АГВПМ не ослабевают, а, наоборот, увеличивают прочность конструкции на изгиб и срез, уменьшая деформации и трещинообразование;

- они наименьшим образом мешают нормальной эксплуатации моста и не уменьшают его высотного габарита;

- для их укладки требуется меньше времени и трудозатрат по сравнению с другими способами, например, с внешним постнапряжением.

Углеродные волокна – идеальные конструкционные материалы. Эти элементы, включая углерод, образуют сильные, устойчивые связи на атомном уровне. Материалы, скрепленные такими связями, являются жесткими, прочными и стойкими ко многим типам химически агрессивных сред до сравнительно высоких температур. Кроме того, у них низкая плотность и исходные материалы доступны почти в любых количествах.

Углеродные волокна известны с прошлого века. Томас Эдисон в своей первой электролампе использовал углеродные нити, выполненные из бамбуковых волокон.

Углеродные волокна изготавливаются путём экструзии полимера в непрерывную нить. Нить проходит укрепляющую обработку и в воздухе при температуре 200-350⁰С, после чего следует её термообработка (карбонизация) при температуре 350-1600⁰С в атмосфере инертного газа для удаления H, O, N и других лишних элементов. Механические свойства полученных волокон можно изменить последующей термообработкой при температуре, обычно достигающей 1300-3000⁰С.

Товарные углеродистые волокна с модулем упругости около 230 ГПа имеют высокую прочность. У волокон с высоким модулем его значения составляют 480-700 ГПа.

Многолетняя практика эксплуатации железобетонных зданий и сооружений во всем мире показала, что расходы на ремонт и реконструкцию современных объектов из железобетона за последние два десятилетия значительно возросли. Это, в частности, объясняется значительным усложнением условий эксплуатации сооружений за счет постоянного возрастания рабочих нагрузок на железобетонные конструкции, с одной стороны, и загрязнения окружающей среды – с другой. Этим отрицательным факторам особенно подвергаются мостовые конструкции. Существенное увеличение грузоподъемности автомобильного транспорта, общего объема транспортировки, интенсивное применение антиобледенителей различного типа, а также агрессивность естественных природных условий (таких, к примеру, как многократный переход температуры в течение суток через нулевую отметку, привели в лучшем случае к сокращению сроков межремонтной эксплуатации мостовых конструкций, а в худшем – к моральному износу и снижению грузоподъемности отдельных мостов.

Практика ремонта мостовых железобетонных конструкций включает применение эффективных традиционных материалов, таких, к примеру, как высокопрочный бетон на основе пуццолановых добавок с прочностью около 90 МПа. Наряду с традиционными способами ремонта в последние годы заметно увеличивается применение в качестве ремонтных перспективных композиционных материалов, представляющих собой различные фиброполимеры на базе стеклянной, углеродной и арамидной фибры, в качестве матрицы для которых используется эпоксидная смола. Высокие прочностные и антикоррозионные свойства этих материалов при весьма малой массе позволяют восстанавливать поврежденные стальные и железобетонные конструкции различных сооружений, доводя их прочностные и деформативные характеристики в некоторых случаях до уровня их проектных значений или значительно улучшая по сравнению с исходным состоянием. Положительным свойством этих материалов также является и их электромагнитная нейтральность, что особенно актуально при ремонте мостовых конструкций. Актуальность применения фиброполимеров многократно возрастает при использовании их для ремонта сооружений, в которых увеличение размеров поперечного сечения конструкций в результате упрочняющих мероприятий весьма нежелательно или просто недопустимо. Использование этих материалов практически не изменяет размеров поперечного сечения конструкций из-за высокого значения отношения их прочности к массе.

С начала 90-х годов в США, Канаде, Японии проводилось изучение возможности использования фиброполимерных композитов взамен стальных пластин, применяемых для наружного упрочнения гибких железобетонных элементов. Изучение долговечности отремонтированных двумя способами (с использованием стальных пластин и фиброуглеродного полимерного композита) балок, эксплуатируемых в обычных атмосферных условиях (без инициирования коррозионных процессов антиобледенительными солями), показало, что:

- во-первых, стальные пластины не имеют достаточного сцепления с бетоном из-за продуктов коррозии, образовавшихся в отдельных зонах поверхности между сталью и адгезивом;

- во-вторых, стальные пластины достаточно тяжелы и поэтому крепление их слишком трудоемко и к тому же требует установки дорогих лесов;

- в-третьих, металлические пластины, подлежащие ремонту, достаточно протяженны, что усложняет проведение ремонтных работ из-за большой массы стали, при этом сварка мелкогабаритных стальных элементов недопустима из-за опасности разрушения адгезива;

- в-четвертых, стальные протяженные элементы весьма чувствительны к прогибам ремонтируемых конструкций и в процессе эксплуатации отслаиваются от бетона в результате прогиба железобетонных конструкций.

Таким образом, несмотря на относительно высокую стоимость фиброуглеродного полимера, сравнение стоимости ремонтных работ с его использованием и использованием стальных пластин показало, что в целом применение фиброуглеродного полимера для ремонта железобетонных конструкций взамен стальных пластин снижает общую стоимость ремонта на 20-30%.

Наиболее широкое применение фиброполимерные материалы пока нашли при ремонте и укреплении гибких железобетонных элементов. Испытания показали, что фиброполимеры могут эффективно использоваться как в виде моно- и полинаправленных пластин, закрепляемых в растянутой зоне железобетонных конструкций, так и в виде обертывающих «простыней» шириной 250 мм из углеродного фиброполимера толщиной 0,167 мм. Прочность при растяжении углеродного фиброполимера составляет 3400 МПа, а относительное удлинение 1,4%.

Использование фиброполимерных листов для ремонта железобетонных конструкций, в отличие от обертывания фиброполимерными «простынями», является относительно знакомой задачей, поскольку фактически представляет собой часть достаточно широко применяемого способа укрепления конструкций посредством приклеивания металлических пластин, известного еще с 1964 г., в то время как непрерывное обертывание железобетонных элементов является новым способом ремонта.

При капитальном ремонте автодорожного путепровода над железнодорожными путями у вокзала г. Барановичи производилось усиление железобетонных балок углеродными ламелями. Пролет балок – 33 м. Работы производились в следующем порядке:

1. Пролетные строения очищались от покрытия, защитного слоя и гидроизоляции. Балки выдомкрачивались.
2. Нижняя часть ребер балок зачищалась и шлифовалась.
3. На балки наклеивались углеродные ламели с помощью двухкомпонентного эпоксидного клея.
4. После высыхания клея поверх балок устраивалась накладная монолитная железобетонная плита, объединенная с пролетным строением с помощью арматурных анкеров. Балки были объединены по плите в неразрезную систему.
5. После устройства мостового полотна домкраты были демонтированы и углеродные ламели были включены в работу всей системы.

Аналогично были усилены балки пролетных строений существующего моста через реку Днепр в г. Орша по улице Бобкова при его капитальном ремонте. Использовалось

предварительное натяжение углеродных ламелей с использованием специальных анкерных устройств.

Применение углеродных ламелей при усилении железобетонных балок пролетных строений показало их эффективность. В ряде случаев, особенно при ремонте дефективных балок пролетами 24-33 м, целесообразнее такое усиление, чем усиление традиционными способами или замена балок на новые.

Литература

1. Дядченко Г.С. Применение полимерных и композитных материалов при строительстве и ремонте пешеходных мостов // Материалы всероссийской научно-технической конференции: Актуальные вопросы строительства. – Саранск. Из-во Мордовского университета. 2003. – с. 74-76.

2. Овчинников И.И. и др. Современные пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. – М.: Инфаинженерия, 2020. - 310 с.

УДК 624.012

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕНТРАЛЬНО -СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.В. Шевченко

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Беларусь, tshevchenko62@bntu.by

Приведен сравнительный анализ методов расчета центрально-сжатых труботетонных элементов. Для работы сжатого бетона в трубе, он должен иметь нужный состав и быть уложен по соответствующему регламенту. Выполнено сравнение расчётной прочности на сжатие поперечно обжатого бетона в трубе с призмной прочностью бетона. Использовалась методика Росновского которая приводит к увеличению несущей способности бетона в трубе вдвое. Возможно связать предельное сжатие бетона в трубе с соотношением толщины стенки трубы и ее диаметра, а также с прочностью стали трубы и прочностью бетона заполнения. Установлено, что учет работы труботетона по Еврокодам приводит к увеличению несущей способности трубы на 26%.

Ключевые слова: особенности расчета, предельное состояние прочности, несущая способность, центрально-сжатые элементы.

Сжатый бетон в обойме из стальной трубы может нести нагрузку в 1,5 и более раз больше, чем открытый бетонный элемент. Но для того, чтобы сжатый бетон в трубе заработал должным образом, он должен иметь нужный состав и быть уложен по соответствующему регламенту.

Многочисленные эксперименты проводились по всему миру, в том числе и в СССР. К сожалению, ни во времена СССР, ни в последующие десятилетия, не появились соответствующие мостовые стандарты, регламентирующие расчёт стальных круглых труб, заполненных бетоном.

В ранних работах, например, в работах В.А. Росновского [1] предельное состояние бетона в стальной трубчатой оболочке было связано с текучестью бетона и трубы. В предельном состоянии стальной прокат трубы течет, а бетон обжат с усилием большим, чем призмная прочность бетона:

$$R_{b,tube} = 0,7 \bar{R} + 180 \text{ кг/см}^2$$

\bar{R} – средняя прочность бетона на сжатие в кг/см², со стороны кубика 20 см на 28 день (марка бетона).

Характеристическое значение предельной силы может быть записано в виде:

$$N_k = R_{b, tube} A_b + R_{yn} A_a$$

Следуя принципу расчета по предельному состоянию по прочности, были введены коэффициенты надежности бетона по сжатию γ_b и стального проката трубы γ_m для определения расчетного сопротивления трубобетона сжатию NR_d :

$$NR_d = R_{b,M} / \gamma_b A_b + R_{yn} / \gamma_m A_a$$

При этом, может быть принято:

$\gamma_b = 1,3$ – коэффициент надёжности СТ СЭВ 1406-78;

$\gamma_m = 1,05$ – коэффициент для углеродистых сталей по СНиП.

Таблица 1

Класс	Средняя прочность бетона, кг/см ² \bar{R}	Марка бетона на сжатие M	Предельное сжатие бетона в трубе, кг/см ² $R_{b, tube} / \gamma_b$	Призменная прочность, кг/ см ² R_b	Упрочнение бетона в трубе $R_{b, tube} / \gamma_b$
B25	327	350	409	135	2.3
B30	393	400	455	160	2.2
B35	458	450	501	180	2.1
B40	524	550	547	205	2.1
B45	589	600	592	225	2.0
B50	655	600	639	255	1.9
B55	720	700	684	280	1.9
B60	786	800	730	305	1.8

Сравнение расчётной прочности на сжатие поперечно обжатого бетона в трубе с призменной прочностью бетона выполнено в табл. 1.

Использование методики Росновского приводит к увеличению несущей способности бетона в трубе вдвое, по сравнению с призменной прочностью бетона независимо от параметров трубы и прочности бетона.

В более поздних работах, предельное сжатие бетона в трубе связали с соотношением толщины стенки трубы и ее диаметра, а также с прочностью стали трубы и прочностью бетона заполнения.

Проверку несущей способности трубобетонной стойки можно выполнить по формуле:

$$\frac{N}{(AR_y + A_b R_b K_b) \varphi_b} \leq 1$$

где A , A_b – площадь сечения стальной трубы и бетонного ядра;

R_y , R_b – расчетные сопротивления стали и бетона;

φ_b – коэффициент устойчивости трубобетона (табл. 2);

K_b – коэффициент, учитывающий повышение прочности заключенного в обойму бетона, принимаемый равным 1,92 и 1,55, соответственно, для бетонов класса прочности B20 и B40. Коэффициент φ_b определяют в зависимости от приведённой гибкости

$$\lambda_{b,ef} = \frac{\ell_o}{i_b} \sqrt{\frac{(k+\mu)}{(0,25k+0,5\mu)}}$$

где $k = \frac{k_b R_b}{R_y}$; $\mu = \frac{A}{A_b}$; ℓ_o - расчётная длина стойки;

i_b - радиус инерции бетонного ядра [2].

Таблица 2. Коэффициенты φ_b для трубобетонных стоек

Приведенная гибкость, λ_b	20	40	60	80	100	120
Бетон класса В20	0,963	0,888	0,791	0,654	0,527	0,400
Бетон класса В40	0,974	0,922	0,852	0,731	0,588	0,450

По EN 1994-2:2005 несущая способность трубы заполненной бетоном определяется как сумма сопротивления пластических составляющих элементов сечения:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + k A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$$

где A_a , A_c и A_s - площади стальной трубы, бетона, арматуры;

f_{yd} , f_{cd} , f_{sd} - расчетное сопротивление текучести стальной трубы, расчетное сопротивление бетона на сжатие и расчетное сопротивление текучести арматуры;

$k = 1,0$ – для труб заполненных бетоном;

$k = 0,85$ для открытых сечений.

Еврокод предлагает учитывать возросшую несущую способность бетона в трубе по формуле:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}}\right) + A_s f_{sd}$$

где t – толщина стенки стальной трубы;

d – наружный диаметр трубы;

f_y и f_{ck} - характеристическое сопротивление текучести стальной трубы и сопротивление бетона на сжатие.

Для центрально сжатых элементов при $e = 0$ значения коэффициентов для стали $\eta_a = \eta_{ao}$ и для бетона $\eta_c = \eta_{co}$ определяются по формулам:

$$\eta_{ao} = 0,25(3 + 2\bar{\lambda}) \leq 1,0$$

$$\eta_{co} = 4,9 - 18,25\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 \geq 0$$

Пример:

Стальная труба: 1220x22 мм – $t/d = 0,018$

площадь стали трубы :

$$A_a = 0,021 \text{ м}^2;$$

расчетное сопротивление текучести трубы:

$$f_y = 295 \text{ МПа};$$

площадь бетона заполнения:

$$A_c = 1,086 \text{ м}^2;$$

расчетное сопротивление бетона С50/60 сжатию:

$$f_{cd} = 33,3 \text{ МПа};$$

характеристическое сопротивление бетона сжатию:

$$f_{ck} = 50 \text{ МПа}.$$

При оценке несущей способности трубы без упрочнения величина $N_{pl,Rd}$ составит:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + k A_c f_{cd} = 0,021 \cdot 295 + 1 \cdot 1,086 \cdot 33,3 = 42,36 \text{ МН}$$

При центральном сжатии трубы $e/d = 0,01$, несущая способность трубы при гибкости $\bar{\lambda} = 0,1$, с учетом упрочнения бетонного ядра составляет:

$$N_{pl,Rd} = \eta A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}}\right) = 0,8 \cdot 0,021 \cdot 295 + 1,34 \cdot 1,086 \cdot 33,3 = 4,96 + 48,46 = 53,42 \text{ МН}$$

Таким образом, учет работы трубобетона по Еврокодам приводит к увеличению несущей способности трубы на 26%: $53,42/42,36 = 1,26$ для данного случая.

Литература

1. Росновский, В.А. Трубобетон в мостостроении / В.А. Росновский // Трансжелдориздат, 1963.-110 с. 23.
2. Горев, В.В. – Элементы стальных конструкций/ В.В. Горев // Учеб. пособие для строит. вузов/В.В. Горев, Б.Ю. Уваров и др.; Под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. Шк., 1997. – 527.: ил.
3. Корнеев М.М. . Стальные мосты / М.М. Корнеев// Пособие по проектированию в 3-х томах – К.: Из-во «Ультрадрук», 2019.- Т. 3. – 560 с.

УДК 691

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Устинович А.В.¹⁾, Гречухин В.А.²⁾

¹⁾Завод ЖБИ УП «Минскметрострой»,

ул. Селицкого, д.15в, 220075, г. Минск, Республика Беларусь

²⁾Белорусский национальный технический университет

пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Радиальное прессование – это технология производства бетонных и железобетонных изделий, при котором ось вращения в процессе производства располагается вертикально [1]. В 1905 году Зейдлер и Маккракен в штате Айова независимо друг от друга собрали первые установки для производства бетонных труб методом радиального прессования [2]. Впервые как способ производства труб радиальное прессование было использовано в США в 40-х годах прошлого столетия [3, 4]. В Советском Союзе разрабатывалось и производилось оборудование, использовавшее метод радиального прессования для уплотнения бетонной смеси, что позволяло выпускать бетонные и железобетонные безнапорные трубы и кольца [5]. 70-х годах прошлого столетия в СССР институтом «Гипростроммаш» разработаны первые образцы оборудования, которое позволяет производить трубы бетонные и железобетонные методом радиального прессования. Изготовление оборудования осуществлено Лисичанским заводом «Строммашина» [6, 7]. Установка СМЖ 194-Б предназначалась для изготовления труб диаметром 300-600 мм, а СМЖ 329 позволяла производить трубы диаметрами от 800 до 1200 мм. Современные установки рассчитаны на производство труб методом радиального прессования диаметрами от 300 мм до 1800 мм и длиной обычно до 3500 мм [8].

При радиальном прессовании уплотнение жёсткой бетонной смеси (ЖЗ-Ж4) происходит в стальной форме при помощи вращающейся головки с роликами (рисунок 1), которые при соприкосновении с бетоном не только укатывают и опрессовывают его, но вызывают сдвиговые деформации, что приводит к компактному и плотному расположению крупного заполнителя. Данный способ производства труб бетонных и железобетонных является высокопроизводительным благодаря немедленной распалубке отформованных

изделий и короткому циклу формования, что не требует большого парка форм. Для организации производства достаточно 2-3 формы.

Радиальные прессы различных производителей конструктивно могут отличаться, но основной рабочий механизм во всех установках одинаковый – роликовая головка (рисунок 1). Роликовая головка имеет от двух до трёх рядов роликов (рисунок 2) и приводится в движение (вращение вокруг центральной оси и вертикальное перемещение) двойным валом. Вращение соседних уровней роликов осуществляется в противоположных направлениях, что позволяет компенсировать крутящий момент, который приводит к вращению арматурного каркаса. А также за счёт конструктивных особенностей, наличие заглаживающей части у роликовой головки, внутренняя поверхность получается гладкой.

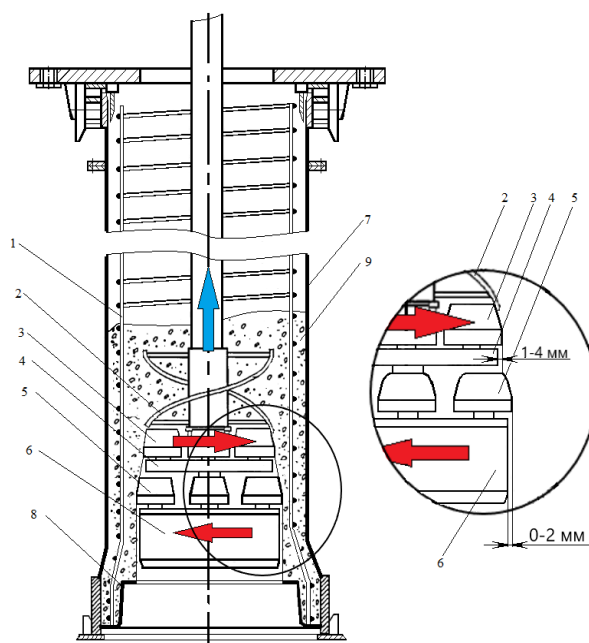


Рис. 4. Схема формования железобетонной трубы методом радиального прессования:

- 1 – арматурный каркас; 2 – спираль разбрасывающая; 3 – ролик раскатывающий;
 4 – распределительный диск; 5 – ролик прессующий; 6 – заглаживающая головка; 7 – наружная стальная форма; 8 – стальной поддон; 9 – бетонная смесь

Все технологические операции уплотнения бетонной смеси при радиальном прессовании ещё в 1981 году были изложены в работе [4]. Они включают в себя: нанесение набрызгбетонной смеси под действием центробежной силы на стенки формы; укатка роликами бетона внутренней стенки трубы; заглаживание внутренней поверхности «юбкой». Уплотнение раструбной части трубы производится при помощи вибростола. В процессе формования трубы возникают радиальные и тангенциальные силы, при этом тангенциальная сила может вызывать смещение арматурного каркаса.

С момента начала использования метода радиального прессования различными специалистами и учёными разрабатывались теории объясняющие процессы происходящие в процессе формования изделия [9]. Так Небулони М. в своей работе предлагает следующий расчёт коэффициента уплотнения бетонной смеси при радиальном прессовании:

$$K_y = K_3 V_p \sqrt{\frac{1}{D_{вн} b V_n}}, \quad (1),$$

где K_3 – коэффициент равный 0,0115;

V_p – окружная скорость роликовой головки, принимаемая 2,5-4,0 м/с;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр трубы;

b – толщина стенки трубы;

V_n – скорость подъёма роликовой головки.



Рис. 2. Роликовая головка

В источнике [4] приводится информация о неравномерном распределении прочности бетона в стенке трубы – прочность бетона на сжатие уменьшается от внутренней стенки трубы к наружной и может отличаться на 15-25%, что объясняется снижением коэффициента уплотнения бетона от внутренней к наружной стенке. Также при производстве труб методом радиального прессования предъявляются жёсткие требования к рабочему составу бетонной смеси и точности дозирования её компонентов [10].

Литература

1. А. Ю. Черемисинов и А. А. Черемисинов, Строительство и эксплуатация систем сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения, Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2015, р. 241.
2. М. Bealey и J.J. Duffy, Concrete pipe handbook, Irving: American concrete pipe association, 1998.
3. Сенкевич Т.П., Рагольский С.З., Померанец В.Н., Железобетонные трубы, Москва: Стройиздат, 1989, р. 272.
4. В. И. Мелихов, А. Г. Грайфер, С. К. Казарин, А. С. Лукоянов и В. П. Покомарёв, Производство бетонных и железобетонных труб способом радиального прессования, Москва: ВНИИЭСМ, 1981, р. 61.
5. В. П. Понаморёв и С. К. Казарин, «Технологические линии и оборудование по производству безнапорных труб и колец методом радиального прессования,» Бетон и железобетон, № 10, pp. 31-34, 1977

6. Т.П. Сенкевич, С.З. Рагольский, В.Н. Померанец, Железобетонные трубы, С. Рагольский, Ред., Москва: Стройиздат, 1989, р. 272.
7. Ю. А. Тевелёв, Железобетонные трубы. Проектирование и изготовление, Москва: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2004, р. 328.
8. Н.-В. Horlacher, Ред., Rohrleitungen 1. Grundlagen, Rorwerkstoffe, Komponenten, Dresden, 2016, р. 545.
9. С. I, «Gravitacios betoncsövek gyartasa hengerlessel,» Építőanyag, № 11, pp. 423-431, 1973.
10. М. П. Нажуев, П. М. Джамилова, Ф. А. Батаева, З. И. Бакаев, А. Х. Кукаев и А. Османов, «Влияние режимов виброцентрифугирования на свойства получаемых бетонов,» Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 1, pp. 8-19, 2021.

624.21.01/.09; 624.04

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕБРИСТЫХ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ

В.А. Ходяков

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, xva609@gmail.com

Предметом исследования является различная величина динамического воздействия на пролётное строение мостовых сооружений от движущегося тяжёлого автотранспорта. В исследовании удалось дифференцировать величину динамического воздействия в зависимости от длины пролёта, его конструкции и частоты собственных колебаний. По результатам нескольких серий динамических испытаний построены диаграммы зависимости динамического воздействия, выраженного в максимальной амплитуде виброскорости от скорости движения автомобиля. Описаны факты возникновения резонанса пролётного строения и его влияние на величину динамического воздействия. Основные выводы представленных результатов исследования: при движении по ровной дороге динамическое воздействие повышается с увеличением скорости, а в случае движения по неровностям наоборот – снижается.

Ключевые слова: испытание, виброскорость, пролётное строение, динамическая нагрузка, частота колебаний, скорость.

Было проведено несколько испытаний мостовых сооружений различной конструкции на территории Республики Беларусь. Пролётные строения всех испытанных сооружений являются железобетонными ребристыми. Испытывались как разрезные, так и неразрезные пролётные строения. При испытании определялись частоты собственных колебаний пролётных строений для общего анализа возможности возникновения случаев резонанса.

Эффект резонанса возникает тогда, когда грузовой автомобиль движется с определённой скоростью, при которой частота прохождения колёсных осей совпадает с частотой собственных колебаний пролётного строения. Для проведения нашего анализа примем в качестве основной нагрузку от грузового трёхосного самосвала МАЗ 6501 (Рис. 1) – самого тяжёлого из наиболее распространённых самосвалов в Республике Беларусь [1].

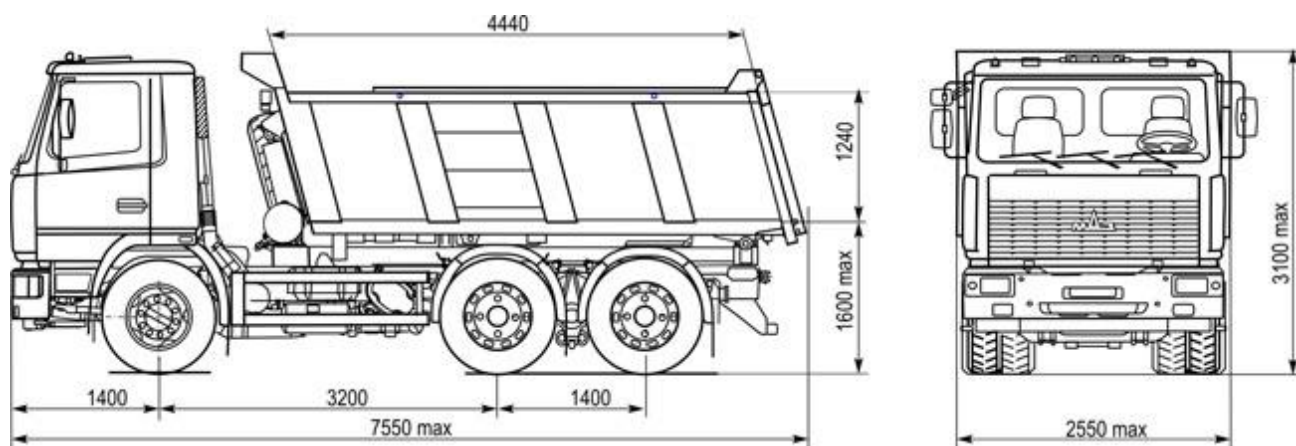


Рис. 1. Геометрические характеристики самосвала МАЗ-6501 с полной массой 33,5 тонны

Критическую скорость движения, при которой возникают вынужденные колебания, которые могут вызвать эффект резонанса пролётного строения можно вычислить, умножив расстояние между выбранными осями автомобиля на частоту собственных колебаний пролётного строения. В соответствии со схемой эти расстояния составляют 1400 мм, 3200 мм и 4600 мм. Результаты анализа различных пролётных строений сведены в таблицу 1. Полуожирным выделена длина пролёта, в котором непосредственно проводились измерения.

Таблица 1. Частотные характеристики сооружений

№	Тип пролётного строения	Тип опорных частей	Схема пролётного строения	Основная частота собственных колебаний	Критическая скорость, км/ч		
					2-3 ось 1,4 м	1-2 ось 3,2 м	1-3 ось 4,6 м
1	Температурно-неразрезное 3.503.1-81	РОЧ 300x400	24 +24+24+24	4,75	24	55	79
2	Температурно-неразрезное 3.503.1-73	ПОЧ 210x195	15 +15+15	9,25	47	107	153
			15+15+ 15	11,25	57	130	168
3	Температурно-неразрезное 3.503.1-81	ЛПЧ24.1000	21 +18+24+21	5,5	28	63	91
			21+ 18 +24+21	7,7	39	89	128
			21+18+ 24 +21	5,0	25	58	83
4	Неразрезное 3.503.1-81 с накладной плитой	ЛПЧ33.1400	18 +24+18	9,75	49	112	161
5	Неразрезное «балки Журавлева»	ЛПЧ15.400	24 +24	2,4	12	28	40

Анализируя данные в таблице, можно заключить что регулярное возникновение резонанса является нормальным для пролётных строений мостовых сооружений вне зависимости от длины пролёта и типа расчётной схемы пролётного строения.

С другой стороны, попытаемся проанализировать то, как зависит величина динамической добавки, выраженная в пиковом значении виброскорости, от скорости движения автомобиля на одном и том же сооружении (Рис. 2-5).

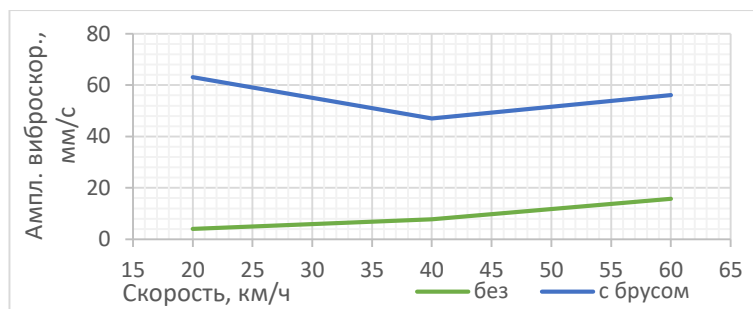


Рис. 2. Зависимости пикового значения амплитуды виброскорости от скорости движения автомобиля. Испытание № 3, пролёт 21 м.
На скорости 63 км/ч резонанс

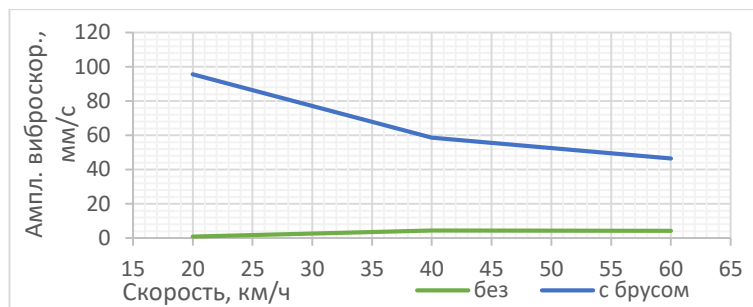


Рис. 3. Зависимости пикового значения амплитуды виброскорости от скорости движения автомобиля. Испытание № 3, пролёт 18 м.
На скорости 39 км/ч резонанс

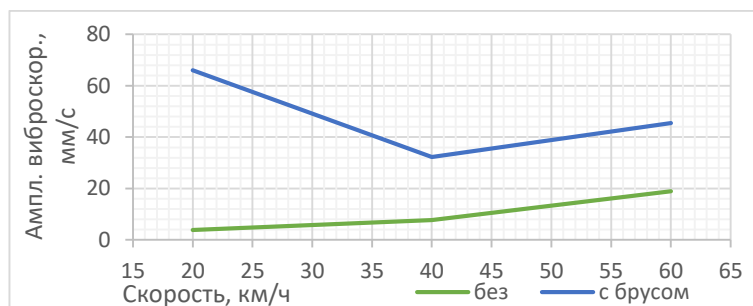


Рис. 4. Зависимости пикового значения амплитуды виброскорости от скорости движения автомобиля. Испытание № 3, пролёт 24 м.
На скорости 58 км/ч резонанс

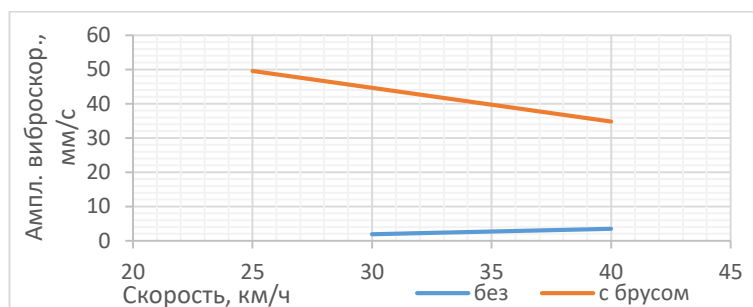


Рис. 5. Зависимости пикового значения амплитуды виброскорости от скорости движения автомобиля. Испытание № 4, пролёт 24 м

По графикам можно чётко видеть, что величина динамического воздействия, выраженного в пиковой амплитуде виброскорости, в случае движения самосвала без неровностей на проезжей части невелика и с ростом скорости незначительно растёт. При движении самосвала по искусственной неровности в виде бруса, динамическое воздействие выше на порядок и его величина падает с увеличением скорости движения.

Таким образом можно заключить, что наибольшая величина динамического воздействия имеет место не только в случае возникновения резонанса, но и в случае движения самосвала по большим неровностям с небольшими скоростями.

С точки зрения обывателя, чем с большей скоростью движется самосвал, тем выше величина динамического воздействия от него. И это верно для нового сооружения при отсутствии неровностей на проезжей части. Однако отсутствие неровностей — это практически лабораторные условия для оценки динамического воздействия. В действительных условиях эксплуатации эти неровности появляются по мере износа покрытия, образования выбоин или случайного появления какого-либо мусора на проезжей части.

Как показывают результаты испытания, для случая движения по неровностям, движение на более высоких скоростях предпочтительно для снижения динамического воздействия на сооружение. Наше же обывательское желание снизить скорость чтобы медленнее проехать по неровностям связано скорее с вопросами безопасности – «Если я еду медленно, то быстрее успею отреагировать на возможное непредсказуемое поведение автомобиля». Кроме того, при движении автомобиля на высокой скорости возможен эффект «пробоя» подвески – случай, когда достигается предел хода пружины или рессоры и возникает резкая ударная нагрузка в корпус автомобиля. В этом случае высок риск потери управления автомобилем особенно в случае движения на высоких скоростях.

Если рассматривать ситуацию с точки зрения механики, то следует сначала обозначить то, что причиной динамического воздействия являются силы инерции, действующие на автомобиль «падающий» на пролётное строение. Далее следует разделить массу автомобиля на подрессоренную – корпус автомобиля с грузом и неподрессоренную – масса подвижной части подвески и колёс.

Дело в том, что при наезде на неровность на высокой скорости подрессоренная масса не успевает смещаться в вертикальном направлении, а значит просто не успевает «упасть» на пролётное строение. Неровность «отыгрывается» подвеской автомобиля очень быстро, не давая практически никакого воздействия на подрессоренную массу. Основной же динамический эффект в этом случае возникает от сил инерции, действующих на неподрессоренную массу автомобиля, которая относительно невелика, а воздействие от неё незначительно.

В случае же движения на низкой скорости подрессоренная масса успевает повторять практически ту же траекторию что и неподрессоренная. В этом случае силы инерции подрессоренной массы оказывают на порядок более значительное воздействие на пролётное строение, что и вызывает высокую величину динамического воздействия.

Литература

1. Минский автомобильный завод: каталоги для загрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maz.by/ru/products/catalogs/>. – Дата доступа: 14.04.2020.
2. Ходяков В.А. «Анализ динамических воздействий подвижной нагрузки на балки пролётного строения» // Автомобильные дороги. 2020 №2 (26). С. 29–36.
3. Ходяков В.А., Кулан А.В., Савина Е.Н., Бойко И.Л., Гречухин В.А. «Диагностика участков мостового полотна и подходов в зонах устройства деформационных швов на автодорожных мостах» // Наука и техника, г. Минск: БНТУ, 2021г – Том 20, № 1, С. 10 – 15.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОНСТРУКЦИИ ПУТЕПРОВОДА

В.А. Ходяков

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, xva609@gmail.com

Предметом исследования является различная величина и характер распределения виброскорости по длине пролётного строения в зависимости от типа деформационного шва. Также затронута гипотеза о достоверности самостоятельного интегрирования сигнала при получении осциллограмм виброперемещения. Проведено сравнение четырёх серий динамических воздействий на железобетонное пролётное строение от проезжающей нагрузки в виде гружёных самосвалов. Исследования проводились в рамках мониторинга на путепроводе с двумя типами деформационных швов. Измерения проводились в начале и в конце моста. Сделаны выводы о характере и степени распространения динамической нагрузки. Проведено сравнение динамического воздействия для двух типов деформационных швов и различного расположения их по отношению к направлению движения нагрузки.

Ключевые слова: мониторинг, виброскорость, виброперемещение, пролётное строение, путепровод, деформационный шов, опорная часть.

Анализ динамических воздействий на зону устройства деформационного шва и пролётного строения в целом был проведён по результатам мониторинга одного из путепроводов на Минской кольцевой автодороге. Путепровод трёхпролётный, пролёты длиной по 12 м. Пролётное строение температурно-неразрезное, ребристое, железобетонное с каркасной арматурой. Опорные части полиуретановые. Деформационные швы на правом пролётном строении с плитными резинометаллическими элементами. На левом – со щебеночно-мастичной вставкой. Деформационные швы сильно изношенные.

Сбор данных производился при помощи вибрографа Вибран-3 с тремя преобразователями 608A11, расположенными на нижнем ребре балки пролётного строения под исследуемой полосой движения (рис. 1).

Данные, полученные в ходе видеофиксации нагрузки и измерения виброскоростей, а также результаты самостоятельного интегрирования осциллограммы виброскорости в осциллограмму виброперемещения представлены на рисунках 2-9.

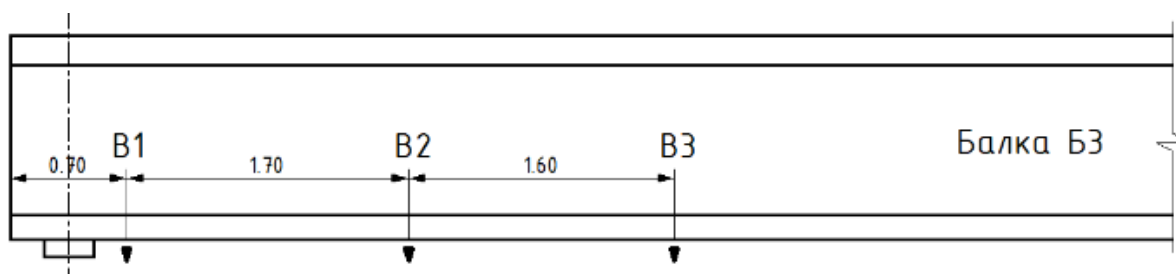


Рис. 1. Схема расположения вибропреобразователей

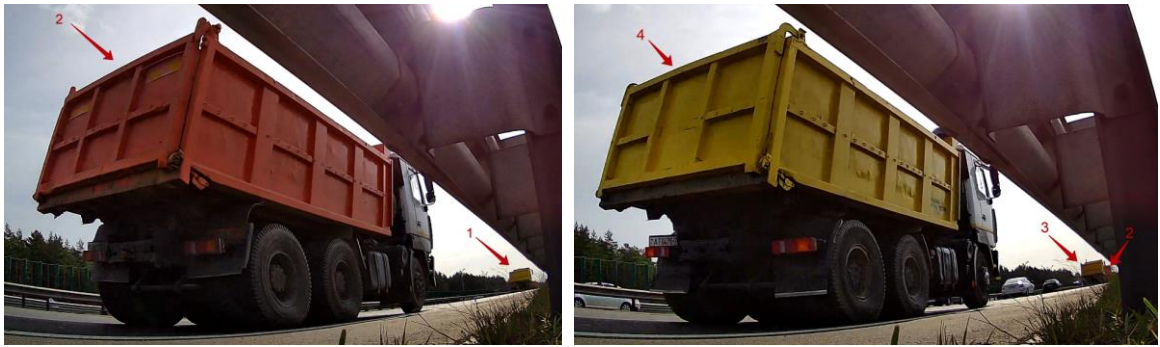


Рис. 2. Измерение № 1. Видеофиксация нагрузки – колонна из четырёх гружёных самосвалов

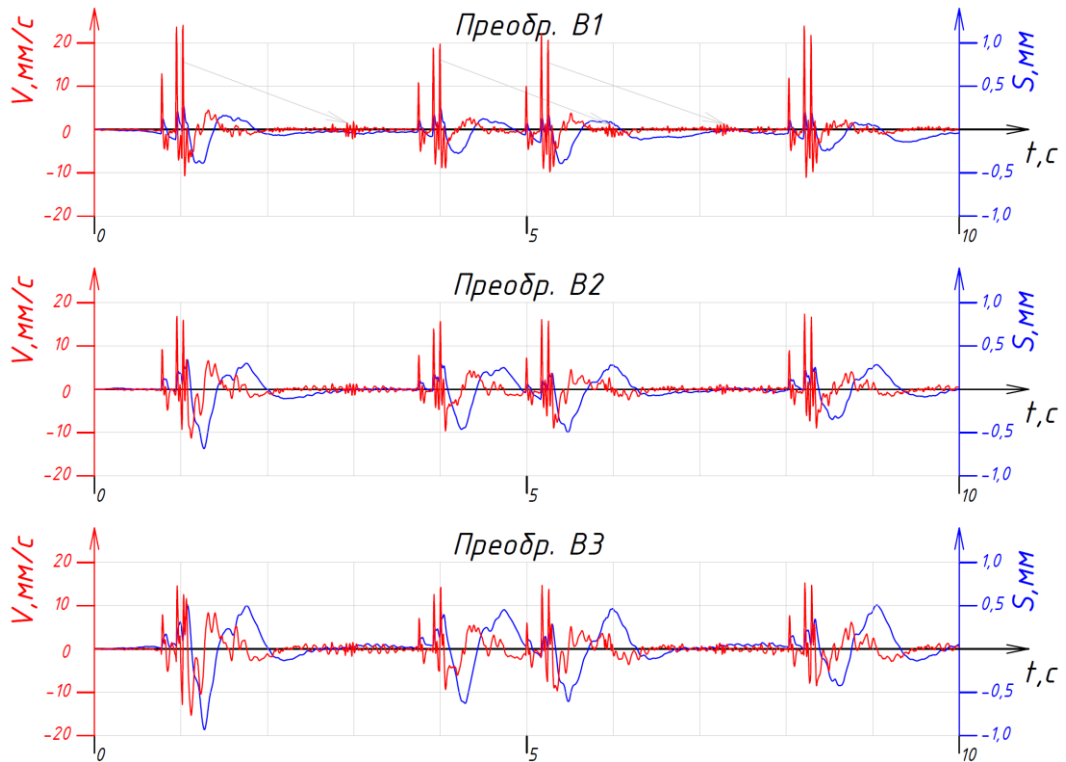


Рис. 3. Измерение № 1. Осциллограмма виброускорения и виброперемещения. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами. Первый шов по ходу движения нагрузки

По пролётному строению в период мониторинга проходила разнообразная нагрузка. Для анализа были выбраны случаи группового прохождения через сооружение гружёных самосвалов типа МАЗ 6502.



Рис. 4. Измерение № 2. Видеофиксация нагрузки – колонна из двух гружёных самосвалов

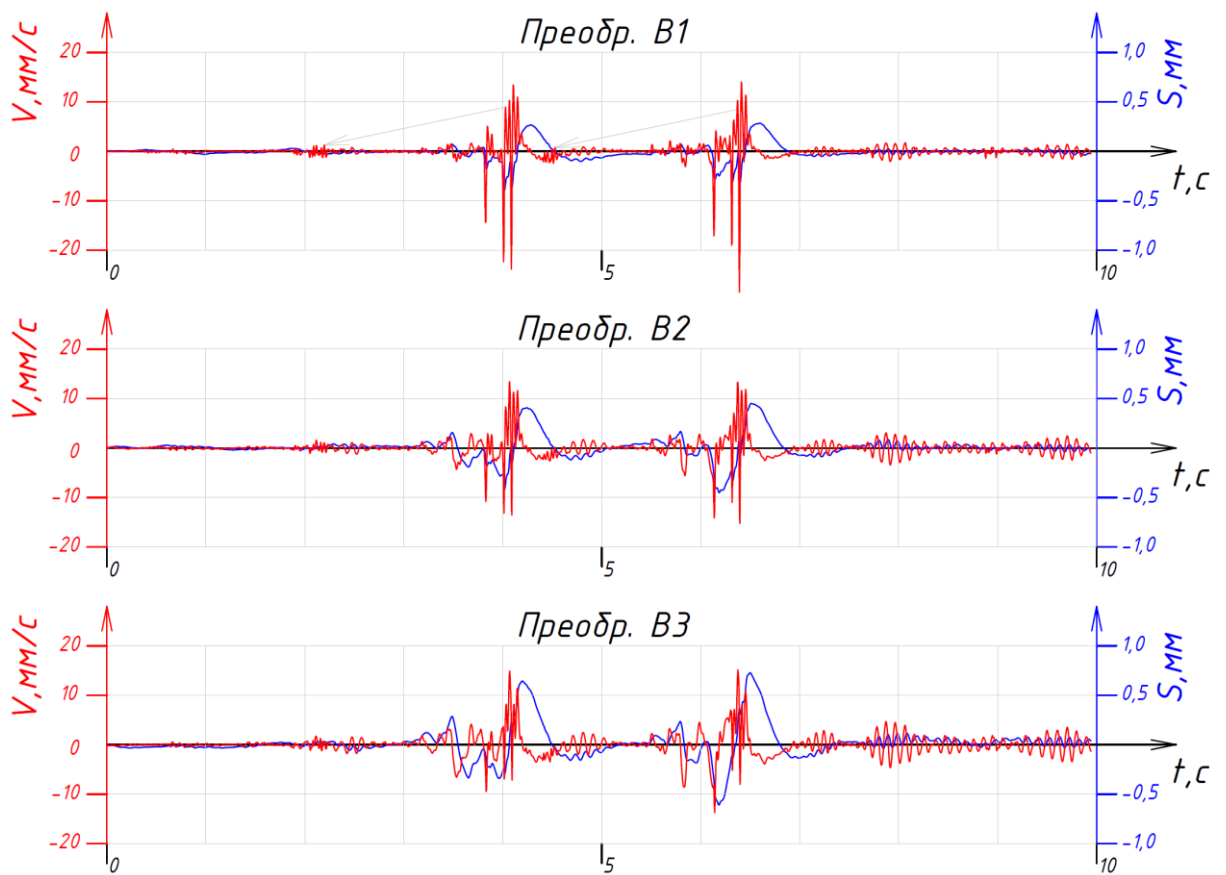


Рис. 5. Измерение № 2. Осциллограмма виброускорения и виброперемещения. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами. Второй шов по ходу движения нагрузки

Серыми стрелками на осциллограммах преобразователя В1 показаны виброотклики которые были зафиксированы от прохождения нагрузкой деформационного шва находящегося на другом конце сооружения.

На всех осциллограммах положительное значение измеряемых параметров принято в направлении силы тяготения. Положительное – вертикально вниз.



Рис. 6. Измерение № 3. Видеофиксация нагрузки – колонна из двух гружёных самосвалов

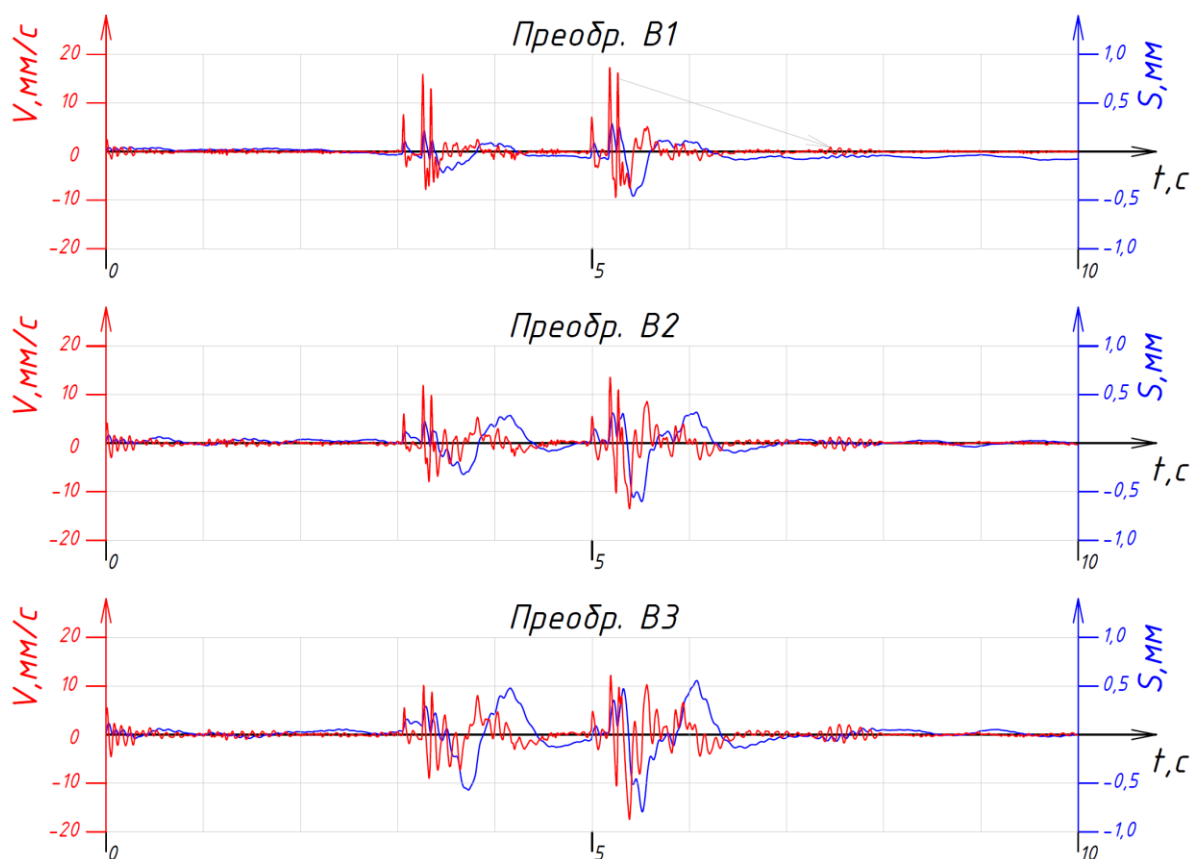


Рис. 7. Измерение № 3. Осциллограмма виброускорения и виброперемещения.
Деформационный шов со щебеночно-мастичной вставкой.
Первый шов по ходу движения нагрузки



Рис. 8. Измерение № 4. Видеофиксация нагрузки – два отдельно идущих гружёных самосвала

Разберём вопрос достоверности результатов самостоятельного интегрирования осциллограмм виброперемещения. Известно, что прибор Вибран-3 имеет собственные возможности по измерению виброперемещения. Однако в этом случае чувствительность преобразователей, как показала практика, для наших задач недостаточна. Поэтому была принята попытка самостоятельного интегрирования сигнала.

Анализируя осциллограммы виброперемещений на рисунках 3 и 7, рождается гипотеза о том, что перепутано направление оси ординат. Если поменять её направление, то при заезде нагрузки будет наблюдаться перемещение вниз, а через несколько секунд – вверх, что очень напоминает перемещения при проезде нагрузки по неразрезному пролётному строению.

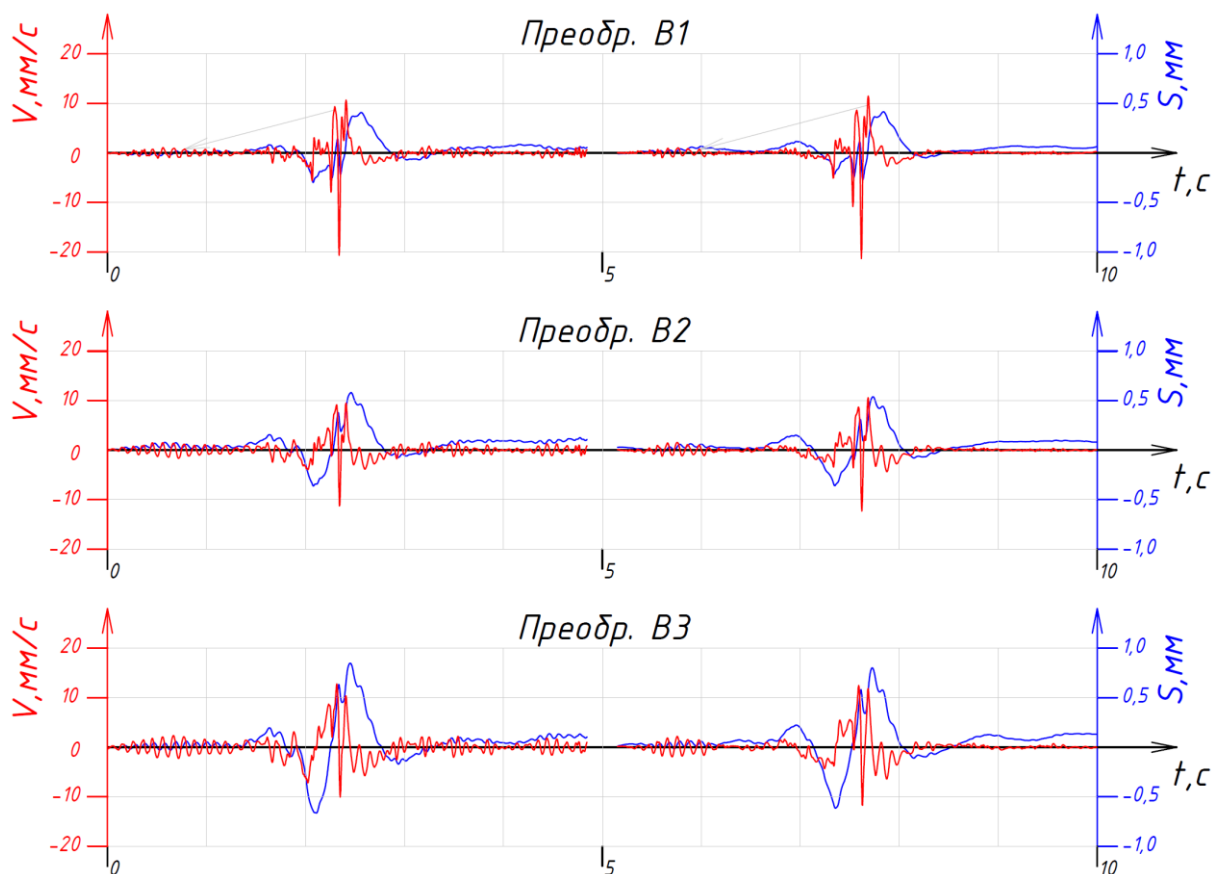


Рис. 9. Измерение № 4. Осциллограмма виброускорения и виброперемещения. Деформационный шов со щебеночно-мастичной вставкой. Второй шов по ходу движения нагрузки

Против этой гипотезы говорит несколько факторов:

1. Пролётное строение температурно-неразрезное и полной неразрывностью не обладает.
2. Осциллограмма перемещений на рисунках 5 и 9 должна быть зеркальной, однако, это не так.
3. Были выполнены измерения перемещения пролётного строения при помощи индикатора часового типа ИЧ-10 в месте установки преобразователя В1 – никаких отрицательных перемещений не зафиксировано – только прогибы.
4. Был проведён дополнительный лабораторный опыт на однопролётной балке с аналогично закреплённым оборудованием. Во время опыта на балку был сброшен груз – построены аналогичные осциллограммы (рис. 10).

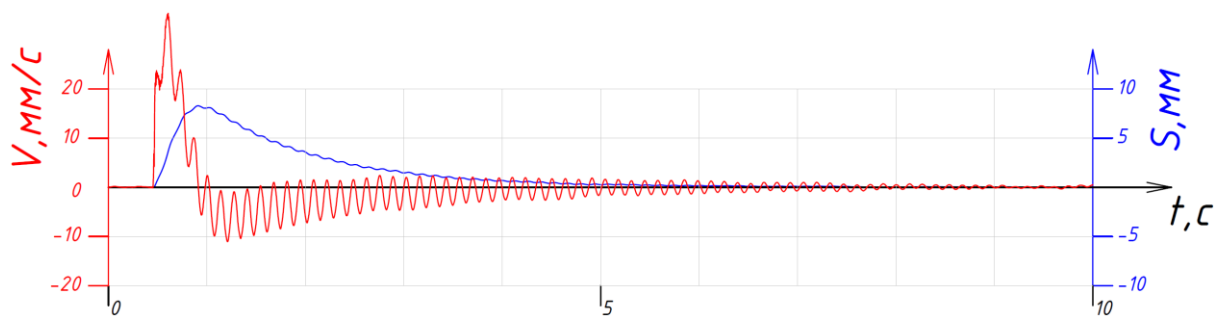


Рис. 10. Лабораторный опыт. Осциллограмма виброускорения и виброперемещения

Таким образом, результаты самостоятельного интегрирования приняты недостоверными. Окончательное подтверждение этому видно по совершенно некорректной

осциллограмме виброперемещения по результатам лабораторного опыта. Лабораторный опыт также подтверждает правильность выбора направления оси ординат – при сбросе груза на балку направление первого возмущения совпадает с направлением силы тяготения.

Причиной отсутствия достоверного результата интегрирования, вероятно, являются внутренние алгоритмы сглаживания сигнала и фиксации уплывающего ноля прибора Вибран-3.

Выводы по анализу:

1. Высокая воспроизводимость результатов.

Несмотря на то, что грузовики могут отличаться индивидуальными особенностями конструкции, состоянием, траекторией движения, степенью и равномерностью загруженности, наблюдается принципиальная воспроизводимость результатов измерения. Осциллограммы очень схожи даже на деформационных швах различного типа.

2. Динамическое воздействие на конструкции в непосредственной близости от шва для шва со щебеночно-мастичной вставкой ниже.

Амплитуды виброскорости от удара о шов в прилегающих конструкциях для шва со щебеночно-мастичной вставкой до 25 % ниже, чем для шва с плитными резинометаллическими элементами. Для более точной оценки необходимо провести анализ большой выборки измерений, что и планируется в дальнейшем.

3. Динамическое воздействие на конструкции на другом конце путепровода для шва с плитными резинометаллическими элементами ниже.

Подчеркну, речь идёт об оклике в конструкциях на другом конце сооружения при ударе о деформационный шов. Здесь наоборот, амплитуды виброскорости для шва со щебеночно-мастичной вставкой до двух раз выше, чем для шва с плитными резинометаллическими элементами. Для более точной оценки необходимо провести анализ большой выборки измерений, что и планируется в дальнейшем.

4. Динамическое воздействие для одного типа шва от удара в начале моста выше, чем от удара в конце моста.

Это правило справедливо как для воздействия на конструкции в непосредственной близости от удара, так и на конструкции на противоположном конце сооружения. Разница до двух раз.

По четвёртому выводу стоит подчеркнуть, что для сравнения рассматривается только положительная (направленная вниз) часть амплитуды виброскорости. Перспективной целью исследования является косвенная оценка динамической составляющей к статическим усилиям, возникающим в балках пролётного строения.

Если рассматривать колебание пролётного строения как последовательность чередующихся по направлению, перетекающих друг в друга импульсов. В каждом колебании можно выделить пиковое значение импульса, направленного вверх и вниз. Соответственно импульс направленный вверх приводит в конечном итоге к разгрузке пролётного строения, а импульс, направленный вниз – в догрузке.

Если подойти к вопросу с другой стороны, то при помощи закона сохранения энергии достаточно просто доказывается, что при постоянной массе и жёсткости пролётного строения пиковой скорости перемещения точек на пролётном строении соответствует и последующее пиковое значение перемещений, а значит и усилий, возникающих в конструкции.

Таким образом, в этом и дальнейших исследованиях принято решение учитывать только положительную (направленную вниз) часть амплитуды виброскорости.

Литература

1. Части опорные из литьевого полиуретана для мостовых сооружений. Технические условия : СТБ 2134-2010. – Введ. 01.07.11 (с отменой на территории РБ СТБ 1165-99). – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2016. – 16 с.

2. Овчинников, И. И. Повреждения зон сопряжения дорожных одежд и деформационных швов на мостовых сооружениях: возможные причины и способы их устранения / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Ш. Н. Валиев // Науковедение. – 2013. – № 6. – С. 148.

3. Золотухин, Ю. Д. Испытание строительных конструкций : учеб. пособие / Ю. Д. Золотухин. – Минск : Высшая школа, 1983. – 208 с.

4. Долидзе Д. Е. Испытание конструкций и сооружений : учеб. пособие / Д. Е. Долидзе. – Москва : Высшая школа, 1975. – 252 с.

5. Ходяков В.А. «Анализ динамических воздействий подвижной нагрузки на балки пролётного строения» // Автомобильные дороги. 2020 №2 (26). С. 29–36.

6. Ходяков В.А., Кулан А.В., Савина Е.Н., Бойко И.Л., Гречухин В.А. «Диагностика участков мостового полотна и подходов в зонах устройства деформационных швов на автодорожных мостах» // Наука и техника, г. Минск: БНТУ, 2021г – Том 20, № 1, С. 10 – 15.

УДК 624.042

О МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Л.В. Гулицкая, О.С. Шиманская

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, nil_mis@bntu.by

В статье рассмотрены примеры периодического мониторинга состояния мостовых сооружений г. Минска, которые проведены сотрудниками НИЛ МИС БНТУ. Мониторинг состояния несущих конструкций мостовых сооружений проводился по результатам обследования мостового сооружения для контроля состояния конструкций с целью обеспечения безопасной эксплуатации сооружения в целом. Основные работы, которые были проведены в рамках мониторинга городских мостов и путепроводов г. Минска, - это геодезические измерения для контроля возможного развития прогибов балок пролетных строений и наблюдение за степенью активности выявленных трещин по бетону элементов пролетных строений и опор. Приведены результаты мониторинга и разработанные рекомендации по полученным результатам проведенных работ в рамках мониторинга несущих конструкций мостовых сооружений.

Ключевые слова: мониторинг состояния, несущие конструкции, мостовые сооружения, прогибы балок, трещины.

Для обеспечения безопасной эксплуатации мостовых сооружений в настоящее время все чаще применяется мониторинг состояния несущих конструкций мостов и путепроводов в рамках их содержания [1, 2]. При этом мониторинг состояния рассматривается как анализ изменения во времени определенных количественных критериев состояния конструкции. Мониторинг состояния несущих конструкций может быть непрерывным и периодическим. Периодически могут проводиться, например, геодезические измерения для контроля прогибов пролетных строений и просадок опор, наблюдение за степенью активности трещин по бетону конструкций и т.д. Непрерывный мониторинг основан на применении комплексной системы мониторинга с установкой специальных датчиков и с использованием измерительной аппаратуры для получения информации о состоянии конструкции в режиме реального времени [3]. Необходимость проведения мониторинга мостовых конструкций и его режим определяется по результатам обследования мостового сооружения специализированной организацией.

Научно-исследовательская лаборатория мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) Белорусского национального технического университета активно участвует в мониторинге состояния мостовых сооружений г. Минска, выполняя работы по периодическому мониторингу состояния несущих конструкций городских мостов и путепроводов.

Основные работы, проводимые в рамках мониторинга состояния пролетных строений и опор мостовых сооружений г. Минска, следующие:

- съемка высотного положения низа балок пролетных строений по фиксированным контрольным точкам в опорных сечениях и в середине пролетов с определением прогибов балок в середине пролетов,

- наблюдение за степенью активности трещин по бетону балок и ригелей опор по установленным маякам на контрольные трещины.

Рассмотрим проведение и полученные результаты мониторинга состояния пролетных строений моста через р. Лошица по ул. Маяковского в г. Минске. По результатам обследования в 2019 году с учетом существующего состояния мостового сооружения было рекомендовано производить периодический мониторинг состояния крайних балок Б-1 и Б-20 пролетных строений, включающий определение прогибов балок в середине пролетов и наблюдение за степенью активности трещин в приопорных зонах балок. Данные трещины появились в процессе строительства сооружения и были зафиксированы во время обследования с испытанием при сдаче в эксплуатацию моста в 2009 году. В ходе мониторинга состояния пролетных строений моста через р. Лошица по ул. Маяковского в течение 2019-2021 гг. были выполнены следующие работы:

1. Фиксирование контрольных точек балок Б-1 и Б-20 в опорных сечениях и в середине пролетов.

2. Съемка высотного положения низа балок Б-1 и Б-20 с определением прогибов балок в середине пролетов (2 раза в год).

3. Установка гипсовых маяков на контрольные трещины в приопорной зоне балок Б-1, Б-2, Б-19, Б-20 пролетных строений №1, 2, 3.

4. Наблюдение за степенью активности трещин в приопорных зонах балок (по маякам).

Анализ полученных результатов съемки высотного положения низа балок Б-1 и Б-20 с определением прогибов балок в середине пролетов показал, что за период с 08.10.2019 до 10.12.2021 не произошло нарастания прогибов крайних балок пролетных строений, а имеющиеся отличия в результатах могут быть связаны с допустимыми отклонениями при выполнении инструментальных измерений.

Для наблюдения за трещинами по бетону балок пролетных строений 15.06.2020 были установлены гипсовые маяки на контрольные трещины в приопорной зоне балок Б-1, Б-2, Б-19, Б-20 пролетных строений №1, 2, 3. Всего было установлено 24 маяка (рис. 1, 2). В результате наблюдения за степенью активности трещин в приопорных зонах балок по маякам (контрольные осмотры проводились 2 раза в год – в летний и зимний периоды) факты раскрытия трещин в маяках не выявлены, что свидетельствует о стабилизации наблюдаемых трещин по бетону балок пролетных строений (в период мониторинга 2019-2021 гг.).

С учетом полученных в ходе мониторинга результатов эксплуатирующей организации даны рекомендации далее проводить регулярный мониторинг состояния крайних балок (под тротуарами) пролетных строений №1÷№3, включающий съемку высотного положения низа балок Б-1 и Б-20 (по закрепленным точкам) с определением прогибов балок в середине пролетов и наблюдение за степенью активности трещин по бетону в приопорных зонах балок по установленным маякам. Определение прогибов и наблюдение за трещинами рекомендуется проводить не реже 2 раз в год с записью результатов в книгу искусственного сооружения. В случае возрастания прогибов и обнаружения факта раскрытия трещин в маяках рекомендуется обратиться в

специализированную организацию для выработки режима дальнейшей эксплуатации сооружения.



Рис. 1. Маяки, установленные на трещины в приопорной зоне балки Б-20 пролета №1.

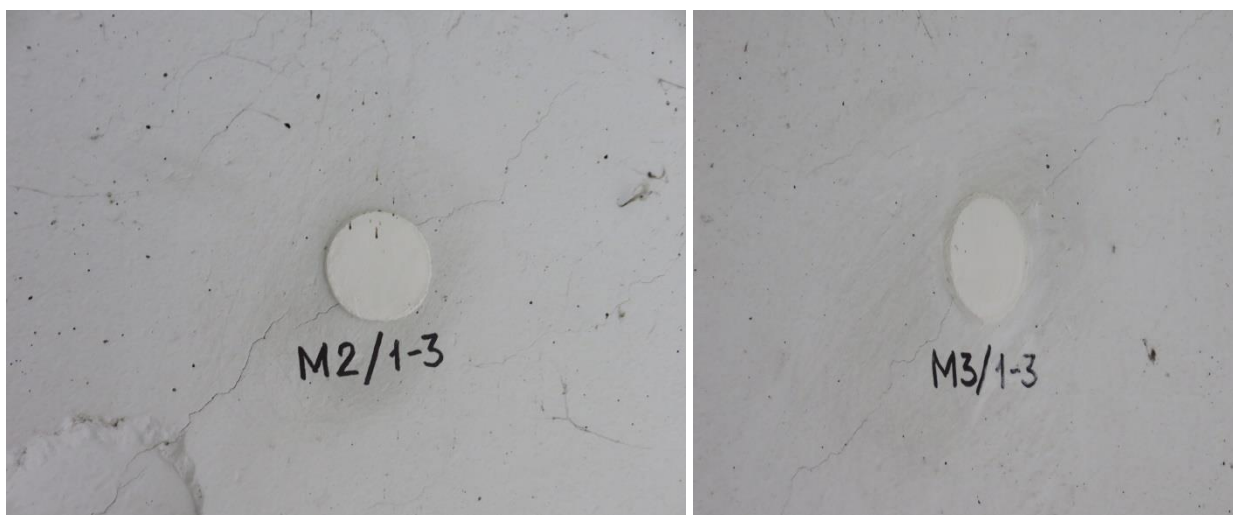


Рис. 2. Маяки, установленные на трещины в приопорной зоне балки Б-1 пролета №3.

Мониторинг состояния опор мостового сооружения рассмотрим на примере проводимого мониторинга состояния ригелей опор путепровода через ул. Шафарнянская по пр. Независимости. По результатам обследования в 2019 году с учетом существующего состояния мостового сооружения было рекомендовано производить периодический мониторинг состояния элементов опор путепровода, выполняя наблюдение за степенью активности выявленных трещин по бетону ригелей промежуточных опор №2÷№4. В ходе проводимого мониторинга в течение 2020-2021 гг. были выполнены следующие работы:

1. Установка гипсовых маяков на контрольные трещины по бетону ригелей промежуточных опор №2, №3, №4.

2. Наблюдение за степенью активности контролируемых трещин по бетону ригелей промежуточных опор №2÷№4 (обнаружение факта раскрытия трещин в маяках).

Для наблюдения за трещинами по бетону ригелей промежуточных опор №2, №3, №4 - 18.06.2020 были установлены гипсовые маяки на контрольные трещины по бетону ригелей промежуточных опор №2, №3, №4. Всего было установлено 12 маяков (рис. 3, 4).

В результате наблюдения за степенью активности трещин по бетону ригелей промежуточных опор №2, №3, №4 по установленным маякам (контрольные осмотры проводились 2 раза в год – в летний и зимний периоды) факты раскрытия трещин в маяках не выявлены, что свидетельствует о стабилизации наблюдаемых трещин по бетону ригелей опор за период мониторинга (2020-2021 гг.).



Рис. 3. Маяки, установленные на трещины по бетону ригеля опоры №4.



Рис. 4. Маяк, установленный на трещину по бетону ригеля опоры №3.

С учетом полученных в ходе мониторинга результатов эксплуатирующей организации даны рекомендации далее проводить регулярный мониторинг состояния элементов опор путепровода, выполняя наблюдение за степенью активности трещин по бетону ригелей промежуточных опор. В случае обнаружения факта раскрытия трещин в маяках рекомендуется обратиться в специализированную организацию для выработки режима дальнейшей эксплуатации сооружения.

Работы по мониторингу состояния несущих конструкций мостовых сооружений могут проводиться силами эксплуатирующей организации в рамках содержания сооружения или специализированной организацией по договору с эксплуатирующей организацией. Мониторинг состояния мостовых сооружений, учитывая сроки эксплуатации

действующих мостов и путепроводов в РБ, все чаще становится неотъемлемой частью содержания сооружений наряду с текущими и периодическими осмотрами, диагностикой и плановым обследованием мостов и путепроводов на автомобильных дорогах нашей страны.

Литература

1. Васильев А.И. Мониторинг технического состояния мостовых сооружений: учебное пособие / А.И. Васильев . – Москва: МАДИ, 2021. – 120 с.
2. Рябцев В.Н. Выявление повреждений мостов по параметрам их отклика на динамические воздействия / В.Н. Рябцев // Автомобильные дороги и мосты. – 2020 - №1(25). – С. 24-31.
3. Соломахо В. Мониторинг строительных конструкций как фактор обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений / В. Соломахо, А. Волчок, Д. Соломахо // Архитектура и строительство. – 2010. - №4. – С. 110-112.

**СЕКЦИЯ
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ»**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Н.И. Рудницкая

Государственное предприятие «Белгеодезия»,
пр. Машерова, 17, 220029, г. Минск, Беларусь, info@belgeodesy.by

В данном докладе рассматриваются вопросы, связанные с приведением действующих в Республике Беларусь государственных систем отсчета геодезических координат и нормальных высот в соответствие с современными международными стандартами в части геодезических систем отсчета согласно Резолюциям Генеральных Ассамблей Международного Союза геодезии и геофизики (далее – IUGG) и Международной Ассоциации геодезии (далее – IAG) 2015 и 2019 годов.

Ключевые слова: государственная геодезическая сеть; СК-95; геоцентрическая система отсчета координат; система координат РБ.

Двойственная природа геодезии заключается в следующем:

с одной стороны, геодезия – основа (базис) для представления горизонтального и вертикального положения (и их вариаций во времени) объектов на Земле и в околоземном пространстве в глобальной или в национальных системах отсчета, главным образом, для обеспечения социальных нужд в геопространственных данных;

с другой стороны, геодезия является фундаментальной наукой, которая использует широкий ряд (спектр) наземных наблюдений и космических технологий на разных платформах, вносящих вклад в понимание феномена «Система Земля» и, в особенности, в понимание ее динамического и геометрически-гравиметрического взаимодействия. Базовыми составляющими современной геодезии, как фундаментальной науки, являются изучение вращения Земли и движения полюсов, гравитационного поля Земли и создание современных систем отсчета: координат, физических высот, ускорений силы тяжести.

При определении круга задач специалисты государственного предприятия «Белгеодезия» помимо Резолюций IUGG и IAG руководствуются Конвенциями Международной службы вращения Земли и систем отсчета. Поскольку территориально Республика Беларусь относится к Европейской подкомиссии комиссии Международной Ассоциации геодезии, ответственной за системы отсчета, то в отношении реализации геодезической системы отсчета координат пунктами сети нулевого ранга мы руководствуемся Основными положениями о EUREF Сгущении (Guidelines for EUREF Densifications), поскольку только в этом случае имеется возможность ратификации сети нулевого ранга как национального сгущения ETRF или ITRF. А в отношении задачи установления новой системы отсчета высот (справочно) – Конвенциями об Европейской системе отсчета высот, поскольку в качестве промежуточного решения для реализации новой системы отсчета высот использованы результаты последнего уравнивания объединенной нивелирной сети Европы как последней реализации Европейской системы отсчета высот – EVRF2019. Нивелирная сеть I класса Республики Беларусь включена это решение.

По сути, реализация современных систем отсчета координат и высот сводится к созданию современной комбинированной геодезической сети, в которой в одной точке пространства с высокой степенью точности должны быть определены пространственные координаты (геометрия Земли), нормальная высота и аномальный потенциал (физика Земли). Обеспечение связи нормальной и геодезической высоты через модель аномального поля силы тяжести Земли (локальную модель высот квазигеоида) становится обязательным

условием. Другими словами, необходимо решить задачу создания внутренне согласованной геодезической основы государства.

В настоящее время в Республике Беларусь легитимна система отсчета геодезических координат 1995 года (далее – СК-95), математическая поверхность относимости в которой – эллипсоид Красовского, Балтийская система отсчета высот 1977 года и гравиметрическая система 1971 года (International Gravity Standardization Net 1971 – IGSN71).

Введение СК-95 на территории Республики Беларусь было продиктовано межгосударственными договоренностями между Российской Федерацией (РФ) и Республикой Беларусь (РБ) об едином координатном пространстве, но в территориальных границах Республики Беларусь СК-95 реализована как производная от реализации ITRS (ITRF2005) на эпоху 2008,31 через единые для всего государства официальные параметры связи (7 параметров Гельмерта) [1]. Координаты пунктов государственной спутниковой геодезической сети в ITRS на эпоху 2008,31 и в СК-95 Республики Беларусь соответствуют указанным параметрам с нулевыми остатками. Среднее квадратическое отклонение координат пунктов астрономо-геодезической сети (АГС) в СК-95 Республики Беларусь от координат в «оригинальной» СК-95 составляет ± 5 см. Внутри государственных границ Республики Беларусь точность геодезической основы, реализующей СК-95, значительно выше, чем в «оригинальной» реализации. Геодезические высоты пунктов государственной геодезической сети 1-4 классов, созданной методами триангуляции и полигонометрии, определены с точностью на уровне $\pm 5-10$ см (точность EGM2008 с уточнением ее геометрическим методом на территории города Минска и в его окрестностях [2]). СК-95 Республики Беларусь – трехмерная система отсчета координат + 4 измерение – эпоха реализации ITRS. Параметры связи ITRS – СК-95 Республики Беларусь однозначно «привязаны» к конкретной эпохе реализации ITRS.

Необходимость установления геоцентрической системы отсчета координат обусловлена следующими факторами:

в соответствии с Резолюция № 1 XXVII Генеральной Ассамблеи IUGG и IAG ITRS – международный стандарт. Начало системы в центре масс Земли, GM близка к гравитационной постоянной реальной Земли, угловая скорость вращения есть угловая скорость вращения реальной Земли;

основная научная задача геодезии по определению формы и размеров Земли и ее внешнего гравитационного поля на современном этапе решается в условиях геопотенциала, как скалярной функции 3-D координат с началом отсчета в центре масс Земли;

отсчетный эллипсоид для геодезических координат должен быть уровненным, его параметры должны быть выведены под условием минимизации возмущающей части геопотенциала в глобальном масштабе по всей Земле;

установление геоцентрической системы отсчета координат позволяет реализовать современную систему отсчета физических высот, выраженных в геопотенциальных числах (условиях геопотенциала), как на национальном, так и на глобальном уровне.

Так как СК-95 в Республике Беларусь реализована как производная от реализации ITRS (ITRF2005), то к настоящему моменту времени созданы все предпосылки, обеспечивающие переход к геоцентрической системе отсчета координат:

с 2010 года все основные геодезические работы выполняются в ITRS (пост-обработка результатов GNSS-наблюдений и уравнивание спутниковых геодезических сетей), после чего координаты просто трансформируются в СК-95 Республики Беларусь;

ССТП Республики Беларусь функционирует в ITRS, координаты ССТП «закреплены» на эпоху 2008,31, весь поток данных обрабатывается постоянно с 2010 г., создаются временные серии координат в ITRS, определены скорости изменения координат за счет движения глобальных тектонических плит;

созданы все необходимые инструменты трансформирования координат из ITRS во все легитимные в государстве системы отсчета координат.

Пути реализации геоцентрической системы отсчета координат:

вычисление комбинированного решения (обработка временных серий координат за период времени с 2010 по 2021 год) в полном соответствии с “Guidelines for EUREF Densifications” с прямой геодезической привязкой к опорным пунктам IGS. Сеть нулевого ранга и ПДП ССТП могут быть ратифицированы как национальное сгущение ITRF. Решение включает в себя прямоугольные 3-D координаты на эпоху 2020,0 и скорости изменения координат за счет движения глобальных тектонических плит;

уравнивание СГС-1 с опорой на ПДП ССТП Республики Беларусь с вычислением координат пунктов сети на эпоху 2020,0;

вычисление новых параметров связи ITRS (эпоха 2020,0) – СК-95 Республики Беларусь. СК-95 Республики Беларусь остается промежуточной системой отсчета, поскольку все местные системы координат образованы от координат в СК-95 в картографической проекции Гаусса-Крюгера на эллипсоиде Красовского.

Применяемая в настоящее время государственная система отсчета высот – Балтийская система высот 1977 года (Кронштадтская система). Получена из уравнивания Главной высотной основы (ГВО) СССР, созданной методом геометрического нивелирования I и II классов, как свободной сети, от одного исходного пункта – марки б/№ Ломоносов, расположенной в здании железнодорожного вокзала в г. Ораниенбауме (Ломоносов), высота которой принята равной 5,6480 м ± 0,0076 м. За начало отсчета высот принята имеющая нулевую отметку высоты горизонтальная черта на пластине Тонберга, установленной в устье синего моста на обводном канале в Кронштадте. Средняя квадратическая погрешность километрового хода по результатам уравнивания ГВО для I класса – ±1,6 мм; для II класса – ±2,7 мм. Средняя квадратическая погрешность высоты относительно исходного пункта для узла «Брест» – ±43,7 мм.

Балтийская система высот 1977 года – система нормальных высот. Несмотря на всемирное признание теории Молоденского и закрепленное ГОСТом-22276 «Геодезия. Термины и определения» определение нормальной высоты и задача определения нормальных высот в условиях геопотенциала не решалась. Исходный отсчетный уровень W_0 и приливная система не определены.

А в соответствии с Резолюцией № 1 XXVI Генеральной Ассамблеи IUGG и IAG, система отчета нормальных высот должна быть реализована в условиях геопотенциала: высота есть геопотенциальное число – разность геопотенциала в рассматриваемой точке W_P и потенциала на отсчетной уровневой поверхности с заданным потенциалом W_0 в среднеприливной системе (mean-tide)

$$H_P^Y = \frac{C_P}{\bar{\gamma}} = \frac{W_0 - W_P}{\bar{\gamma}} \quad (1)$$

Стратегия реализации Международной Земной системы отсчета высот на глобальном и национальном уровне предполагает определение с высокой точностью пространственных координат пунктов нивелирования, носителей системы отсчета) относительно центра масс Земли и детального изучения аномального поля силы тяжести (аномального потенциала).

До окончания модернизации государственной гравиметрической сети и выполнения современной гравиметрической съемки новая система отсчета нормальных высот будет реализована на основе значения геопотенциала в пункте нивелирования W_P по одной из глобальных моделей гравитационного поля Земли и значений нормальных высот, полученных в результате уравнивания государственной нивелирной сети I и II классов последнего цикла нивелирования. Формула (1) может быть записана в следующем виде:

$$W_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n W_{P_i} + (H_{P_i}^Y \cdot \bar{\gamma}) \quad (2)$$

На данный момент времени задача определения W_0 решена на основе:

определений по программе ВГС и СГС-1 координат фундаментальных реперов ГВО в ITRS (ITRF2014) на эпоху 2020,0;

вычисления потенциала силы тяжести по нескольким моделям гравитационного поля Земли на фундаментальных реперах ГВО;

сравнения приращений вычисленных значений геопотенциала между указанными пунктами с результатами высокоточного нивелирования;

вычисления W_0 на основе различных наборов нормальных высот (результаты уравнивания Объединенной нивелирной сети Европы (EVRF2019), уравнивания фрагмента ГВО Российской Федерации и нивелирной сети I класса Республики Беларусь, высот пунктов ГВО, приведенных в Сводных каталогах высот последнего года издания);

анализа полученных результатов.

На данный момент времени значение W_0 и соответствующие ему значения нормальных высот пунктов ГВО в новой системе отсчета высот определены.

Если говорить о гравиметрической системе отсчета, то считается, что с 1971 года на территории бывшего Советского Союза действует система ISGN1971 с поправкой Хонкасало. Однако по факту эта система так и не была реализована в полной мере на территории Республики Беларусь. По факту – все имеющиеся в наличии на территорию государства гравиметрические карты в редукции Буге (частично и в редукции в свободном воздухе) и значения ускорений силы тяжести в формулярах к картам относятся к Потсдамской системе. Поэтому, например, для вычисления поправки за переход от измеренных превышений к разностям нормальных высот в государственном предприятии «Белгеодезия» с 2014 г. вместо гравиметрических карт в редукции Буге используется модель гравитационного поля Земли EGM2008, высокая точность которой подтверждена в рамках исследований по установлению новой системы отсчета высот [3].

В настоящее время выполняются работы по созданию современной гравиметрической сети, которая обеспечит реализацию Международной гравиметрической системы отсчета в соответствии с Резолюциями IUGG и IAG. Создана Фундаментальная гравиметрическая сеть (ФГрС), которая включает в себя 4 пункта, и метрологический гравиметрический полигон в составе 3 пунктов. На пунктах ФГрС и пунктах метрологического полигона выполнены абсолютные определения силы тяжести с погрешностью не более ± 5 мкгал. На пунктах-спутниках пунктов ФГрС выполнены высокоточные спутниковые наблюдения и определены нормальные высоты нивелированием I класса с целью определения в одной точке пространства высокоточных геометрических и физических параметров Земли. Закончены полевые работы по созданию гравиметрической сети I класса относительным методом. Сеть включает 15 пунктов основной гравиметрической сети и 105 пунктов рядовой сети I класса. На данный момент выполняются уравнивательные вычисления. Проектируется гравиметрическая сеть 2 класса. Все работы выполняются с обеспечением реализации GAGRS (Global Absolute Gravity Reference System) в соответствии с Резолюцией №2 XXVI Генеральной Ассамблеи IUGG и IAG и Резолюцией №4 XXVII Генеральной Ассамблеи IUGG и IAG.

Литература

1. Рудницкая, Н.И. О новой государственной системе отсчета координат СК-95 Республики Беларусь и ее реализации. Современное состояние государственной геодезической сети. / Н.И. Рудницкая. – Земля Беларуси, №3, Минск, 2011. – С. 17-23.
2. Ларионов, А.А. Создание локальной модели высот квазигеоида геометрическим методом. / А.А. Ларионов, Н.И. Рудницкая. – Земля Беларуси, №1, Минск, 2016. С. 36-41.
3. Рудницкая, Н.И. Оценка точности глобальных гравитационных моделей Земли EGM2008 и GAO2018 геометрическим методом с учетом различных приливных концепций. / Н.И. Рудницкая. – Земля Беларуси, №3, Минск, 2021. С. 38-48.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕСТНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ОПЫТ ИХ УСТРАНЕНИЯ

А.В. Гушо, А.А. Панкова

Государственное предприятие «Белгеодезия»
пр. Машерова, 17, 220029, г. Минск, Беларусь, info@belgeodesy.by

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с наличием деформаций в некоторых местных системах координат (далее – МСК), действующих в Республике Беларусь, основными причинами их возникновения и методами их устранения.

Ключевые слова: государственная геодезическая сеть; государственная система отсчета координат; местная система координат; трансформирование координат; преобразование координат.

Геодезической основой для производства топографо-геодезических работ при инженерных изысканиях, строительстве, эксплуатации зданий и сооружений, в землеустройстве, при создании, ведении кадастров и выполнения других специальных работ в населенных пунктах (городах и поселках городского типа) до настоящего времени служили пункты геодезических сетей, созданных методами традиционной геодезии. Крупномасштабные топографические съемки в населенных пунктах Республики Беларусь выполнялись ранее и выполняются в настоящее время в МСК.

МСК – специальная плоская двухмерная прямоугольная система координат (далее – СК), установленная в отношении ограниченной территории с обеспечением связи с государственной системой отсчета координат (далее – ГСК) через параметры связи – «ключа», который одновременно указывает на способ образования МСК. Координаты пунктов в ГСК ранее и до сего времени выражаются в проекции Гаусса-Крюгера, которая является равноугольной (конформной), но не равновеликой. А основное назначение МСК – выполнение крупномасштабных съемок без решения редуционной задачи для линейных величин. Размеры линейных объектов на крупномасштабных топографических планах должны быть близки к реальным размерам линейных объектов на физической поверхности Земли.

В последнее время для создания геодезического обоснования широкое применение находят спутниковые методы, в особенности методы определения координат от постоянно действующих пунктов (ПДП) Спутниковой системы точного позиционирования (далее – ССТП) Республики Беларусь, которая функционирует в Международной Земной системе отсчета ITRS, поскольку только в этой системе отсчета достигнута требуемая погрешность взаимного положения ПДП: не более ± 5 мм при расстояниях между пунктами 50-70 км. Таким образом, при использовании спутниковых методов определения координат в МСК требуется выполнить цепочку трансформирования координат из ITRS в МСК с использованием нескольких наборов параметров связи. В этой цепочке наиболее уязвимым местом являются параметры связи ГСК – МСК. Из-за ошибок в методах определения параметров «ключа», допущенных в предыдущие два десятилетия, имеют место деформации в некоторых МСК.

С 2010 по 2016 г. унитарным предприятием аэрокосмических методов в геодезии «Белаэрокосмогеодезия» выполнен комплекс работ по установлению параметров связи МСК с СК-95 Республики Беларусь и с геоцентрической системой отсчета координат, реализуемой ПДП ССТП Республики Беларусь. Работы завершены в 2018 году после реорганизации РУП «Белгеодезия» путем присоединения к нему УП «Белаэрокосмогеодезия». Одним из важнейших результатов выполненной работы является оценка координатной основы населенных пунктов государства и определение списка МСК,

в которых обнаружены значительные деформации, требующие устранения, чтобы исключить конфликт между определением координат линейно-угловыми геодезическими методами и от ПДП ССТП Республики Беларусь.

На территории Республики Беларусь реализованы 3 основных метода образования МСК:

параллельный перенос координатных осей МСК относительно координатных осей ГСК на величины Δx и Δy ;

поворот координатных осей МСК относительно координатных осей ГСК в начальном пункте на угол ϕ ;

масштабирование, то есть перенос координатных осей МСК на плоскость, касательную к поверхности относимости, отличной от поверхности отсчетного эллипсоида, или перенос осевого меридиана координатной зоны ГСК в населенный пункт, для которого устанавливается МСК.

Ранее, для перевычисления координат из СК-42 в МСК на территории Республики Беларусь установлены ключи перехода, представленные следующими упрощёнными схематическими формулами:

$$\begin{array}{ll} \text{МСК} = 42_6 + d(xy), & \text{МСК} = 42_6 + d(xy), \text{ Нп,} \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow \text{Нп, } \phi, m, +d(xy), & \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42_3 + d(xy), & \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42_3 + d(xy), \text{ Нп,} \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42^3 \rightarrow \text{Нп, } \phi, +d(xy), & \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 42_{\text{мм}} \rightarrow \text{Нп, } \phi, d(xy), & \\ \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 63_3 + d(xy), & \text{МСК} = 42_6 \rightarrow 63_3 + d(xy), \text{ Нп,} \end{array}$$

где приняты следующие сокращения, условные знаки и обозначения:

- МСК - местная система координат;
- 42_6 - прямоугольные координаты в основной 6-ти градусной зоне в системе отсчета СК-42;
- 42_3 - прямоугольные координаты в 3-ей градусной зоне в системе отсчета СК-42;
- $42_{\text{мм}}$ - прямоугольные координаты в 3-ой градусной зоне относительно местного меридиана, проходящего через начальную точку с координатами (X_0, Y_0) ;
- 63_3 - прямоугольные координаты в 3-ой градусной зоне в системе координат СК-63;
- \rightarrow - преобразование координат из одной зоны в другую или преобразование координат (параллельный перенос, поворот координатных осей, масштабирование);
- Нп - начальный пункт с координатами в МСК и СК-42;
- ϕ - угол поворота осей координат местной системы относительно осей координат образующей зоны;
- m - линейный масштаб перехода с уровня моря на поверхность относимости;
- $d(x,y)$ - смещения абсциссы и ординаты прямоугольных координат dx и dy .

Природа масштаба – отношение длины линии в МСК к длине одноименной линии в ГСК. Происходит это из-за изменения величины удаления точки от отсчетного осевого меридиана картографической зоны при редуцировании на плоскость и (или) при изменении высоты над отсчетной поверхностью при редуцировании на поверхность относимости, отличную от поверхности отсчетного эллипсоида. Другой причины изменения масштаба быть не должно.

Главная задача государственного предприятия «Белгеодезия» – обеспечить отсутствие конфликта при определении координат в ITRS от ПДП ССТП с последующим

трансформированием их в МСК и определением координат от пунктов геодезической основы, созданной ранее в МСК методами триангуляции и полигонометрии.

Как было указано выше, в течение последнего десятилетия выполнен большой объем геодезических работ по оценке качества геодезических сетей, реализующих МСК, и оценке точности существующих параметров связи между ГСК и МСК, которые соответствовали бы способу первичного образования МСК и обеспечивали бы трансформирование координат в МСК без потери точности геодезической основы, созданной в ITRS или в ГСК.

В течение 80-х – 90-х годов принцип сохранения МСК был истолкован неверно: при модернизации городских (локальных) геодезических сетей значения координат сохранившихся пунктов, носителей прежней реализации МСК, оставлены без изменения, несмотря на то, что точность модернизированной государственной геодезической сети и модернизированной сети, реализующей МСК, как правило, была выше. Для этого использовался способ подбора новых значений параметров «ключа» по методу наименьших квадратов на основе двух наборов координат одноименных пунктов: в новой и прежней реализации МСК. В результате, собственные ошибки координат одноименных пунктов интерпретированы математическим аппаратом метода наименьших квадратов как наличие разворота и масштаба: появились МСК, для которых были применены неверные масштабные коэффициенты, соответствующие отнесению МСК на недопустимую поверхность относимости. В таблице 1 приведен список МСК населенных пунктов с недопустимыми масштабными коэффициентами в параметрах «ключа».

Таблица 1. МСК населенных пунктов с недопустимыми масштабными коэффициентами

№	Населенный пункт	Область	m	Но (м)
1	Каменец, гор.	Брестская	0,99989036	– 750
2	Шерешево, г.п.	— " —	0,99998	– 130
3	Мир, г.п.	Гродненская	1,000379	+ 2420
4	Ошмяны, гор.	— " —	0,99996	– 250
5	Юратишки, г.п.	— " —	1,0001567	+ 1000
6	Краснополье, г.п.	Могилевская	0,999883	– 1130
7	Хотимск, г.п.	— " —	0,9996972	– 1930

Для части МСК, образованных методом параллельного переноса координатных осей, при математической обработке измерений в ходах полигонометрии линейные измерения не были редуцированы на уровень моря и на эллипсоид, вследствие чего линейные измерения в полигонометрии и исходные пункты ГГС были отнесены на разные поверхности относимости.

Для всех случаев наличия существенных деформаций в МСК определена программа реконструкции городских (локальных) геодезических сетей, которая на сегодняшний день почти полностью выполнена.

Общая схема модернизации геодезических сетей включает следующие этапы:

Анализ всех имеющихся в архиве материалов по данной МСК. На основе этого получаем информацию о причинах проблем в МСК.

Создание спутниковой городской геодезической сети. Задача – сгущение ГГС, создание геодезической основы для уравнивания сети полигонометрии методом угловой привязки с максимальным ужесточением полигонометрии (сеть разбивается на простые системы ходов). Так локализуются деформации в прежней реализации МСК.

Уравнивание сети полигонометрии в ГСК. Все статистические оценки линейно-угловых измерений в сети должны обеспечивать высокое качество сети и полученной в результате уравнивания координатной основы.

Трансформирование координат в МСК по действующему ключу

Сравнение координат одноименных пунктов в прежних реализациях МСК и в новой. Оценка пространственного распределения остатков, оценка величин. Особое внимание – в границах АТЕ.

Подбор новых параметров ключа при условии сохранения способа образования МСК. На сегодняшний день только в одном случае не удалось сохранить способ образования МСК: в город Хойники параллельный перенос координатных осей заменен на способ разворота координатных осей в начальном пункте.

Выполнение реконструкции геодезической сети населенного пункта с сохранением местной системы координат позволяет не только исключить деформацию в МСК, но и сохранить большой объем картографических и кадастровых работ, выполненных ранее в местной системе координат, или обеспечить трансформирование в новую реализацию. Вместе с тем, эти работы обеспечивают высокую степень согласованности геопространственной информации, полученной с привязкой к пунктам городской (локальной) геодезической сети, созданной методом триангуляции и полигонометрии, и с привязкой к ПДП ССТП Республики Беларусь. Все это обеспечивает высокую однородность геодезической основы в государстве, позволяет использовать современные технологии при кадастровых, картографических, инженерно-геодезических работах.

УДК 528.486

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

В.П. Подшивалов

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kafgiakgt@gmail.com

В работах [2-6] и др. изложены теоретические основы формирования геодезических проекций, отвечающих критерию Чебышева-Граве о наилучших картографических проекциях, когда любая по форме границ территория может быть отображена на плоскости с минимально возможными искажениями отображаемых элементов геометрических образов. В математической картографии широко используются эти методы изыскания проекций наиболее подходящих для создания карт различного назначения. При формировании координатной среды для математической обработки геодезических измерений и представления баз геодезических данных в общегосударственных масштабах в мировой практике используют весьма ограниченное число геодезических проекций, основанных на конформном отображении поверхности земного эллипсоида на плоскости (поперечно-цилиндрические Гаусса-Крюгера и УТМ, коническая Ламберта). Это было обусловлено большим объемом вычислений потому, что здесь требуется существенно более высокая точность по сравнению с картографическими проекциями.

Ключевые слова: картографические проекции; системы координат; государственная геодезическая сеть; топографическая съемка; крупномасштабные топографические планы.

В настоящее время при наличии современных вычислительных средств такой проблемы не существует, а задача формирования координатного описания объектов в автоматизированных геоинформационных системах самого различного назначения весьма актуальна. На этом основании нами предложена общая теория и алгоритмическое описание формирования класса геодезических проекций, отвечающих критерию Чебышева-Граве о наилучших проекциях [2-6 и др.], которые допускают формирование таких проекций в автоматическом режиме для координатного описания объектов геоинформационных

систем. В этот класс входят как частные случаи все известные в мировой геодезической практике геодезические проекции, а также новые проекции с формой изоколы, приспособляемой к форме границ изображаемой территории (что определено критерием Чебышева-Граве). Таким образом стало возможным формировать высокоточную координатную среду геоинформационных технологий с обеспечением минимально возможных искажений геометрических элементов земного эллипсоида на плоскости проекции.

Проблема координатного обеспечения транспортного строительства и транспортной логистики в современных условиях требует строгого математического сопровождения, что невозможно обеспечить как применением условных (внесистемных) координат, так и применением традиционных зональных систем координат. Отдельно взятые известные поперечно-цилиндрические или конические проекции удобны либо для объектов, вытянутых вдоль меридиана или вдоль параллели. А транспортный объект может иметь произвольную направленность и большую протяженность. Для Беларуси, территория которой является транзитной, решение этой задачи в оптимальном режиме является весьма актуальной.

В профессиональной программе «*Кредо ТРАНСКОР 3.0*» реализованы возможности координатного описания линейных объектов любой протяженности [1] в математически обоснованных системах координат на плоскости наилучшей проекции. Это системы координат, полученные композицией (объединением) двух проекций: конической и поперечно-цилиндрической с различной степенью их участия, при условии, что суммарное значение композиционных коэффициентов равно 1,0. При этом значения приращений координат отличаются от приращений в проекции Гаусса-Крюгера или Ламберта на малые величины третьего порядка. Реализованной в программе метод «Поиска параметров композиционной проекции» позволяет добиться оптимальных условий отображения конкретной области. Такие проекции объединяют достоинства геодезических и картографических проекций: высокую точность, разнообразие и приспособляемость к форме и размерам изображаемой территории. Расчет оптимальных коэффициентов влияния двух проекций в системе выполняется автоматически, он зависит от полноты указанных пользователем пунктов, описывающих объект. Моделирование масштабов изображений в композиционной проекции сохраняет и основное преимущество исходных проекций – они остаются конформными, перспективными и симметричными.

Использование таких систем координат существенно расширяет возможности рационального использования на практике спутниковых систем позиционирования и цифровых технологий формирования баз картографо-геодезических данных любого назначения.

Применение современных средств геодезических измерений (электронные тахеометры, спутниковые системы позиционирования, наземные и аэрокосмические системы дистанционного зондирования) позволяет описывать проектные параметры элементов транспортных объектов любой протяженности в координатном режиме. Это возможно в том случае, если проектирование выполняется в системе координат, полученной на основе описанных нами методов. В этом случае нет проблем установления взаимосвязи различных систем координат потому, что все они имеют математическое обоснование, следовательно, и высокоточные параметры связи.

Координатное описание оси трассы на прямолинейных и криволинейных участках описано в работе [7 и др.] Таким образом по исходным в проекте элементам оси трассы: координатам вершин углов поворота оси трассы, радиусам кривых в автоматическом режиме вычисляются все элементы (текущие координаты пикетажных точек) для детальной разбивки и выносу на местности оси трассы на всем ее протяжении, что реализуемо с применением электронных тахеометров, в память компьютера которых занесены проектные значения координат.

Использование предлагаемых технологий, по нашему мнению, может коренным образом изменить процесс создания крупномасштабных топографических планов. Здесь возможно предложить математически обоснованную методику формирования всего масштабного ряда топографических карт и планов от 1:1000000 до 1:500 и крупнее. Наибольший эффект такого подхода может быть получен для карт в цифровом формате, когда из карт (планов) одного масштаба можно вычлнять или собирать карты (планы) другого масштаба, при этом размеры и форма границ отображаемых территорий могут соответствовать как традиционным методам разграфки, так и адаптированные к геометрическим характеристикам изображаемой области. При этом обеспечивается условие минимально возможных искажений и конформность отображения.

Литература

1. Будо, А. Ю. Новые возможности КРЕДО ТРАНСКОР версии 3.0 / А.Ю. Будо, В.Г. Гриб – Геопрофи.-2018-№3. М., с. 46-49
2. Подшивалов В. П. Координатная среда для геоинформационных систем / В. П. Подшивалов – Геодезия и картография - М., - 1997 - №6 - С. 51 – 55.
3. Подшивалов, В. П. Теоретические основы формирования координатной среды для геоинформационных систем / В.П. Подшивалов – Новополоцк: Научное издание ПГУ, 1998 г.-125 с.
4. Подшивалов, В. П. Композиционные геодезические проекции / В. П. Подшивалов – Геодезия и картография - М., - 2000- №8 - С. 39 – 43.
5. Подшивалов, В. П. Системы плоских прямоугольных координат для линейных объектов / В.П. Подшивалов, С.В. Маковский – Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка - М., - 2000 - №4 - С. 15 - 21.
6. Huryeu, Y. Automated design of coordinate system for long linear objects / Y. Huryeu, U. Padshyvalau – Proceedings of the 11th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 5th – 7th September 2007 - As, Norway - PP. 147 – 155.
7. Подшивалов, В.П. О проблемах комплексных инженерных изысканий при переходе к использованию современных научно-технических возможностей / В.П. Подшивалов, А.С. Назаров – Журнал «Инженерные изыскания», №11, М., 2010, с. 60-62.

УДК 528.2.5

ВЫДАЮЩИЙСЯ УЗБЕКСКИЙ УЧЕНЫЙ АБУ РАЙХАН БИРУНИ И ЕГО «ГЕОДЕЗИЯ»

В.В. Мкртычян, Н.Н. Мадаминов
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, vaganovich@list.ru

В данной статье рассказывается об известном узбекском учёном Абу Райхана аль-Бируни. Его работы по астрономии, географии и геодезии были переведены на многие языки мира. Вклад в науку этого выдающегося учёного не забыт и по сей день.

Ключевые слова: история геодезии, геодезическая астрономия, решение прямой и обратной геодезических задач.

Абу Рейхан Мухаммед ибн Ахмед ал-Бируни родился 4 сентября 973 года в предместье города Кят (ныне город Беруни в Узбекистане). Его происхождение не ясно до сих пор. Бируни писал, что не знает отца и деда, а согласно «Энциклопедии ислама», утверждается, что он родился в иранской семье.

Выходец из ремесленнических кругов, он получил математическое и философское образование. Его первым учителем был Абу Наср – выдающийся математик и астроном своего времени.

Первые астрономические наблюдения он выполнил в возрасте 16 лет. Его первым инструментом была армилла с алидадой с делением шкалы через половину градуса. Армилла – астрономический инструмент для определения экваториальных или эклиптических координат небесных светил. В 994 году с высокой точностью он определил величину наклона плоскости эклиптики к экватору используя изготовленный им самим инструмент.

В 995 году он изготовил первый в Средней Азии и на Ближнем Востоке глобус Земли диаметром 5-6 м. на котором были отмечены населенные пункты.

В 1018 году он приступил, а в 1025 году завершил одно из важнейших своих сочинений «Геодезия» («Книга определения границ для уточнения расстояний между поселениями»). В сочинении приведены многие практические примеры решения различных геодезических задач, в том числе определению географической долготы местности. Излагаются способы определения времени по высотам неподвижных звезд и по азимутам их высот. Основное содержание сочинения, это вопросы геодезической астрономии и геодезии.

В книге рассмотрены способы решения обратной и прямой геодезической задач для определения расстояния и азимута между городами.

Исходя из того, что Земля является шаром, Бируни начинает размещать на своей новой карте мира все местности, которые были известны в ту эпоху. Тогда-то он и замечает, что по его расчетам, вся масса Евразии с самой западной точки в Африке до самой восточной точки в Китае представляет только две пятых части глобуса.

На этом основании Бируни делает вывод, что должны существовать другие континенты и теоретически предсказал что на другом полушарии есть еще один материк.

Бируни с высокой точностью измерил окружность Земли определив величину дуги меридиана по понижению горизонта, измеряемого с вершины горы с известной высотой.

Кроме родного хорезмийского языка, он владел арабским, персидским, греческим, сирийским языками, а также ивритом, санскритом и хинди.

Прожив почти 80 лет, он создал свыше 150 произведений. Из них по астрономии – 70 сочинений, географии и геодезии – 12. Произведения Бируни были переведены на латинский, французский, итальянский, немецкий, английский, персидский, турецкий языки.

Указом Президента Республики Узбекистан от 4 мая 1992 года учреждена Государственная премия имени Абу Райхана аль-Бируни в области науки и техники, которой награждаются ученые страны за большой вклад в развитие науки.

УДК 528.5:624

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, НА ПРИМЕРЕ МЕТРОПОЛИТЕНА

В.Н. Кашура , И.Е. Рак

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kafgiakgt@gmail.com

Основная цель геодезических работ в тоннелях метрополитена – обеспечение безопасности движения поездов и пассажиров. Для этого маркшейдерской службой метрополитена постоянно осуществляется мониторинг геометрических параметров тоннеля, габарита приближения оборудования, планово-высотного положения тоннеля и железнодорожного пути. Основой для выполнения этих работ служит сеть

полигонометрических знаков и путейские репера, которые закладываются на этапе строительства метрополитена.

Ключевые слова: астрономо-геодезическая сеть; государственная геодезическая сеть; топографическая съемка; триангуляция; дуга Струве.

Периодичность и сроки наблюдений устанавливаются для каждого объекта метрополитена в соответствии с требованиями нормативно-технических документов, регламентирующих требования к точности производства маркшейдерско-геодезических работ при строительстве и мониторинге деформаций линий метрополитена.

Для контроля состояния тоннельной обделки (осадка всего тоннеля) выполняется прокладка нивелирного замкнутого хода II класса точности одним горизонтом, способом совмещения [1, с. 23]. При этом отдается предпочтение нивелирам с компенсатором, так они позволяют выполнять измерения с использованием штриховых реек, или используются цифровые нивелиры, соответствующие требованиям нивелирования II класса точности.

Периодичность выполнения этих работ зависит от срока эксплуатации тоннеля: до 5 лет – не реже одного раза в год, от 5–10 – не реже одного раза в три года, более 10 лет – не реже одного раза в пять лет.

Допустимая невязка в замкнутом ходе для II класса нивелирования вычисляется по формуле $\pm 5 \text{ мм} \cdot \sqrt{L}$, где L – длина хода в километрах. [2, с. 9]:

Для проверки профиля пути выполняется нивелирование IV класса точности с использованием нивелиров типа Н-3 или равнозначных им, штриховых односторонних реек с инварной полосой и двумя шкалами типа РН-05.

Репера 1680–2780 (рисунок 1) образуют сеть реперов, имеющих одинаковую по конструкции центров и точность, размещенных на расстоянии 60 метров друг от друга. Положение реперов линии считается стабильным, если превышение между ними не изменяется больше чем на 0,3–0,4 мм.

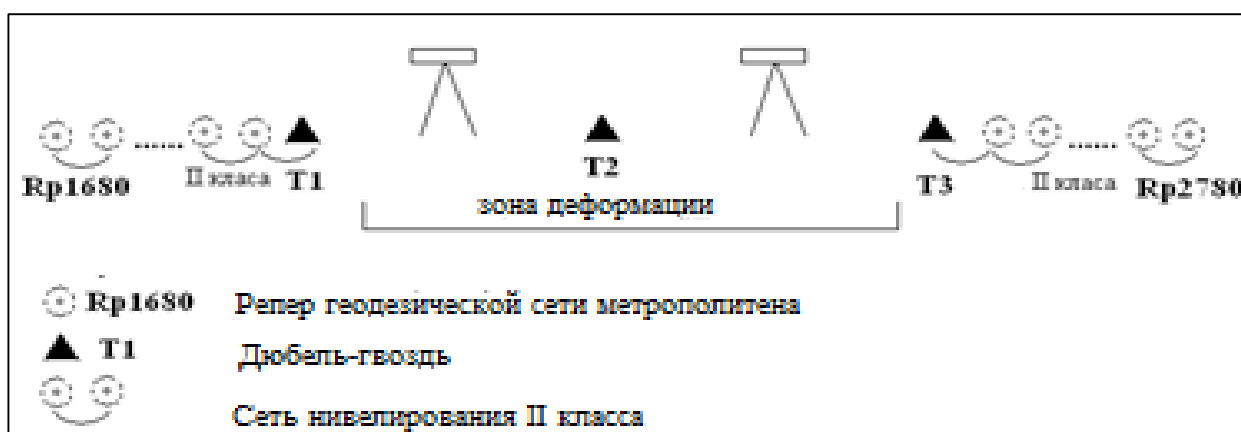


Рис. 1. Схема геодезической основы на участке деформаций

По результатам нивелирования составляются ведомости (рисунок 2) и графики (рисунок 3) вертикальных деформаций с выявленными отклонениями.

Пикетаж	Проект	разность	Факт на 15.06.2022	разность	Факт на 21.07.2022	разность	Факт на 03.08.2022	разность	Факт на 16.08.2022	разность
49+00,00	189212	0	189212	0	189212	0	189212	0	189212	0
49+17,03	188552	-3	188549	-3	188548	-4	188548	-4	188549	-3
49+36,96	187780	-23	187757	-23	187757	-23	187757	-23	187759	-21
49+42,10	187603	-19	187583	-20	187584	-19	187583	-20	187584	-19
49+47,03	187436	-16	187421	-16	187422	-14	187421	-16	187422	-14
49+52,03	187280	-12	187265	-15	187271	-9	187269	-12	187270	-10
49+57,05	187133	-6	187128	-5	187127	-6	187127	-6	187129	-4
49+62,02	186992	-7	186985	-7	186985	-7	186984	-9	188318	
49+62,84	186970	-7	186963	-8	186963	-7	186963	-8	186964	-6
49+66,91	186858	-5	186853	-5	186853	-5	186853	-5	186854	-4
49+72,13	186721	-2	186719	-2	186720	-2	186718	-3	186720	-1
49+76,99	186599	-1	186598	-2	186599	-1	186598	-2	186600	1
49+81,99	186484	0	186483	-1	186485	1	186485	1	186486	2
49+82,81	186471	5	186474	3	186474	3	186473	2	186474	3
49+86,26	186376	2	186377	1	186378	2	186376	0	186379	3
50+04,56	186188	2	186189	1	186189	1	186189	1	186191	3
50+14,61	186033	3	186034	1	186034	1	186033	0	186037	4

Рис. 2. Наблюдение по циклам за деформацией по путевым реперам

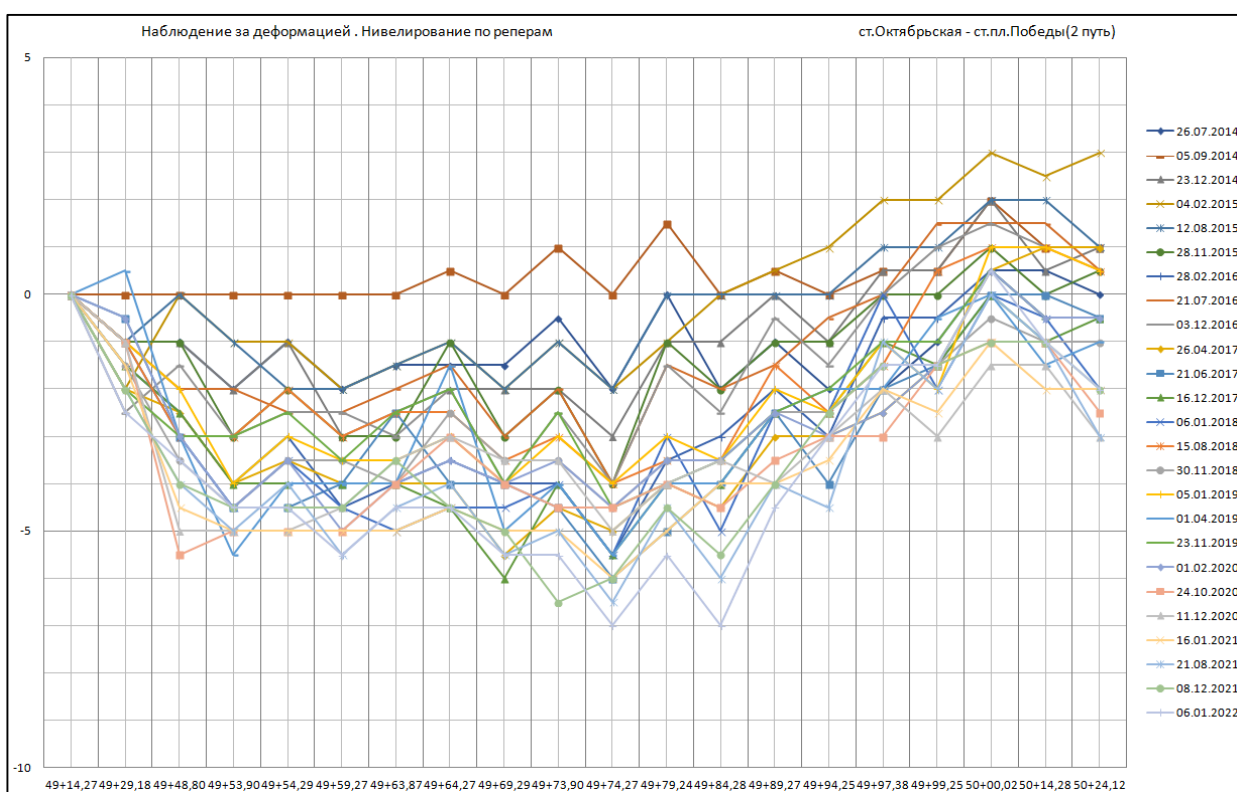


Рис. 3. График изменения высотного положения при нивелировании по путевым реперам

Наблюдение за деформациями туннельного свода выполняется ежемесячно, но периодичность таких наблюдений может быть изменена в случае выявления деформаций, которые превышают установленные допуски.

Среднюю квадратическую погрешность осадки m_s марки в случае простых одиночных ходов определяют по формуле 1 [3, с. 29].

$$m_s = m_h \sqrt{n} \quad (1)$$

где m_h – средняя квадратическая ошибка одной станции для данного класса;
 n – количество станций до наиболее удаленной марки хода.

Наблюдение за плано-высотным перемещением обделки тоннеля выполняют с помощью электронного тахеометра. Для этого на участке работ создается комбинированная линейно-угловая сеть, состоящая из неподвижных реперов М1, М2, М3 и М4 (рисунок 4) и ственных деформационных марок 1–17.

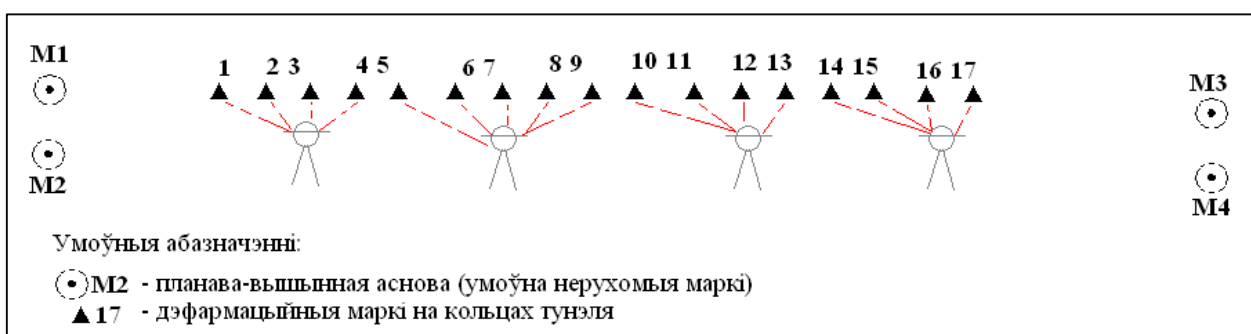


Рис. 4. Пример схемы размещения неподвижных реперов и деформационных марок

Как правило, имена плановых деформационных марок совпадают с именами высотных деформационных марок. Наблюдение выполняется методом обратной засечки при четырех установках тахеометра.

Проверка габарита приближения оборудования осуществляется специально оборудованной железнодорожной платформой (рисунок 5), на которой устанавливается рама с прикрепленными к ней поворачивающимися флажками очерчивающих контур габарита.



Рис. 5. Габаритная рама

Геодезические измерения, выполняемые для определения наличия деформационных процессов, в виде большого числа цифровых данных, подвергаются обработке, анализу и изучению с использованием специализированного ПО позволяющее с наибольшей достоверностью анализировать и прогнозировать развитие деформационных процессов. Чаще всего при обработке и анализе используется Excel MO. Действительно, эта программа позволяет выполнить сравнение измерений между циклами, построить графики и диаграммы. Но для анализа устойчивости пунктов плановой и высотной опорной геодезической сети – контрольных пунктов, расчет параметров скоростей движения контрольных пунктов, расчет кривизны деформационной поверхности. Полный спектр

необходимых расчетов по мониторингу за деформационными процессами позволяет выполнить программа РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ компании Кредо-Диалог.

Принцип обработки данных в этом ПО основан на последовательном накоплении значений отметок и плановых координат специальных деформационных марок, закрепляемых на объекте.

В процессе обработки может быть выполнен статистический анализ данных циклических наблюдений, по результатам которого могут быть созданы графические и текстовые отчеты (рисунок б), содержащие информацию о текущем состоянии и динамике деформационных процессов.

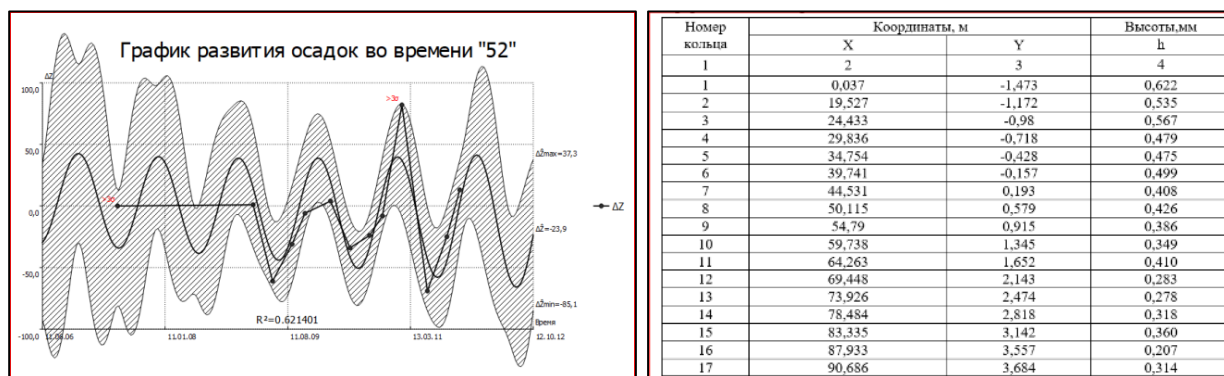


Рис. 6. Представление данных геодезического мониторинга

Деформационная модель поверхности может быть построена по одному из следующих параметров:

- вертикальное смещение за указанный период времени,
- мгновенная скорость смещения,
- кривизна поверхности смещения (от начала наблюдений),
- дилатация (от начала наблюдений),
- растяжение (от начала наблюдений),
- сжатие (от начала наблюдений),
- устойчивость в плане,
- устойчивость по высоте.

Возможность визуализации (рисунок 7) позволяет определять участки наблюдаемых объектов, подверженные наибольшему отклонению от первоначального положения, величины и направления деформаций, а также закономерности деформационных процессов, дающие возможность наиболее достоверно прогнозировать развитие деформационных процессов.

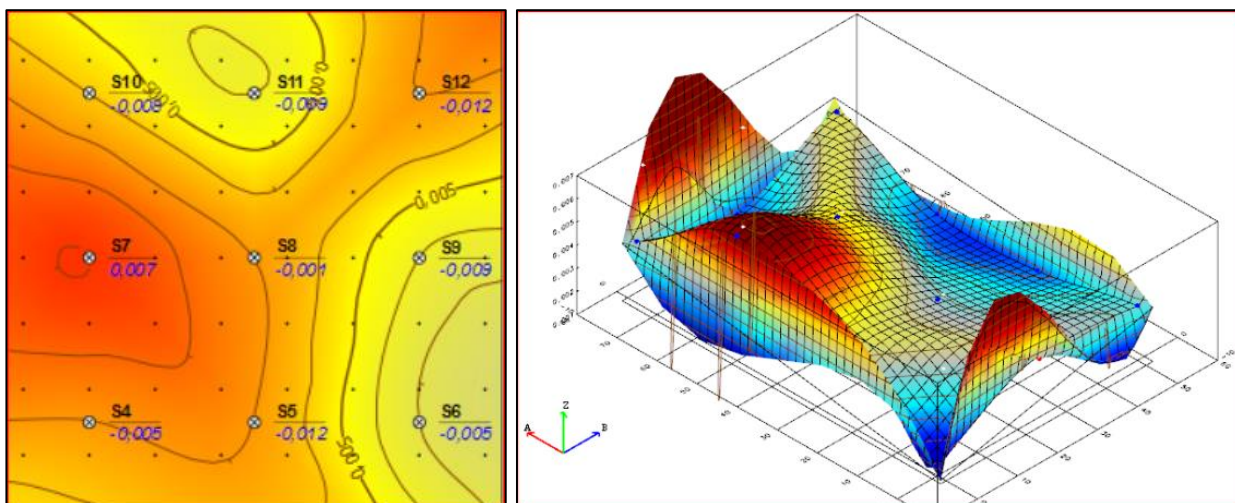


Рис. 7. Визуализация данных геодезического мониторинга

Применение специализированных программных продуктов для обработки и представления данных геодезического мониторинга объектов также позволяет повысить точность оценки деформационных процессов.

Литература

1. ТКП 45-1.02-77-2007 (02250) «Геодезические и маркшейдерские работы при строительстве метрополитенов и транспортных тоннелей. Правила проведения». – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 156 с.
2. Государственная нивелирная сеть Республики Беларусь. «Основные положения». СТБ 1820-2007. – Введено. 2007-12-29. – Мн.: Госстандарт РБ, 2007. – 15 с.
3. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. НИИОПС имени Н. М. Герсеванова, Госстрой СССР, 1975.
4. РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ 2.1. Руководство пользователя. / Кредо-Диалог. – Минск: СП «Кредо-Диалог», 2022. – 97 с.

УДК 528.7: 622.1

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА И АБК ГРОДНЕНСКОГО ЦЕХА «БЕЛЦВЕТМЕТ»

В.И. Михайлов, Н.О. Куприенко
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kafgiakgt@gmail.com

РПУП «Белцветмет» обратилось с просьбой к УП «Стройреконструкция» выполнить определение деформаций фундаментов производственного корпуса и административно-бытовой корпус (АБК) за два цикла геодезических измерений в связи с появлением в них трещин, и выдать заключение по дальнейшей эксплуатации здания.

Ключевые слова: наблюдение за деформациями; РПУП «Белцветмет»; нивелирование II класса.

Геодезические работы выполнялись на основании лицензии ГК091 от 28.09.2000 года, выданной УП «Стройреконструкция» Госкомитетом по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь, прибором, аттестованным РУП «Белгеодезия», свидетельство о поверке №18 от 09.01.2003 года.

В состав мероприятий по проведению геодезических измерений входило: подготовительные и организационные работы, визуальное обследование производственного корпуса и АБК, закладка осадочных марок, высокоточное их нивелирование, вычислительные и графические работы, подготовка технической информации о результатах выполненных геодезических наблюдений за деформациями несущих конструкций обследуемого сооружения, составление заключения по дальнейшей эксплуатации здания.

Для оценки устойчивости сооружения и проведения профилактических мер с целью его нормальной эксплуатации проводятся систематические наблюдения за деформациями несущих конструкций. Наиболее распространенный метод геодезических измерений – периодическое геометрическое нивелирование II класса. Для промышленных и гражданских зданий средняя квадратическая погрешность превышения на станции составляет 0,4 мм. Допустимая погрешность в замкнутом ходе подсчитывается по формуле

$f_h(\text{мм}) = 1,0\sqrt{n}$, где n – количество станций. Для этой цели применялся компенсаторный нивелир Ni-007 и штриховая инварная рейка длиной 1,8 метра.

Исходная высотная основа для проведения геодезических измерений – забетонированный обрезок трубы вблизи соседнего здания на расстоянии 100 метров с принятой относительной отметкой 200094,0 мм. В качестве осадочных марок использовались монтажные дюбели, которые пристреливались к несущим колоннам. На различных осях было заложено 15 и по периметру здания еще 5 осадочных марок (рисунок 1). За время обследования технического состояния производственного цеха выполнено четыре цикла повторных геодезических измерений при переходе подстилающих грунтов из мерзлого в талое состояние.

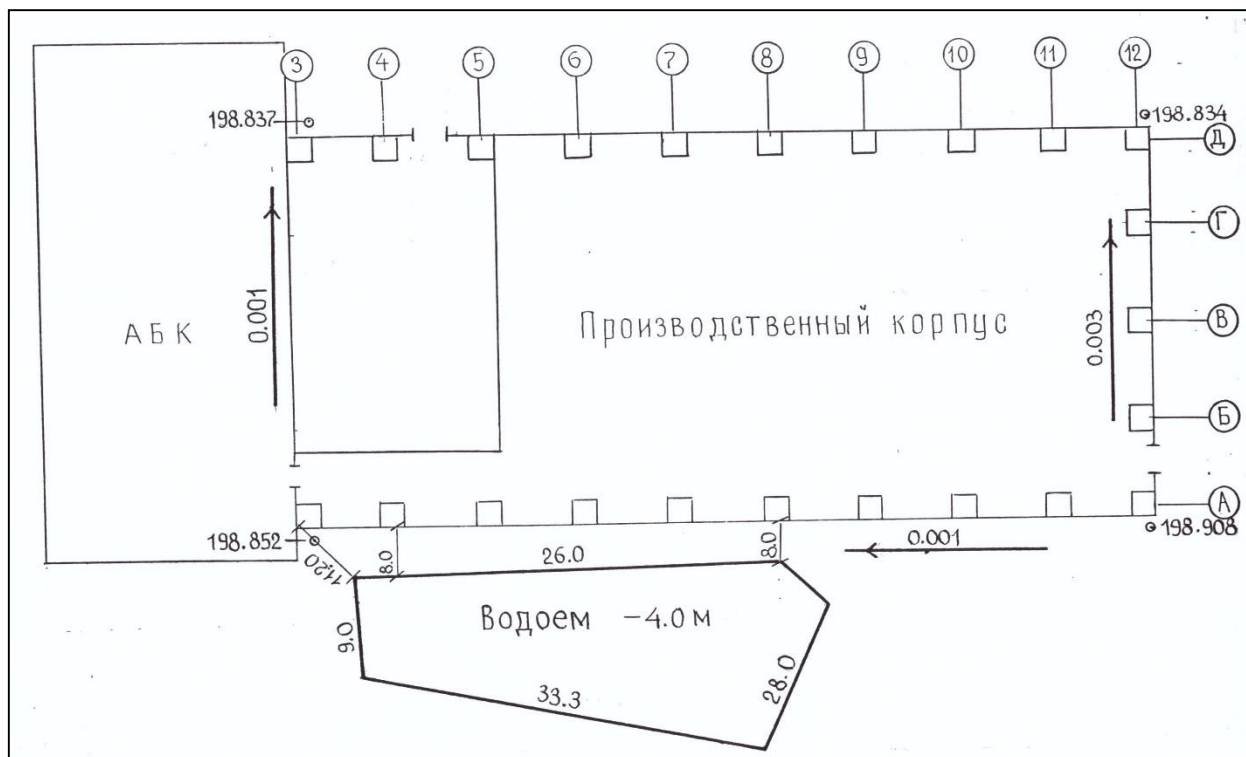


Рис. 1. Преобладающие уклоны местности вокруг производственного корпуса

Искусственный водоем, расположенный вблизи оси А производственного корпуса (ПК) находится на расстоянии 8 метров от стены здания и угла АБК на 11 метров соответственно (рисунок 1). За период выполнения первого цикла наблюдений уровень воды в нем составлял 0,2–0,3 м. Согласно результатам нивелирования, поперечный уклон местности направлен от водоема к ПК и равняется 2%. Продольный уклон вдоль оси А незначителен и характеризуется величиной 1%.

За период проведения геодезических измерений, отделяющих различное гидрогеологическое состояние подстилающих фундаменты грунтов на оси А ПК выявлены незначительные осадки от –1,0 до +0,4 мм. Средние значения осадочных марок, заложенных на семи колоннах, непосредственно примыкающих к водоему равно –0,7 мм. Полученные деформации за период с 02.04.13 по 20.05.13 представлены в таблице 1.

Для дальнейшей эксплуатации ПК приведенные осадочные деформации не окажут большого влияния на стабильность несущих конструкций при условии, что они не будут развиваться во времени.

По-видимому, причиной установленных деформаций вдоль оси А могли служить усадка грунта после его оттаивания, или дальнейшее ослабление суглинистых отложений водами водоема, проникающих по верхним водоносным горизонтам в сторону ПК.

Таблица 1. Ведомость деформаций осадочных марок ПК и АБК, полученных за период со 2.04.13 г. по 20.05.13 г.

Номера осадочных марок	Средние значения отметок (мм), полученных		Деформации (мм) за период со 2.04.13 по 20.05.13
	02.04.13 г.	20.05.13 г.	
А3	200094,0	200093,0	-1,0
А4	77,7	77,6	-0,1
А5	68,8	68,2	-0,6
А7	199693,8	199692,9	-0,9
А8	200428,4	200427,8	-0,6
А9	198,8	198,1	-0,7
А10	145,0	144,6	-0,4
А12	8,8	8,6	-0,2
В12	741,8	741,9	0,1
Д12	936,4	936,2	-0,2
Д10	876,0	876,4	0,4
Д8	812,4	812,4	0,0
Д5	777,7	778,0	0,3
Д,3	856,2	856,2	0,0
1	201375,4	201375,5	0,1
2	328,2	327,8	-0,4
3	200455,6	200455,3	-0,3
4	199714,2	199714,3	0,1

Для выяснения этого предположения и изучения осадочных деформаций фундаментов колонн, следует провести, как минимум, еще один цикл геодезических измерений через три-четыре месяца текущего года.

В связи с расположением водоема в непосредственной близости от оси А и преобладающим уклоном местности в сторону ПК, возникает необходимость постоянного геодезического контроля деформаций осадочных марок несущих конструкций этой части производственного здания не менее одного раза в год.

Величины деформаций осадочных марок, расположенных на оси Д и 12 ПК, а также по периметру АБК находятся в пределах точности геодезических наблюдений, что может свидетельствовать об их нормальном техническом состоянии и пригодности для дальнейшей эксплуатации.

УДК528.34

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В.В. Мкртычян, М.Г. Гиря
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kafgiakgt@gmail.com

С 1 февраля 2007 года утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 31 июля 2006 года №35 Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1653-2006 «ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ». Настоящий стандарт устанавливает общие технические нормы и требования к созданию, развитию и поддержанию Государственной геодезической сети Республики Беларусь в рабочем состоянии.

Ключевые слова: Государственная геодезическая сеть; фундаментальная астрономо-геодезическая сеть; пространственное положение пунктов; спутниковые измерения.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) представляет собой совокупность геодезических пунктов, расположенных равномерно по всей территории Республики Беларусь, закрепленных на местности специальными центрами, обеспечивающими их сохранность и устойчивость в плане и по высоте в течение длительного времени, положение которых определено в общей для них системе координат.

ГГС предназначена для:

- Распространения установленной государственной системы геодезических координат на территории Республики Беларусь;
- Геодезического обеспечения изучения земельных ресурсов и землепользования, кадастров, строительства, разведки и освоения природных ресурсов;
- Обеспечения исходными геодезическими данными средств наземной и аэрокосмической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенных сред Республики Беларусь и т.д.

ГГС является собственностью Республики Беларусь и находится под охраной государства.

ГГС состоит из взаимосвязанных геодезических сетей различных классов точности, создаваемых по принципу от общего – к частному (рисунок 1).

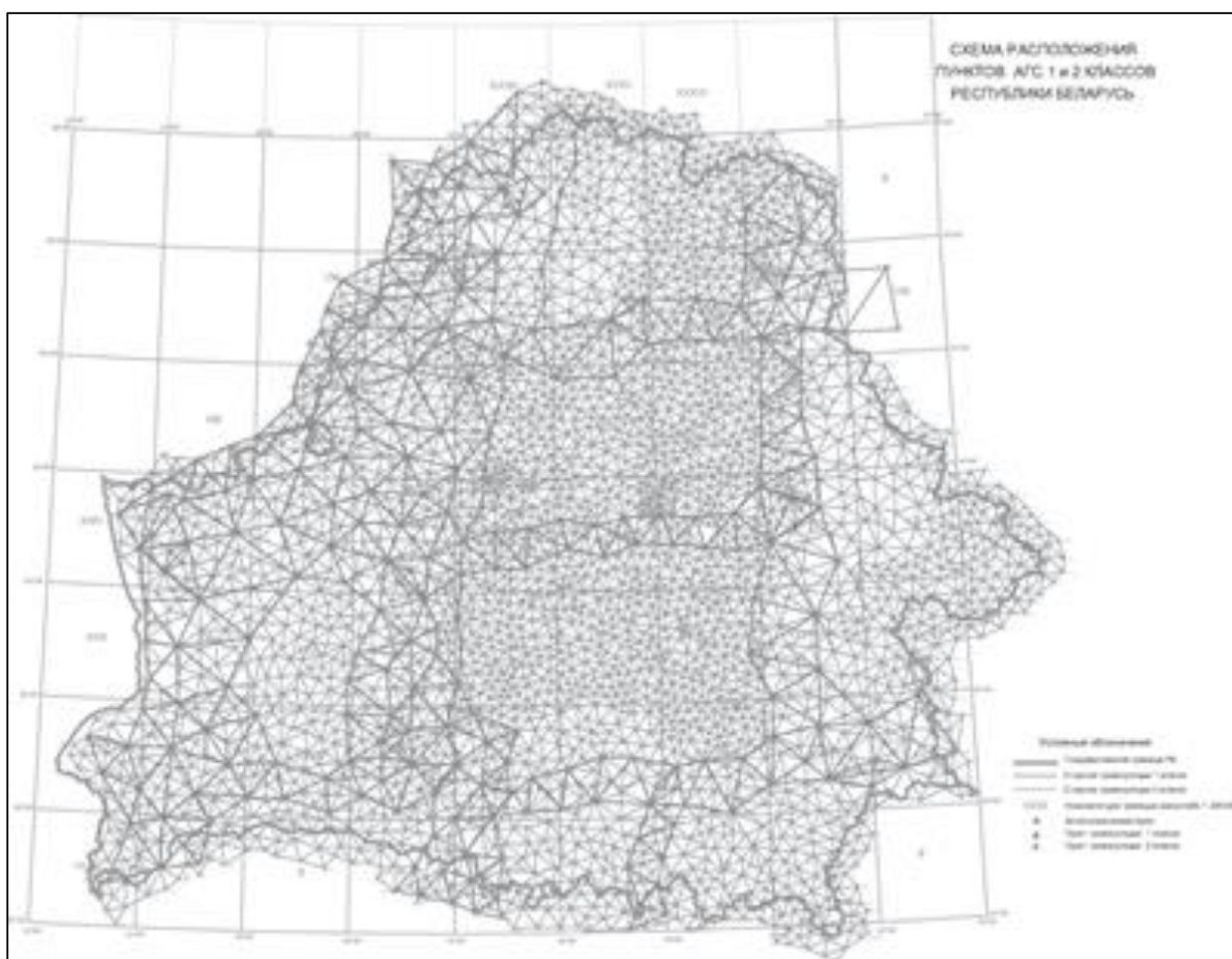


Рис. 1. ГГС Республики Беларусь

Весь комплекс работ по созданию новой государственной спутниковой геодезической сети выполнен УП «Белаэрокосмогеодезия». Фрагмент СГС-1 на объекте «Могилевский» построен РУП «Белгеодезия». Всего было 8 объектов (фрагментов) СГС-1.

Новая государственная система отсчета координат реализована пунктами государственной геодезической сети, включающей в себя:

- пункт фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);
- высокоточную геодезическую сеть (ВГС);
- спутниковую геодезическую сеть 1 класса (СГС-1);
- геодезическую сеть сгущения 1-4 классов: АГС (1 и 2 класс) и сети сгущения (3 и 4 класс), построенные в соответствии с Основными положениями 1954-1961 гг.

Плотность пунктов ГГС составляет не менее одного пункта на 30 км².

Расстояния между пунктами СГС-1 должны составлять 15–25 км, а на территориях городов, больших промышленных объектов – 8–12 км. На пунктах СГС-1 закладываются два пункта-спутника на расстоянии от 500 до 1000 м от основного центра. На застроенной и закрытой местности расстояние должно быть не менее 250 м.

Изначально пункт ФАГС Минск и 9 пунктов ВГС были созданы как часть единой спутниковой сети Российской Федерации и Республики Беларусь. Первые определения координат пунктов относятся к 2001 году (рисунок 2).

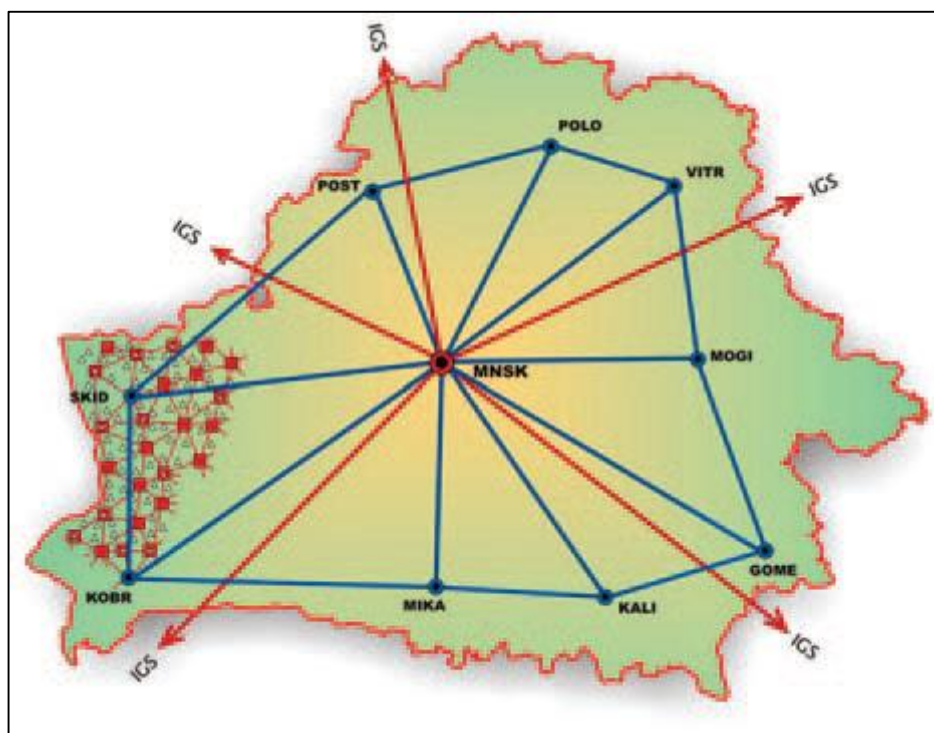


Рис. 2. Пункты ФАГС и ВГС на территории РБ

В 2008 г. выполнены работы по повторному определению пространственного положения пунктов ФАГС и ВГС в геоцентрической Международной Земной системе отсчета ITRS (в реализации ITRF2005 на эпоху 2008,341) с привязкой к 9 опорным пунктам IGS: MDVJ (Менделеево, Россия), GLSV и POLV (Украина), JOZE и BOR1 (Польша), METS (Финляндия), ONSA (Швеция), POTS и WTZR (Германия).

Вычисления по определению координат пункта ФАГС и пунктов ВГС выполнены с помощью программного обеспечения «BERNESE», версия 5.0, разработанного Астрономическим институтом Университета Берна (AIUB).

Некоторые подробности кампании по определению пункта ФАГС (Минск рабочий 1):

время наблюдений: 14×24 часа;

программное обеспечение: BERNESE;

точность (RMS) координат: $\pm 0,8$ мм (N); $\pm 0,3$ мм (E); $\pm 2,0$ мм (U).

Привязка пунктов ФАГС и ВГС к опорным пунктам IGS:

число международных станций: 9;

время наблюдения: 4×24 часа;

программное обеспечение: BERNESE;

RMS: $\pm 1,0$ мм (N); $\pm 0,7$ мм (E); $\pm 3,0$ мм (U).

Координаты пунктов ФАГС и ВГС в ITRS на эпоху 23.04.2008 (2008,341) получены с внутренней надежностью 3,1 мм. Средняя квадратическая погрешность определения координат пунктов ФАГС и ВГС по отношению к опорным пунктам IGS – 6,5 мм.

В 2008 г. полностью завершены работы по построению СГС-1 на всей территории Республики Беларусь. Всего СГС-1 Республики Беларусь включает в себя **846 пунктов**:

время наблюдения: 2×6 часов;

программное обеспечение: Pinnacle, GeoLab;

RMS: $\pm 2,2$ мм (N); $\pm 1,6$ мм (E); $\pm 4,2$ мм (U).

СГС-1 на 36 % совмещена с пунктами АГС. Именно по совмещенным пунктам (то есть пунктам, которые одновременно являются пунктами АГС и пунктами СГС-1) вычислены единые параметры связи ITRS (ITRF2005) и системы координат СК-95 для территории Республики Беларусь.

Уравнивание СГС-1 Республики Беларусь единым блоком выполнено с помощью программного обеспечения «GeoLab» (версия 2001.9.20), Microsearch Corporation (Канада) с опорой на пункты ФАГС и ВГС.

Таким образом, на территории Республики Беларусь распространена с высокой степенью точности и закреплена пунктами ФАГС, ВГС и СГС-1 геоцентрическая общеземная система отсчета в реализации координатной отсчетной основы ITRF2005, отнесенной к эпохе 23.04.2008.

Систему координат СК-95 Республики Беларусь можно рассматривать как производную от геоцентрической общеземной системы отсчета ITRS в реализации ITRF2005 на эпоху 23.04.2008, так как координаты пунктов ФАГС, ВГС и СГС-1 в ITRS (ITRF2005) и в СК-95 Республики Беларусь однозначно связаны едиными параметрами связи в виде семи параметров Гельмерта. Это обстоятельство обеспечивает однозначный переход без потери точности из ITRS (ITRF2005) в СК-95 Республики Беларусь и наоборот.

Выполнение выше указанных работ позволило сделать:

реализацию всей схемы модернизации координатной основы Республики Беларусь, направленной на создание условий для эффективного применения современных методов определения пространственных координат объектов для решения прикладных и фундаментальных задач геодезии;

интеграцию Республики Беларусь в единое координатное пространство Европы и любое другое координатное пространство, созданное с использованием ГНСС;

успешное внедрение системы координат СК-95 Республики Беларусь;

развитие спутниковых технологий по определению пространственного положения объектов, точек на сантиметровом уровне точности, в том числе в режиме реального времени от ССТП РБ.

О ВАЖНОСТИ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ГЕОДЕЗИЯ» НА ПРИМЕРЕ УЧАСТИЯ СТУДЕНТОВ БНТУ В КОНКУРСЕ «ОБЕСПЕЧИМ СОХРАННОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ»

А.Ю. Будо, А.В. Кабацкий
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kafgiakgt@gmail.com

В настоящее время руководство и сотрудники кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» Белорусского национального технического университета принимают активное участие в профориентационной работе, которая проводится среди школьников Республики Беларусь с целью популяризации в целом инженерно-технических профессий и в частности формирования у будущих абитуриентов мотивации для поступления в ведущие технические вузы для изучения специальности «Геодезия».

Ключевые слова: Геодезия; популяризация профессии; конкурс; геодезический пункт; ГНСС ориентирование.

Одним из таких мероприятий стал конкурс «Обеспечим сохранность геодезических пунктов», организованный топографо-геодезическим республиканским унитарным предприятием «Белгеодезия». Задачей проведения данного конкурса являлась попытка привлечь внимание интернет-пользователей к актуальным вопросам геодезии.

Для участия студентам, магистрантам и аспирантам минских вузов необходимо было в период с 16 по 20 сентября 2022 года при помощи своих мобильных телефонов и приложений-навигаторов отыскать на местности 24 пункта Государственной геодезической сети Республики Беларусь. Координаты пунктов были размещены на официальном сайте Белгеодезии в виде таблицы 1

Координаты геопунктов были приведены с небольшой погрешностью, но таким образом, чтобы их можно было увидеть визуально.

За каждый обследованный пункт участник набирал некоторое количество баллов, указанных в столбце 5 таблицы 1. Критериями для определения победителей среди участников конкурса являлась общая сумма набранных баллов и количество обследованных геодезических пунктов.

Конкурс вызвал неподдельный интерес у студентов: стать участниками пожелали более 30 студентов БНТУ 2 – 4 курсов специальности «Геодезия», включая иностранных студентов из Узбекистана.

Для участия студентам было необходимо было отыскать и обследовать геодезический пункт, сфотографировать себя на его фоне и отправить фотографию организаторам конкурса. Примеры фото представлены на рис.1

22 сентября 2022 года были подведены итоги прошедшего конкурса. Победу разделили студенты 4 курса БНТУ группы 11405119, отыскавшие все 24 пункта и набравшие 49 баллов: Давид Михаил Андреевич и Наривончик Анна Степановна (рис.2). Второе место занял также студент БНТУ – Андрейчиков Владислав; третье место – студентка БГУ, Кудрявцева Ульяна.

Таблица 1 – Фрагмент списка геодезических пунктов для самостоятельного обследования

Имя	Широта WGS84	Долгота WGS84	Примечание	Балл
1	2	3	4	5
Борисовская	53°55'27,39"N	27°40'36,05"E	Опознавательный знак	2
Боровая	53°57'07,75"N	27°28'16,36"E	Пирамида	3
ПДП Фаниполь	53°44'29,43"N	27°19'02,40"E	Антенна на здании	3
Ст рп 192	53°55'48,10"N	27°34'35,56"E	Стенной репер	1
Ст рп 1356, марка 139	53°54'06,89"N	27°32'53,13"E	Стенной репер и марка	1
Привокзальная	53°53'31,45"N	27°33'04,67"E	Геознак на здании	1



Рис. 1. Поиск геодезических пунктов

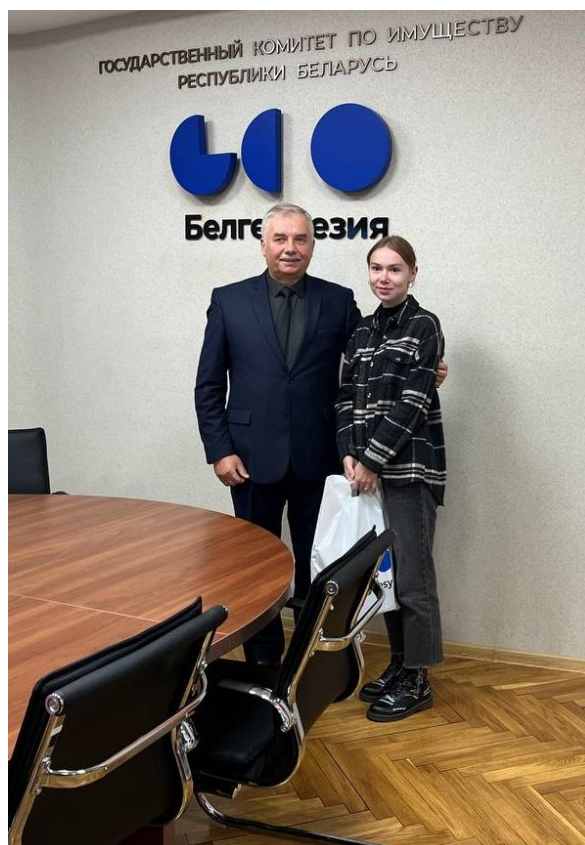


Рис. 2. Победители конкурса Давид М.А. и Наривончик А.С.

Победители и призёры были награждены памятными призами. Участникам, не занявшим призовые места, были вручены поощрительные сувениры.

Кроме этого, для всех участников конкурса был проведён мастер-класс по использованию высокоточного геодезического оборудования (рис.3) и прочитана лекция о том, почему так важно сохранять пункты Государственной геодезической сети.



Рис. 3. Мастер-класс по поиску геодезических пунктов

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Е.Ю. Мысливчик, О.Е. Гармаза
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, emyslivchyk@yandex.ru

С 2017 года на территории Республики Беларусь ведётся подготовка к разработке нового месторождения калийных удобрений с применением новейшей технологии сооружения вертикальных стволов. В статье рассматриваются виды инженерно-геодезических работ при прокладке вертикальных стволов большой глубины и описывается последовательность профессиональных действий для решения проблемы неравномерной разработки породы вследствие отклонения от горизонтали режущего органа механизированного стволопроходческого комплекса Shaft Boring Roadheader (SBR).

Ключевые слова: сооружение вертикальных стволов, маркшейдерские съемки.

7 июля 2017 года в Минске немецкой компанией Deilmann-Haniel GmbH был подписан договор на сумму более 200 млн. евро с компанией ИООО Славкалий на проходку шахтных стволов Нежинского горно-обогатительного комбината на базе Староробинского месторождения калийных солей. Регион работ располагается около 180 км к югу от города Минска, в окрестностях городов Солигорска и Любань и славится давними традициями в области добычи полезных ископаемых.

Проектная мощность нового горно-обогатительного комбината «Нежинский» должна составить от 1,1 до 1,2 млн. тонн хлорида калия в год. Для реализации этого было запроектировано сооружение двух вертикальных стволов глубиной порядка 750 м и диаметром 8 м, с последующей проходкой горизонтальных подземных выработок.

Строительство такого плана уникальных объектов ведется с оперативным геодезическим сопровождением. Основной задачей геодезическо-маркшейдерской службы при сооружении вертикальных стволов является обеспечение проектного положения ствола и его оснастки. Данная проблема решается путем выполнения высокоточных разбивочных работ с последующими контрольными измерениями при сооружении устья ствола, регулярными замерами и определением объемов работ по проходке и креплению ствола. Кроме этого, осуществляется геодезическое сопровождение выполнения геологической и гидрогеологической съемок в процессе разработки, контроль за возведением крепи ствола и его профильной съемки, а также контрольными измерениями при установке расстрелов и навеске проводников в процессе армировочных работ, составлением соответствующей документации маркшейдерских работ и журнала проходки ствола.

При сооружении вертикальных стволов механизированным способом при помощи механизированного стволопроходческого комплекса Shaft Boring Roadheader (SBR) специалисты сталкиваются с проблемой неравномерной разработки забоя из-за отклонения фактической плоскости режущего органа от горизонтали. Для решения данной проблемы разработан следующий алгоритм действий. Первоначально определяют фактические координаты лазерных отвесов (рисунок 1) в устье ствола и сравнивают их с определенными в этот же промежуток времени координатами лазерных лучей на мишенях.

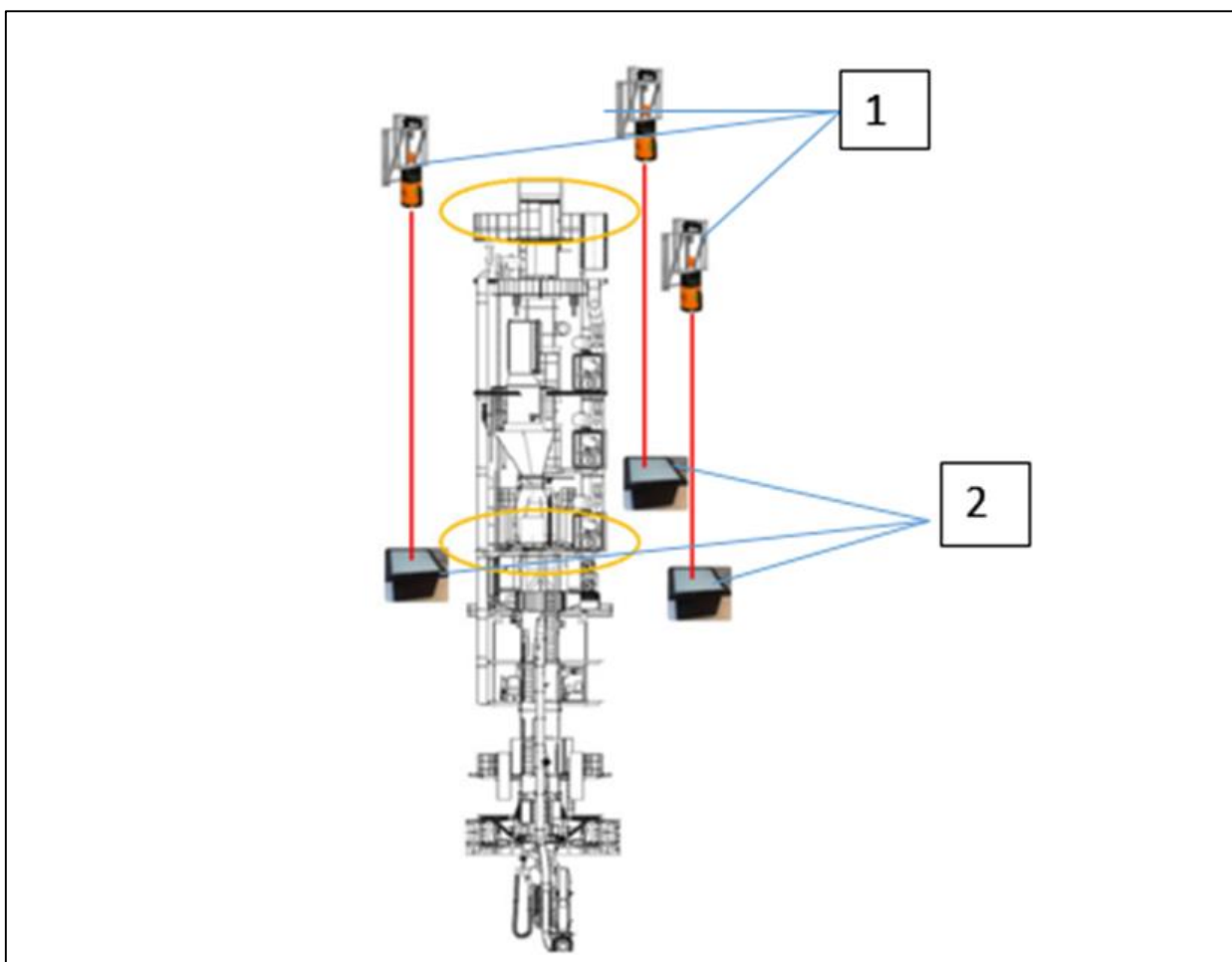


Рис. 1. Схема размещения лазерных отвесов 1 и мишеней 2.

Стоит отметить, что негативное влияние на данные, полученные от мишеней на компьютер VMT, влияет избыточная влажность в стволе, по причине чего лазерный пучок рассеивается, что приводит к получению ошибочных результатов. Если полученные данные совпадают, то проверяют правильность ввода этих координат в компьютер VMT. В противном случае, проверяют правильность работы лазерной установки. Далее вычисляют поправки в двусосный инклинометр через, предварительно определенный по двум горизонтальным осям, фактический уклон палубы SBR.

Если после всех вышеперечисленных действий проблема не исчезнет, то по результатам нескольких фактических маркшейдерских съёмок стенок забоя определяют направление отклонения SBR и поправками в инклинометр добиваются соответствия данных.

УДК 629.735

ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ – ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Е.И. Радцевич, В.А. Колосёнок
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, radtsevich.elizaveta@gmail.com

Обобщены некоторые важные аспекты автоматической фотограмметрической реконструкции поверхности. Современные фотограмметрические методы, такие как построение конструкции из движения, позволяют полностью автоматизировать

ориентацию практически любых групп изображений с одновременной калибровкой используемой камеры. Из-за широкого использования соответствующих программных решений и плохо документированных алгоритмов, вопрос о том, какое качество измерений может быть достигнуто с помощью этих подходов, часто остается открытым. Кроме того, многие пользователи не осведомлены о влиянии конфигурации съемки на качество калибровки камеры и о том, как это, в свою очередь, влияет на конечный результат.

Ключевые слова: калибровка камеры; внутреннее ориентирование; внешнее ориентирование; плотное облако точек; полуглобальное отождествление.

Более трех десятилетий фотограмметрия интенсивно работает над исследованиями и разработкой, основанных на изображениях методов трехмерной реконструкции поверхностей. Долгое время основное внимание уделялось получению цифровых моделей местности по аэрофотоснимкам. В последующий период фотограмметрические методы все больше отошли на второй план, поскольку стали доступны авиационные и наземные системы лазерного сканирования, которые имели многочисленные преимущества перед методами, основанными на изображениях, благодаря прямому получению облаков точек.

Разработки в области компьютерного зрения, постоянно увеличивающаяся вычислительная мощность процессоров и компьютеров, а также резкое развитие недорогих и высокопроизводительных цифровых сенсоров привели к значительному прогрессу в анализе трехмерных изображений и открыли множество новых областей применения. Сегодня доступны методы и системы, которые позволяют полностью автоматизировать ориентацию практически любых групп изображений, генерировать плотные облака точек. Облака точек представляют собой основу для 3D-моделирования, карт и планов или ортофотопланов.

Благодаря профессиональным программным решениям, таким как Pix4Dmapper (Pix4D), PhotoScan (Agisoft) или RealityCapture (Capturing Reality), а также многочисленным решениям с открытым исходным кодом, теперь стало возможным использовать фотограмметрические методы для всех, например, для приложений БПЛА, мобильных платформ.

Калибровка камеры. Как правило, в большинстве случаев на практике используются цифровые камеры, не предназначенные специально для фотограмметрии. Поэтому их необходимо постоянно калибровать, поскольку нельзя предполагать долговременную стабильность механических и оптических компонентов, как в случае со специальными метрическими камерами.

Задача калибровки камеры – определить параметры внутренней ориентации с качеством, адекватным для последующего применения. Это включает в себя точность параметров математической модели камеры из аналитического расчета, достоверность этих параметров до и в течение периода получения изображения и числовую независимость параметров от других переменных, в частности параметров внешней ориентации. Поскольку достижимая точность измерения в пространстве объекта всегда зависит от текущего масштаба изображения в фотограмметрии, необходимо стремиться к чрезвычайно малой погрешности измерения в пространстве изображения. Обычно они находятся в диапазоне от 0,5 до 0,02 пикселей или от 1–2 мкм до 0,3 мкм.

В стандартном случае пространственное положение центра проекции в системе координат камеры, а также параметры функций, описывающих дефекты изображения, моделируются. За некоторыми исключениями, расчет параметров калибровки осуществляется посредством уравнивания фотограмметрического пучка с дополнительными параметрами. Внутренняя ориентация используемой камеры, внешняя ориентация всех изображений и трехмерные координаты всех измеренных точек изображения определяются одновременно, то есть внутренняя и внешняя ориентация и поверхность объекта коррелируют друг с другом. Как правило, это не критично, если

координаты объекта, вычисленные из уравнивания связки, представляют собой окончательный результат оценки.

Остаточные погрешности внутренней ориентации отрицательно сказываются на реконструкции объекта. Таким образом, неправильная константа камеры вызывает ошибку масштабирования в пространстве объекта, особенно в направлении полета. Неточно определенные параметры приводят к систематическому искривлению пространства объекта, например, «провисанию» цифровых моделей поверхности. Эти систематические ошибки часто могут быть обнаружены только в том случае, если в пространстве объектов имеется достаточный объем избыточных данных.

Ориентация изображения. Ориентация всех изображений осуществляется с помощью настройки связки. Основана на уравнениях коллинеарности, которые линеаризуются в рамках настройки для приближенных значений неизвестных. Поэтому определение достаточно хороших приближительных значений, особенно для внешней ориентации, является важной задачей. Для программ, в которых используются обычные изображения (например, классические аэроснимки), приближительные значения могут быть получены из данных планирования или навигации. Для групп изображений любой формы, как это часто бывает в фотограмметрии с близкого расстояния, процесс получения приближения должен выполняться с использованием подходящих алгоритмов последовательной взаимной ориентации и трехмерных преобразований.

Метод структуры из движения (SfM). Основные этапы следующие: автоматическое распознавание признаков изображения, подходящих для последующего сопоставления изображения; распределение признаков за счет минимизации расстояния между векторами признаков большой размерности; относительная ориентация соседних изображений и последовательное создание общей модели; настройка связки для определения окончательных параметров внутренней и внешней ориентации, а также трехмерных координат измеренных характерных точек (тонкое облако точек).

Оператор SIFT – один из наиболее широко используемых методов распознавания признаков. Он ищет признаки в методе на основе пирамид, который, по сути, определяет локальные распределения градиента с помощью фильтрации Лапласа-Гаусса, и использует это для построения 128-мерного вектора признаков. SIFT не определяет особенности, в которых человек-оператор мог бы измерить выступающие точки, но они находятся в аналогичном положении на соседнем изображении. Геометрическая точность обнаружения признаков составляет от 0,5 до 1 пикселя.

Для SfM требуются адекватно текстурированные поверхности объектов и относительно небольшие базовые расстояния между соседними изображениями, что означает, что при съемке должен быть обеспечен высокий уровень взаимного перекрытия.

Использование БПЛА для построения поверхности значительно распространилось благодаря SfM и обычно надежно приводит к плотным описаниям поверхности. Часто остается неясным, какие внутренние программные процессы фактически выполняются и какие математические подходы реализованы для калибровки камеры. Обычно плановая точность составляет около 1 пикселя, а точность по высоте – от 2 до 3 пикселей.

Реконструкция поверхности. Если тонкого облака точек недостаточно для адекватного описания поверхности объекта, обычно используется плотное облако точек. Отождествление должно быть максимально независимым от геометрических и фотограмметрических различий между изображениями.

Самым популярным в настоящее время методом построения плотного облака точек является полуглобальное отождествление. Для каждого пикселя выходного изображения SGM вычисляет соответствующую точку изображения на эпиполярной линии, минимизируя функцию стоимости, в которой сходство двух частей изображения оценивается положительно, а превышение рассчитанного параллакса сравнивается с предельными значениями и оценивается отрицательно. С этой целью создается пространство поиска, в котором поиск соответствующих точек изображения происходит по

определенным путям, в которых затем сохраняются и оцениваются несоответствия. Преимущества SGM: очень распространенный подход плотного сопоставления; хорошие результаты даже на плохо текстурированных участках (сглаживание); хорошее моделирование резких перепадов высоты; значение глубины для каждого пикселя изображения.

SGM является основным алгоритмом во многих программах SfM, а также в открытых библиотеках программного обеспечения, таких как OpenCV. Если имеется более двух изображений, обычно используется подход Multi-View Stereo (MVS), при котором оценки стерео вычисляются попарно с последующим объединением отдельных облаков точек.

В целом моделирование демонстрирует реалистичную картину качества измерения, которое может быть достигнуто при заданных входных параметрах. Однако следует отметить, что влияние калибровки камеры и ориентации изображения не принимается во внимание. Это особенно проблематично в случае конфигураций записи, подобных аэрофотоснимкам, в которых могут быть высокие корреляции между внутренней и внешней ориентацией и систематические отклонения в пространстве объекта.

В принципе, точность фотограмметрического объекта также соответствует новым методам, как это было известно на протяжении десятилетий. Существенные влияющие переменные, такие как масштаб изображения, точность измерения и согласования изображения, а также конфигурации секций лучей (например, отношение высоты к основанию), по-прежнему действительны. В прошлом принцип достижения адекватного фотограмметрического результата с использованием как можно меньшего количества изображений, сегодня нет ограничений на количество используемых изображений. С одной стороны, это приводит к большей надежности определения точки, но также приводит к слишком оптимистичной информации, поскольку вычисленные стандартные отклонения и среднеквадратичные значения зависят от избыточности. Как показывает практика, для среднего стандартного отклонения координат объекта в плановом положении можно достичь примерно 1 пикселя и по высоте примерно от 2 до 3 пикселей.

Литература

1. Луман, Т. Bildbasierte 3D-реконструкция поверхности // DVW-Schriftenreihe. – 2018. – № 82. – С. 31–44.
2. Луман, Т. Фотограмметрия с близким применением – основы, методы, примеры / Т. Луман. – 4-е издание. – Берлин : VDE Verlag GmbH, 2018. – 783 с.
3. Михайлов, А.П. Фотограмметрия : учебник для вузов / А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев; под общ. ред. А.Г. Чибуничева. – М. : Изд-во МИИГАиК, 2016. – 294 с.

УДК 528.2/5

ПЕРВЫЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

И.В. Вахнер, Е.И. Лабунович, В.В. Мкртычян
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kafgiakgt@gmail.com

В данной статье представлена краткая история построения астрономо-геодезической сети на территории современной Беларуси (начало 19 века) до начала 20 века. Определены условные этапы построения государственной геодезической сети. Изложена информация о вкладе Корпуса военных топографов в развитие картографической, астрономо-геодезической и геодезической работ. Повествуется о проведенных измерениях под

руководством полковника Карла Ивановича Теннера, которые послужили началом известного геодезического построения такого как «дуга Струве»; построению и развитию триангуляционной сети, и ее изменениях по новой программе предложенной генералом Иллиодором Ивановичем Померанцевым. Упомянут вклад Василия Яковлевича Струве в развитие геодезической сети на территории современной Беларуси.

Ключевые слова: астрономо-геодезическая сеть; государственная геодезическая сеть; топографическая съемка; триангуляция; дуга Струве.

Война 1812 года продемонстрировала, что военно-топографические карты Российской империи устарели. Существующие карты того периода не соответствовали действительности. Стало очевидно, что топографические карты необходимо заменять новыми, полученными по более точным съемкам.

Эти работы нуждались в проведении фундаментальной геодезической съемки и установлении единых координатных сетей. Точные карты могли быть созданы только при выполнении топографических съемок на основе триангуляции.

В первую очередь было решено начинать картографирование по новым требованиям с западных рубежей Российской империи. Поэтому сразу же на территории современной Беларуси стали разворачиваться обширные астрономо-геодезические и топографические работы, которые впоследствии возглавил созданный в 1822 году Корпус военных топографов.

В начале 1816 года полковнику Карлу Ивановичу Теннеру поручили выбрать подходящее озеро для измерения зимой по льду геодезического основания (базиса) для развития тригонометрических сетей Виленской губернии. По результатам обследования было решено измерить базис на озере Дрисвяты.

С 14 февраля по 29 марта 1817 г. под руководством К.И. Теннера были выполнены работы по измерению Дрисвятского основания (базиса) длиной 5407,150 сажени, или 11536,695 м. В том же году после детального обследования Виленской губернии К.И. Теннер предложил проложить ряд первоклассных треугольников по меридиану Виленской обсерватории для проведения градусных измерений. Эти градусные измерения стали началом выдающегося геодезического построения, названного позже «дугой Струве» [1].

Приступая к работам, К.И. Теннер составил первую в России «Инструкцию по триангуляции», где ввел деление триангуляции на классы и наметил научные принципы ее построения. Ряды триангуляции 1-го класса строились по направлению меридианов цепочками из треугольников, близких к равносторонним, с длиной стороны порядка 25 верст.

В течение 1825–1834 гг. К.И. Теннер выполняет работы по развитию триангуляционных сетей на территории Гродненской и Минской губерний.

Необходимо отметить, что в результате выполненных колоссальных работ по тригонометрической и топографической съемке уже к 1847 году триангуляцией были покрыты 17 губерний на западных рубежах России и полуостров Крым.

По предложению Василия Яковлевича Струве начались градусные измерения по параллели с широтой 52 градуса. От прусской границы до Слуцка был проложен непрерывный ряд треугольников Теннера.

В течение 1861–1867 гг. были проведены дополнительные работы для реализации этого градусного измерения. В окрестностях Бобруйска проложили новый ряд триангуляции для прямого соединения тригонометрических пунктов Минской и Могилевской губерний.

В 1907 году при Военно-топографическом отделе Главного управления Генерального штаба было принято решение создать комиссию, которая будет заниматься составлением плана о проведении необходимых работ. В течении трех лет комиссией были

изучены построенные ранее триангуляционные сети, их точность и положения по их пересчету.

Были обнаружены серьезные недостатки в сетях, проложенных в 19 веке. На тот момент не существовало единых требований по построению триангуляции, не был составлен план работ, в каждой губернии развитие сетей выполнялось от разных начал, а также в процессе обработки измерений использовались параметры различных эллипсоидов (Вальбека, Кларка, Бесселя). Высокой оценки удостоились только триангуляции 1-го класса, выполненные К.И. Теннером в Виленской, Гродненской и Минской губерниях [2].

Генерал Иллиодор Иванович Померанцев предложил новую программу для развития сети триангуляции 1-го класса.

К 1914 году была произведена большая часть работ по построению сети, а территории к западу от Минска были полностью покрыты триангуляцией 2-го класса.

Литература

1. Научно-производственный журнал. Земля Беларуси. Минск : УП «ИВЦ Минфин», 2016. 48 с.

2. Глушков В.В. История военной картографии в России (XVIII - начало XX в.). Москва : Российская акад. наук, Ин-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова, 2003. 457 с. + Прил. (179 с.).

УДК:332.3

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.М. Абдуллаев ¹⁾, Ю.А. Романюк ²⁾

¹⁾ Кадастровое агентство при Налоговом комитете Республики Узбекистан,
кв-л Чиланзар-Ц, ул. Чапаната, 5А, 100097, г. Ташкент, Узбекистан

²⁾ доцент, Ташкентский архитектурно-строительный институт,
ул. Навои, 13, 100128, г. Ташкент, Узбекистан yulechka.romanyuk@mail.ru

Целью статьи является изучение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения на примере Ташкентской области Республики Узбекистан путем аналитической обработки данных дистанционного зондирования земли, направленной на изучение и обобщение расшифровочных материалов, полевых обследований, статистических отчетов с целью получения достоверных данных. В результате мониторинг земель необходим для разработки и определения стоимости рациональных агротехнических мероприятий по восстановлению плодородия и первичной обработки земель и их эффективному использованию.

Ключевые слова: Земля; приватизация; нарушения; мониторинг земель сельскохозяйственного назначения; сельскохозяйственные земли; космические снимки; дешифрирование.

Введение. Приватизация и перераспределение земель в последние десятилетия привели к значительным изменениям в использовании сельскохозяйственных земель. Таким образом, особое значение имеет мониторинг для выявления нарушений целевого и разрешенного использования земель сельскохозяйственного назначения. Ухудшение состояния земель продолжается в большинстве областей Республики Узбекистан. Ташкентская область не является исключением [1].

Интенсивно развиваются такие опасные и негативные процессы, как генезис болотных почв, кустарниковое и лесное зарастание сельскохозяйственных угодий и другие. Они приводят к потере плодородия сельскохозяйственных земель и их изъятию из хозяйственного оборота. Большая часть негативных изменений состояния земель происходит из-за различных нарушений земельного и экологического законодательства. Количество земельных правонарушений растет из года в год. Проблема борьбы с ними остается актуальной и сегодня.

Вопросы мониторинга и перспектив развития сельского хозяйства на территории Республики Узбекистан рассматриваются во всех областях. Особое внимание уделяется необходимости планирования землепользования сельскохозяйственного назначения с целью повышения эффективности землепользования для хозяйственной и иной деятельности. Использование космической информации для повышения эффективности сельскохозяйственного производства значительно удешевляет получаемую информацию, увеличивает ее объем и обеспечивает эффективность информационных потоков, поскольку мониторинг осуществлялся достаточно простыми, но высокотехнологичными способами [1,2].

Современная ситуация в мире позволяет считать вопросы мониторинга землепользования достаточно актуальными. Эти вопросы позволяют делать долгосрочные прогнозы при обеспечении устойчивого развития сельского хозяйства как приоритетного направления.

Целью данной статьи является разработка комплекса работ по осуществлению мониторинга земель сельскохозяйственного назначения на примере Ташкентской области Республики Узбекистан. Проблемы исследования:

- анализ общей глобальной тенденции изменения растительного покрова с использованием методов дистанционного зондирования земли;
- провести мониторинг земель Ташкентского района Республики Узбекистан и составить карту выявленных нарушений.

Полученные данные позволят решить вопросы рационального землепользования локально и во времени. Они помогут оценить риски сохранения больших земельных участков (в том числе сельскохозяйственных угодий), сделать объективные прогнозы изменений земной поверхности на основе данных, полученных со спутников. Возможность использования современных методов получения информации позволит повысить доступность спутниковых данных во всем мире. Это будет способствовать решению глобальных задач в области сельского и городского хозяйства, выработке совместных алгоритмов решения актуальных задач в зависимости от местоположения объекта и его функционального назначения.

Методы и материалы. В статье представлены результаты земельного мониторинга Ташкентского района Республики Узбекистан. В качестве объектов обследования были выбраны земельные участки всех категорий. Сельскохозяйственные земли были рассмотрены в приоритетном порядке. Особое внимание было уделено районам с активными процессами земле оборота. По данным 2011-2012 и 2019-2022 годов, земля на этих территориях долгое время не использовалась или использовалась ненадлежащим образом.

Порядок проведения данного вида мониторинга определяется Министерством сельского хозяйства Республики Узбекистан. В нашем исследовании мы применили методику, которая позволяет оценить, пригодны ли земельные участки, для дальнейшего использования независимо от форм собственности. Для этого мы разработали экспертную систему, включающую в себя следующие подсистемы:

- 1) Лабораторные работы по расшифровке данных дистанционного зондирования земли;

2) Полевые работы по сбору материалов, обследованию и фотографированию объектов, имеющих оттенки нарушений земельного законодательства на территории района;

3) Аналитическая обработка для изучения и обобщения расшифровочных материалов полевых обследований, статистических отчетов, официальной информации кадастровых служб, в том числе информации, размещенной в сети Интернет [3].

Результаты. В последнее время в районе быстро идет заселение сельскохозяйственных земель деревьями и кустарниками. Это приводит к ряду проблем. Одна из них - количественное сокращение сельскохозяйственных площадей.

В связи с сокращением поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах района значительные площади естественных кормовых угодий не используются. Это приводит к заселению деревьями и кустарниками сельскохозяйственных земель. Отсутствие специальной техники и средств, необходимых для полевых работ, низкое плодородие и отрицательные свойства почв, удаленность некоторых земель от населенных пунктов, сокращение сельского и трудоспособного населения являются причинами сокращения использования земель сельскохозяйственными предприятиями. Ниже приведены примеры заселения деревьями и кустарниками пахотных земель в сельскохозяйственных районах. Эти данные были получены в ходе полевых исследований, проведенных в мае 2022 года, и подтверждены аэрофотосъемкой, выполненной в 2011-2012 и 2022 годах (рисунки 1, 2, 3,4).



Рис. 1. Пример начала заселения деревьями и кустарниками земель сельскохозяйственного назначения, площадь 17,37 га по данным аэрофотосъемки 2012 года)



Рис. 2. Заселение деревьев и кустарников сельскохозяйственными угодьями в 2022 году (по материалам космической фотосъемки, 2022).



Рис. 3. Пример зарастания сельскохозяйственных угодий: луга не используются. Зарастание имеет низкую степень выраженности (по данным аэрофотосъемки, 2012г.)



Рис. 4. Тот же участок, что и на рисунке 3: интенсивное зарастание. Местоположение участка: Кибрайского района, Ташкентской области (спутниковый снимок 2022 года)

Изучение изображений, полученных с помощью аэрофотосъемки и космической съемки, показывает увеличение площади, занимаемой деревьями и кустарниками, с 15% до 70% за 5 лет. Из-за отсутствия мер по восстановлению прежних земельных свойств (вспашка, сенокос) слабое зарастание земель стало сильным. Затем участок будет признан непригодным для дальнейшего сельскохозяйственного использования. Данные дистанционного зондирования 2012 и 2022 годов были подтверждены в ходе полевых исследований, как показано на рис. 3.

Результаты проведенной работы по мониторингу использования земель на территории Ташкентского района показали, что значительные площади земель сельскохозяйственного назначения не используются. Сельскохозяйственные земли, которые раньше использовались для фундаментального улучшения, сейчас зарастают. Государственные и общественные земли часто незаконно передаются в пользование гражданам. Сельскохозяйственные угодья используются для индивидуального строительства и частной земельной деятельности без разрешения. Существуют также нарушения, которые приводят к значительному снижению плодородия сельскохозяйственных земель. Среди них засорение земель, удаление плодородного слоя. Иногда сельскохозяйственные земли используются для целей, не связанных с сельскохозяйственным производством. Более того, это делается без соблюдения процедуры зонирования земель [4].

Большое количество землепользователей не платят земельный налог и арендную плату. Учет ранее зарегистрированных земельных участков не производится должным образом. Выявлено также несовершенство и противоречивость законодательства, регулирующего земельные отношения. Особое внимание следует обратить на неиспользование земель сельскохозяйственного назначения.

Лабораторные и полевые исследования, проведенные в мае 2022 года, показали, что на пашне залежи не задействованы. Большинство залежей заросли кустарниками и лесными массивами. Появились новые изъятые из оборота площади пашни. На картине нарушений земельного законодательства области видно, что наиболее распространенным нарушением

земельного законодательства является самовольное занятие земельного участка или его части. Также известны случаи использования земельного участка лицом, не имеющим на это прав.

В связи с проведенными исследованиями рекомендуется провести следующие мероприятия:

- сельскохозяйственные земли, заросшие деревьями и кустарниками более чем на 70 % (высокая степень зарастания), должны быть переданы в Фонд перераспределения;
- другие сельскохозяйственные угодья со слабой и средней степенью лесонасаждения и кустарниковости, менее 70%, должны быть вовлечены в сельскохозяйственный оборот;
- неиспользуемые земли следует беречь.

Данные земельного мониторинга позволяют сделать вывод о необходимости проведения почвенно-геоботанического обследования сельскохозяйственных угодий. Это необходимо сделать для разработки и определения объема агротехнических мероприятий, установления технологии и стоимости их выполнения. Мониторинг земель необходим для разработки и определения стоимости рациональных агротехнических мероприятий по восстановлению плодородия и первичной обработки земель и их эффективному использованию [5].

Заключение. Сложившаяся ситуация подтверждает настоятельную необходимость организации плановых наблюдений за состоянием и использованием земель с целью получения соответствующей информации. Эта информация будет способствовать выявлению негативных процессов, прогнозированию их развития и распространения, реализации комплекса мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий негативных процессов, разработке стратегии рационального землепользования.

На мой взгляд, одной из причин ухудшения состояния земель является бессистемная хозяйственная деятельность большинства агропромышленных предприятий. Анализ сложившейся ситуации показывает, что многие сельхоз товаропроизводители сегодня не имеют научно обоснованных севооборотов и схем севооборота, хотя, как известно, продуктивность пахотных земель увеличивается на 20...30% и на 30...40% только за счет правильного севооборота. Кроме того, снижаются затраты на защиту растений и обработку почвы. Посевы располагаются на обрабатываемых землях без учета естественного плодородия почвы и степени их влияния на объем накопления органического вещества в пахотном слое. У руководителей хозяйств и агрономов нет даже современного картографического материала, содержащего размеры полей и дополнительных участков, не говоря уже о картах уклонов и степени территориальной эрозии.

В результате почва обрабатывается без соблюдения элементарных норм природоохранного земледелия. Существующая структура посевных площадей также не способствует стабилизации плодородия почв. Доминирование зерновых культур и подсолнечника на посевных площадях при низких нормах внесения минеральных удобрений значительно снижает питательную способность почвы.

Земля является основным природным ресурсом в сельском хозяйстве. При правильной обработке он может использоваться в течение многих лет, а его качественные свойства могут постоянно улучшаться. Решение выявленных проблем позволит найти пути рационального землепользования.

Литература

1. Национальный доклад о состоянии земельных ресурсов, геодезии, картографии и кадастра Республики Узбекистан. - Ташкент, Давергеодезкадастр кумитаси, 2020.
2. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 258-Ф от 14 марта 2017 года "О мониторинге сельскохозяйственных культур, разработке и внедрении технико-технологических разработок в картографию территории".

3. Шаповалов Д.А., Ключин П.В., Мурашева А.А. Методические основы мониторинга земель / Учебное пособие. – М., 2010. – 238 с.
4. Якупова Г.Ф. Экологическое прогнозирование и планирование как функция управления // В сборнике: Наука молодых-инновационному развитию АПК материалы XI-Национальной научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2018. - С. 252-257.
5. Бобомуродов Ш.М., Баходиров З.А. Разработка геоинформационной базы данных для мониторинга плодородия почв // “ҚарДУ хабарлари” илмий журнали. – Қарши, 2017. – №3. - Б.147-150.

СЕКЦИЯ
«МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА»

О ПРОИЗВОДСТВЕ ВОСТРЕБОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОТХОДОВ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

А.В. Вавилов

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, fkcdm@bntu.by

Аннотация: В статье приведены отходы, образуемые в процессе строительства и эксплуатации автомобильных дорог и отмечены какие полезные и востребованные продукты можно из этих отходов получить.

Уделено много внимания технологии и техническим средствам для дробления крупногабаритных отработанных бетонных и железобетонных конструкций (в основном мостовых) и получения из них щебня, востребованного при строительстве в основном местных дорог.

Описана технология получения рубероида из асфальтогранулята, получаемого при ремонте асфальтированных дорог. Целлюлозосодержащие отходы, образуемые, в основном, в результате расчистки полосы отвода от нежелательной древесной растительности, рекомендуется использовать для получения гранулированной стабилизирующей добавки, являющейся основным структурообразующим компонентом щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Ключевые слова: асфальтогранулят, дорожно-строительный комплекс, отходы, востребованные продукты, щебень, рубероид.

В дорожной отрасли Беларуси в процессе работы ее предприятий образуются в большом количестве следующие отходы: асфальтогранулят, получаемый в процессе фрезерования (или вскрышных работ) ремонтируемых участков асфальтированной дороги, отработанные бетонные и железобетонные конструкции (в основном мостовые), нежелательная древесно-кустарниковая растительность, удаляемая в процессе расчистки полосы отвода дорог и т.д.

Эти отходы сегодня пополняют свалки, хотя из них можно получать такие востребованные продукты, как щебень для строительства местных дорог, кровельный материал, рубероид, гранулированные стабилизирующие добавки, являющиеся основным структурообразующим компонентом щебеночно-мастичного асфальтобетона и т.д. [1].

Щебень из крупногабаритных бетонных и железобетонных отходов для строительства местных дорог можно получать путем предварительного дробления с помощью гидромолотов или гидравлических ножниц [2,3], а окончательное дробление на щековых дробилках.

Следует отметить щековую дробилку на гусеничном ходу Extec C12 (рис. 1) со следующей технической характеристикой (табл. 1).

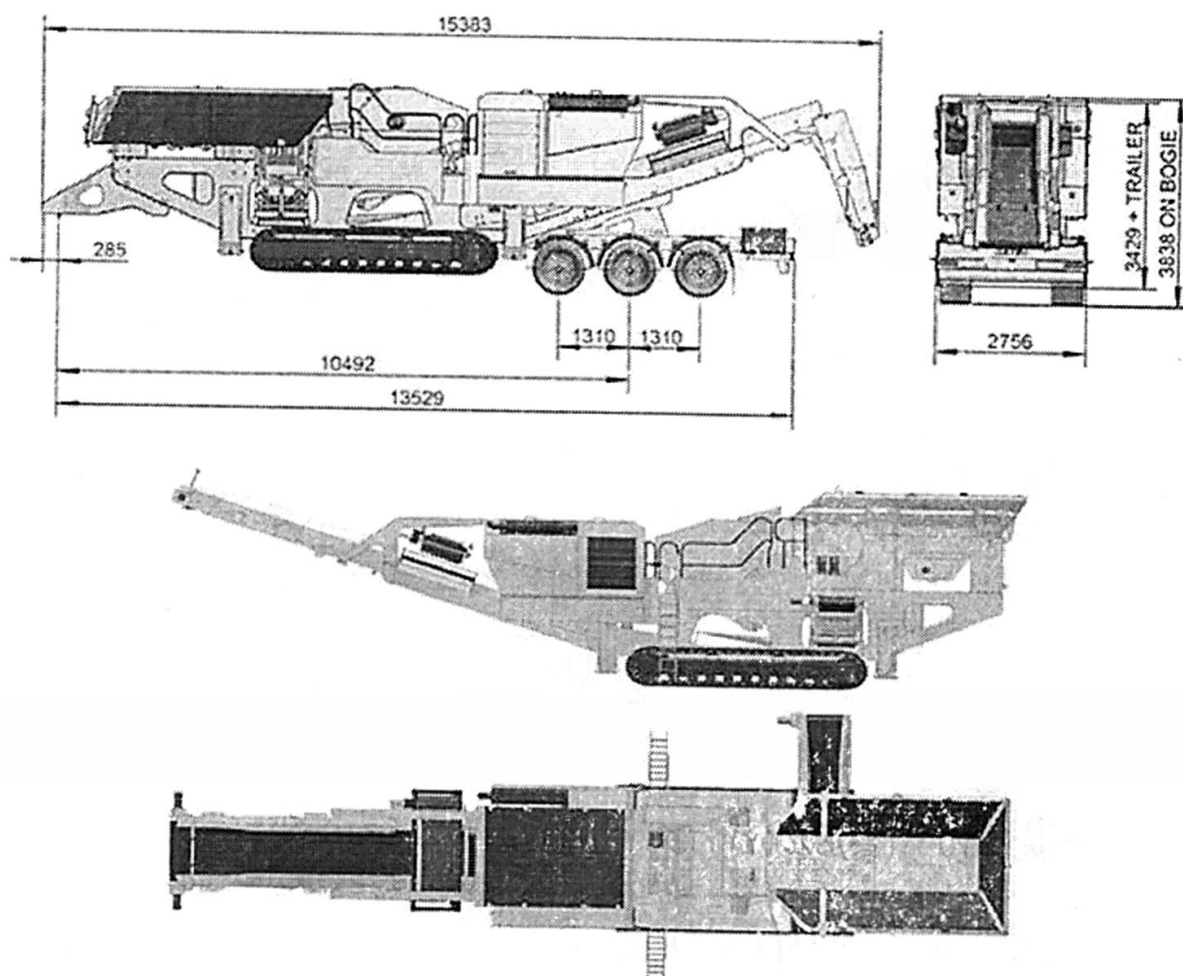


Рис.1. Дробилка щековая на гусеничном ходу Extec C12

Таблица 1. Техническая характеристика щековой дробилки Extec C12

Наименование параметра	Значение параметра
Размеры в транспортном положении, мм	12000x2650x4060
Масса, т	около 47
Производительность, т/ч	до 400
Размер входного отверстия, мм	1200x750
Тип привода	гидравлический
Питатель	вибрационный
Ширина приемного бункера, мм	2751
Объем бункера, м ³	6,5
Топливный бак, л	420
Гидравлический бак, л	1400
Двигатель	DEUTZ

Дробилка щековая обеспечивает высокоэффективное дробление дорожно-строительных отходов.

В последнее время получает распространение приобретение предприятиями дорожно-строительного комплекса республики дробильного ковша BF 90.3 – сменного

рабочего органа к отечественным одноковшовым гидравлическим экскаваторам эксплуатационной массой от 20 до 28 тонн (рис. 2).



Рис. 2. Дробильный ковш — сменный рабочий орган к одноковшовому гидравлическому экскаватору

Таким образом, в Беларуси имеются все условия для получения более дешевого щебня для строительства местных дорог (табл. 2).

Таблица 2. Техническая характеристика дробильного ковша BF 90.3

Параметры	Значение
Длина, мм	2150
Ширина, мм	1350
Высота (исключая крепления), мм	1435
Емкость, м ³	0,80
Масса без груза, кг	3500
Раскрытие входного отверстия, мм	900x510
Варьирование размера выхода материала	
Минимум, мм	20
Максимум, мм	120

Для дробления можно применять мобильную гидроударную установку, которая монтируется в качестве навесного сменного рабочего оборудования на энергетическом модуле - погрузчике, тракторе, экскаваторе или другой строительной машине [4]. В предлагаемом техническом решении используется электрогидроударный эффект Юткина для получения сверхвысоких давлений в среде жидкости.

Сущность этого эффекта состоит в том, что вокруг зоны образования специально сформированного высоковольтного импульсного электрического разряда внутри объема жидкости возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений [4].

Основными действующими факторами электрогидравлического эффекта являются высокие и сверхвысокие импульсные гидравлические давления и гидродинамические эффекты, приводящие к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями; значительные импульсные перемещения объемов жидкости, совершающиеся со скоростями, достигающими сотен метров в секунду; мощные импульсно возникающие

кавитационные процессы, способные охватить относительно большие объемы жидкости; механические резонансные явления с амплитудами позволяющими осуществлять дробление бетона [4].

Из измельченного асфальтогранулята можно получать кровельный материал – рубероид. Для этого применяют линию, включающую механизм разматывания основы (ленты), которая пропитывается битумом и по которой равномерно распределяется измельченный асфальтогранулят. Далее на линии предусмотрена сушка готовой ленты рубероида.

Измельченные на шредере целлюлозосодержащие отходы являются сырьем для получения гранулированной стабилизирующей добавки, являющейся основным структурообразующим компонентом щебеночно-мастичного асфальтобетона [5].



Рис. 3. Шредер кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» БНТУ для измельчения целлюлозосодержащих отходов при производстве стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона

Для производства стабилизирующих добавок на базе технопарка БГТУ им. В. Г. Шухова (Россия) разработан и изготовлен специальный технологический комплекс (рис. 4).

Функционирование технологического комплекса для переработки целлюлозосодержащих отходов (ЦСО) и их гранулирования с минеральными добавками и связующими включает следующие технологические операции: складирование исходных отходов 7; дозирование и транспортирование их к шредеру 2; двухстадийное измельчение ЦСО 3, 5 с введением в измельченный материал после шредера механоактивированных минеральных добавок; осаждение измельченных ЦСО в аспирационной системе 6, 7; двухстадийная гомогенизация композиционной смеси 8, 9 (измельченных ЦСО, механоактивированных минеральных добавок, водно-битумной эмульсии и др.), гранулирование композиционной смеси в плоскоматричном грануляторе 10 с последующей сушкой и классификацией готового продукта в барабанно-винтовом сушильном агрегате 11 [6]; транспортирование добавки 72, 13, 14 для ее последующей упаковки, взвешивания 15 и складирования.

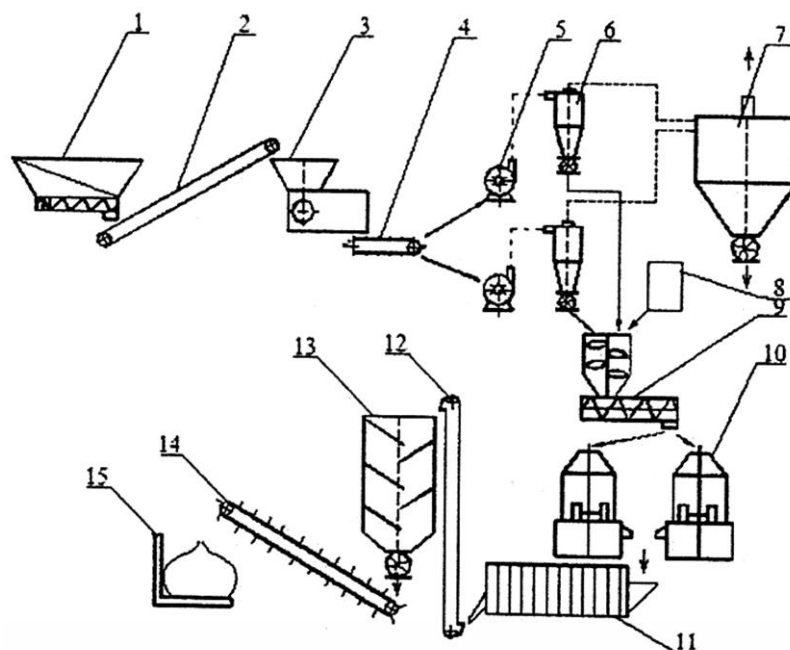


Рис. 4. Схема технологического комплекса по производству гранулированных стабилизирующих добавок

Литература

1. Вавилов А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов /А.В. Вавилов // Минск: Жилкомиздат, 2018. 176 с. (монография).
2. Вавилов А.В. Инженерное обеспечение строительства внутрихозяйственных дорог / А.В. Вавилов // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. Материалы Международной научно-технической конференции. Минск. БНТУ, 2020. С. 182-185.
3. Вавилов А.В. Дорожно-строительные машины / А.В. Вавилов, И.И. Леонович и др. Минск: Технопринт, 2000. 515 с.
4. Смоляк А.Н. Электрогидроударная дробилка для получения вторичных материалов, применяемых при строительстве и ремонте автомобильных дорог / А.Н. Смоляк // Ж. Автомобильные дороги и мосты. № 1. 2022. С.125-130.
5. Вавилов А.В. О производстве гранулированных стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона из целлюлозосодержащих отходов / А.В. Вавилов, М.В. Севастьянов, В.С. Севастьянов и др. // Ж. Автомобильные дороги и мосты. № 1. 2022. С.117-124.

УДК 629.351+625.75.08

СМЕННОЕ КОММУНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ К АВТОМОБИЛЯМ МАЗ

М.М. Гарост¹⁾, А.А. Шнаркевич²⁾

¹⁾ Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, Grushewo@yandex.by

²⁾ УП «ЖРЭО Заводского района г. Минска»
пер. Бехтерева, 6, 220026, г. Минск, Беларусь, shnarkevich281994@mail.ru

Проведенный анализ производимых в Республике Беларусь коммунальных машин для поддержания улиц, тротуаров и пешеходных дорожек в чистоте показал, что в качестве

базы чаще всего применяют шасси тракторов, на которое навешивается задняя щетка, во фронтальной части – плужный отвал. Для всесезонного обслуживания дорог с твердым покрытием зарубежные производители создают многофункциональные машины на базе автомобильного шасси или самосвала. В статье приведены конструкции сменного коммунального оборудования отечественного производства на автомобилях МАЗ. Для сокращения парка узкоспециализированных коммунальных машин и финансовых затрат на их содержание предложено оснащать комбинированную дорожную машину щеточным и поливомоечным оборудованием.

Ключевые слова: комбинированная дорожная машина; сменное коммунальное оборудование; автомобильное шасси.

В Республики Беларусь одной из наиболее распространенных коммунальных машин является уборочная техника на базе тракторов МТЗ «Беларус» с навесным оборудованием: отвалом и цилиндрической щеткой, предназначенных для очистки проезжей части улиц, дорог, тротуаров и площадей от снега, песка, листьев и прочего мусора. Конструкция коммунальной машины на базе трактора «Беларус-82.1» приведена на рисунке 1.

Бобруйский завод тракторных деталей и агрегатов выпускает на базе трактора «Беларус-320.4» малогабаритную уборочную машину МУ-320.4 (рис. 2).



Рис. 1. Коммунальная машина на базе трактора МТЗ «Беларус -82.1» с цилиндрической щеткой и отвалом



Рис. 2. Машина уборочная МУ-320 на базе трактора «Беларус-320.4»

Применение тракторов МТЗ в коммунальных службах республики обусловлено в первую очередь универсальностью в разных сферах, простотой конструкции, отсутствием проблем с поиском запчастей и ремонтом. Эксплуатация не требует дополнительного обучения оператора, а сервисные работы под силу слесарю средней квалификации.

Вместе с тем к недостаткам задней навески цилиндрической щетки на тракторе следует отнести то, что тракторное шасси колесами уплотняет снег, а также происходит забрасывание щеткой снежной массы на задний мост трактора.

Проведенный анализ коммунальных машин, производимых в Республике Беларусь, показал, что в республике нет многофункциональных машин для всесезонного обслуживания улично-дорожной и дворовой сети [1].

Для всесезонного обслуживания дорог с твердым покрытием в настоящее время зарубежные производители создают многофункциональные машины на базе автомобильного шасси или самосвала. Такие машины предназначены в зимнее время – для очистки дорожного полотна от свежевыпавшего снега, удаления наката; распределения сыпучих противогололедных реагентов. В летнее время - уборка и мойка дорог, ограждений, бордюров, дорожных знаков и элементов обустройства дороги; в качестве самосвала – перевозка строительных грузов.

Создание новых более совершенных технологий и многофункциональных машин, эффективное их использование становятся приоритетными вопросами развития коммунального хозяйства Республики Беларусь. Использование многофункциональных машин с большим количеством сменного оборудования оправдано экономически. Целесообразность их эксплуатации определяется возросшими объемами работ по всесезонному содержанию улично-дорожной сети и дворовых территорий.

В государственном унитарном предприятии «Жилищное ремонтно-эксплуатационное объединение Заводского района г. Минска» одним из авторов статьи Шнаркевичем А.А. разработано техническое задание на комбинированную дорожную машину для коммунального обслуживания круглый год на базе автомобилей. В зимний период машина укомплектовывается пескоразбрасывающим оборудованием и отвалом передним поворотным, а в теплое время года комплектуется установкой ямочного ремонта.

По техническому заданию КУП «ЖРЭО Заводского района г. Минска» КУП «Дорвектор-Маш» (г. Молодечно) разработало комбинированную дорожную машину КДМ-361. В зимний период КДМ-361, укомплектованная оборудованием пескоразбрасывающим ОПС-8.5-3 и отвалом передним поворотным ОПП-3,6-03 (рис. 3) применяется для очистки проезжей части дорог, площадей и тротуаров шириной свыше трех метров с асфальтовым покрытием от свежевыпавшего и слабо слежавшегося снега и для посыпки инертными или противогололедными материалами поверхности дорожных покрытий.

Основные технические характеристики комбинированной дорожной машины на базе автомобиля МАЗ-5550С5 приведены в таблице 1.

В Республике Беларусь для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий применяются установки Тайфун (рис. 4), БИС - 310М-01 производства ООО «БелИрмашСтрой» (Республика Беларусь) (рис. 5) и другое оборудование.

Анализ технологий ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог установками с выдачей компонентов (щебня, эмульсии и воды) сзади транспортного средства показывает, что оператор подвергается повышенной опасности от рядом движущихся транспортных средств если не перекрыто их движение.

Для повышения безопасности работы оператора установки ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог по техническому заданию КУП «ЖРЭО Заводского района г. Минска» КУП «Дорвектор-Маш» (г. Молодечно) разработало к комбинированной дорожной машине КДМ-361 установку ямочного ремонта ДС-273М-04 (рис. 6) с использованием битумной эмульсии, щебня фракции 5-10 мм, которые посредством гибкого щебнепровода подаются в рабочую зону. Технические характеристики установки

ямочного ремонта ДС-273М-04 приведены в таблице 2 установки ямочного ремонта ДС-273М-04 приведены в таблице 2.



Рис. 3. Комбинированная дорожная машина КДМ-361 на базе автомобиля МАЗ- 5550С5:

а) вид спереди; б) вид на плиту крепления отвала; в) вид сзади:

- 1 – передний поворотный отвал, 2 – плита, 3 – передняя поперечина,
4 – базовый автомобиль, 5 – болтовое соединение М12, 6 – оборудование пескоразбрасывающее, 7 – самосвальная платформа

Для повышения безопасности работы оператора установки ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог по техническому заданию УП «ЖРЭО Заводского района г. Минска» КУП «Дорвектор-Маш» (г. Молодечно) разработало к комбинированной дорожной машине КДМ-361 установку ямочного ремонта ДС-273М-04 (рис. 6) с использованием битумной эмульсии, щебня фракции 5-10 мм, которые посредством гибкого щебнепровода подаются в рабочую зону. Технические характеристики установки ямочного ремонта ДС-273М-04 приведены в таблице 2.

Таблица 1. Основные технические характеристики комбинированной дорожной машины КДМ-361 на базе автомобиля МАЗ-5550С5

Наименование параметра и характеристики	Значение
Колесная формула / ведущие колеса	4×2/задние
Использование грузозночного пространства	самосвальная платформа с установленным бункером и пескоразбрасывающим оборудованием
Масса в снаряженном состоянии, кг	11400
Технически допустимая максимальная масса, кг	19000
База, мм	3600
Колея колес, мм	2040/1820
Двигатель	ЯМЗ-53603
Максимальная мощность двигателя, кВт	241
Сменное навесное оборудование	
Пескоразбрасывающее оборудование:	
Высота расположения диска от поверхности дороги, мм	от 250 до 500 мм включительно
Монтаж и демонтаж навесного оборудования	без использования грузоподъемных механизмов
Ширина распределения противогололедных реагентов, м	от 4 до 10 включительно
Максимальная скорость движения при распределении реагентов, км/ч	не менее 40
Плотность распределения противогололедных реагентов, г/м ²	от 5 до 500 включительно
Частота вращения распределительного диска, об/мин	50
Передний поворотный отвал:	
Рабочая ширина отвала, мм	3500
Высота крыла отвала, мм	800
Максимальный угол поворота отвала, градусов	от 35 до 50 включительно
Ширина снегоочистки, мм	не более 2600



Рис. 4. Установка для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий Тайфун



Рис. 5. Ремонт асфальтобетонного покрытия струйно-инъекционным способом с помощью щебня установкой БИС-310М-01



Рис. 6. Установка ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог ДС-273М-04 на базе автомобиля МАЗ – 534013

Таблица 2. Технические характеристики установки ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог ДС-273М-04

Наименование параметра и характеристики	Значение
Базовое транспортное средство (шасси)	МАЗ – 534013
Масса установки ДС-273М-04, кг, не более	3500
Вместимость:	
- ёмкости для вяжущего, тыс. л	1,5
- бункера для щебня фракции 5-10 мм, м ³	5,4
Объем емкости для воды, л	300
Объем топливного бака, л	36
Объем гидробака, л	72
Силовая установка	Дизель HATZ
Мощность двигателя номинальная, кВт	24,3
Удельный расход дизельного топлива на режиме эксплуатационной мощности, г/кВт-ч	212
Расход дизельного топлива на подогреве эмульсии, л/ч	3,4

Опыт эксплуатации установки ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог ДС-273М-04 в УП «ЖРЭО Заводского района г. Минска» показал, что часто разрушаются подшпипники узлов крепления шнека для транспортировки щебня и интенсивно изнашивается винт шнека. В связи с этим для повышения надежности установки ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог ДС-273М-04 необходимо провести исследования по совершенствованию конструкции подшпипниковых узлов и повышению износостойкости винта шнека для транспортировки щебня.

Для расширения функциональных возможностей комбинированной дорожной машины на базе автомобилей МАЗ необходимо оснастить ее поливомоечным оборудованием. Такое оборудование разработало АО «ПК «Ярославич» (Российская Федерация) (рис. 7), которое устанавливается в кузов самосвала (рис. 8) или на платформу коммунальные дорожные машины этой компании (рис. 9) [2].



Рис. 7. Емкость для поливомоечного оборудование PАР -10 компании «Ярославич»

Компания «Ярославич» также оснащает коммунальную машину щеткой для мойки барьерных ограждений «Road Master» (рис. 10), которая применяется для влажной очистки дорожных металлических ограждений барьерного типа и иных конструкций обустройства дорог. Щетка устанавливается на переднюю универсальную плиту навески, является быстросъемным оборудованием и работает совместно с поливомоечным оборудованием серии «PАР». Конструкцией предусмотрено мытье ограждений как с левой, так и с правой стороны. Также применяется для мойки дорожных бордюров благодаря возможности поворота щетки в горизонтальное положение.



Рис. 8. Поливомоечное оборудование RAP –10, смонтированное в кузове самосвала



Рис. 9. Поливомоечное оборудование RAP –10, смонтированное на платформе коммунальной машины



Рис. 10. Щетка для мойки барьерных ограждений «Road Master»

Системы поливмоечного оборудования серии «РАР» применяются для распределения на дороге жидких противогололёдных реагентов в зимнее время; транспортировки жидкостей, проведения поливмоечных работ на дорогах, мытья бордюров, бордюрного бруса и инфраструктуры объектов дорожного хозяйства, а также проведения работ по поливу зеленых насаждений, для пожаротушения (как неосновная вспомогательная машина).

Завод дорожной техники «Регион 45» (г. Курган) выпускает дорожные цилиндрические щетки, которые навешиваются спереди коммунальных дорожных машин (рис. 11) [3]. Щетки приводятся в действие гидромотором.

Подъем и опускание осуществляются гидроцилиндром, снабженным гидрозамком, который не допускает самопроизвольного опускания агрегата при движении машины. Защитный механизм обеспечивает сохранность щеток при наезде на препятствие. Поворотные колеса позволяют поворачивать щетку в нужную сторону. Угол атаки щетки можно менять при движении машины. Щетка управляется из кабины.



Рис. 11. Цилиндрическая щетка на базе автомобиля КамАЗ завода дорожной техники Регион 45 (Россия)

Для сокращения парка узкоспециализированных коммунальных машин и финансовых затрат на их содержание в БНТУ в 2022 году в рамках выполнения дипломного по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» разработана фронтальная навесная щетка, которая устанавливается вместо переднего отвала на коммунальную машину на базе автомобиля МАЗ - 5550С5 (рис. 12). Щетка предназначена для удаления свежеснегавпавшего снега.

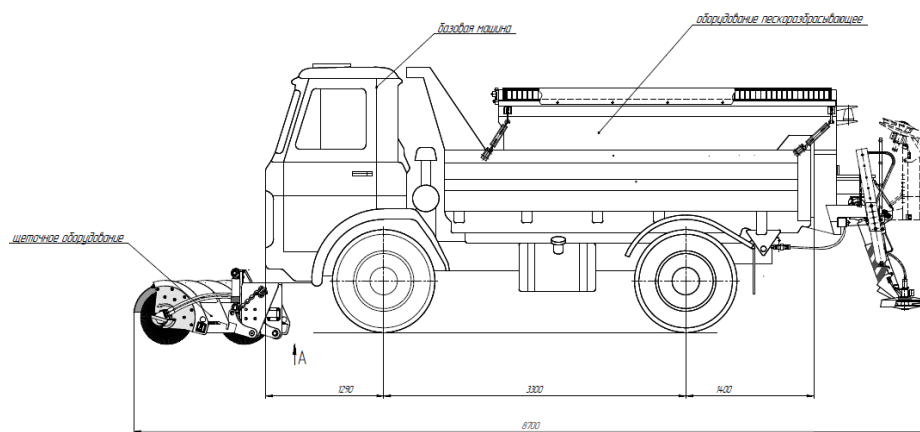


Рис. 12. Фронтальная цилиндрическая щетка и оборудование пескоразбрасывающее съемное на автомобиле МАЗ - 5550С5

Улучшению экономической и экологической ситуации при работе коммунальных машин способствует использование альтернативных видов моторного топлива. Исследуемые в настоящее время различные виды моторного топлива (водород, метанол, этанол, биогаз, рапсовое масло и т.д.) должны соответствовать, по возможности, следующим критериям [4]:

- низкая производственная стоимость;
- возобновляемость источника их производства.

Основным фактором, сдерживающим широкое применение различных альтернативных видов топлива, является высокая стоимость их производства. Поэтому в мировом двигателестроении в настоящее время нарастает тенденция расширенного применения природного газа в качестве моторного топлива. Рост парка автомобилей, использующих природный газ в качестве топлива (рис. 13), подтверждает, что природный газ становится реальным заместителем нефтяных видов моторного топлива, которому принадлежит ближайшее будущее [5].

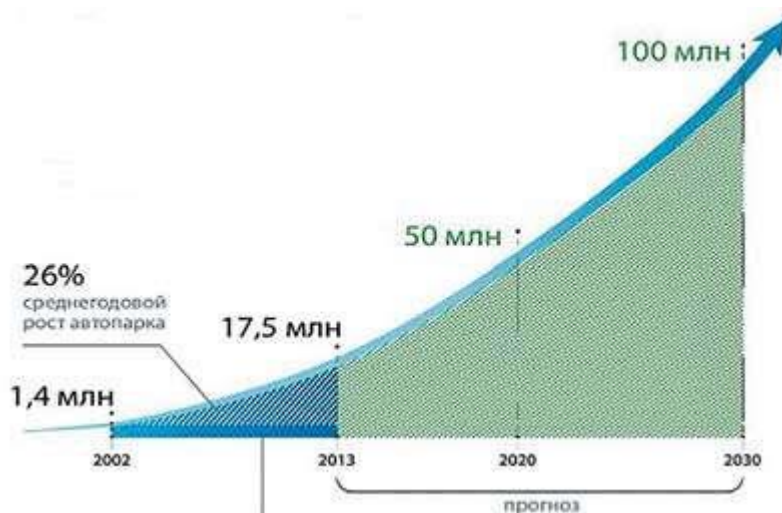


Рис. 13. Тенденция роста общемирового парка автомобилей, работающих на газовом топливе [6]

Применение сжиженного природного газа (СПГ) является одним из лучших альтернативных видов топлива для замены бензина и дизельного топлива, обеспечивающим снижение экологической нагрузки от транспортного комплекса, уменьшение топливной составляющей в себестоимости продукции. Стоимость 1 км пробега на СПГ ориентировочно в два раза ниже по сравнению с пробегом аналогичного автомобиля на дизельном топливе [6].

В 2018 г. правительство Китая официально сформулировало свою позицию по поводу комплексного усиления защиты окружающей среды и решительной борьбы с загрязнением и начало активную деятельность по контролю за загрязнением воздуха дизельными двигателями путем их перевода на СПГ [7].

С целью минимизации непродуктивного межсезонного простоя в Республике Беларусь коммунальных машин на базе автомобилей МАЗ необходимо применять сменное оборудование: комплекс «зимнего» навесного оборудования, такого как цилиндрическая щетка, навешенная спереди автомобиля, плуг-отвал и распределитель противогололёдных материалов; для летнего содержания дорог – моечные комплексы с возможностью промывки разделительных полос, орошения зеленых насаждений и удаления грунтовых наносов, щетку для мойки барьерных ограждений а также установку для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог.

С учетом современных тенденций коммунальные машины должны иметь возможность работы на газомоторном топливе.

Литература

1. Гарост М.М., Шнаркевич А.А. Создание многофункциональной машины для коммунального хозяйства на базе автомобиля МАЗ-5550С5 // Материалы международной научно-технической конференции «Дорожное строительство и его инженерное обеспечение», Минск, БНТУ, 2020, с. 164-174.
2. Коммунально-дорожная техника АО «ПК «Ярославич». Режим доступа: www/pkyar.ru.
3. Метать и подметать. Щетки для уборки снега и снегоочистители роторного действия // Основные средства, 2021, №3.
4. Тарасов П.И., Хазин М.Л., Фурзиков В.В. Применение природного газа в качестве моторного топлива техники горнодобывающих предприятий // Горная Промышленность, 2017, №1 (131), с. 66.
5. Сайт www.gazprom.ru.
6. Щендригин А.В., Журавский М.А., Люгай С.В., Евстрифеев А.А. Текущее состояние и перспективы использования СПГ в качестве моторного топлива // Газовая промышленность, 2018, №9 (774), с. 98-100.
7. Ли Вэй, Лю Цзюньчжу, Жень Вэй, Ду Янь, Чжан Диннань. Тенденции развития использования природного газа в качестве моторного топлива на примере истории развития транспортных средств на природном газе в Китае // Газовая промышленность, 2019, №5 (784), с. 48-58.

УДК 69.05-82+625.7/.8.08-82

ЭЛЕКТРОГИДРОУДАРНАЯ ДРОБИЛКА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА

А.Н. Смоляк

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, www.smolyak.anna@mail.ru

Создание конкурентоспособных, высокопроизводительных, экономичных и экологически защищенных конструкций строительных машин нового поколения для дорожно-строительного комплекса базируется на эффективном применении электрогидроударных устройств.

Электрогидроударная дробилка в составе мобильного дробильно-сортировочного комплекса предусматривает значительное повышение энергии удара по сравнению с известными механическими конструкциями дробилок при высоком коэффициенте полезного действия за счет возникающего между электродами импульса электрического разряда, синтезирующего гидроударную волну при высоких давлениях, обеспечивающую дробление каменного материала до требуемого размера фракции.

Предлагаемая к применению электрогидроударная дробилка в составе дробильно-сортировочного комплекса повышает экологическую безопасность, так как способ воздействия электрогидроудара не использует источники загрязнения окружающей среды в планируемых технологиях, а, используемая в качестве рабочего тела жидкость, обеспечивает увлажнение, исключая запыленность в процессе дробления каменных материалов в рабочей зоне.

Ключевые слова: электрогидроударная дробилка, гидроудар, разрядная камера, мобильный, дробильно-сортировочный комплекс.

Введение

Актуальные направления развития дорожно-строительного комплекса Беларуси обуславливают техническое перевооружение в условиях переменной экономической ситуации в мире. Современные дробильно-сортировочные комплексы при переработке природных и вторичных строительных материалов для дорожного строительства выполняют ряд сложных технологических операций, включающих: доставку исходного материала, его очистку и предварительную сортировку, дробление в несколько стадий, с отбором требуемых фракций (сортировкой по стадиям дробления), складирование и транспортирование к месту использования. [1]

Улучшение значимых показателей производства в дорожном строительстве обеспечивается выбором наиболее эффективных средств механизации.

Процессы дробления и сортировки каменных материалов относят к числу наиболее ответственных этапов в строительстве дорог. Однако их недостаточно высокая эффективность обусловлена:

- сложностью управления процессом дробления и сортировки вручную;
- отсутствием технического контроля над состоянием дробимого материала в ходе процесса дробления;
- низкой надежностью и отсутствием достоверного прогнозирования результатов по причине большого разброса значений крупности и механических свойств материалов, что приводит к значительной засоренности продукта дробления зернами, не отвечающим требованиям к параметрам фракционного состава. [2]

Наиболее перспективными для дорожно-строительной отрасли Беларуси являются мобильные дробильно-сортировочные установки с замкнутым циклом дробления, позволяющие сэкономить затраты на производство фундаментов для стационарных комплексов, установку опорных металлоконструкций, подъемную технику и рабочую силу. [3]

Одна мобильная установка (колесная или гусеничная) обслуживает несколько карьеров с объемом производства до 1 млн. тонн в год. [4]

Целью настоящей исследовательской работы является создание высокопроизводительного, экономичного и экологически защищенного мобильного дробильно-сортировочного комплекса на основе эффективного применения электрогидроударной дробилки.

Конструктивные особенности электрогидроударной дробилки для мобильного дробильно-сортировочного комплекса

Одним из главных преимуществ предлагаемой к применению электрогидроударной дробилки в дробильно-сортировочном комплексе является ее исключительная экологичность, так как способ воздействия электрогидроудара не использует источники загрязнения окружающей среды в планируемых технологиях.

В процессе дробления каменный материал смачивается водой, которая является необходимым компонентом для работы электрогидроударной дробилки, что исключает запыленность атмосферы в рабочей зоне.

Форму и размеры предлагаемой дробилки можно выбирать в зависимости от конструкции и производительности дробильно-сортировочного комплекса. Так как в электрогидроударной дробилке отсутствуют такие механические элементы и сборочные единицы конструкций, как вращающийся ротор или подвижная щека с механизмом регулирования размера выходной щели и распорные плиты, которые обязательно присутствуют в роторных и щековых механических дробилках. Форма и размеры корпуса предлагаемой дробилки могут варьироваться в самых широких пределах, так как данные параметры не влияют на процесс дробления, однако определяют производительность установки.

В предлагаемом техническом решении используется электрогидроударный эффект (электрогидравлический эффект Л.А. Юткина) для получения сверхвысоких давлений в среде жидкости. [5]

Сущность эффекта Л.А. Юткина состоит в том, что вокруг зоны образования специально сформированного высоковольтного импульсного электрического разряда внутри объема жидкости возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений.

Основными действующими факторами электрогидравлического эффекта являются высокие и сверхвысокие импульсные гидравлические давления и гидродинамические эффекты, приводящие к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями; значительные импульсные перемещения объемов жидкости, совершающиеся со скоростями, достигающими сотен метров в секунду; мощные импульсно возникающие кавитационные процессы, способные охватить относительно большие объемы жидкости; механические резонансные явления с амплитудами, позволяющими осуществлять дробление многокомпонентных неметаллических твердых тел и материалов.

Ударные перемещения жидкости, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, способны разрушать неметаллические материалы помещенные вблизи зоны разряда.

Электрогидравлический эффект является источником создания множества прогрессивных технологических процессов, которые в настоящее время широко применяются во многих промышленных отраслях всего мира – машиностроительной, металлургической, горной и др. Одним из главных преимуществ данного метода является его исключительная экологичность, так как способ воздействия электрогидравлического эффекта не использует источники загрязнения окружающей среды в планируемых технологиях.

Конструктивная схема предлагаемой электрогидроударной дробилки представлена на рисунке 1.

Предлагаемая электрогидроударная дробилка (рисунок 1) состоит из корпуса 1 внутри которого оборудована разрядная камера 8.

Разрядная камера дробилки оснащена двумя парами электродов-разрядников 7 с изоляцией, размещенной в отверстиях, выполненных в крышке 2, и системой циркуляции рабочей жидкости и пульпы, оснащенной входным отверстием 9 для подвода жидкости, выходным отверстием 3 с патрубком для вывода пульпы. Электроды-разрядники 4 подключены к электрической системе дробильной установки через блок управления 10 посредством электропроводов.

После загрузки в дробилку измельчаемого материала в разрядную камеру через впускное отверстие 9 по трубопроводу подается рабочая жидкость (техническая вода с защитными присадками от замерзания). Высота заполнения жидкостью разрядной камеры контролируется датчиком уровня 11, от которого поступает сигнал управления, отключающий подачу жидкости насосом (на рисунке насос не показан).

На электроды через блок управления 10 подается высокое напряжение, значение которого возможно регулировать до требуемых величин.

При подаче напряжения между электродами возникает электрическая дуга. Вокруг зоны образования специально сформированного высоковольтного импульсного электрического разряда внутри объема жидкости возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу по дроблению материала.

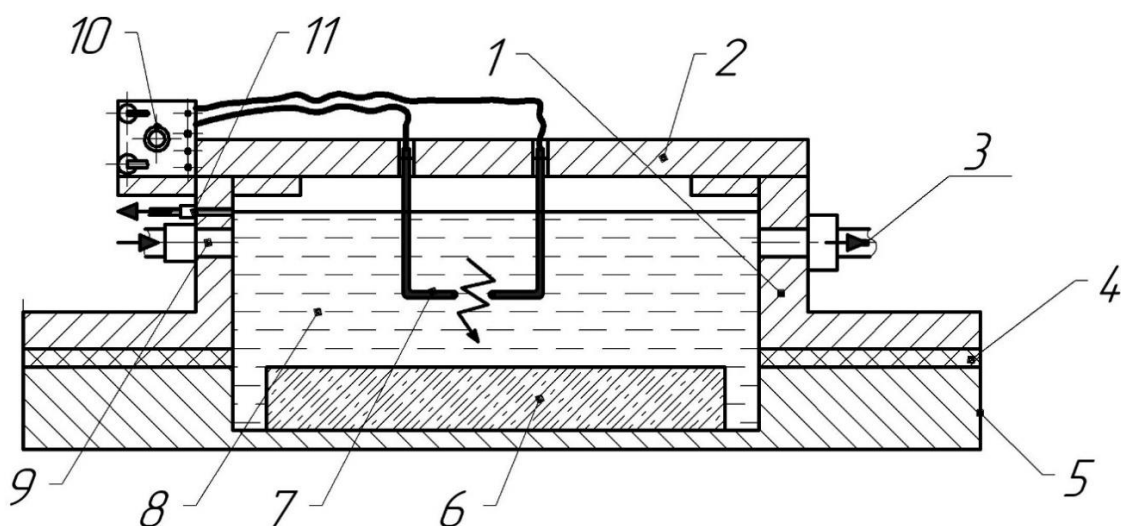


Рис.1. Конструктивная схема электрогидроударной дробилки:
 1 – корпус, 2 – крышка, 3 – выходное отверстие с патрубком для слива,
 4 – прокладка, 5 – корпус, 6 – дробимый материал, 7 – электрод- разрядник, 8 – разрядная камера с жидкостью, 9 – входное отверстие для подвода жидкости, 10 – блок управления, 11 – датчик уровня жидкости

После окончания цикла процесса дробления открывается выпускной клапан и через отверстие 3 жидкостная пульпа с мелкой фракцией измельченного материала выходит из камеры дробления в накопительную емкость. При этом через впускное отверстие 9 рабочая жидкость подается в камеру дробления до необходимого уровня и процесс дробления продолжается до получения нужной фракции щебня.

Заключение

Электрогидроударная дробилка для мобильного дробильно-сортировочного комплекса, использующая электрогидроударный эффект, экологически безопасна, позволяет автоматизировать процесс управления параметрами, обладает высокой производительностью.

Рабочая жидкость, подаваемая в разрядную камеру, выполняет важные функции: совершает механическую работу по дроблению материала, защищает от возникновения пыли, переносит мельчайшие частицы раздробленного материала в накопительную емкость, увлажняет получаемый материал, охлаждает конструкцию в процессе циркуляции по замкнутому контуру.

Регулирование параметров рабочего оборудования дробилки обеспечивается изменением таких параметров, как: амплитуда и частота электрических импульсов.

Параметры корпуса предлагаемой дробилки (размеры и форма) могут варьироваться для различных конструкций в широких пределах, так как практически не влияют на процесс дробления, но определяют производительность установки.

Применение электрогидроударной дробилки в конструкции мобильного дробильно-сортировочного комплекса экономически более целесообразно по сравнению с механическими конструкциями известных дробилок, так как значительно упрощает механическую часть рассматриваемого комплекса.

Литература

1. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации: Учеб.для строит.вузов/С.С.Добронравов, В.Г.Дронов – М.:Высш.шк., 2003. – 575 с.
2. Вавилов, А.В. Совершенствование ударно-вибрационных машин для строительства автомобильных дорог и мостов/А.В. Вавилов, А.Н. Смоляк//Автомобильные дороги и мосты. – 2013. – №1(11). – С.65–70.

3. Вавилов, А.В. Повышение уровня автоматизации строительных машин – гарант их конкурентоспособности/А.В. Вавилов, А.Н. Смоляк//Строительная наука и техника. – 2008.-№3(18). – С.74–78.

4. Смоляк, А.Н. К вопросу совершенствования автоматизации управления строительными и дорожными машинами с гидравлическим приводом/А.Н.Смоляк//Вестник БНТУ. – 2007. – №2. – С.9–12.

5. Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности./ Л.А. Юткин. – Ленинград: Машиностроение, ленингр. отд., 1986. – 253 с.

УДК 621.876.11-523(083.74) (476)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛИФТАХ

А.И. Антоневиц

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, A4815@mail.ru

Аннотация: Парк пассажирских лифтов в основном представлен отечественными лифтами с релейными системами управления (на сегодняшний день происходит их замена); лифтами с бесконтактной жесткой логикой управления УПЛ и с микропроцессорными системами управления УЛ. Однако жесткая конкуренция среди производителей лифтов и международные требования к лифтам заставляет ОАО "Могилёвлифтмаш" постоянно их совершенствовать. В этой связи интерес заслуживает система управления лифтом МЛК – ЛМ, представляющая собой распределенную систему управления лифтом. По своим характеристикам она отвечает европейским стандартам. Система управления сравнительно новая и установлена на небольшом количестве лифтов, которые обслуживаются сотрудниками ОАО «Могилевлифтмаш». Данная статья посвящена системе МЛК-ЛМ.

Ключевые слова: распределенная система управления, микропроцессоры.

Пассажирские лифты производятся почти во всех промышленных странах, и Республика Беларусь не является исключением. Мировой рынок лифтов представлен следующими фирмами: «Отис» (США), конструкции лифтов которой производят в России, Японии, Украине; KONE (Финляндия); «Шиндлер» (Швейцария); Карачаровский механический и Щербинский лифтостроительные заводы (Россия); Shenyang Brilliant Elevator Co., Etd (Китай); «Тисен» (Германия); «Пишава» (Польша); «Изамет» (Болгария); Mitsubishi (Япония) [1,2]. Отечественное лифтостроение представлено в основном ОАО "Могилёвлифтмаш", который производит пассажирские лифты грузоподъемностью 225, 300, 320, 400, 500, 630, 1000 и 1275 кг со скоростью движения до 2 м/с включительно, грузовые лифты выпускаются грузоподъемностью 100, 250, 500, 1000, 2000, 3200, 5000 и 6300 кг со скоростью движения 0,22; 0,25; 0,4 и 0,5 м/с [3]. Если рассмотреть парк пассажирских лифтов, то он в основном представлен отечественными лифтами с релейными системами управления (на сегодняшний день происходит их замена); лифтами с бесконтактной жесткой логикой управления УПЛ и с микропроцессорными системами управления УЛ. В РБ приняты стандарты по безопасности конструкций и установке лифтов; Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 011/2011 "Безопасность лифтов". Однако жесткая конкуренция среди производителей лифтов и международные требования к лифтам заставляет ОАО "Могилёвлифтмаш" постоянно их совершенствовать. В этой связи интерес заслуживает система управления лифтом МЛК – ЛМ, представляющая собой распределенную систему управления лифтом. По своим характеристикам она отвечает европейским стандартам. МЛК предназначена для

управления механизмами лифта, выполнения алгоритма работы, обеспечения индикации, связи и контроля состояния лифта. Область применения МЛК - пассажирские и грузовые лифты для административных, жилых и больничных зданий с одиночным и групповым управлением, регулируемым главным приводом.

МЛК обеспечивает управление приводом переменного тока, при питании электродвигателя от управляемого преобразователя (регулятора скорости), лифта с нижеприведенными характеристиками:

- номинальная скорость, не более, м/с 2.5;

- число остановок, не более 35;

- вид управления: смешанное, собирательное при движении вниз, собирательное при движении вверх и вниз,

- двери шахты и кабины - автоматические горизонтально раздвижные, ручные распашные, полуавтоматические (автоматические двери кабины и ручные распашные двери шахты).

- привод дверей кабины - регулируемый, нерегулируемый;

- включение главного привода при открытых дверях невозможно/возможно.

- напряжение на вводном устройстве при работающем лифте,

- переменное 50 Гц, В380/400 ±10 % или 220/230±10 %;

- напряжение силовой цепи,

- переменное 50 Гц, В380/400 ±10 % или 220/230±10 %;

- напряжение цепей управления, постоянное, В 24;

- напряжение цепей безопасности, переменное 50 Гц, В 110/115;

- ремонтное напряжение постоянное, В 24.

Степень защиты по ГОСТ 14254 -96:

- шкафов устройств управления лифтом УУЛ - Р5 - IP20;

- степень защиты корпусов блоков, размещаемых в шахте — IP30.

Климатическое исполнение шкафов устройств управления лифтом УУЛ-Р5 и блоков, входящих в состав МЛК по ГОСТ 15150 - 69 - УХЛ 4 (ТЗ) в диапазоне температур, °С:

- в шахте от 1 до 40 (55);

- в машинном помещении от 5 до 40 (45).

Обеспечен вывод информации о местонахождении кабины и направлении движения на табло индикации при установке их в кабине и на посадочных площадках.

Обеспечен контроль:

- датчика наличия пассажира в кабине (загрузки кабины 15 кг) для пассажирских лифтов или датчика наличия груза (10%) для грузовых лифтов;

- датчика загрузки кабины на 50%;

- датчика загрузки кабины на 90%;

- датчика загрузки кабины на 110%;

- уровня заряда аккумулятора аварийного освещения;

- температуры двигателей главного привода и привода дверей.

Обеспечена групповая работа до 6-ти лифтов в группе.

Предусмотрено аварийное освещение кабины, в течение не менее 1 часа.

Обеспечено сохранение заданных параметров и кодов ошибок при пропадании электроснабжения лифта

МЛК имеет развитую систему самодиагностики, обеспечивающую контроль состояния лифта. Коды зарегистрированных ошибок выводятся на дисплей контроллера центрального КЦ в устройстве управления лифтом УУЛ.

Обмен данными между контроллерами МЛК обеспечивается по каналам CAN и RS-485.

Состав МЛК

Основные составные части МЛК:

- устройство управления лифтом УУЛ–Р5;
- панель управления ПУ;
- устройство привода дверей кабины лифта УПДКЛ (допускается замена на другой привод дверей с аналогичной системой управления);
- пост вызывной ПКВ24;
- пост вызывной ПКВ25;
- пост выбора режимов ПВР;
- табло индикации ТИ (для расширения функциональных возможностей устройства индикации) для установки в кабине лифта и на посадочных площадках;
- пост кнопочный ревизии ПКР–2МК (для кабины);
- пост кнопочный ревизии ПКР–2МП (для приямка).

Состав и устройство УУЛ.

УУЛ содержит узел электропитания, коммутационный блок, контроллер центральный КЦ, контакторы и реле управления и контроля, панель управления.

Состав и устройство ПУ.

ПУ содержит контроллер кабины (один или два), коммутационный блок для подключения составных частей ПУ, кнопок и ключей управления, элементов освещения и сигнализации.

Состав и устройство постов вызывных.

Пост вызывной содержит контроллер этажный КЭ с установленным ПО КЭ, кнопки или ключи вызова и индикатор (знакосинтезирующий или графический). Состав и устройство ПРР.

ПРР содержит контроллер этажный КЭ с установленным ПО ПРР, кнопки и/или ключи управления и индикатор (знакосинтезирующий или графический). Состав и устройство ПКР-2МК.

ПКР-2МК содержит переключатели, кнопки и/или ключи управления. Состав и устройство ПКР-2МП. ПКР-2МП содержит контроллер этажный КЭ с установленным ПО КП, кнопки и/или ключи управления и индикатор (знакосинтезирующий или графический)

Устройство и работа МЛК

МЛК построена по принципу распределенной системы, обеспечивающей выполнение алгоритма функционирования лифта в режиме реального времени. Для информационного обмена между контроллером центральным КЦ, контроллером кабины КК, контроллерами этажными КЭ и контроллером поста выбора режима КППР используется интерфейс CAN. CAN1 - для обмена между КЦ и устройствами, установленными в шахте, CAN2 – для обмена между КЦ и КК. Для информационного обмена между контроллерами этажными и дополнительными табло индикации, для связи с другими устройствами расширения используется интерфейс RS–485 или CAN3. Для обмена с диспетчерским комплексом используется интерфейс RS–485. Ввод напряжения в УУЛ осуществляется непосредственно в шкаф устройства. В качестве электродвигателя главного привода применен асинхронный или синхронный двигатель с постоянными магнитами. Движение на номинальной скорости, скорости поэтажного разъезда, скорости дотягивания до точной остановки и скорости режима «Ревизия» обеспечивается регулятором скорости. Для привода тормоза лебедки применен тормозной электромагнит постоянного тока, питаемый выпрямленным напряжением, с форсировкой включения или без нее. В устройстве управления лифтом применены магнитные пускатели на напряжение 110/115В или 220/230 В, 50/60 Гц. Промежуточные реле управляются постоянным стабилизированным напряжением 24 В или переменным напряжением 110/115В или 220/230В 50/60 Гц. Питание устройств безопасности обеспечивается напряжением 110/115 В (220/230 В), 50/60 Гц

Заключение. 1. Система МЛК-ЛМ является распределенной системой управления лифтом. 2. По своим характеристикам она отвечает европейским стандартам. 3. Для

информационного обмена между контроллером центральным КЦ, контроллером кабины КК, контроллерами этажными КЭ и контроллером поста выбора режима КППР используется интерфейс CAN. CAN1 - для обмена между КЦ и устройствами, установленными в шахте, CAN2 – для обмена между КЦ и КК.

Литература

1. Антоневиц, А. И. Анализ современных конструкций лифтов и тенденций их развития / А. И. Антоневиц // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. – 2010. – № 5. – С. 18-21.

2. Яновски, Л. Проектирование механического оборудования лифтов / Л. Яновски; пер. И. А. Иноземцевой; под ред. С. Д. Бабичева: науч. ред. Г. Г. Архангельский. - М.: Изд-во Ассоц. строит, вузов, 2005. 333 с.

3. ОАО «Могилевлифтмаш» [Электронный ресурс] <https://www.liftmach.by/about/> (дата обращения: 10.10.2020).

4. Система управления лифтом МЛК – ЛМ. [Текст] Руководство по эксплуатации ФБИР.484471.015 РЭ, Изд-во ОАО «Могилевлифтмаш», 2020 – 80с.

УДК 631.311.5: 631.6 + 626.8.002.5

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

И.В. Бурмак

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

В статье исследовано текущее состояние системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), проведен анализ количества собранных, использованных и захороненных ТКО, а также объектов для их сортировки, переработки и захоронения в различных административно-территориальных единицах РБ. Рассмотрены стратегии управления отходами в развитых странах. Даются выводы по существующему положению в отношении отходов, предлагаются рекомендации.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, вторичные материальные ресурсы, станция перегрузки, полигон, региональный объект.

Существенным фактором ухудшения состояния окружающей среды является постоянное увеличение количества коммунальных отходов. Согласно Закону Республики Беларусь от 20.07.2007 N 271-3 "Об обращении с отходами" [1], к коммунальным отходам относятся отходы потребления (отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека, не связанной с осуществлением экономической деятельности; отходы, образующиеся в потребительских кооперативах и садоводческих товариществах, а также смет, образующийся на землях общего пользования), а также отходы производства (отходы, образующиеся в процессе осуществления юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями экономической деятельности – производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг; побочные и сопутствующие продукты добычи и обогащения полезных ископаемых), включенные в утверждаемый Министерством жилищно-коммунального хозяйства перечень отходов и соответствующие общегосударственному классификатору Республики Беларусь ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь».

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь населением и юридическими лицами было образовано за 2020 год 4,07 млн. тонн ТКО (таблица 1).

Таблица 1. Объемы собранных, использованных и захороненных ТКО от населения и юридических лиц за 2020 г [2]

Наименование административно-территориальных единиц	Объемы образования ТКО, тыс. тонн	Объемы использования ТКО, тыс. тонн	Объемы захоронения ТКО, тыс. тонн			Количество объектов захоронения ТКО		
			всего	в том числе		все го	в том числе	
				на полигонах	на мини-полигонах		полигонов	мини-полигонов
Брестская обл.	574,8	180,2	394,6	342,2	52,4	150	28	122
Витебская обл.	593,1	173,4	419,7	404,8	14,9	76	28	48
Гомельская обл.	592,9	135,4	457,5	445,4	12,1	69	27	42
Гродненская обл.	413,2	91,1	322,1	297,5	24,6	48	18	30
Минская обл.	644,3	131,4	512,9	477,0	35,9	52	35	17
Могилевская обл.	466,4	100,5	365,9	326,2	39,7	55	21	34
г. Минск	785,7	206,7	579,0	579,0	-	1	1	-
ВСЕГО ПО РБ	4070,4	1018,7	3051,7	2872,2	179,5	451	158	293

Как видно из таблицы 1, в РБ ежегодно образуется около 4 млн. тонн ТКО, 75% которых направляются на объекты по их захоронению. Остальной объем ТКО подвергается сортировке и переработке (около 1 млн. тонн, что составляет 25 %). При этом обезвреживание мусора путем его сжигания не осуществлялось и не осуществляется по сей день.

В Минске, как наиболее густонаселенном регионе Республики Беларусь (на 1 января 2022 г численность составляла 1996553 чел.), за 2020 г. образовано 785,7 тыс. тонн ТКО, что составляет почти 20 % от суммарного количества образованных ТКО по всей территории РБ. При этом объемы использования ТКО, наоборот, невысоки (схожи с общереспубликанскими и составляют около 25 % или 206,7 тыс. тонн) по отношению, например, к г. Бресту, где данное значение достигает 102,1 тыс. тонн, т.е. свыше 50 % образуемых и вывозимых ТКО используются для производства товаров (продукции), включая повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация). То есть в столице ежедневно образуется свыше 11 тонн ТКО, основная масса которых подлежит захоронению.

На сегодняшний день в РБ функционируют 7 мусороперерабатывающих заводов (МПЗ) и 80 линий по сортировке ТКО, суммарная мощность которых позволяет сортировать около 1 млн. тонн ТКО в год. При этом суммарная мощность МПЗ в Бресте, Гомеле, Гродно, Могилеве, Барановичах и Новополоцке позволяет сортировать порядка 470 тыс. тонн ТКО ежегодно, в том числе все образующиеся отходы в городах Бресте, Гродно, Могилеве, 30% отходов в г. Гомеле и до 15% - в г. Минске.

В городах областного подчинения Пинске, Жодино и Бобруйске, а также в районных центрах эксплуатируются линии по сортировке и досортировке отдельно собранных коммунальных отходов суммарной мощностью около 510 тыс. тонн отходов в год. Из 118 районов объекты по сортировке (досортировке) коммунальных отходов имеются в 72 (61 %).

Применяемые в РБ на МПЗ технологии базируются на сортировке поступающих ТКО с целью извлечения вторичных материальных ресурсов (ВМР). Надо подчеркнуть, что в последние годы в РБ наблюдается положительная динамика в отношении сбора ВМР и, в целом, уровня использования коммунальных отходов (рис. 1) [3].

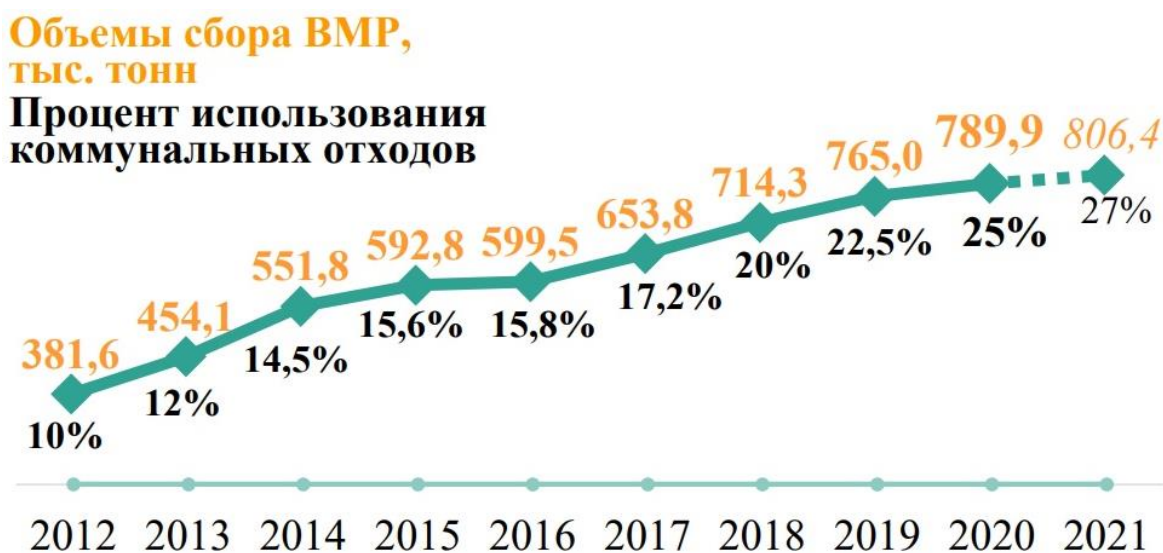


Рис. 1. Динамика сбора ВМР и уровень использования ТКО в РБ

Из графика видно, что уровень использования ТКО с 2012 по 2020 г. увеличился более чем в 2,5 раза. В столице доля использования ТКО за это же время увеличилась с 13,4% до 27%. При этом уровень использования, например, стеклобоя составил 64,3 %, отходов бумаги и картона – 63,8 %, изношенных шин – 63,1 %. В настоящее время в сфере обращения ВМР сформировался ряд тенденций. Во-первых, рост сбора ВМР устойчиво повышается (например, объем сбора изношенных шин увеличился в 2,3 раза, отходов пластмасс – в 2,8 раза, отходов стекла – в 3,9 раза). Во-вторых, рост сбора ВМР повлек за собой стабильный рост использования вторичного сырья по всем основным видам. В-третьих, наблюдается тенденция роста объемов экспорта вторичного сырья.

При этом объем извлечения ВМР, пригодных к повторному использованию, из смешанных ТКО составляет в зависимости от сезона до 15 процентов от общего объема поступающих отходов. Только на МПЗ в г. Бресте (рис. 2) [4] используется технология анаэробного сбраживания органической части ТКО, сущность которой заключается в разложении органических веществ с помощью микроорганизмов без доступа кислорода с получением биогаза и его использованием для выработки тепловой и электрической энергии. Также на МПЗ в г. Гродно реализуется проект по производству из ТКО твердого вторичного топлива RDF, в состав которого входят высококалорийные компоненты отходов, такие как пластик, бумага, картон, текстиль, резина, кожа, дерево и пр. (теплотворная способность топлива RDF составляет 20000 ± 2000 кДж/кг), с дальнейшим его использованием на цементном заводе ОАО «Красносельскстройматериалы».



Рис. 2. Мусороперерабатывающий завод в г. Брест мощностью 100 тыс. тонн в год

Несмотря на позитивные подвижки в отношении уровня использования ТКО и сбора ВМР, наблюдается усложнение экологической обстановки и нанесение немалого вреда окружающей среде и здоровью людей в связи с тем, что каждый из нас отправляет на свалку примерно 400 кг ТКО в год. Данная проблема особенно актуальна для крупных городов, в которых увеличение плотности населения является следствием роста количества образуемых ТКО, что способствует ускорению процесса заполнения полигонов и мини-полигонов (их мощность не превышает 5,0 тыс. м³ или 1,0 тыс. тонн в год) для их захоронения.

На объектах захоронения отходов за 2020 год размещено около 3,05 млн. тонн ТКО, основная часть которых (около 95 %) было захоронено на 159 полигонах, а оставшаяся – на мини-полигонах. Но в соответствии с национальной стратегией все мини-полигоны должны были быть закрыты до 31 декабря 2021 года, а земли под ними должны быть рекультивированы и переданы в хозяйственный оборот до конца 2023 года.

При этом г. Минск и часть Минского района обслуживает только один полигон ТКО – «Тростенецкий», сданный в эксплуатацию в 2007 г. и расположенный в нескольких километрах от МКАД в заводском районе столицы на площади около 33 га [5]. Часть свозимого на «Тростенецкий» мусора сортируют и перерабатывают, благодаря введенному там в июле 2020 г. УП «Экорес» объекту «Установка мобильной (передвижной) линии сортировки ТКО» производительностью 15 тыс. тонн ТКО в год. Однако большая часть мусора подлежит захоронению, из-за чего свободное место на полигоне тает катастрофически быстро и на основании проведенных расчетов ориентировочно закончится к четвертому кварталу 2023 г с погрешностью 10...15 %. То есть создание нового полигона неизбежно, вследствие чего было принято решение о строительстве третьего участка, который разместится по соседству с действующим. По-прежнему не решен вопрос со строительством современного мусоросжигательного завода, т.к. стоимость объекта оценивается большой суммой в 200 миллионов евро; при этом есть опасения и настороженность общества, связанные с возможным ухудшением экологической обстановки в регионе, чего допустить нельзя.

Вместе с тем полигоны для захоронения ТКО продолжают являться источником повышенной опасности загрязнения окружающей среды и несут потенциальную опасность вредного воздействия на здоровье человека во многом из-за того, что в захораниваемых отходах имеется немало опасных компонентов (ртуть из бытовых термометров и люминесцентных ламп, кислота из батареек и пр.). Например, по данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, в районе размещения каждого четвертого полигона для захоронения ТКО в подземных водах регистрировались

концентрации загрязняющих веществ, превышающие предельно допустимые концентрации в 10 и более раз. В добавок к этому, около 30 процентов полигонов для захоронения ТКО заполнены на 90 процентов и более и фактически исчерпали свой ресурс.

Объемы строительства полигонов и проводимые мероприятия по их модернизации не обеспечивают безопасного захоронения ТКО в соответствии с действующим законодательством и запас мощности существующих полигонов быстро сокращается. Основная причина в недостаточном финансировании создания полигонов, которые строятся в основном за счет средств местного бюджета. Невысокая ставка экологического налога, отсутствие переноса стоимости капитальных вложений в создание полигонов на себестоимость услуги по обращению с ТКО делает ее финансово неустойчивой, а возможность дешевого захоронения ТКО делает экономически невыгодными другие способы обращения с ними и является главным препятствием к приходу инвесторов в сектор использования ТКО.

Из-за постоянного роста городского населения в Республике Беларусь, наравне с нехваткой площадей, большой проблемой становится удаленное расположение полигонов и, соответственно, большое плечо доставки ТКО (расстояние от места сбора ТКО до места их использования или захоронения). Например, в столице это значение для многих маршрутов мусоровозного транспорта превышает 30 км, что значительно превышает оптимальное значение (оптимальным считается расстояние не превышающее 15 км, т.к. собирающий мусоровоз является машиной циклического действия с односторонним грузопотоком и, соответственно, наличием порожнего хода) и способствует большим транспортным расходам (это относится к горюче-смазочным материалам, заработной плате водителей, амортизации и т.п.). То есть при увеличении дальности вывоза мусора, например, на 1,5 км, себестоимость их транспортировки возрастает на 15...20%, что, в свою очередь, приводит к неизбежному повышению размера платы за жилищно-коммунальные услуги для обычного гражданина.

Что касается мирового опыта развитых стран, то в них уже много лет реализуется целенаправленная экологическая политика по работе с ТКО. Особенно показательна она в странах-членах Европейского союза (ЕС), в котором законодательные и нормативные требования к полигонам для захоронения отходов, изложены в Директиве ЕС 1999/31/ЕС. Целью реализации данной Директивы является предъявление строгих эксплуатационных и технических требований к отходам и полигонам для их захоронения, чтобы минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду, в особенности на поверхностные и подземные воды, почву и воздух, в том числе на глобальном уровне, включая парниковый эффект, а также любой риск человеческому здоровью в результате действий по захоронению отходов. В Директиве установлены функциональные и технические требования к отходам и местам их захоронения: определены типы отходов, которые могут быть захоронены на полигоне, процедуры получения разрешения на захоронение отходов, перечень документов для получения разрешения, условия предоставления разрешения, процедуры принятия отходов на полигоны для захоронения. Деятельность по эксплуатации полигонов подлежит лицензированию. Также предусматривается общественный контроль за эксплуатацией полигона.

Реализация в странах – членах ЕС общих принципов законодательства по захоронению отходов привела к значительным изменениям в данной сфере.

Во-первых, установленные в Директиве ЕС принцип захоронения на полигонах только тех отходов, которые прошли предварительную обработку, и требование о снижении объемов захоронения биоразлагаемых отходов стали ключевыми факторами динамичного развития процессов повторного использования и переработки отходов и сокращения объемов их захоронения.

Во-вторых, высокие технические требования к инженерному оборудованию полигонов и связанные с ними значительные инвестиции в строительство объектов

способствовали созданию крупных региональных полигонов (в РБ это пока на уровне планов) в целях снижения удельных капитальных затрат.

Например, в соседствующих с нами прибалтийских странах Литве (население – 2,9 млн. чел., плотность – 49 чел. на 1 км²) и Латвии (население – 2 млн. чел., плотность – 30,5 чел. на 1 км²) были закрыты суммарно более чем 1,3 тыс. старых полигонов и открыто по 10 новых региональных полигонов в каждой из этих стран. При строительстве указанных объектов активно привлекались заемные и грантовые средства ЕС и международных финансовых организаций. При этом объем захоронения ТКО в Литве составляет около 670 тыс. тонн в год (в РБ – около 3 млн. тонн в год), или 56% от объема образования (в РБ – 75%). Анализ захоронения ТКО в Литве показал, что региональный полигон обслуживает население от 100 тыс. до 800 тыс. человек, а в среднем – около 190 тыс. человек.

Требования к захоронению ТКО сформировали существующие в настоящее время подходы к обращению с ними в Европейском союзе, направленные на использование их сырьевого и энергетического потенциала. Для получения максимального количества сырья из ТКО наиболее эффективно использование системы их отдельного сбора (отбор полезных фракций сырья в процессе их образования у населения и организаций). В соответствии с сырьевым потенциалом отходов принято отдельно собирать следующие их фракции: бумага и картон, стекло, упаковочная полимерная тара, текстиль, биологические отходы, электроприборы, шины и металлы. Имеются также фракции отходов, которые собирают отдельно не столько из-за их сырьевого значения, сколько из экологических соображений, так как их попадание в окружающую среду связано с сильным негативным воздействием на человека и природу. К таким видам отходов относятся элементы питания, отработанные машинные масла, медицинские препараты и лекарства, прочие опасные отходы (краски, лаки и др.).

За последние десятилетия развития отдельного сбора ТКО значительно повысился технологический уровень сортировочного оборудования в части автоматизации процессов. Это позволяет систему отдельного сбора разделить как минимум на два основных потока отходов – «мокрые» отходы, содержащие биоразлагаемые фракции, и «сухие» отходы, пригодные для сырьевого и энергетического использования.

Япония – островная высокоразвитая страна в Тихом океане пошла по пути развития инфраструктуры по сжиганию (таблица 2) ТКО и на сегодняшний день является передовой страной в мире по количеству мусоросжигательных заводов (МСЗ) – их около 2000 [6]. Причиной этому является то, что выделение территорий под новые полигоны ТКО невозможно, т.к. плотность населения составляет 336 чел. на км², что является очень большим значением в сравнении, например, с Беларусью, где этот показатель в 7,5 раз ниже – 45 чел. на км² по состоянию на 1 января 2022 г. В Японии захоронению подлежат всего 5 % бытового мусора, остальное отправляется на переработку или сжигание (до 70 % от всего объема ТКО). При этом значительная часть МСЗ располагается в черте городов, но применяемые технологии, обеспечивающие горение с температурой более 1200 °С и совершенная система фильтрации, позволяют свести вредные выбросы практически к нулю. Бесперебойная работа МСЗ обеспечивается, в том числе, очень строгой дисциплиной среди населения по предварительной сортировке мусора. В домах установлены до 40 контейнеров для разных видов ТКО (для различных видов бумаги, пластика, металлов, стекла и т. п.).

Если говорить про Китайскую Народную Республику (КНР) – страну с самой большой численностью населения (по состоянию на 1 ноября 2020 г. составляло 1,4 млрд. человек), то до 2018 г. Китай являлся одним из самых крупных импортеров мусора в мире. С 1992 года Китай импортировал до 45 % мировых пластиковых отходов, главным образом из развитых стран: 95 % перерабатываемого пластика из ЕС и 70 % из США; в 2016 г. на долю Китая пришлось 56 % общемирового импорта пластиковых отходов.

Таблица 2. Доля сжигания ТКО в развитых странах по состоянию на 2020 г.

Страна	Население, млн. чел.	ТКО, млн. тонн в год	Количество МСЗ	Доля сжигаемых ТКО, %
Швейцария	8,9	5,1	29	79
Япония	126,4	44,5	1900	72
Дания	5,8	3,7	32	65
Франция	66	28,6	100	41
Германия	83,8	37,7	51	33
США	337,5	180	168	16
Великобритания	68,9	27,4	7	5
Россия	145,1	56,5	10	2,4

Однако, в январе 2018 года Китай ввел ограничения на импорт мусора для дальнейшей переработки из-за экологических проблем, т.к. частные предприятия по переработке мусора, помимо того, что привозят отходы из других стран, часто не соблюдают экологические требования по утилизации (нередко то, что не поддается переработке, оказывается на несанкционированных свалках). Поэтому в ближайшие годы Китай планирует полностью отказаться от такого импорта, т.к. наблюдается рост образуемых внутренних ТКО, что вызывает необходимость в принятии мер по их утилизации. Основной упор делается, как и в Японии, на МСЗ (доля сжигаемого мусора на сегодняшний день 50 %).

Поэтому в вопросах обращения с ТКО целесообразно идти по маршруту передовых стран, внедряя современные технологии, иначе экологические проблемы могут привести к печальным последствиям, исправление которых потребует больших ресурсов, в том числе, не только финансовых. Для этого Советом Министров Республики Беларусь была утверждена Концепция создания объектов по сортировке и использованию ТКО и полигонов для их захоронения [7], согласно которой необходимо осуществить следующие меры:

- перевести систему управления ТКО с районного на региональный уровень с созданием крупных межрайонных объектов (подобно тому, как это было сделано в прибалтийских странах);
- размещать объекты (таблица 3) в районах самых крупных населенных пунктов, к которому можно отнести областные центры и города областного подчинения;
- создать специализированную организацию, основным видом деятельности которой будет являться обращение с ТКО, т.е. данная организация по своей структуре и выполняемым задачам должна быть подобна ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» - некоммерческой организации, основной целью деятельности которой является координация деятельности в сфере обращения с ВМР.

Таблица 3. План создания региональных объектов по обращению с ТКО

Наименование региона	Количество создаваемых региональных объектов по годам	
	2019-2025	2026-2030
Брестская область	4	2
Витебская область	2	4
Гомельская область	1	2
Гродненская область	2	2
Минская область	4	3
Могилевская область	2	1
г. Минск	1	-

При этом полигоны для захоронения ТКО должны создаваться с учетом:

- обеспечения экологически безопасного захоронения ТКО с закрытием всех мини-полигонов, рекультивацией (восстановлением плодородия) земельных участков, на которых были размещены эти полигоны, и поэтапным выводом из эксплуатации полигонов, не соответствующих требованиям в области охраны окружающей среды;

- применения наилучших доступных технологий при создании объектов захоронения отходов с учетом экономической целесообразности и положений Директивы ЕС;

- создания станций перегрузки ТКО (мусороперегрузочных пунктов) при экономическом обосновании в целях снижения затрат на перевозку отходов, т.е. применять двухэтапную систему транспортировки ТКО с использованием соответствующих собирающих и транспортных мусоровозов (объем инвестиций, закладываемых на создание 8 МПП в РБ равен 1,8 млн. руб., что составляет всего лишь 0,13% от суммарного объема инвестиций на создание объектов по обращению с ТКО и рекультивацию земельных участков, на которых были размещены выводимые из эксплуатации полигоны и мини-полигоны для захоронения ТКО);

- увязки объектов захоронения отходов с существующими и перспективными производствами по сортировке и использованию ТКО;

- ведения учета ТКО, принимаемых на захоронение, только в весовых единицах (тонн, кг и т.д.).

Создание объектов по обращению с ТКО позволит:

- использовать до 25 – 35 процентов объема образования ТКО за счет извлечения ВМР путем сортировки ТКО, развития системы отдельного сбора ТКО и внедрения залоговой системы обращения потребительской упаковки (система сбора такой упаковки из-под напитков, при которой потребитель уплачивает сумму залога за упаковку, приобретая товар, и возвращает ее в случае сдачи использованной упаковки в определенных местах, например, тароматах);

- использовать до 30 процентов объема образования ТКО посредством производства топлива RDF для цементной промышленности;

- увеличение использования ТКО до уровня не ниже 50 процентов объема их образования к 2035 году путем создания дополнительных производств по их переработке;

- использовать до 500 – 600 тыс. тонн ТКО в год в г. Минске за счет создания объекта по энергетическому использованию ТКО (мусоросжигательный завод мощностью около 500 тыс. тонн планируется построить в Минске на базе ТЭЦ-4 к 2023 году);

- направлять на объекты захоронения отходов только оставшуюся неиспользуемую часть ТКО.

На основании анализа данной Концепции, можно сделать вывод, что в Республике Беларусь грядут большие перемены в отношении обращения с ТКО. В ускоренном порядке нужно принимать решения о государственном финансировании строительства мусоросортирующих, мусороперерабатывающих, мусоросжигающих объектов или использовать их сочетание. Также должна быть четкая стратегия, на основании которой борьба с мусором начнется не только с воспитания конечного потребителя – населения, но и производителей с целью выпуска упаковки, соответствующей общепризнанной иерархии управления отходами. Особую актуальность приобретает экологическое воспитание населения, использование внутренних источников финансирования проектов системы обращения с отходами, развитие современных объектов по утилизации отходов.

Финансирование должно быть построено на балансе интересов бизнеса и государства. Признание проблем в системе обращения с ТКО, реализация данной Концепции и других государственных программ по их решению позволит в минимально возможные сроки решить одну из самых острых экологических проблем в Беларуси, не дожидаясь момента окончательного выхода ситуации из-под контроля.

Литература

1. Об обращении с отходами [Электронный ресурс] : Закон Рэсп. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H10700271>. – Дата доступа: 12.10.2022.
2. Сведения о количестве образованных, использованных и захороненных твердых коммунальных отходах [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/kommunalnye-othody-ru/>. – Дата доступа: 12.10.2022.
3. Об объемах сбора вторичных материальных ресурсов и отходов товаров и упаковки, размерах расходования денежных средств, полученных от производителей и поставщиков в 2020 году: отчет/ Государственное учреждение «Оператор вторичных материальных ресурсов». – Минск, 2020. – 16 с.
4. Фотогалерея [Электронный ресурс] // Коммунальное производственное унитарное предприятие Брестский мусороперерабатывающий завод. – Режим доступа: <https://bmpz.by/o-predpriyatii/fotogalereya/>. – Дата доступа: 12.10.2022.
5. Бурмак, И.В. Снижение энергоемкости процессов механизации сбора и доставки твердых коммунальных отходов к месту их использования / И.В. Бурмак // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: Труды XXV Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 14 мая 2021 г. – М.: РУТ, 2021. – С.20-24.
6. Шилкина, С.В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России / С.В. Шилкина // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2020. – Т. 7, № 1.
7. Концепция создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 окт. 2019 г., № 715 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2019/october/41518/>. – Дата доступа: 12.10.2022.

УДК 631.342

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАЛКОВАТЕЛЯ ВЕТОК ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

А.Н. Юрин¹⁾, А.В. Вавилов²⁾

¹⁾ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск, Беларусь, anton-jurin@rambler.ru

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

Отрасль садоводства Беларуси не в полной мере удовлетворяет потребность населения в свежих плодах и ягодах. В республику ежегодно импортируется 250–500 тыс. т продукции плодовых и ягодных культур на сумму более 130 млн долларов США. В то же время плодородческая отрасль страны имеет потенциальные возможности для ее выращивания и увеличения объемов производства фруктов при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности отрасли. Основной фактор, сдерживающий развитие садоводства в республике, – это низкий уровень механизации трудоемких процессов возделывания плодово-ягодных культур, одним из которых является утилизация обрезанных веток. Выполненный анализ технологий и технических средств для данной операции показал, что наиболее рациональной является применение технологии утилизации продуктов обрезки путем валкования и измельчения их непосредственно в междурядье сада, мульчирования

древесными опилками поверхности почвы. Такие устройства в республике не производятся. Для обоснования параметров валкователя веток плодовых деревьев проведены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию его рабочей ширины захвата, определен диаметр положения щеток щеточного узла, равный 1,4 м. Анализом области технологического функционирования валкователя веток определено рациональное количество щеток на рабочем органе в количестве 4–6 шт., скорость его вращения – 0,38–0,73 м/с и динамический коэффициент –1,8–2,2. Графический анализ процесса перемещения веток щеточным узлом позволил установить рациональную длину упругих пальцев щетки – 0,78 м и их жесткость – 40,8 кН·мм².

Полученные параметры и режимы работы валкователя веток были использованы при разработке комплекса уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8, который обеспечивает валкование и измельчение срезанных и уложенных в валок веток садовых деревьев и кустарников с разбрасыванием щепы на поверхности за один проход по ряду.

Ключевые слова: интенсивный сад, ветки деревьев, валкователь веток, щетка, рабочий орган, скорость вращения, динамический коэффициент, жесткость пальцев, траектория движения, усилие перемещения, ротор щетки, длина пальцев.

Введение. В 2004–2015 гг. в Беларуси в хозяйствах различных форм собственности в рамках государственных программ «Плодоводство» осуществлена посадка садов интенсивного типа на площади более 20 тыс. га¹. В период 2016–2020 гг. садоводство республики развивалось и осуществлена закладка промышленных садов на площади 2,5 тыс. га².

Несмотря на проведенную работу, самообеспеченность плодово-ягодной продукцией в стране составляет только 60–70 % от потребности³. Республика вынуждена закупать свежую плодово-ягодную продукцию из-за рубежа для удовлетворения внутреннего спроса. Ежегодно импортируется 250-500 тыс. т продукции плодовых и ягодных культур, произрастающих в стране (яблоки, груши, вишня, черешня и другие), на сумму более 130 млн долларов США [1-5].

Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года предусматривает увеличение производства отечественной плодово-ягодной продукции и доли отечественных свежих фруктов на потребительском рынке⁴.

Плодоводческая отрасль страны имеет потенциальные возможности для увеличения объемов производства фруктов при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности

¹Государственная комплексная целевая программа развития картофеля, овощеводства, овощеводства и плодоводства в 2011 - 2015 годах / Утверждение Беларуси № 1926 Совета Министров. от 31 декабря 2010 г.

² Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы / Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 196 от 11.03. 2016 г.

³Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник [Сельское хозяйство Республики Беларусь] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск 2019. 235 с. ; Валовый сбор и урожайность фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск 2019. 14 с.

⁴Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. [Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года] / Подтверждена постановлением Совета Министров РБ № 962 от 15.12.2017 г.

отрасли. Однако низкий уровень механизации технологических процессов в садоводстве сдерживает рост их площадей возделывания и валового сбора, негативно сказывается на агротехнических сроках выполнения технологических операций по уходу за садами и уборке урожая, качестве производимой продукции, ее стоимости.

Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними плодовыми насаждениями является обрезка деревьев, затраты на которую составляют 22–24 % всех трудозатрат на производство плодов. В зависимости от конструкции насаждений и их возраста объем срезаемых ветвей составляет 3–28 т/га [6-9]. Такие отходы требуют выполнения технологических операций по их утилизации. В настоящее время эти операции выполняются в основном вручную. Сучья собираются рабочими с погрузкой в транспортное средство, перемещающееся непосредственно по междурядью, вывозу их за пределы сада с последующим сжиганием. Удаление обрезанных веток из междурядий может осуществляться также посредством волокуш типа В-2,5М и СВ-1. Эти способы очень трудоемки и малопродуктивны. Кроме того, при погрузке и разгрузке возможно травмирование работников, а при свалаживании ветвей волокушами – повреждение насаждений, что приводит к ежегодным потерям урожая, достигающим 56–140 кг/га ⁵.

Недостатком такой технологии является и нерациональное использование плодовой древесины. Более того, ее сжигание приводит к загрязнению окружающей среды: с каждой тонны сожженных веток в воздух выделяется 2–3 кг оксида углерода, 0,2 кг диоксида серы и других вредных веществ. Это оказывает токсичное действие на природную экосистему и здоровье человека. Кроме загрязнения окружающей среды происходит выжигание почвы. Как показывает практика, из сельскохозяйственного оборота изымается до 2 % плодородных земель [10-13].

Мировой и отечественный опыт показывают, что наиболее перспективной технологией утилизации плодовых веток является их измельчение в междурядии сада специальным агрегатом⁶. Однако существующие технические средства предусматривают двухкратный проход агрегата, так как ширина измельчителей меньше ширины междурядия. Это до 2 раз снижает производительность труда и повышает затраты на проведение технологической операции.

⁵Рекомендации по утилизации и использованию отработанной биомассы садов и ягодников в Республике Беларусь: науч. - практ. изд. [Рекомендации по утилизации и использованию отработанной биомассы садов и ягодных культур в Республике Беларусь] / РУП «Институт плодоводства; сост. : В.А. Самусь [и др.]. Самохваловичи, 2011. 24 с.

⁶ Ланцев Ю.В. Совершенствование технологии утилизации отходов обрезки в слабослых садах с обоснованием параметров измельчителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Мичуринск, 2004. 23 с. ; Заммоев А.Ю. Параметры и режимы работы измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев // автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Нальчик, 2006. 24 с.; Медовник А.Н. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов ухода за плодовыми насаждениями интенсивного типа: дис. ... докт. техн. наук: 05.50.01. Нальчик, 2001. 317 с. ; Косилка-валкователь для установки на трактор RX300 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/fama/product-175225-49766.html> Дата доступа: 22.08.2020 ; Валкователь для виноградной лозы MAGIC Series [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/corbins-agricultural-technology/product-183374-64828.html> Дата доступа: 22.08.2020 ; Heavy duty flail pruning choppers - Series KG en KK [Electronic resource]: Mode of access: <https://vanwamel.nl/en/products/orchards-vineyards/pruning-choppers/134-kg-kk-heavy-duty-models> Date of access: 17.07.2020 ; Flail mowers and shredders – DRAGONE [Electronic resource]: Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/mower-flail-shredder-dragone-2/> Date of access: 17.07.2020.

Рациональным решением данной задачи является выполнение одним агрегатом (машинным комплексом) валкования обрезанных веток и их измельчение за один проход [14-17]. При этом если измельчители веток изучены достаточно хорошо⁷ и параметры их обоснованы, то рациональные параметры валкователя веток до настоящего времени не обоснованы.

Цель исследования – повышение эффективности садоводства Республики Беларусь посредством внедрения технологии механизированной утилизации отходов обрезки деревьев в междурядьях сада за один проход. *Задачи исследования* – обоснование конструктивных и кинематических параметров рабочих органов валкователя веток, разработка его конструкции и проведение испытаний.

Основная часть

Обоснование диаметра рабочего органа валкователя. Анализ конструкций подобных машин показал, что рациональным является исполнение валкователя обрезанных плодовых веток в междурядья сада в виде двух вертикальных щеток-роторов (оси вращения расположены вертикально), вращающихся на встречу друг другу⁸. Поэтому диаметр рабочего органа валкователя зависит от ширины междурядий сада.

По степени плотности посадки плодовых деревьев различают сады экстенсивные (до 400 деревьев на 1 га), полуинтенсивные (до 1000 деревьев на 1 га) и интенсивные (более 1000 деревьев на 1 га). Современные сады Беларуси относятся к интенсивным I и II типов.

Первый тип интенсивных садов характеризуется плотностью посадки деревьев в 1100-2200 шт/га со схемами посадки (4,0–4,5)×(1,0–2,0), второй тип – более 2200 деревьев на га со схемами посадки (3,0–4,5)×(0,5–1,0) [18-19].

Ширина междурядий современных садов в республике составляет 3,0–4,5 м.

Тогда, диаметр рабочего органа валкователя должен быть (рис. 1):

$$D_b = \frac{b_m - b_u}{2},$$

где b_m – ширина междурядий сада, м; b_u – ширина захвата измельчителя, м.

Ширина измельчителя зависит от мощности энергетического средства, которым он приводит в рабочее состояние. Экспериментальным путем установлено, что для садовых тракторов «Беларус-921» и наиболее распространенного в республике трактора МТЗ-80, чаще других используемого в садоводстве, рабочая ширина измельчителя составляет $b_u=1,7-1,9$ м. Таким образом, для садов интенсивного типа диаметр рабочего органа валкователя должен составлять $D_b=0,55-1,4$ м.

При проектировании рабочего органа необходимо выбрать наибольшее значение его диаметра, что обеспечит выполнение технологического процесса сгребания веток при ширине междурядий 4,5 м. Поэтому принимаем $D_b = 1,4$ м.

⁷Model RX300 - RX150 - Vine Running Windrowers. [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.agriculture-xprt.com/products/model-rx300-rx150-vine-running-windrowers-530701> Date of access: 17.07.2020 ; Barredoras ramas poda/ Elite fruit [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.tallerescorbins.com/es/productos/barredoras-ramas-poda/elite-fruit> Date of access: 17.07.2020 ; Vine rake Ponzio [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.agriexpo.ru/prod/ponzo/product-170718-25109.html> Date of access: 17.07.2020.

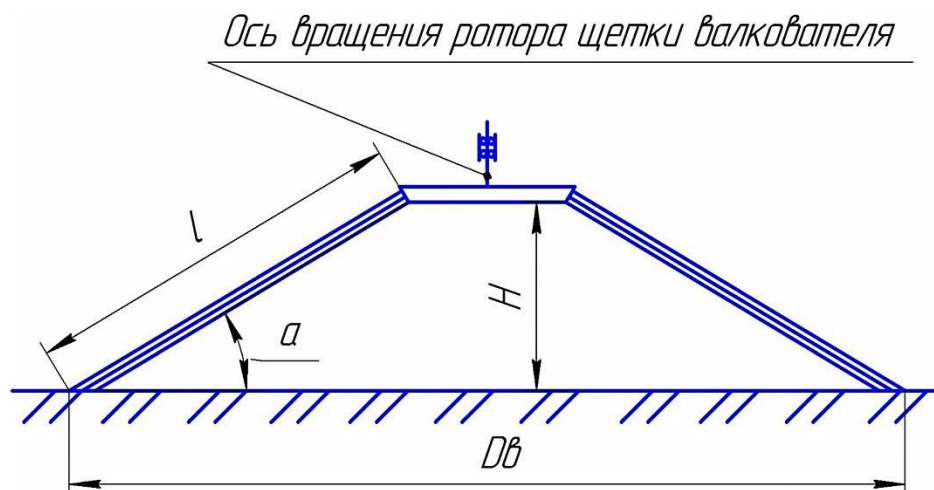


Рис. 1. Схема рабочего органа валкователя плодовых веток:
 D_b – диаметр рабочего органа; l – длина пальцев щетки; α – угол установки пальцев щетки к горизонту; H – высота ротора над поверхностью почвы

Определение скорости вращения рабочего органа валкователя и количества в нем щеток. Щетки рабочего органа валкователя должны равномерно располагаться по периметру круга (ротора), описываемого им при вращении, и осуществлять одновременно вращательное движение вокруг оси ротора и поступательное – вместе с машиной.

Траектория движения свободного конца щетки при этом образует трохойду и описывается уравнениями (рис. 2)

$$\begin{aligned} X &= V_M t + R \cos \omega t, \\ Y &= L_p - R \sin \omega t, \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$X = \frac{\omega t}{\lambda} t + R \cos \omega t.$$

Выражение (1) представляет собой уравнение траектории, описываемой точкой А щетки валкователя. В зависимости от поступательной скорости машины V_M и относительной скорости вращения щетки $U = \omega t$ вид траектории может изменяться. Очевидно, что щетка валкователя только в тех случаях будет иметь возможность сгрести ветки, если динамический коэффициент $\lambda > 1$, или $U > V_M$.

То есть, чтобы перемещать ветки в центр междурядья, щетка должна двигаться навстречу им. Следовательно, горизонтальная составляющая V_H скорости ее должна иметь направление в сторону, обратную движению машины:

$$V_x = \frac{dx}{dt} > 0.$$

Взяв производную от уравнения (1), получим

$$V_x = V_M - R\omega \sin \omega t < 0.$$

Отсюда, учитывая, что $U = R\omega$,

$$V_M < U \sin \omega t = U \sin \varphi.$$

Угол φ имеет рабочие пределы 0 и π . Следовательно, наибольшее значение $\sin \varphi = +1$ при $\varphi = \pi/2$. Поэтому, чтобы щётка сгребала ветки, повернувшись на угол $\pi/2$ от начального положения, необходимо выполнение следующего условия:

$$V_M < U \text{ или } \lambda > 1.$$

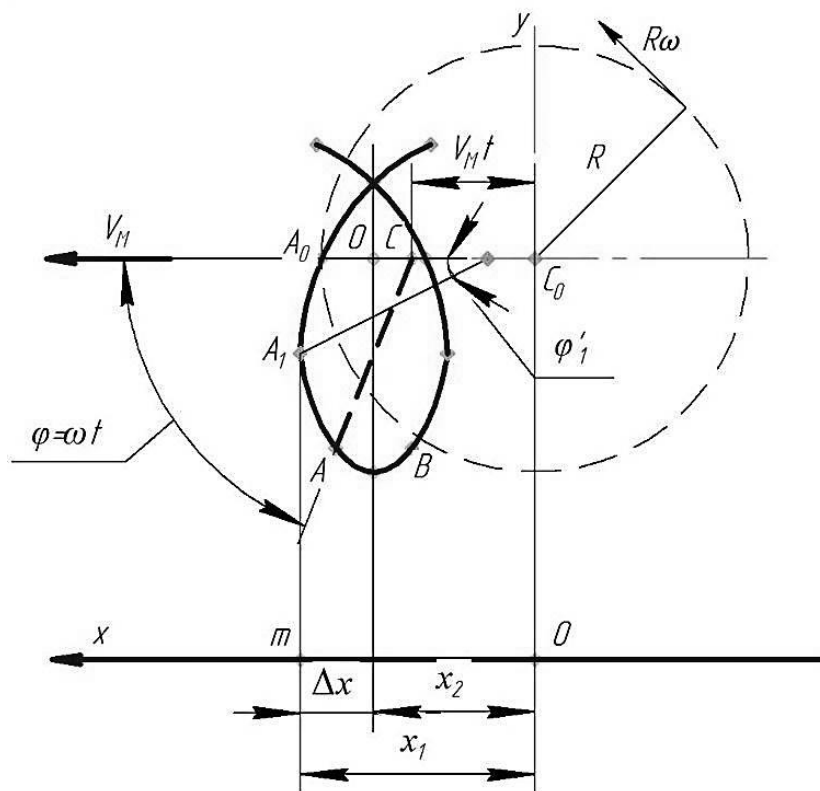


Рис. 2. Траектория движения свободного конца щётки (точки A) за один оборот рабочего органа: φ, φ_1 – углы между направлением перемещения и пальцем щетки валкователя в разные моменты времени; A, A_0, A_1, B – точки траектории конца щетки рабочего органа валкователя, описываемой ею при движении

В этом случае V_x имеет наибольшую величину

$$V_x = V_M - U.$$

Если условие $\lambda > 1$ выполнено, то при некотором угле поворота $\varphi_1 = \omega t_1$ скорость V_x может снизиться для 0. Этот угол определяется из равенства

$$V_x = V_M - U \sin \varphi_1 = 0, \\ \sin \varphi_1 = \frac{1}{\lambda},$$

откуда

$$\varphi_1 = \omega t_1 = \arcsin \frac{V_M}{U} = \arcsin \frac{1}{\lambda}.$$

Таким образом, при $\lambda = \frac{V_M}{U} > 1$ щётка валкователя может осуществлять сгребание веток.

Если рабочий орган валкователя выполнен из z щёток, вращающихся с угловой скоростью ω , и перемещается с поступательной скоростью V_M , то в течение времени $T =$

$2\pi/\omega$ его полного оборота последовательно на ветки будут действовать все z щёток (рис. 3).

Отрезок времени $t_z = \frac{T}{z}$ – время воздействия на ветки каждой отдельной щетки. Отсчитывая это время с момента начала взаимодействия с веткой до момента, когда следующая щетка начнет взаимодействие с ветками, получим

$$t_z = \frac{2\pi}{z\omega} = \frac{\varphi'_1 - \varphi_1}{\omega}.$$

Отсюда

$$\varphi'_1 = \varphi_1 + \frac{2\pi}{z}.$$

Машина, а вместе с ней и щетка за время t_z переместится на расстояние

$$X_z = V_M t_z = \frac{2\pi}{z\omega} \cdot V_M.$$

Тогда, учитывая, что $V_M = \frac{\omega \cdot R}{\lambda}$, получим

$$X_z = \frac{2\pi R}{z\lambda}. \quad (2)$$

Примем X_z шагом щётки. Выражение (2) показывает, что шаг щетки прямо пропорционален радиусу R и обратно пропорционален числу щеток и показателю λ .

На рис. 3 отмечен шаг щеток расстояниями между точками A_1 , в которых щетки последовательно взаимодействуют с ветками. Это же расстояние сохраняется между точками A_0 , в которых щетки приходят на уровень горизонтального диаметра рабочего органа валкователя, или между нижними точками B петель трохоиды.

Если количество щеток равно z , то за один оборот ротора все щетки будут взаимодействовать с ветками. Следовательно, будет z траекторий их движения, а временной интервал между ними Δt составит

$$\Delta t = \frac{t_{об}}{z}.$$

Таким образом, каждая следующая щетка будет вступать во взаимодействие с ветками через Δt времени после предыдущей:

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\omega z}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 + \Delta t, \\ t_3 &= t_2 + \Delta t = t_1 + 2\Delta t, \\ t_4 &= t_3 + \Delta t = t_1 + 3\Delta t, \\ t_5 &= t_4 + \Delta t = t_1 + 4\Delta t \text{ и т. д.} \end{aligned}$$

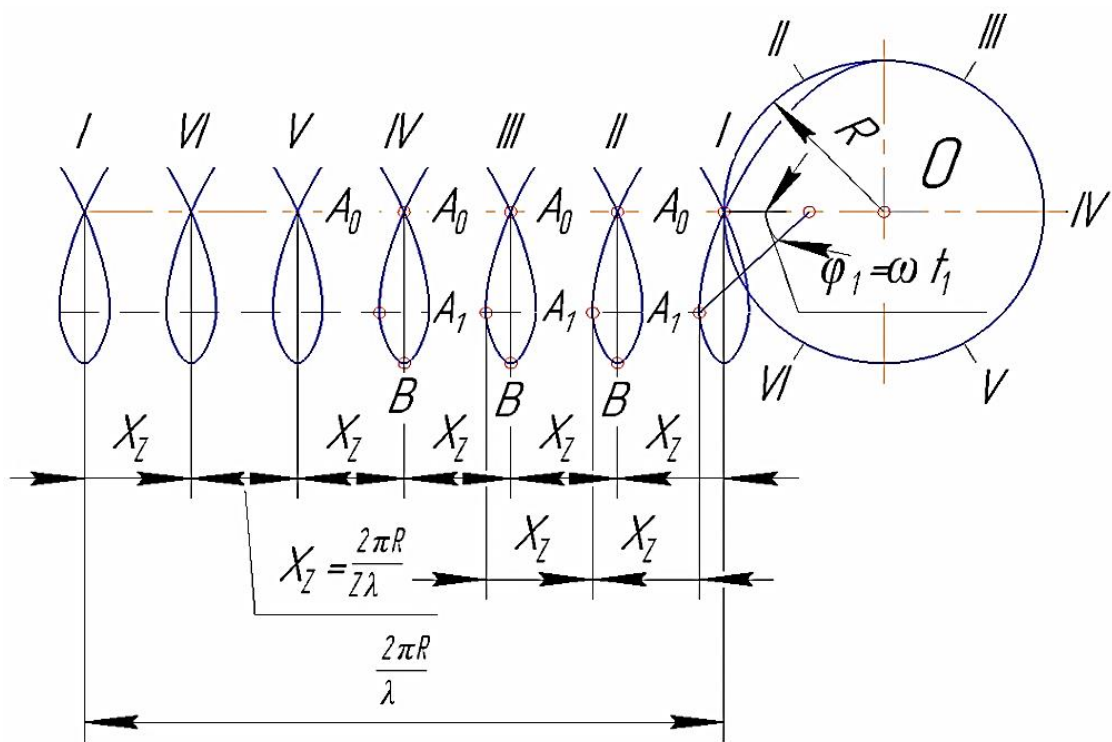


Рис. 3. Траектория движения концов щёток рабочего органа

Наложение траекторий движения щёток ротора валкователя представлено на рис. 4.[14, 15, 17, 20]

Экспериментальным путем установлено, что размер срезаемых веток варьируется от 0,3 до 1,5 м. На рис. 4 видно, что для обеспечения полного сгребания веток необходимо, чтобы размеры $A, B, C, D, E, F, G, H, I$ и K не превышали минимального значения длины веток, т. е. 0,3 м.

При этом расстояние $B = D = F = H = K$ и составляет

$$S_x = \frac{S_0}{z} = \frac{2\pi}{z\lambda} R.$$

То есть

$$B = 0,3 \leq S_x = \frac{2\pi}{z\lambda} R.$$

Таким образом,

$$\lambda = \frac{2\pi}{zS_x} R.$$

Если $S_x = 0,3$ м, то

$$\lambda = \frac{2\pi}{0,3z} R.$$

Из рисунка 4 очевидно, что величины D, E, G, I меньше B, D, F, H, K .

Наибольшее значение имеет величина A при работе валкователя, когда траектории щёток не пересекаются, или когда $2\Delta x \leq S_x$.

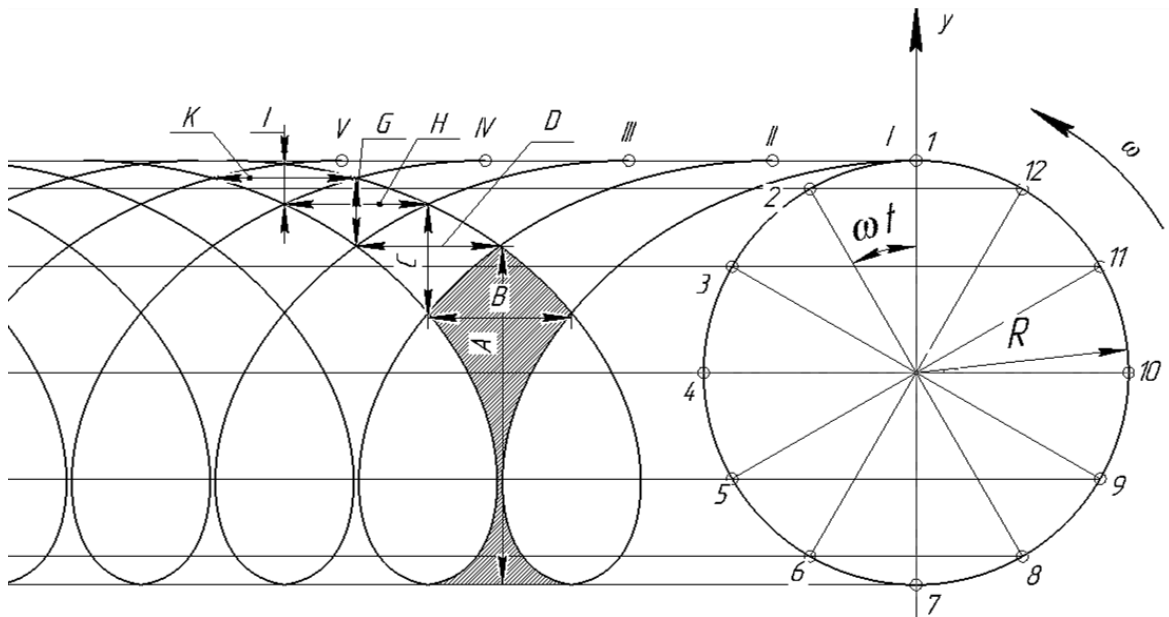


Рис. 4. Схема к определению динамического коэффициента λ при работе щеток валкователя

Следовательно,

$$2 \frac{R}{\lambda} \left(\varphi_1 + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \frac{\pi}{2} \right) \leq \frac{2\pi}{z\lambda} R,$$

или

$$X_5 - X_9 = S_x.$$

Здесь

$$X_5 = R \sin \omega t_5 + \frac{\omega R}{\lambda} t_5,$$

$$X_9 = R \sin \omega t_9 + \frac{\omega R}{\lambda} t_9.$$

Преобразовав полученные выражения, получим

$$\lambda = \frac{2\pi R - z(\omega R t_5 - \omega R t_9)}{Rz(\sin \omega t_5 - \sin \omega t_9)}.$$

Графическое отображение этого выражения представлено на рис. 5. Зависимость имеет характер степенной функции.

При малом количестве щеток коэффициент $\lambda = 3-5$, что значительно увеличивает затраты энергии на выполнение технологического процесса. Наиболее рациональным является количество щеток на роторе $z = 4-6$, при этом коэффициент $\lambda = 1,8-2,2$.

При дальнейшем увеличении количества щеток, при условии полного сгребания веток, динамический коэффициент снижается незначительно, а металлоёмкость конструкции сильно возрастает. Экспериментально установлено, что полное измельчение ветвей происходит при скорости движения агрегата по междурядью $V_m = 0,9-1,2$ км/ч (0,25-0,33 м/с), поэтому рабочая скорость щетки ротора валкователя должна составлять $U = 0,38-0,73$ м/с.

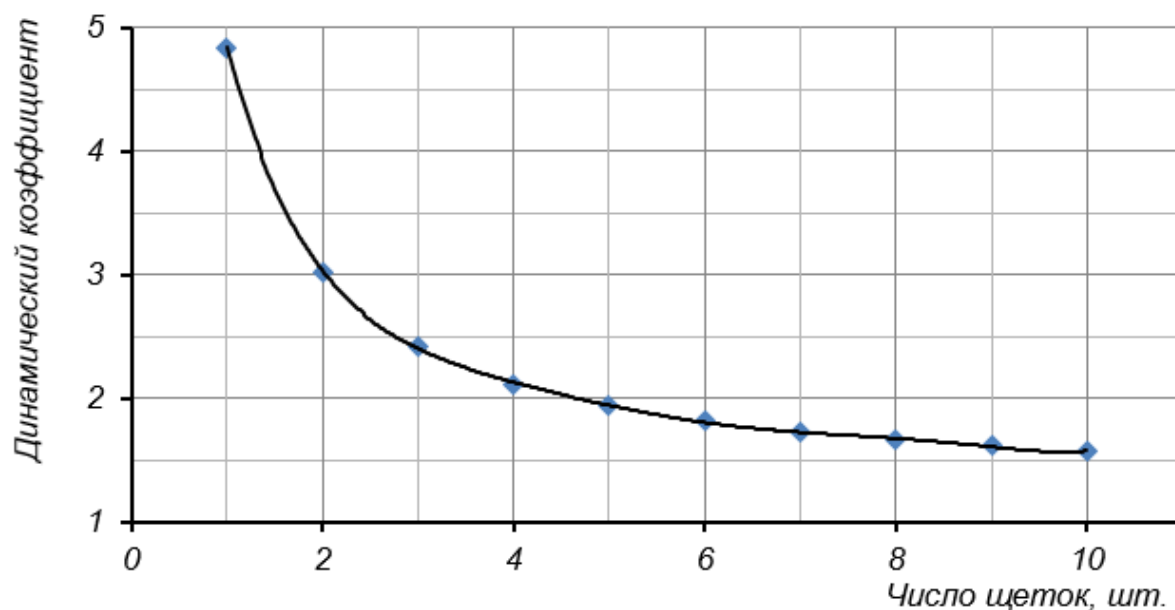


Рис. 5. Зависимость динамического коэффициента λ от количества щеток z

Обоснование жесткости и длины пальцев щеток. Жесткость пальцев щетки валкователя определяется из условия максимального изгиба ее пальцев, когда они касаются ветки параллельно поверхности почвы. В этом случае усилие прижатия ветки пальцем не должно превышать допустимого значения $P_{\text{доп}}$.

Расчет пальца на изгиб проведем из условия неизменности его длины. Предположим, что при максимальном изгибе палец принимает форму четверти окружности (рис. 6). Тогда длина пальца, как четверть дуги окружности, определяется следующим выражением:

$$l_{\text{в}} = R_{\text{изг}} \frac{\pi}{2}.$$

Откуда

$$R_{\text{изг}} = \frac{2l_{\text{в}}}{\pi}, \quad (3)$$

где $R_{\text{изг}}$ – радиус изгиба пальца.

Прогиб пальца в начале изгиба, согласно работе [19],

$$X_{\text{а.н.}} = \frac{Pl}{3EJ}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости материала пальца;

J – момент инерции поперечного сечения пальца;

P – восстанавливающая сила упругости пальца.

Так как процесс изгиба подчиняется закону Гука, то формула (4) справедлива и для конечного перемещения пальца щетки.

Учитывая, что

$$X_{\text{а.к.}} = R_{\text{изг}} = \frac{2l_{\text{в}}}{\pi}, \quad (5)$$

для конечного перемещения пальца получим следующее выражение:

$$\frac{2l_B}{\pi} = \frac{Pl}{3EJ}. \quad (6)$$

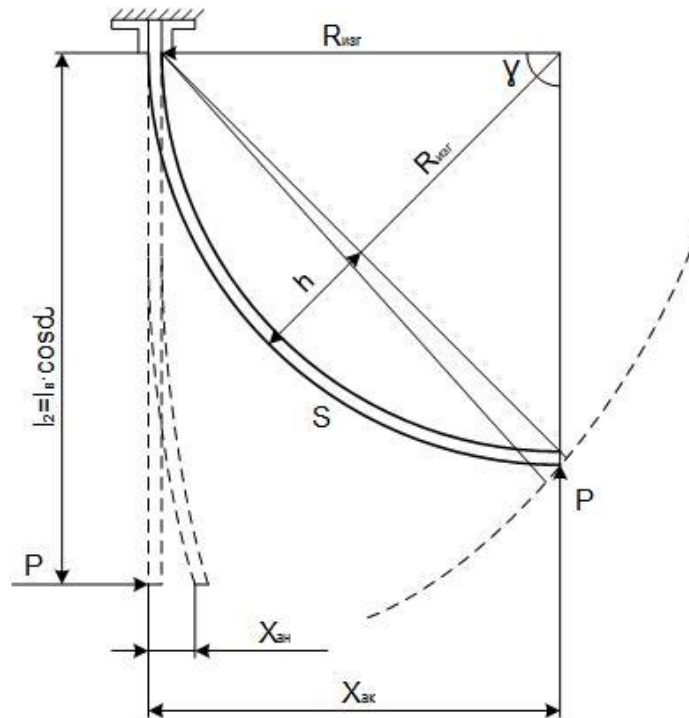


Рис. 6. Схема к обоснованию жесткости пальца щетки валкователя

Уравнение (6) позволяет получить значение обобщенного показателя жесткости пальцев

$$EJ = \frac{P\pi l_B^2}{\sigma}. \quad (7)$$

Из этого уравнения следует, что жесткость пальцев зависит как от материала, так и от их длины.

Из рисунка 6 следует, что полная длина пальцев определяется следующим выражением

$$l_2 = \frac{D}{2} \cos \alpha.$$

При этом $l_2 = 2R_{изг} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$ и равна также длине дуги S , образуемой пальцами щетки валкователя

$$S = \frac{\pi R_{изг} \gamma}{180}. \quad (8)$$

При $\gamma = 90^\circ$ (крайнее значение)

$$S = \frac{\pi R_{изг}}{2}. \quad (9)$$

Преобразовав выражение (9), получим

$$R_{\text{изг}} = \frac{l_2}{2 \sin 45} = \frac{D \cos \alpha}{4 \sin \frac{\gamma}{2}}. \quad (10)$$

Тогда

$$S = \frac{\pi D \cos \alpha}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} = 0,67 \text{ м.}$$

Так как $S = l_2$ и $l_2 = l_b \cos \alpha$, то

$$l_2 = \frac{\pi D \cos \alpha}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} = 0,78 \text{ м.}$$

При такой длине пальцев обобщенный показатель их жесткости будет равен

$$EJ = 0,32 P.$$

Экспериментальным путем установлено, что усилие, необходимое для перемещения отдельных веток диаметром до 70 мм, может составлять до 100 Н. Тогда обобщенный показатель жесткости пальцев щетки составит 40,8 кН·мм².

Практические исследования. На основании полученных результатов исследований в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан комплекс уборки обрезанных веток плодовых деревьев КУВ-1,8. Комплекс предназначен для одновременного валкования и измельчения срезанных веток плодовых деревьев и кустарников и уложенных в междурядье с разбрасыванием щепы на поверхности. Он состоит из следующих основных машин (рис. 7): валкователя и измельчителя [2, 4].



a



b

Рис. 7. Комплекс уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8:
a – валкователь веток; *b* – измельчитель веток.

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
 по механизации сельского хозяйства, 2015 г.

Измельчитель веток навешивается на заднюю навеску трактора и состоит из рамы с навесным устройством, горизонтального ротора с молотками, вала карданного, редуктора, ременного привода и опорного катка. Ротор имеет 12 измельчающих молотков, подвешенных шарнирно.

Валкователь веток монтируется в передней части трактора на полураму и состоит из навесного устройства, двух поводков, двух щеточных узлов (вертикальных роторов) с опорными колесами, гидросистемы и механизма регулировки ширины захвата.

Приемочными испытаниями, проведенными ГУ «Белорусская МИС» в 2013-2014 гг., установлено, что комплекс КУВ-1,8 в полной мере соответствует требованиям технического задания и ТКП⁹.

Годовой приведенный экономический эффект от его применения на уборке веток составляет 3950,39 руб. (при ширине междурядий 4,0 м – 5320,78 руб.), а срок окупаемости – 5,1 года (3,6 года), что свидетельствует о высокой эффективности разработанного комплекса.

С 2017 г. на ОАО «Пинский винодельческий завод» осуществляется отработка технологии валкования и измельчения лозы винограда и веток плодовых деревьев.

Анализ результатов внедрения технологии показал, что на площадях, где проводилась утилизация древесных отходов с применением комплекса КУВ-1,8, урожайность винограда выросла на 15 %, а яблок – на 18 %. При этом снижение затрат труда составило 110 и 135 чел.-ч/га соответственно по сравнению с ручным трудом по удалению обрезанных плодовых веток из сада.

Выводы

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема комплекса для утилизации обрезанных плодовых веток в белорусских интенсивных садах, включающего энергетическое средство с навешенными на нем спереди валкователем веток и сзади – их измельчителем.

2. Проведены теоретические исследования по обоснованию рабочей ширины захвата валкователя веток по агротехническим и технологическим требованиям, производительности и определен диаметр щетки-ротора, равным 1,4 м.

3. Кинематико-энергетическим анализом области технологического функционирования валкователя установлено рациональное количество щеток на роторе $z = 4-6$ и скорость их вращения $U = 0,38-0,73$ м/с и динамический коэффициент $\lambda = 1,8-2,2$.

4. Графический анализ процесса перемещения веток щеточным узлом (ротором) позволил определить рациональную длину пальцев щетки равной 0,78 м и их жесткость $40,8$ кН · мм².

5. Приемочными испытаниями установлен годовой приведенный экономический эффект от применения разработанного образца комплекса уборки веток КУВ-1,8 в 3950,39 руб. (при ширине междурядий 4 м – 5320,78 руб.), а срок окупаемости – 5,1 года (3,6 года).

6. Эксплуатация комплекса в производственных условиях ОАО Пинский винодельческий завод» показала, что его применение позволяет повысить урожайность винограда на 15 %, а яблок – на 18 %. Это свидетельствует о высокой эффективности применения комплекса КУВ-1,8 для проведения технологической операции утилизации обрезанных плодовых веток непосредственно в садах.

Литература

1. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я.П. Лобачевский, И.Г.

⁹Протокол приемочных испытаний комплекса уборки веток КУВ-1,8 № 043 Б 1 / 8-2015ИЦ от 22 мая 2015 года [Протокол приемочных испытаний комплекса очистки филиалов КУВ-1.8 №043 Б 1 / 8-2015ИЦ от мая 22, 2015] / ГУ «Белорусская МИС», с. Привольный 2013 67 с.

- Смирнов, А.Н. Юрин, Д.О. Хорт, Р.А. Филиппов, Н.Н. Романюк / Техника и оборудование для села. – 2016. - № 10 (232). – С.16-20.
2. Обоснование конструктивно-технологической схемы комплекса уборки веток и ширины захвата валкователя / А. Н. Юрин [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : Материалы международной научно-практической конференции (Минск, 24-25 октября 2019 г.) : в 2 ч. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Учреждение образования "Белорусский государственный аграрный технический университет", Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований. - Минск : БГАТУ, 2019. - ч. 1. - с. 74-76
 3. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В.Ю. Агеев [и др.] ; ред.: В. Г. Гусаков [и др.] ; рец.: Л. С. Герасимович, Г. И. Гануш, И. Н. Брыло ; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. - Минск : Беларуская навука, 2020. - 682 с.
 4. Юрин А.Н. Результаты испытаний комплекса уборки веток плодовых деревьев КУВ-1,8 в природно-климатических условиях Республики Беларусь // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства". - Минск, 2015.
 5. Основные тенденции развития садоводства в Беларуси / Юрин А.Н. / Наука и инновации. – 2016. - № 2 – С.62-64.
 6. Медовник, А. Н. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов ухода за плодовыми насаждениями интенсивного типа: дис. ... докт. техн. наук: 05.50.01 / А. Н. Медовник. - Нальчик, 2001. - 317 с.
 7. Беренштейн И.Б. Машины для обрезки кроны плодовых деревьев, сбора чурпы и измельчения срезанных веток // Система садоводства республики Крым. / Копылов В.И., Балыкина Е.Б., Беренштейн И.Б., Бурлак В.А., Валеева Н.Г., Корниенко Н.Я., Опанасенко Н.Е., Потанин Д.В., Пичугин А.М., Рябов В.А., Скляр С.И., Сторчоус В.Н., Стрюкова Н.М., Сычевский М.Е.; ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени в. И. Вернадского», Академия биоресурсов и природопользования. Симферополь, 2016. С. 255-258.
 8. Исследование физико-механических свойств ветвей плодового дерева / Земляной А.А., Завражнов А.И., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю. // Вестник мичуринского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 139-147.
 9. Алышов И.Г. Обоснование выбора конструкции подборщика обрезков ветвей фундука // Аграрная наука. 2014. № 12. с. 28-29.
 10. Машины для формирования крон и уборки урожая плодовых культур / Г. П. Варламов: [и др.]. - М.:Машиностроение, 1975 - 206 с.
 11. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / В. Ф. Воробьев: [и др.]; ФГБНУ «Росинформагротех»; под общ. красной. М. И. Куликова – М., 2012. - 164 с.
 12. Древесные отходы садоводства и технологии их утилизации / Апхудов Т.М., Шекихачева Л.З. // Человек и современный мир. 2019. № 1 (26). с. 163-169.
 13. О проблеме уборки обрезанных веток плодовых деревьев в республике Беларусь и пути ее решения / Синяк С.О., Юрин А.Н. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. Минск, 2012. с. 212-215.
 14. Заммоев А.У. Параметры и режимы работы измельчительного устройства подборщика-измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кабардино-балкарская государственная сельскохозяйственная академия. Нальчик, 2006
 15. Апхудов Т.М. Обоснование конструктивных параметров двухвалкового роторного измельчителя срезанных ветвей // Известия кабардино-балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 2 (28). с. 106-110.

16. Математическое моделирование процесса измельчения плодовых ветвей роторным измельчителем / Апхудов Т.М., Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. // Техника и оборудование для села. 2019. № 9 (267). с. 21-24.

17. Классификация режущих аппаратов машин для обрезки плодовых деревьев / Балкаров Р.А., Шекихачева Л.З. // Инновации в современной науке. Материалы международной (заочной) научно-практической конференции. под общей редакцией А. И. Вострецова. 2017. с. 46-49.

18. Интенсивные технологии в садоводстве / Пер с польск. Н.А. Чупеева. – М.: Агропромиздат, 1990. – 300с.

19. Легоев, В. Б. Совершенствование технологии и технических средств для механизации подбора яблок с земли в садах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. Б. Легоев. – Саратов, 1984. - 23 с.

20. Размерные характеристики срезанных ветвей плодовых деревьев / Апхудов Т.М., Шекихачева Л.З. // Фундаментальные науки и современность. 2019. № 1 (22). с. 19-23.

УДК: 625.084

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАНАТНО-БЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Конопацкий, А.А. Шавель
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

В статье рассматриваются типы дождевальных установок и агрегатов, их принцип действия, анализируются преимущества и недостатки аналогов, обосновываются основные параметры предлагаемой дождевальной установки.

Ключевые слова: дождевальная установка, дождевальный агрегат, дождевание, канатно-блочная система.

Территория Республики Беларусь относится к зоне неустойчивого увлажнения, поэтому здесь необходимо применять, наряду с осушительными и оросительными мелиорациями. Достаточный уровень влаги — это важнейший критерий, от которого напрямую зависит урожайность всех без исключения сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории Беларуси [1]. Суммируя все вышесказанное предлагается создать эффективную высокопроизводительную мобильную дождевальную установку с использованием канатно-блочной системы.

Актуальными в настоящее время являются вопросы расширения области применения дождевальных установок, модернизация существующих, также внедрение новых решений, направленных на повышение производительности, точности выполнения работ, увеличения коэффициента использования полезной площади, уменьшения металлоемкости, применения современных систем, направленных на уменьшение потребления рабочей жидкости.

На рисунке 1 показан штанговый опрыскиватель [2]. Штанга опрыскивателя включает в себя навесное устройство 1, металлические секции: центральную, выполненную в виде плоской фермы 2, навешенной шарнирно к задней части навесного устройства посредством двух соединительных срез 3, образующих маятниковую подвеску штанги, две средние 4 и две крайние 5 секции, выполненные в виде несущих балок 6, усиленных в вертикальной плоскости шпренгельными растяжками 7, жесткость крепления которых задается талрепами 8.

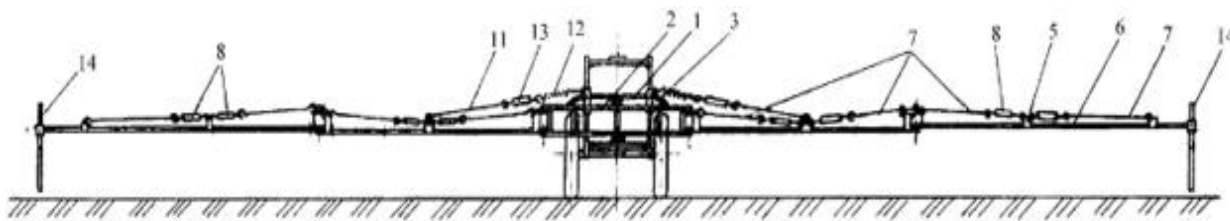


Рис. 1. Штанга опрыскивателя

Известны дождевальные самоходные агрегаты мостового типа, перемещающиеся вдоль орошаемого участка с трубной системой, наполненной водой.

На рис. 2 изображен дождевальный самоходный аппарат мостового типа с дополнительными стойками (вид сбоку) [3].

Мостовая металлическая ферма 1 дождевального аппарата помещается на двух самоходных опорах 2 тракторного типа. В трубную систему агрегата вода подается в его рабочем положении по шлангу от гидранта 3. При этом водитель агрегата опускает откидные дополнительные опоры 4, которые предохраняют ферму 1 агрегата от значительной нагрузки ее водой, поступающей по шлангу от гидранта. При окончании дождевания участка дополнительные опоры вновь поднимаются, вода из трубной системы агрегата спускается и он перемещается на самоходных опорах 2 на новую позицию на которой возобновляется процесс дождевания участка.

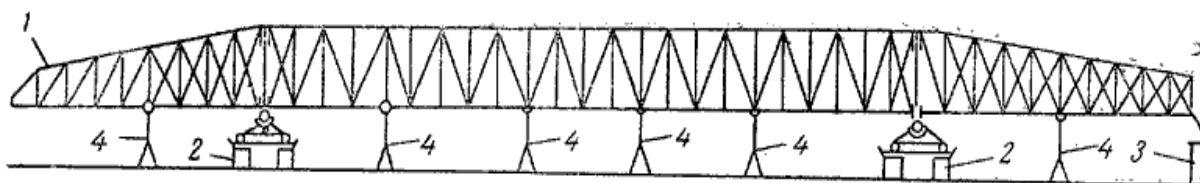


Рис. 2. Дождевальный агрегат мостового типа

Известна конструкция мостового трактора, который движется по участку поля, по краям которого проложены рельсы [4]. Тележка с орудием передвигается вдоль фермы, обрабатывая междурядье. Доехав до конца фермы, она нажимает на конечный выключатель и останавливается. Орудие поднимается над растениями, и ферма перемещается на один ряд. Орудие разворачивается на 180°, и тележка движется вдоль фермы к другому ее концу, обрабатывая следующий ряд.

Конструкция данного мостового трактора имеет большую металлоемкость, большое энергопотребление, малую маневренность и коэффициент полезного использования.



Рис. 3. Мостовой трактор

К недостаткам рассмотренных конструкций, кроме неизбежных, относят большую металлоемкость дождевальных установок, затраты на транспортировку дождевальной техники, значительные энергозатраты на их перемещение при работе и др.

Указанные выше недостатки предлагается решать путем применения канатных блочных систем, которые способны обслуживать значительные производственные площади. Предлагается использовать канатно-блочную систему в передвижных дождевальных системах для удержания на требуемом по вертикали расстоянии трубопроводов, распределяющих воду по орошаемой поверхности, и рабочих органов дождевальных устройств. Предлагаемая канатно-блочная система может быть выполнена на базе автомобиля, трактора или специальной мобильной машины с колесной или гусеничной ходовой частью.

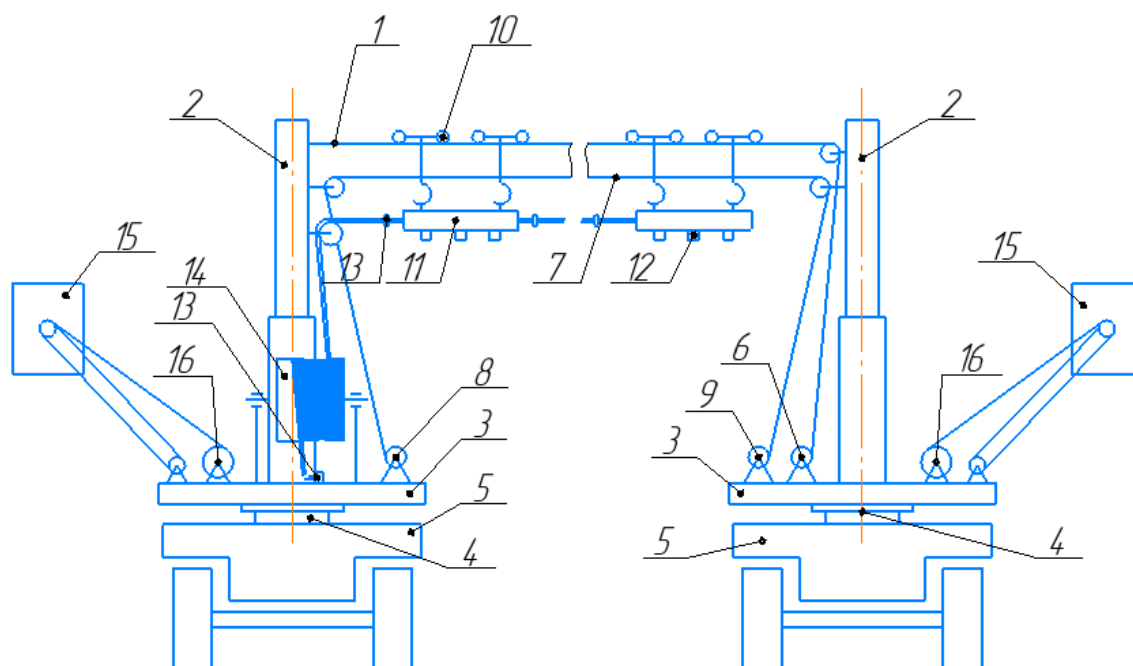


Рис. 4. Мобильная дождевальная установка с использованием канатно-блочной системы:
 1 – силовой канат, 2 – подвижная (выдвижная) мачта, 3 – поворотная платформа, 4 – ОПУ (круг), 5 – несущая рама ТС, 6 – лебедка силового (несущего) каната, 7 – тяговый канат (строп), 8, 9 – лебедка тягового каната,
 10 – тележка, 11 – секция трубопровода, 12 – распылитель (рабочий элемент), 13 – замок (соединительная головка поворотного замыкания),
 14 – барабан, 15 – противовес, 16 – лебедка противовеса

Несущий канат 1 поддерживается на заданной высоте вертикальными опорами 2, выполненными в виде телескопических мачт, установленных на поворотных платформах 3, опирающихся через опорно-поворотные круги 4 на раме транспортных средств 5 и 5'. Один конец несущего каната закреплен на месте одного транспортного средства, а второй конец на барабане лебедки 6, установленный на платформе второго транспортного средства. Такое крепление несущего каната позволяет менять прямолинейность и обеспечивать его необходимое натяжение. Мачты имеют опорно-поворотные устройства, что позволяет обеспечивать требуемую ориентацию рабочего оборудования дождевальной установки более точным в установке. Особенно при переводе установки из рабочего положения, когда несущий канат расположен вдоль продольных осей транспортных средств. Необходимость перевода установки в транспортное положение возникает при перездах с одного участка орошения на другой.

При монтаже карана по несущему канату с помощью тягового каната 7 и лебедок 8 и 9, передвигаются грузовые тележки 10 с грузозахватным устройством, например, крюком. Тяговый канат огибает блоки, расположенные на обеих мачтах. Наличие лебедок 8 и 9

обеспечивает легкость монтажа тележек и возможность изменения пролета установки и перевода установки из рабочего в транспортное положение и наоборот.

На грузозахватные устройства тележек, с целью удобства монтажа, навешиваются секции 11 трубопровода, распределяющего воду по орошаемой поверхности, оснащенных дождевальными аппаратами 12. Секции соединяются между собой при помощи стандартных металлических головок поворотного замыкания 13.

Для обеспечения полива дождеванием на участке L_1 , меняем пролет L установки, см. рис. 5, на поворотной платформе 3 установлен барабан 14 с определенным запасом трубопровода.

Конец трубопровода оснащен соединительной головкой 13 для соединения с трубопроводом от насосной станции.

Применение трубопровода в виде секций дает возможность обрабатывать площади внутри пролета L установки, на которой есть поливные и неполивные участки. Над неполивными участками располагается трубопровод без дождевальных аппаратов, что дает снижение расхода воды.

Для уменьшения моментов, изгибающих колонны 2, более равномерного распределения нагрузки на опорные элементы транспортных средств, обеспечения необходимой устойчивости установки в рабочем и нерабочем состоянии на поворотных платформах 3 установлены противовесы 15 с регулируемыми, при помощи лебедок 16, уравновешивающими моментами.

Выводы:

Полив дождеванием – один из основных факторов интерсикации сельскохозяйственного производства.

Предлагается в создание новой широкозахватной дождевальной техники на базе мобильного дождевальной установки. Предлагаемая техника может быть использована и для внесения удобрений, микроэлементов, пестицидов и др.

По сравнению с существующей дождевальной техникой предлагаемая конструкция менее металлоемкая, не требует затрат на транспортировку, не оказывает механического воздействия на орошаемую поверхность. При отсутствии необходимости дождевания мобильная дождевальная установка может быть переоборудована для транспортирования собранного урожая с посевных площадей на технологические дороги, что исключает использование каких либо транспортных средств на посевных площадях и вызываемое ими уплотнение почвы, что приведет к снижению энергозатрат на её последующие предпосевные обработки.

Для обеспечения эффективного использования дождевальной установки, орошаемая площадь должна иметь соответствующие параллельные технологические дороги, расстояние между которыми будет влиять на грузовые характеристики мобильной дождевальной установки.

Литература

1. Васильев, В. В. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники / В. В. Васильев, О. А. Шавлинский // Вестник БГСХА. – 2012. – № 3. – С. 87 – 91.
2. Патент RU2302110C1, 10.07.2007. Штанга опрыскивателя // Российский патент 2007 года по МПК А01М7/00 А01С15/00/ Волгин Ю.Н., Бондаренко А.М.
3. Дождевальный агрегат мостового типа: авторское свидетельство 209136 СССР : МПК А 01 g/ Р.П. Заднепровский (СССР). – № 926089/30-15; заявлен 06.08.1964; опубликован 17.01.1968, Бюллетень № 4. – 2 с.
4. Келлер, Н. Мостовое земледелие / Келлер, Н // Юный техник. – 1976. – № 8. – С. 25.

**СЕКЦИЯ
«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

ВЕКТОРНАЯ АЛГЕБРА И ЛИНЕЙНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ В n -МЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

В.А. Акимов

Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

Данная работа расширяет наше формальное представление о n -мерных пространствах. Оно основано на простейших алгебраических преобразованиях, не выходящих за рамки таких основополагающих понятий векторной алгебры как векторное и скалярное произведение двух векторов, изучаемых в первом семестре. Это делает материал доступным не только студентам первых курсов, но также и учащимся тех школ, где изучают основы векторной алгебры. Такая простота способствует широкому пониманию предлагаемого материала для всех заинтересованных лиц, а не только узкого круга математиков.

Ключевые слова: векторная алгебра, площадь параллелограмма, скалярное и векторное произведение векторов, трехмерное и четырехмерное пространства.

Первоначально напомним некоторые известные и малоизвестные соотношения, являющиеся переходными от геометрии к векторной алгебре в трехмерном пространстве. Начнем с простейших из них, а именно с площади треугольника, построенного по двум сторонам-векторам $OA = \vec{a}$ и $OB = \vec{b}$, исходящих из начала координат $O(0;0)$ рис.1.

Чтобы в дальнейшем не писать все время коэффициент $\frac{1}{2}$, соответствующий площади треугольника, построим его до параллелограмма

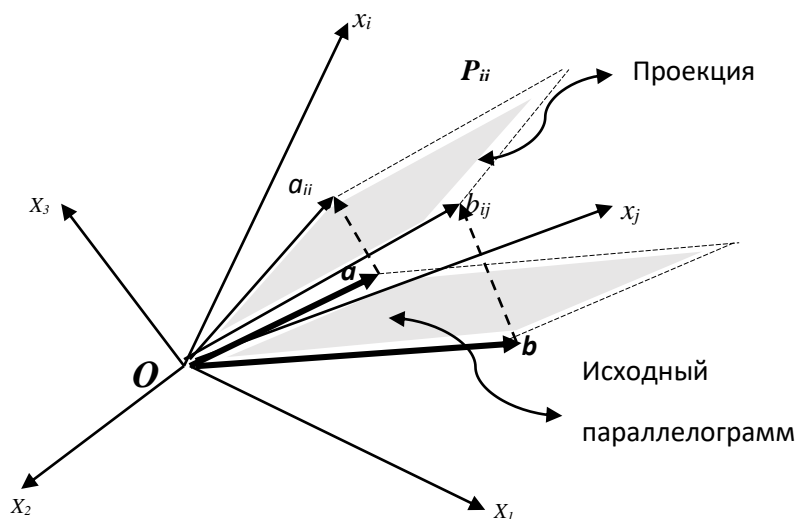


Рис.1. Проецирование исходного параллелограмма, построенного на векторах a и b , на координатную плоскость P_{ij} , построенную на координатных осях x_i и x_j .

Как известно

$$S_{\square}^2 = |OA|^2 |OB|^2 \sin^2 \alpha = |OA|^2 |OB|^2 - |OA|^2 |OB|^2 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

На языке векторов, используя скалярное произведение, перепишем формулу (1) в виде:

$$S_{\square}^2 = \vec{a}^2 \cdot \vec{b}^2 - (\vec{a} \square \vec{b})^2 \quad (2)$$

Это соотношение можно читать как высказывание:

Лемма 1. Квадрат площади параллелограмма, построенного на векторах \vec{a} и \vec{b} как на сторонах, равен алгебраическому произведению скалярных квадратов этих векторов минус квадрат их скалярного произведения.

В развернутом виде, в случае произвольного пространства размерности n , формулу (2) можно записать в виде:

$$S_{\square}^2 = (a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2)(b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_n^2) - (a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n)^2 \quad (3)$$

Для простоты запишем формулу (3) для трехмерного пространства $n = 3$

$$\begin{aligned} S_{\square}^2 &= (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)^2 = \\ &= (a_2b_3 - a_3b_2)^2 + (a_3b_1 - a_1b_3)^2 + (a_1b_2 - a_2b_1)^2, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} S_{\square}^2 &= (a_2b_3 - a_3b_2)^2 + (a_3b_1 - a_1b_3)^2 + (a_1b_2 - a_2b_1)^2 = \\ &= (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3)^2 \quad (4) \end{aligned}$$

Нетрудно видеть, что три последних слагаемых являются нечем иным, как квадратом модуля векторного произведения векторов \vec{a} и \vec{b} , то есть

$$\begin{aligned} (a_2b_3 - a_3b_2)^2 + (a_3b_1 - a_1b_3)^2 + (a_1b_2 - a_2b_1)^2 &= (\text{mod} \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{i}_2 & \vec{i}_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix})^2, \text{ или} \\ \vec{a}^2 \cdot \vec{b}^2 - (\vec{a} \square \vec{b})^2 &= |\vec{a} \times \vec{b}|^2 \quad (5) \end{aligned}$$

Таким образом мы получили еще одну лемму:

Лемма 2. В пространстве $n = 3$ алгебраическое произведение квадратов двух векторов без квадрата их скалярного произведения равно квадрату модуля векторного произведения этих же векторов.

Этой формулировке, при желании можно придать аналог теоремы Пифагора, а именно:

Лемма 3. Сумма квадратов скалярного произведения двух произвольных векторов и квадрата модуля их векторного произведения равна произведению квадратов модулей этих векторов.

$$(\vec{a} \square \vec{b})^2 + |\vec{a} \times \vec{b}|^2 = \vec{a}^2 \cdot \vec{b}^2 \quad (6)$$

С целью геометрической интерпретации леммы 3 введем в пространстве размерности n единичные орты $\{\vec{e}_i\}_{i=1}^n$, где $\vec{e}_i = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0)$. Тогда координатные плоскости можно представить в виде векторных уравнений $\vec{P}_{ij} = \vec{e}_i t_i + \vec{e}_j t_j$ для $\forall t_i, t_j \in R$, где \vec{P}_{ij} – вектор, направленный из начала координат в произвольную точку плоскости, указанную параметрами t_i, t_j или : на координатную плоскость построенную на координатных осях x_i и x_j . По существу параметры t_i и t_j являются проекциями координат вектора \vec{P}_{ij} на координатные оси x_i и x_j . В дальнейшем нам понадобятся только два вектора, образующие две стороны проекции, поэтому обозначим их \vec{a}_{ij} и \vec{b}_{ij} , а их координаты образуются из координат векторов $\vec{a}(a_1, a_2, \dots, a_n)$ и $\vec{b}(b_1, b_2, \dots, b_n)$ через матрицу $\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ b_1 & b_2 & \dots & b_n \end{pmatrix}$.

В формулу (5) входят сумма квадратов произведений одноименных компонент этой матрицы $\sum_{i=1}^n (a_i b_i)^2$ и сумма квадратов ее миноров второго порядка $\begin{pmatrix} a_i & a_j \\ b_i & b_j \end{pmatrix}$ $i < j$ в количестве $N = c_2^2 \cdot c_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$ штук.

Здесь $c_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ – число сочетаний из n элементов по m .

Теорема 1. Квадрат площади произвольного параллелограмма (треугольника) в трехмерном пространстве равен сумме квадратов его проекций на координатные плоскости.

Прежде чем перейти к доказательству основной теоремы приведем небольшие численные примеры, которые как нельзя лучше иллюстрируют утверждения приведенные выше лемм.

Пример 1. Возьмем для начала матрицу второго порядка вида: $\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}$. На основании формулы (6) получим: $(2 \cdot 1 + 1 \cdot 3)^2 + (2 \cdot 3 - 1 \cdot 1)^2 = (2^2 + 1^2)(1^2 + 3^2); 50 = 50$. Причем площадь параллелограмма, построенного на векторах $\vec{a}(2,1)$ и $\vec{b}(1,3)$, как на сторонах, будет равна $S_{\square}^2 = (2^2 + 1^2)(1^2 + 3^2) - (2 \cdot 1 + 1 \cdot 3)^2 = 25, S_{\square} = 5$.

Пример 2. Теперь возьмем матрицу вида: $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 5 & 4 & 3 \end{pmatrix}$. Тогда получим: $(1 \cdot 5 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 3)^2 + (2 \cdot 3 - 3 \cdot 4)^2 + (1 \cdot 3 - 3 \cdot 5)^2 + (1 \cdot 4 - 2 \cdot 5)^2 = (1^2 + 2^2 + 3^2)(5^2 + 4^2 + 3^2); 700 = 700$.

А площадь параллелограмма, построенного на векторах $\vec{a}(1,2,3)$ и $\vec{b}(5,4,3)$, как на сторонах, будет равна

$$S_{\square}^2 = (1^2 + 2^2 + 3^2)(5^2 + 4^2 + 3^2) - (1 \cdot 5 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 3)^2 = 216, S_{\square} = 6\sqrt{6}.$$

Точно также и для других значений n можно привести большое количество численных примеров с произвольными векторами $\vec{a}(a_1, a_2, \dots, a_n)$ и $\vec{b}(b_1, b_2, \dots, b_n)$ из которых составлены матрицы размерности $2 \times n$.

Начнем доказательство с хорошо изученного 3-х мерного пространства.

Выпишем матрицу $\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix}$. Для ее миноров будем иметь следующие

соотношения: $\begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix} \rightarrow (a_1 b_1 + a_2 b_2)^2 + (a_1 b_2 - a_2 b_1)^2 = (a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2)$

или $S_{12}^2 = (a_1 b_2 - a_2 b_1)^2 = (a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2) - (a_1 b_1 + a_2 b_2)^2$ (7)

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_3 \\ b_1 & b_3 \end{pmatrix} \rightarrow (a_1 b_1 + a_3 b_3)^2 + (a_1 b_3 - a_3 b_1)^2 = (a_1^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_3^2)$$

или $S_{13}^2 = (a_1 b_3 - a_3 b_1)^2 = (a_1^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_3^2) - (a_1 b_1 + a_3 b_3)^2$ (8)

$$\begin{pmatrix} a_2 & a_3 \\ b_2 & b_3 \end{pmatrix} \rightarrow (a_2 b_2 + a_3 b_3)^2 + (a_2 b_3 - a_3 b_2)^2 = (a_2^2 + a_3^2)(b_2^2 + b_3^2)$$

или $S_{23}^2 = (a_2 b_3 - a_3 b_2)^2 = (a_2^2 + a_3^2)(b_2^2 + b_3^2) - (a_2 b_2 + a_3 b_3)^2$ (9)

С учетом формулы (4) и тождеств

$$\begin{aligned} & (a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2) + (a_1^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_3^2) + (a_2^2 + a_3^2)(b_2^2 + b_3^2) = \\ & = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) + (a_1 b_1)^2 + (a_2 b_2)^2 + (a_3 b_3)^2 = \\ & = (a_1 b_1 + a_2 b_2)^2 + (a_1 b_1 + a_3 b_3)^2 + (a_2 b_2 + a_3 b_3)^2 = \\ & = (a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3)^2 + (a_1 b_1)^2 + (a_2 b_2)^2 + (a_3 b_3)^2 \end{aligned}$$

получаем основную теорему: $S_{\square}^2 = S_{12}^2 + S_{13}^2 + S_{23}^2$

По формулам (7), (8), (9) находим:

$$\begin{aligned} S_x^2 &= (2^2 + 3^2)(4^2 + 3^2) - (2 \cdot 4 + 3 \cdot 3)^2 = 36 \\ S_y^2 &= (1^2 + 3^2)(5^2 + 3^2) - (1 \cdot 5 + 3 \cdot 3)^2 = 144 \\ S_z^2 &= (1^2 + 2^2)(5^2 + 4^2) - (1 \cdot 5 + 2 \cdot 4)^2 = 36 \end{aligned}$$

И тогда мы видим: $36 + 144 + 36 = 216$ или $S_{\square}^2 = S_x^2 + S_y^2 + S_z^2$ т.е. условия теоремы выполняются.

Теперь рассмотрим 4-х мерное пространство. По аналогии будем иметь:

$$\begin{aligned}
& (a_1b_1 + a_2b_2)^2 + (a_1b_1 + a_3b_3)^2 + (a_2b_2 + a_3b_3)^2 + \\
& + (a_1b_1 + a_4b_4)^2 + (a_2b_2 + a_4b_4)^2 + (a_3b_3 + a_4b_4)^2 = \\
& = (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3 + a_4b_4)^2 + 2(a_1b_1)^2 + 2(a_2b_2)^2 + 2(a_3b_3)^2 + 2(a_4b_4)^2 \\
& \quad (a_1^2 + a_2^2)(b_1^2 + b_2^2) + (a_1^2 + a_3^2)(b_1^2 + b_3^2) + (a_2^2 + a_3^2)(b_2^2 + b_3^2) + \\
& \quad + (a_1^2 + a_4^2)(b_1^2 + b_4^2) + (a_2^2 + a_4^2)(b_2^2 + b_4^2) + (a_3^2 + a_4^2)(b_3^2 + b_4^2) = \\
& \quad = (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2)(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + b_4^2) + \\
& \quad + 2(a_1b_1)^2 + 2(a_2b_2)^2 + 2(a_3b_3)^2 + 2(a_4b_4)^2
\end{aligned}$$

и мы также приходим к следующему утверждению:

Теорема 2. Квадрат площади произвольного параллелограмма (треугольника) в четырехмерном пространстве равен сумме квадратов его проекций на координатные плоскости $S_{\square}^2 = S_{12}^2 + S_{13}^2 + S_{23}^2 + S_{14}^2 + S_{24}^2 + S_{34}^2$.

Пример 3. В евклидовом пространстве R^4 со стандартным скалярным произведением возьмем два вектора $\vec{a}_1 = (1, 1, 1, 1)$ и $\vec{a}_2 = (1, 2, 2, -1)$. Для удобства запишем их

компоненты в виде матрицы $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & -1 \end{pmatrix}$. По аналогии с выше изложенным будем

иметь: $S_{\square} = (1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2)(1^2 + 2^2 + 2^2 + (-1)^2) -$

$$-(1 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot (-1))^2 = 24.$$

Далее

определяем:

$$S_{12}^2 = 1 \quad S_{13}^2 = 1 \quad S_{14}^2 = 4 \quad S_{23}^2 = 0 \quad S_{24}^2 = 9 \quad S_{34}^2 = 9$$

Очевидно выполнение равенства $S_{\square}^2 = S_{12}^2 + S_{13}^2 + S_{14}^2 + S_{23}^2 + S_{24}^2 + S_{34}^2$.

Пример 4. А теперь будем считать, что $L = \langle \vec{a}_1, \vec{a}_2 \rangle$, т. е. вектора \vec{a}_1 и \vec{a}_2 образуют подпространство L . Разложим вектор $\vec{x} = (4, -1, -3, 4)$ на сумму проекции на L и ортогональной к ней составляющей. А также найдем расстояние от вектора x до L и угол φ между x и L .

Разложение x будем искать в виде $\vec{x} = \alpha_1 \vec{a}_1 + \alpha_2 \vec{a}_2 + \vec{z}$, $(\vec{a}_1, \vec{z}) = (\vec{a}_2, \vec{z}) = 0$.

Здесь и далее, заключенные через запятую в круглую скобку векторы будут означать их скалярное произведение [1].

Умножим желаемое равенство скалярно сначала на \vec{a}_1 , потом на \vec{a}_2 :

$$\begin{aligned}
(x, a_1) &= \alpha_1 (a_1, a_1) + \alpha_2 (a_2, a_1) + (z, a_1) = \alpha_1 (a_1, a_1) + \alpha_2 (a_2, a_1), \\
(x, a_2) &= \alpha_1 (a_1, a_2) + \alpha_2 (a_2, a_2) + (z, a_2) = \alpha_1 (a_1, a_2) + \alpha_2 (a_2, a_2)
\end{aligned}$$

Для нахождения α_1, α_2 получим систему уравнений

$$\begin{cases} \alpha_1 (a_1, a_1) + \alpha_2 (a_2, a_1) = (x, a_1) \\ \alpha_1 (a_1, a_2) + \alpha_2 (a_2, a_2) = (x, a_2) \end{cases} . \text{ В нашей задаче}$$

$(a_1, a_1) = 4, (a_1, a_2) = (a_2, a_1) = 4, (a_2, a_2) = 10, (x, a_1) = 4, (x, a_2) = 8$, так что

$$\begin{cases} 4a_1 + 4a_2 = 4 \\ 4a_1 + 10a_2 = -8 \end{cases} \Leftrightarrow a_1 = 3, a_2 = -2,$$

$$y = 3a_1 - 2a_2 = (3, 3, 3, 3) - (2, 4, 4, -2) = (1, -1, -1, 5)$$

$$z = x - y = (4, -1, -3, 4) - (1, -1, -1, 5) = (3, 0, -2, -1).$$

Значит, $\rho(x, L) = \sqrt{3^2 + 0^2 + (-2)^2 + (-1)^2} = \sqrt{13},$

$$\cos \angle (x, L) = \frac{|y|}{|x|} = \frac{\sqrt{1+1+1+25}}{\sqrt{16+1+9+16}} = \frac{\sqrt{28}}{\sqrt{42}} = \sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{\sqrt{6}}{3}.$$

Итак, $\varphi = \arccos\left(\frac{\sqrt{6}}{3}\right).$

Пример 4 осуществляет взаимосвязь предложенной новой идеи с известными ранее работами в данной области и, как нельзя лучше, подчеркивает актуальность решаемой здесь задачи в новой постановке.

Литература

1. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс. / Д.Т. Письменный-15-е издание. – Москва: Айрис-пресс, 2018. – 602 с.

2. Акимов В.А., Новиков А.А. Теорема Пифагора в n-мерном пространстве. // Материалы Международной научно-технической конференции. / Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. Секция «Математические методы в строительстве». Минск, БНТУ, 2021, с. 212-217.

УДК 624.073

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

О.Л. Вербицкая, Л.И. Шевчук

Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

Выполнен динамический расчет балочной прямоугольной железобетонной плиты. Для сгущения массы плиты в ее центре использован принцип эквивалентности энергий. Расчет выполнен по авторской программе *Sturm*, реализующей МКЭ. В результате расчета получены прогибы плиты под центрами назначенных ячеек. Приведены график свободных колебаний плиты со сгущенной массой, график колебания возмущающей силы, вызванной движущейся частью внутришлифовального станка ЗБ250, график колебаний плиты, вызванных возмущающей силой станка ЗБ250. Источником возмущающих колебаний является внутришлифовальный станок ЗБ250. Определены максимальный прогиб плиты, а также изгибающие моменты.

Ключевые слова: динамический расчет, плиты, колебания, прогиб.

Выполним динамический расчет балочной прямоугольной железобетонной плиты, шарнирно опертой по двум противоположным краям. Размеры плиты 1,80x5,76 м с толщиной 120 мм. Плита армирована тяжелой сеткой второго типа с размерами 200x200x20 с площадью по ширине плиты 37,68 см². Модуль упругости арматуры и бетона соответственно равны $E_a = 200$ ГПа, $E_b = 39$ ГПа. Коэффициент Пуассона бетона $\nu = 0,22$. Плотность бетона принимаем равной $\rho = 2500$ кг/м³.

Для сгущения массы плиты в ее центре используем принцип эквивалентности энергий, – энергии изгиба плиты от действия ее собственного веса 17280 Н, распределенного по всей площади, и от действия веса плиты, сгущенного в ее центре. Расчет выполнен по программе *Sturm*, реализующей МКЭ. В результате расчета получены прогибы плиты под центрами назначенных ячеек, составленных из конечных элементов. Из узловых прогибов составлена матрица \vec{V} . Собственный вес плиты, приходящейся на одну ячейку, представлен в виде сосредоточенных сил $G_{яч} = 1,55 \text{ кН}$.

$$\vec{V}_p = \begin{bmatrix} 4,278 & 11,089 & 13,642 & 11,089 & 4,278 \\ 4,251 & 11,016 & 13,553 & 11,016 & 4,251 \\ 4,241 & 10,991 & 13,522 & 10,991 & 4,241 \\ 4,251 & 11,016 & 13,553 & 11,016 & 4,251 \\ 4,278 & 11,089 & 13,642 & 11,089 & 4,278 \end{bmatrix}, \text{ мм} \quad (1)$$

Энергия на перемещении плиты от ее веса, распределенного по площади, определим из выражения

$$P = \vec{V} \cdot \vec{E} \cdot G_{яч} = 343,56 \text{ Дж} \quad (2)$$

где \vec{E} – единичная матрица размерности 5×5 .

Прогиб от веса плиты, приложенного в середине плиты, равно $V_c = 19,328 \text{ мм}$. Энергия от собственного веса плиты, приложенного в центре плиты равна

$$W = m_{pl} \cdot g \cdot V_c = 3693,6 \cdot 10 \cdot 0,336 \cdot 10^{-3} = 713,9 \text{ Дж}, \quad (3)$$

где $m_{pl} = 3693,6 \text{ кг}$ – масса плиты.

Используя энергетический баланс, определим сгущенную массу плиты, приведенную к ее середине

$$m_o = \frac{P}{W} \cdot m_{pl} = \frac{1670}{5810} \cdot 3693,6 = 1777,5 \text{ кг} \quad (4)$$

Коэффициент сгущения массы плиты равен

$$K = \frac{m_o}{m_{pl}} = \frac{1777,5}{3693,6} = 0,481 \quad (5)$$

Расчет по программе *Sturm* показывает, что при центрально приложенной силе $F_o = 17,775 \text{ кН}$ прогиб плиты в ее середине составляет $V_o = 9,867 \text{ мм}$. Коэффициент жесткости плиты определим как отношение силы F_o и прогиба V_o .

$$c = \frac{F_o}{V_o} = \frac{17,775 \cdot 10^3}{9,867 \cdot 10^{-3}} = 1,801 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \quad (6)$$

Собственные колебания плиты со сгущенной массой определим решением дифференциального уравнения при начальном отклонении 5 см

$$m_o \frac{dy(t)}{dt} + c \cdot y(t) = 0 \quad (7)$$

График свободных колебаний плиты показан на рисунке 1

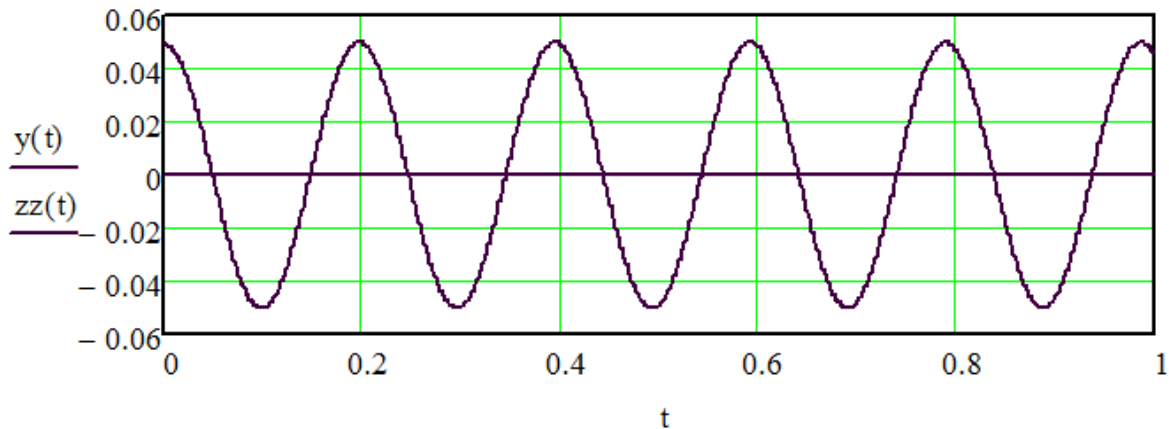


Рис.1. График свободных колебаний плиты со сгущенной массой

Очевидно, что период свободных колебаний плиты со сгущенной массой составляет $T = 0,96$ с.

Источником возмущающих колебаний является внутришлифовальный станок ЗБ250 со следующими характеристиками: масса движущихся частей 590 кг; половина хода подвижной части 250 мм; число двойных ходов в минуту $n=20$; амплитуда инерционной силы 12,0 кН; масса станка 3900 кг; число оборотов двигателя 1410 об/мин.

Изменение возмущающей силы может быть описано функцией

$$F(t) = Z_{\text{ин}} \sin(2\pi n t) \quad (8)$$

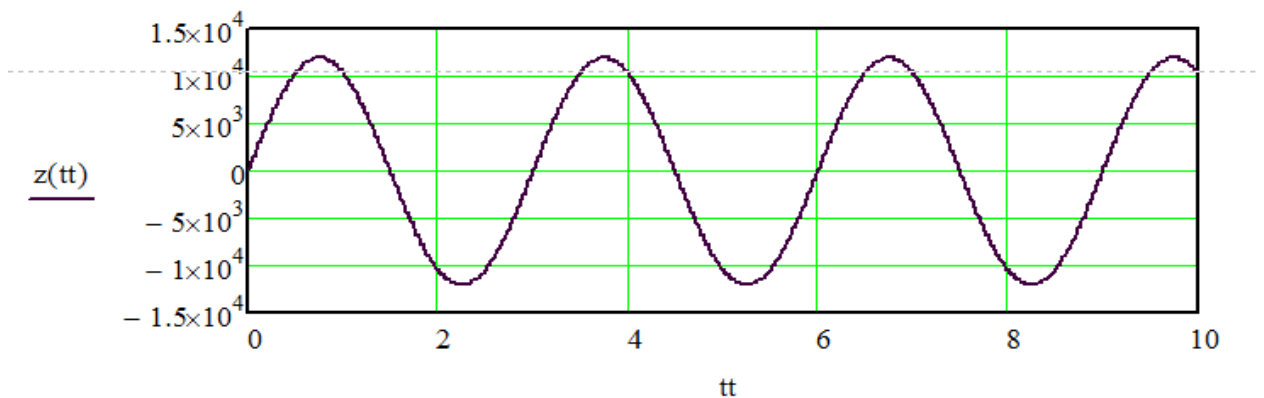


Рис. 2. График колебания возмущающей силы, вызванной движущейся частью внутришлифовального станка ЗБ250

Закон изменения прогибов плиты со сгущенной массой от динамической нагрузки станка ЗБ250 и его веса определим решая дифференциальное уравнение следующего вида

$$m_0 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + c \cdot y(t) = Z_{\text{ин}} \sin(2\pi n t) \quad (9)$$

График колебательных движений плиты приведен на рисунке 3

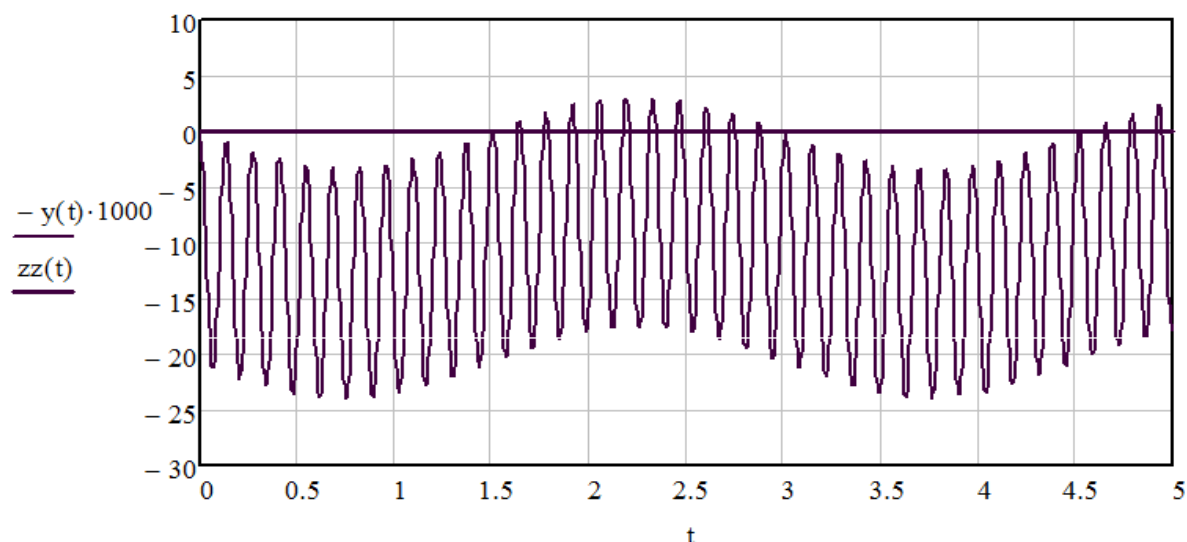


Рис. 3. График колебаний плиты, вызванных возмущающей силой станка ЗБ250

Из графика (рис.3), очевидно, что максимальный прогиб плиты составляет $V_{\text{max}} = 24$ мм. По программе *Sturm* установлено, что такой прогиб плиты может быть вызван центрально приложенной силой $F = 44$ кН. При этом в сечениях плиты появляются максимальные изгибающие моменты равные

$$M_x = 36,38 \text{ кНм/м} \text{ и } M_y = 6,40 \text{ кНм/м}.$$

УДК 378.147

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАНЯТИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ НЕПРЕРЫВНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Н.П. Воронова, О.А. Мороз

Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, volgamaroz@mail.ru.

В статье рассматриваются вопросы проведения дополнительных занятий по математике для студентов-первокурсников технического вуза, методы отбора на эти занятия и связь тематики занятий с курсом высшей математики, а также анализ проведенной работы.

Ключевые слова: математика, школа, вуз, образовательный процесс, дополнительные занятия, тесты.

Актуальность проведения дополнительных занятий по математике объясняется необходимостью построения более тесной связи между школьным курсом и курсом высшей

математики в техническом вузе, установлением преемственных связей между этими звеньями. Учитывая разную и зачастую достаточно слабую степень математических знаний студентов-первокурсников, возникла потребность (и появилась возможность) проведения цикла дополнительных занятий. Критерием отбора послужили результаты проведения следующей контрольной работы, предложенной студентам 1-го курса строительных специальностей БНТУ и содержащей узловые задачи школьной программы по математике.

Вариант 1.

1. Выразите в радианах угол $\alpha = 36^\circ$.

$$\frac{-m^9 n^{10} p^{15} \cdot \left(-\frac{1}{7} m^3 n^2 p\right)}{\frac{1}{49} m^{12} n^8 p^{15}}$$

2. Найдите значение выражения $\frac{-m^9 n^{10} p^{15} \cdot \left(-\frac{1}{7} m^3 n^2 p\right)}{\frac{1}{49} m^{12} n^8 p^{15}}$, если $m = 0,9; n = -1; p = 8$.

3. Найдите значение выражения $210 \cdot \frac{3}{8} - \left(\frac{3}{8} + \frac{1}{10}\right) : \frac{1}{210}$.

4. Найдите корень уравнения: $(1-3x)(1+3x) + (4-3x)^2 = 12 + 5x$.

5. Укажите область определения функции, заданной формулой $y = \sqrt{x^2 - 8x + 7}$.

6. Решите систему неравенств:
$$\begin{cases} -2x^2 + 7x - 5 \geq 0, \\ 2 - x > 0. \end{cases}$$

7. Упростите выражение: $\frac{3}{\sqrt{5} + \sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{3} - \sqrt{5}}$.

8. Упростите выражение: $\frac{b-20}{b^2+5b} - \frac{b-5}{b} + \frac{b}{b+5}$.

9. Упростите выражение: $\operatorname{tg}\left(\frac{3\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \sin(\alpha - \pi)$.

10. Внешний угол при вершине A равнобедренного треугольника ABC с основанием AC равен 115° . Найдите градусную меру угла B .

11. В кубе $ABCD A_1 B_1 C_1 D_1$ точки L и K – середины отрезков $B_1 A$ и AC соответственно. Длина отрезка LK равна 7 . Чему равна длина отрезка $B_1 K$?

12. Параллельно оси цилиндра проведено сечение, площадь которого равна $\frac{1}{2}$ площади осевого сечения цилиндра. Если радиус основания цилиндра равен $18\sqrt{3}$, то расстояние от оси цилиндра до этого сечения равно...

13. Решить уравнение $\log_6(2x-1) - 1 = \log_6(x+4) - \log_6(x+1)$.

Был проведен анализ итогов написания контрольной работы: более половины опрошенных студентов достаточно успешно справились с предложенным материалом, у остальных же явно обозначились разные пробелы в знаниях школьной программы по математике. Обладателям низких результатов и было предложено посещать

дополнительные занятия. Нужно отметить, что желающих посещать эти занятия оказалось достаточно много.

Анализируя результаты проверочной работы по математике студентов-первокурсников, можно сделать следующий вывод: особенные трудности у ребят возникают при вычислениях, связанных с дробями, со степенями, с построением графиков функций, со знанием основных тригонометрических функций, с простейшими логарифмическими преобразованиями.

Учитывая эти недостатки предлагается:

- на первых занятиях повторить основные моменты этих вопросов и тем самым ликвидировать некоторые пробелы школьного курса математики;

- на последующих занятиях связать тематику изучаемого материала с вопросами преподаваемого курса высшей математики. Так, например, решать системы линейных уравнений, выделять полный квадрат в квадратном трехчлене, строить графики функций, вычислять простейшие производные;

- в процессе обучения разбирать основные моменты как теоретического, так и практического плана курса высшей математики: проводить операции с матрицами и векторами, решать задачи аналитической геометрии, вычислять пределы и дифференцировать.

В конце семестра рекомендуется провести проверочный тест, по результатам которого, а также по экзаменационным оценкам можно будет проанализировать эффективность дополнительных занятий.

Вариант теста

№	Задание	Ответы
1	Дана матрица $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$. Выбрать верное утверждение:	1) A – нулевая; 2) A – диагональная; 3) A – единичная; 4) A – вырожденная; 5) нет верного ответа.
2	Пусть $C = A \cdot B$, где $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2 & -1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix}$. Тогда $c_{11} - 2c_{12} + c_{22}$ равно:	1) 10; 2) 11; 3) -2; 4) 0; 5) -10.
3	Пусть $B = A^{-1}$ – обратная для матрицы $A = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & -3 \\ 3 & 4 & 1 \end{pmatrix}$. Тогда элемент b_{31} равен:	1) $\frac{13}{6}$; 2) $-\frac{4}{3}$; 3) $-\frac{1}{3}$; 4) $\frac{1}{3}$; 5) $-\frac{1}{6}$.
4	Дана система $\begin{cases} x + 2y + 3z = 1 \\ 2x + 4y + 6z = 1 \\ 3x + 6y + 9z = 1 \end{cases}$. A – матрица коэффициентов системы, B – расширенная матрица. Указать ранги матриц:	1) $r_A = 2$; $r_B = 3$; 2) $r_A = 3$; $r_B = 3$; 3) $r_A = 2$; $r_B = 2$; 4) $r_A = 1$; $r_B = 2$; 5) $r_A = 1$; $r_B = 1$.

5	<p>Пусть $(x_0; y_0; z_0)$ – решение системы</p> $\begin{cases} -x + y + z = 3 \\ x + 2y + z = 10 \\ -x + y - 2z = -3 \end{cases}$ <p>Тогда значение $2x_0 + 2y_0 + z_0$ равно:</p>	<p>1) 8; 2) 12; 3) -10; 4) -4; 5) 6.</p>
6	<p>Угол между прямыми $5x + 3y - 2 = 0$ и $3x - 5y + 4 = 0$ равен:</p>	<p>1) 60^0; 2) 90^0; 3) 30^0; 4) 45^0; 5) 0^0.</p>
7	<p>Уравнение гиперболы, расстояние между вершинами которой равно 30, а эксцентриситет равен $\frac{5}{3}$, имеет вид:</p>	<p>1) $\frac{x^2}{15} - \frac{y^2}{20} = 1$; 2) $\frac{x^2}{400} - \frac{y^2}{225} = 1$; 3) $\frac{x^2}{225} - \frac{y^2}{256} = 1$; 4) $\frac{x^2}{625} - \frac{y^2}{256} = 1$; 5) $\frac{x^2}{225} - \frac{y^2}{400} = 1$.</p>
8	<p>Расстояние от точки $M(0;0;0)$ до плоскости $15x - 10y + 6z - 190 = 0$ равно:</p>	<p>1) 10; 2) 2; 3) 15; 4) 6; 5) 3.</p>
9	<p>В треугольнике ABC с вершинами $A(-1;2;1)$, $B(5;4;3)$, $C(-3;3;2)$ длина медианы CN равна:</p>	<p>1) 4; 2) $\sqrt{26}$; 3) 5; 4) $\sqrt{24}$; 5) нет верного ответа.</p>
10	<p>Векторы \vec{a} и \vec{b} таковы, что $\vec{a} = 1$, $\vec{b} = \frac{1}{2}$ и угол между ними равен 270^0. Тогда скалярное произведение векторов $\vec{d} = -\vec{a} - \vec{b}$ и $\vec{k} = -3\vec{a} + \vec{b}$ равно:</p>	<p>1) 2,75; 2) 3; 3) 3,75; 4) 4; 5) нет верного ответа.</p>

Дополнительные занятия имеют большой потенциал и играют позитивную психологическую роль в процессе адаптации к новым условиям обучения, а также способствуют выравниванию знаний студентов с различным уровнем до вузовской математической подготовки. Предлагаемые на занятиях разнообразные занимательные задачи с историческим экскурсом их происхождения повышают интерес к изучаемому предмету.

РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА К ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ШКОЛЬНИКОВ И АБИТУРИЕНТОВ ЧЕРЕЗ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ ПО МАТЕМАТИКЕ

Н.В. Ковалёнок, С.В. Чернявская
Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, chagan72@tut.by

В статье рассматриваются математические задачи практико-ориентированной инженерной направленности, предлагавшиеся учащимся на ежегодной олимпиаде БНТУ «Шаг к инновациям».

Ключевые слова: практико-ориентированные задачи, развитие познавательного интереса, инженерная деятельность, олимпиада БНТУ «Шаг к инновациям», задачи повышенного уровня.

Профессия инженера является одной из наиболее значимых профессий в современном мире. Однако, престиж этой профессии сейчас в значительной мере снижен, на некоторые инженерные специальности технического университета практически отсутствует конкурс. Поэтому задача привлечения молодежи на технические специальности ВУЗа, в том числе, в Белорусский национальный технический университет является актуальной и важной задачей настоящего времени. Одним из путей ее решения является повышение интереса школьников к профессии инженера. Такой интерес можно развивать, в частности, на уроках математики или на факультативных занятиях по подготовке учащихся к олимпиадам, предлагая школьникам задачи прикладной, и в том числе, инженерной направленности и демонстрируя, как школьные математические знания применяются в решении конкретных инженерных задач.

В Белорусском национальном техническом университете на базе Института интегрированных форм обучения и мониторинга образования в течение 7 лет проводится олимпиада обучающихся общеобразовательных учреждений Республики Беларусь под названием «Шаг к инновациям», главными целями которой являются выявление одаренных учащихся и профессиональная ориентация молодежи в сторону инженерных специальностей. Олимпиада проводится по двум предметам, математике и физике; варианты заданий составлены для различных инженерных профилей и включают в себя ряд практико-ориентированных заданий. Участвуя в олимпиаде, ребята не только получают опыт решения практических задач. Для школьников также планируется общение со студентами и преподавателями БНТУ, посещение факультетов и учебных лабораторий, знакомство с научными разработками и исследовательскими проектами, которыми занимаются студенты под руководством преподавателей. Вся программа олимпиады в комплексе направлена на усиление интереса школьников и абитуриентов к профессии инженера и поступлению в БНТУ.

В данной статье рассмотрим ряд олимпиадных задач по математике с решениями. Для их решения требуется не только достаточно высокий уровень предметной подготовки и хорошее владение программным материалом, но и творческий, исследовательский взгляд на задачу. Отметим, что это задания разных лет и разных технических профилей.

Задача 1. Инженеры сконструировали две авиамодели с моторчиками. При встречном ветре первая модель продержалась в воздухе на t мин меньше второй, но пролетела на h м дальше. Скорость ветра равна v м/мин, но на продолжительность полёта модели ветер не влияет; от ветра зависит только дальность полёта. Какая из этих моделей пролетит большее расстояние при безветренной погоде, если их собственные скорости постоянны?

Решение.

Обозначим z мин. – продолжительность полёта первой модели. Тогда $(z + m)$ мин. – продолжительность полёта второй модели. Если x м/мин.; y м/мин. – собственные скорости полёта первой и второй моделей соответственно, то первая модель пролетела $(x - v)z$ м., вторая – $(y - v)(z + m)$ м. Составим уравнение:

$$(x - v)z = (y - v)(z + m) + h, \text{ откуда } xz - vz = yz + ym - vz - vm + h. \text{ Выполнив}$$

преобразования, получим: $xz - y(z + m) = h - vm$. Так как xz и $y(z + m)$ – расстояния, которые могут пролететь модели в безветренную погоду, то можно заключить, что первая модель пролетит большее расстояние если $h > vm$; вторая модель пролетит большее расстояние, если $h < vm$; обе модели пролетят одинаковые расстояния если $h = vm$.

Задача 2. Для детали необходимо сделать каркас в виде полуокружности, в который затем поместят два ролика (круга) радиусов $\sqrt{19}$ и $\sqrt{76}$. Ролики должны касаться друг друга внешним образом, а также касаться полуокружности и её диаметра. Вычислите радиус каркаса.

Решение:

Пусть O – центр полуокружности; O_1, O_2 – центры окружностей, вписанных в полуокружность, A и B – точки касания окружностей с диаметром полуокружности; N и M – точки касания окружностей с дугой; L – точка касания окружностей.

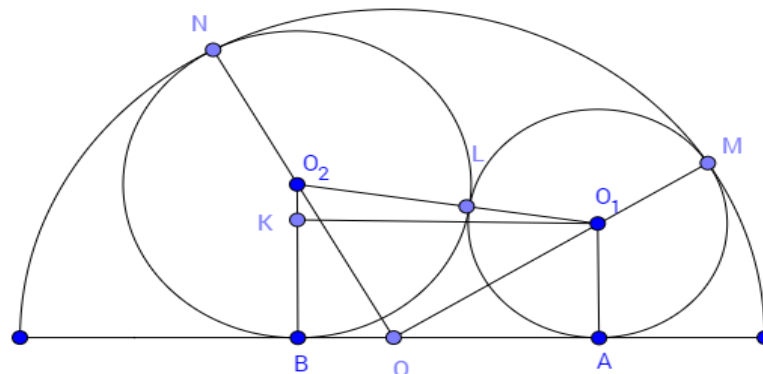


Рис. 1

Введём обозначения: $O_1A = \sqrt{19} = r_1$; $O_2B = \sqrt{76} = 2\sqrt{19} = r_2$; $OM = ON = R$.

Заметим, что $r_2 = 2r_1$; $AB = O_1K$ и $O_1O_2 = r_1 + r_2 = 3\sqrt{19}$.

В треугольнике O_2KO_1 $KO_1 = AB = \sqrt{(3r_1)^2 - r_1^2} = 2\sqrt{2}r_1$.

Пусть $AO = x$; $BO = y$, тогда

$$x + y = 2\sqrt{2}r_1 \quad (1)$$

Рассмотрим прямоугольные треугольники $OA O_1$ и $OB O_2$,

где $OO_1 = R - r_1$, $OO_2 = R - r_2 = R - 2r_1$.

Применив теорему Пифагора, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} (R - r_1)^2 = r_1^2 + x^2 \\ (R - 2r_1)^2 = (2r_1)^2 + y^2 \end{cases}$$

Выразив из первого уравнения системы переменную x , а из второго – переменную y , получим:

$$\begin{cases} y = \sqrt{R^2 - 4Rr_1} \\ y = \sqrt{R^2 - 2Rr_1} \end{cases}.$$

Подставив x и y в формулу (1) получим уравнение:

$$\sqrt{R^2 - 2Rr_1} + \sqrt{R^2 - 4Rr_1} = 2\sqrt{2}r_1.$$

Возведём обе части уравнения в квадрат и упростим, получим:

$$7R^2 - 24Rr_1 - 16r_1^2 = 0.$$

Так как $r_1 = \sqrt{19}$, то

$$7R^2 - 24\sqrt{19}R - 16 \cdot 19 = 0.$$

Тогда $R_1 = \frac{12\sqrt{19} - 16\sqrt{19}}{7} < 0$ – не подходит по смыслу задачи;

$$R_2 = \frac{12\sqrt{19} + 16\sqrt{19}}{7} = 4\sqrt{19}$$

Ответ: $4\sqrt{19}$.

Задача 3. Имеется плоская деталь в виде трапеции, основания которой относятся как 2:1. Деталь распилили на четыре части как показано на рис. 2. Найдите площадь каждой её части, если известно, что площадь всей детали равна 30ед^2 .

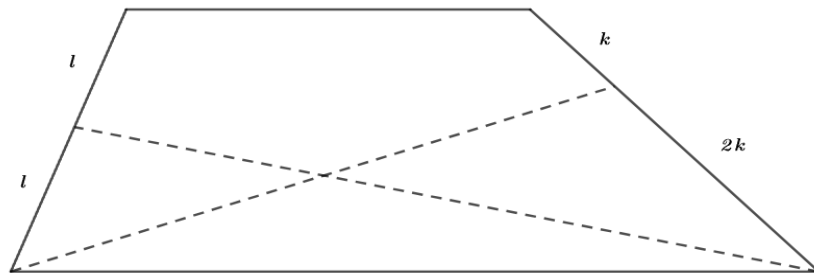


Рис. 2.

Решение:

Достроим рис.2 так, как показано на рис.3.

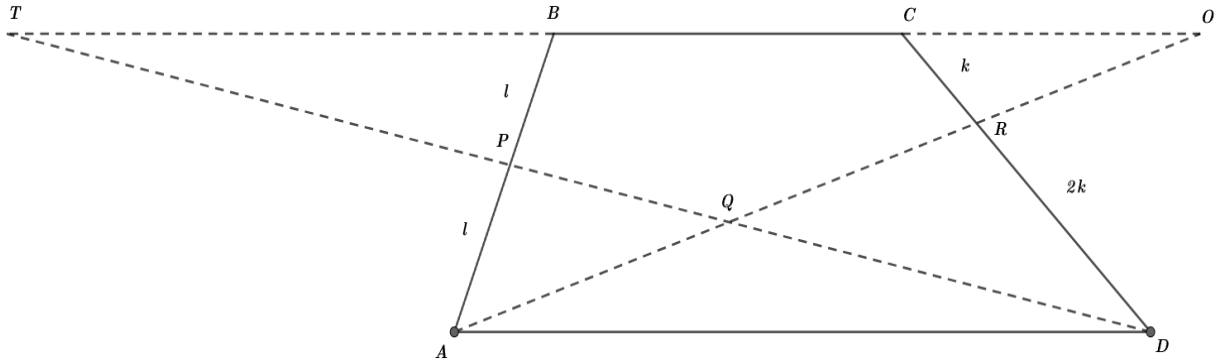


Рис. 3.

Пусть $ABCD$ – данная трапеция. P и R – точки начала распила,
 $DP \cap AR = Q$, $BC \cap AR = O$. Рассмотрим подобные треугольники $\triangle CRO \sim \triangle DRA$ с коэффициентом подобия 1:2. Тогда PC – средняя линия треугольника ABO .

Следовательно, $PC \parallel AO$ и $\triangle PDC \sim \triangle QDR$, $\frac{DP}{QP} = \frac{2}{1}$. Запишем отношение

площадей треугольников, которое следует из свойства площадей: $\frac{S_{BDC}}{S_{ABD}} = \frac{1}{2}$.

Следовательно, $S_{BCD} = \frac{1}{3}30 = 10e\delta^2$, а $S_{ABD} = 20e\delta^2$. В треугольнике ABD DP –

медиана, значит $S_{BDP} = S_{PDA} = \frac{1}{2}20 = 10e\delta^2$.

Тогда $S_{PAQ} = \frac{1}{3}S_{PDA} = \frac{1}{3}10 = \frac{10}{3}e\delta^2$.

Так как $\frac{S_{PAQ}}{S_{QAD}} = \frac{1}{2}$, то $S_{OAD} = \frac{20}{3}e\delta^2$.

Поскольку $BC \cap DP = T$, $\triangle TPB = \triangle DPA$, следовательно $S_{TPB} = S_{DPA} = 10e\delta^2$.

Так как $\frac{S_{TPB}}{S_{CPB}} = \frac{2}{1}$, значит $S_{CPB} = \frac{1}{2}10 = 5e\delta^2$.

Откуда $S_{CPD} = S_{ABCD} - S_{BPC} - S_{PAD} = 30 - 5 - 10 = 15e\delta^2$.

Из отношения $\frac{S_{CPR}}{S_{RPD}} = \frac{1}{2}$ следует, что

$$S_{CPR} = \frac{1}{3}15 = 5e\delta^2, \quad S_{RPD} = \frac{2}{3}15 = 10e\delta^2,$$

$$S_{PRQ} = \frac{1}{3}10 = \frac{10}{3}e\delta^2, \quad S_{RQD} = \frac{2}{3}10 = \frac{20}{3}e\delta^2.$$

$$S_{BCRQP} = S_{BCP} + S_{CPR} + S_{PRQ} = 5 + 5 + \frac{10}{3} = \frac{40}{3}.$$

Значит,

$$\frac{10}{3}e\partial^2, \frac{20}{3}e\partial^2, \frac{20}{3}e\partial^2, \frac{40}{3}e\partial^2$$

Ответ:

Решая задачи подобного плана, учащиеся сталкиваются с ситуациями, когда нужно применить неожиданный шаг, объединяя школьные знания из различных разделов программы или увидеть многовариантность в расположении геометрических фигур и, следовательно, учесть наличие нескольких ветвей решения. Иногда удобнее решить задачу в общем виде, и только потом вернуться к частному случаю. Такие задания развивают логику, абстрактное мышление, умение действовать в непривычной ситуации, повышают общий уровень предметной подготовки, способствуют развитию инженерного мышления и развивают интерес к профессии инженера.

УДК 372.851

О КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Е. А. Крушевский ¹⁾, А. А. Кузнецова ²⁾,

¹⁾ Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Беларусь, krushevski@bntu.by

²⁾ Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Беларусь, kuznetsovaaa@bntu.by

В работе рассматриваются вопросы формирования профессионально-математической компетентности студентов технических университетов при обучении на основе интеграции математики и информатики. В основе лежит внедрение информатики во все этапы изучения математики в техническом университете, включая математическое моделирование. Целью такой интеграции является приобретение студентами навыков и умения решать профессионально-ориентированные задачи.

Ключевые слова: математика, информатика, обучение, содержание образования, технический университет, компьютерная математика, профессионально-математическая компетентность.

В условиях рыночной экономики и сопутствующих социально-экономических преобразований современного общества, повсеместное применение наукоемких технологий в производстве привели к увеличенному спросу на выпускников технических университетов, получивших хорошую базовую математическую подготовку и умеющих использовать математический аппарат для решения инженерных задач.

Изучение математики является приоритетным направлением в подготовке студентов технических университетов и призвана формировать у них профессионально-математическую компетенцию. Преподавание математики совместно с основами информатики с помощью различных специализированных компьютерных программ с целью увеличения производительности и интенсивности процесса обучения соответствует основным положениям компетентностного подхода в системе образования будущих инженеров.

Работа с современными программными комплексами компьютерной математики формирует у студентов умение ставить и решать все задачи с помощью компьютера; за считанные минуты доводить решение всех задач до числового или графического ответа, что раньше занимало огромное время, а, иногда, было и просто невозможно.

В условиях информатизации образования профессионально-математическая подготовка будущих инженеров требует новых методик и форм обучения для профессионально-личностного развития студентов. Подготовка высококвалифицированного специалиста инженерного профиля возможно только на основе формирования фундаментальных математических знаний и умений, но не как оторванной самоцели, а с использования постоянно развивающихся компьютерных средств реализации математических знаний.

Изучение математики в техническом университете формирует у студентов логическую и алгоритмическую составляющие инженерного мышления, им приводят различные примеры создания математических моделей различных физических процессов и явлений, получения различных числовых и графических характеристик этих моделей. При этом информатика играет вспомогательную роль, но тем не менее, создает основу для понимания природы этих процессов явлений, позволяет формулировать и эффективно и наглядно получать решения поставленных задач.

Таким образом, становится очевидным тот факт, что эффективность формирования профессионально-математической компетентности студентов напрямую зависит от интеграции математики и информатики в процессе преподавания математических дисциплин.

С нашей точки зрения, профессионально-математическая компетенция студентов технических университетов является в определенном смысле некоторой обобщенной характеристикой. В основе этой характеристики лежат полученные фундаментальные знания и навыки, а также способности к математическому моделированию изучаемых процессов и явлений с помощью пакетов компьютерной математики, и, как результат, она определяет умение будущих инженеров распознавать и решать возникающие при их профессиональной деятельности задачи математического моделирования.

Данная характеристика представляет собой совокупность следующих элементов:

- интерес и мотивация к профессиональной деятельности;
- набор сформированных теоретических и практических знаний, умение работать в пакетах компьютерной математики;
- возможность самооценки и саморегуляции (так называемое умение «прикинуть к носу») для принятия самостоятельных решений;
- приобретение и осознанное воспроизведение ранее полученного опыта.

Преимущества применения пакетов компьютерной математики в процессе обучения математики в технических университетах таковы:

- наглядность и визуализация, что, несомненно, вызывает дополнительный интерес у студентов (сравните чертеж на доске с попыткой показать сопровождающий трехгранник кривой и видеоклип на эту тему, где в цвете и движении данный материал становится максимально понятным и доступным);

- значительный прирост производительности решения задач при аудиторных занятиях (вы сможете на доске за занятие построить 2-3 графика с полным исследованием функции и на порядок больше на компьютере или даже на смартфоне студента с возможностью проведения при необходимости дополнительных исследований);

- выполнение домашних и лабораторных работ с помощью пакетов компьютерной математики (сравните вычисление на калькуляторе образца конца прошлого века и возможность приближенного решения реальных математических задач с заданной точностью);

- возможность для преподавателя контролировать процесс решения на экране у студента и своевременного вмешательства для коррекции ошибок или консультирования при возникших трудностях);

- возможность автоматизации учета и контроля результатов учебного процесса и более объективной оценки знаний.

На кафедре «Математические методы в строительстве» БНТУ в качестве программ компьютерной математики в учебном процессе были опробованы системы Geogebra и Wolfram Mathematica. Первая из них оперирует алгебраическими и геометрическими понятиями, строит графики, умеет решать уравнения, вычислять экстремумы, производные и интегралов и т.д.).

Что касается системы Wolfram Mathematica, то ее возможности поистине безграничны. Она решает математические задачи на профессиональном уровне, который в некоторых ситуациях является даже излишним для процесса обучения. Разумной альтернативой является использование интернет-версии пакета на сайте www.wolframalpha.com.

Таким образом, обучение на современном уровне, на наш взгляд, должно сопровождаться повсеместным использованием компьютерных технологий. Электронные учебно-методические комплексы, лекции с демонстрацией презентаций, в особенности, если тема предполагает геометрические построения, изображение плоских фигур, объемных тел, поверхностей, электронные учебники призваны помочь в освоении курса математики. Развитие информационных технологий позволяет выбрать свой темп при освоении курса, наверстать упущенное, если пришлось пропустить занятия, разобраться с непонятым, еще раз просмотрев лекцию или практическое занятие.

Большое внимание надо уделить самостоятельной работе студентов, выполняемой под контролем преподавателя. Самостоятельная работа студента должна начинаться как можно раньше. Принцип самообразования должен занимать особое место при обучении математике. Необходимо помнить, что математика играет далеко не последнюю роль в получении инженерного образования. Связано это с тем, что изучение математики начинается с первого курса, когда навыков обучения в университете у студентов еще нет и объем материала, который подлежит освоению очень велик. В такой ситуации важно не просто активизировать самостоятельную работу студентов, но подобрать таким образом задания, чтобы при переходе от одного раздела к другому соблюдалась преемственность. Например, на инженерно-строительных специальностях БНТУ темы по обыкновенным дифференциальным уравнениям и уравнениям математической физики следует начинать с рассмотрения прикладных задач, приводящих к такого рода дифференциальным уравнениям. Выбор таких задач можно согласовать с выпускающими кафедрами. Учитывая, что из программы по математике исключены лабораторные работы, можно спланировать обучение следующим образом. Включить в работу задания-проекты, которые будут предполагать и использование компьютерных технологий. Работа может быть построена следующим образом:

1. Проводится предварительный отбор теоретического материала и задач.
2. Формулируется задание: решить задачу аналитическим способом.
3. Решить задачу с использованием компьютерных технологий.
4. Оформить вывод, с теоретическим обоснованием.

Таким образом студенты инженерно-строительных специальностей изучают не просто математику как самостоятельный учебный предмет, а учатся применять математический аппарат и вычислительную технику для решения прикладных задач.

С методической точки зрения это в первую очередь дает уверенное овладение языком математики, усвоение фундаментальных математических понятий, операций, выработку устойчивых навыков решения формальных задач. Кроме того, студенты приобретают начальные навыки применения математического аппарата при решении задач инженерно-строительного содержания (начала математического моделирования). Студенты учатся описывать на первом этапе примитивную математическую модель рассматриваемой задачи, учатся находить метод решения. При этом они используют справочную, учебную, методическую литературу для решения и обоснования правильности своего выбора.

Такого рода работа формирует ряд полезных навыков: получение информации из литературных или интернет источников, понимание важности использования методов вычислительной математики, компьютерной техники,

В целом, у студентов складывается правильное понимание роли математики в инженерном образовании.

Литература

1. Василевская Е.А. Профессиональная направленность обучения высшей математике студентов технических вузов. Учебное пособие. – Москва, 2021. – 178 с.

2. Капусто А.В., Крушевский Е.А., Кузнецова А.А., Хотомцева М.А. Проблемы математической подготовки студентов технических специальностей // Материалы Международной научной конференции «Математическое образование: современное и состояние и перспективы», посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Столяра, – 2019.– Могилев, – С.106-109.

УДК 372.851

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКЗАМЕНА ПО МАТЕМАТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ - СЕРВИСА ONLINE TEST PAD

М.А. Хотомцева

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, marina.hotomceva@gmail.com

Рассмотрен опыт применения веб-сервиса Online Test Pad при проведении экзамена по математике для студентов-геодезистов. Проанализированы возможности сервиса для конструирования тестирования теоретической и практической частей курса математики, выделены особенности тестирования. Обобщён опыт применения промежуточных тестирований и опыт проведения занятий в форме «перевернутый класс».

Ключевые слова: Экзамен, тестирование, тест, определяемое понятие, статистика ответов.

В настоящее время для проведения экзаменов в форме тестирования создано большое количество оболочек и программ. Но при организации экзамена по математике следует учесть необходимость проверки навыков решения математических задач. Простой выбор одного верного ответа из четырёх или пяти предложенных не позволяет определить, получил ли студент необходимые для дальнейшей учёбы навыки и умения. После анализа и применения на практике многообразия существующих сервисов, мною был выбран Online Test Pad – многофункциональный веб-сервис, разработанный для создания опросников, логических игр и комплексных заданий.

Это конструктор тестов предусматривает варианты 14 типов вопросов, в том числе: установление последовательности, заполнение пропусков, последовательное исключение, диктант, мультिवыбор или выбор одного решения, ввод чисел и текста, добавление файлов. Конструктор позволяет вставлять изображение как в вопрос, так и в варианты ответов, что позволяет разнообразить учебные задания. Доступ к тесту может быть создан по основной ссылке или в виде виджета на сайте учебного заведения, а также в качестве общедоступной публикации на сайте Online Test Pad. Тест допускает ограничение на прохождение по IP или Cookie. Статистика ответов на каждый вопрос может быть отражена в табличном и графическом представлении. Тест представляет возможность включать таймер.

Все перечисленные возможности тестовой системы в полной мере были использованы при организации и проведении экзамена по математике для студентов специальности «Геодезия».

Так при составлении вопросов для проверки знания теоретической части курса самыми простыми вопросами были вопросы установления соответствия между рисунком и определяемым понятием (рис.1).

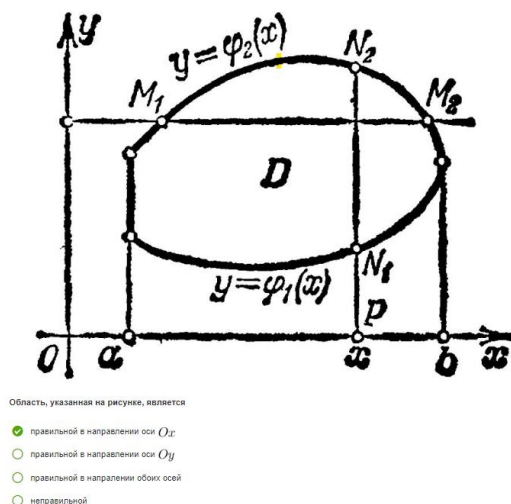


Рис.1 Пример выбора определяемого понятия

Знание определений было проверено несколькими способами. Например, развёрнутым определением, в которое нужно было вставить определяемое понятие (рис.2).

8 8 из 50

Все касательные, проведённые в точке M_0 к линиям, лежащим на поверхности и проходящим через точку M_0 , расположены в одной плоскости, называемой **касательной** плоскостью

Рис.2. Вставка определяемого понятия

Так же в определение нужно было вставить пропущенные ключевые слова, характеризующие понятие (рис.3)

17 17 из 50

Рациональная дробь называется *правильной*, если степень числителя **меньше** степени знаменателя, и **неправильной** – в противном случае

Рис.3. Вставка ключевых слов в определение

Было проверено и умение использовать формулы для решения конкретных математических задач (рис.4).

Какой элемент должен стоять вместо "звёздочки" в матрице Гессе $H(x, y) = \begin{pmatrix} f''_{xx} & * \\ * & f''_{yy} \end{pmatrix}$

f'_x

f'_y

f''_{xy}

f''_{yx}

Рис.4. Выбор формул

Знание алгоритмов решения стандартных математических задач было протестировано следующим образом (рис.5).

Для того, чтобы найти наибольшее и наименьшее значения функции $z = f(x, y)$ в ограниченной замкнутой области G нужно (укажите правильный порядок действий)

1 ⌵ Найти критические точки функции и выбрать точки, лежащие в области G .

2 ⌵ Найти значение функции в этих точках

3 ⌵ Найти наибольшие и наименьшие значения функции на границах области G

4 ⌵ Сравнить все найденные значения функции и выбрать наибольшее и наименьшее

Рис.5. Выбор правильного порядка действий

Для практической части экзамена были составлены 100 заданий с пятью возможными вариантами ответов, причём неверные ответы незначительно отличались от верных (Рис.6).

Найти полный дифференциал функции $z = \text{ctg}^3(x^2y + xy^2)$

$dz = -3\text{ctg}^2(x^2y + xy^2) \frac{1}{\sin^2(x^2y + xy^2)} ((2xy + y^2) dx + (x^2 + 2xy) dy)$

$dz = -3\text{ctg}^2(x^2y + xy^2) \frac{1}{\sin(x^2y + xy^2)} ((2xy + y^2) dx + (x^2 + 2xy) dy)$

$dz = \frac{-3\text{ctg}^2(x^2y + xy^2)}{\sin^2(x^2y + xy^2)} ((xy + y^2) dx + (x^2 + xy) dy)$

$dz = -3\text{ctg}^2(x^2y + xy^2) \frac{1}{\sin^2(x^2y + xy^2)} ((2xy) dx + (2xy) dy)$

$dz = -3\text{ctg}^2(x^2y + xy^2) \frac{1}{\sin^2(x^2y + xy^2)} ((y^2) dx + (x^2) dy)$

Рис.6. Пример тестового задания практической части экзамена

При проведении экзамена студент должен был ответить на пять случайно выбранных тестовой оболочкой из общего количества теоретических вопросов и решить пять выбранных оболочкой практических заданий по одному заданию на каждый из изученных в семестре разделов математики. Правильный ответ оценивался одним баллом. По окончании выполнения теста количество набранных баллов было представлено студенту. Для преподавателя была сформирована статистика ответов в следующей форме (рис. 7).

<input type="checkbox"/>	#	Пользователь	IP	Дата завершения	Потрачено времени	Имя	Фамилия	номер группы	Количество правильных ответов	Процент правильных ответов (%)
<input type="checkbox"/>	146689066		46.216.252.231	11.06.2022 17:35	00:24:06	Артем	Падалец	11405121	6	60
<input type="checkbox"/>	146599031		87.252.235.2	10.06.2022 12:33	00:54:13	Евгений	Зыкун	11405121	4	40
<input type="checkbox"/>	146598756		87.252.235.2	10.06.2022 12:31	00:56:09	Александр	Шут	11405121	6	60
<input type="checkbox"/>	146598279		87.252.235.2	10.06.2022 12:27	00:57:14	Юшко	Дмитрий	11405121	2	20

Рис.7. Таблица данных

Проведению экзамена в форме тестирования предшествовала работа по тестам при проведении занятий в форме «перевернутый класс», когда студенты должны были изучить теоретический материал заранее, и в начале занятия ответить на вопросы теста по изученному материалу.

Безусловно применение веб – сервиса Online Test Pad для контроля знаний на экзамене должно в разумной мере сочетаться с традиционными формами проведения: устным и письменным опросом.

СЕКЦИЯ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

аспирант А. К. Каюмов, магистрант А.Т. Яворовский
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, aziz_10.95@mail.ru

Основание дорожного покрытия – довольно дорогостоящая конструкция, и в текущее время существует большое количество способов устройства оснований автомобильных дорог из различных местных, а также вторичных материалов - отходов индустрии, увеличивающих прочность дорожного полотна. Использование вторичного сырья позволяет существенно понизить издержки на выполнение строительно-ремонтных дорожных работ. Дальнейшее развитие исследований в рассматриваемом направлении должно идти по пути совершенствования и изучения новейших всеохватывающих методов, расширения списка современных вяжущих, и других минеральных композиций с введением в большей степени местных и вторичных материалов индустрии.

В связи с этим, нами было поставлена задача, проанализировать вероятность применения так именуемых отработанных формовочных смесей (далее ОФС) для устройства основания автомобильных дорог. Предлагаемые ОФС представляют собой мелкий песок с примесями связывающего материала (жидкое стекло, глина и некоторые иные) в последствии термического воздействия в процессе отливки детали. Получение ОФС предусматривает использование в качестве выравнивающей прослойки, под плитами, при этом уменьшаются не только затраты, но и негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: основание, прочность, отработанная формовочная смесь, выравнивающий слой, цемент, предел прочности, растяжении при изгибе, сжатие.

Для современных автомобильных дорог одним из основных критериев является – повешения прочности, долговечности, снижения себестоимости, и при всем этом также не должны забывать об экологичности.

Развитие экономики государства и укрепление сотрудничества с другими странами приводят к быстрому увеличению количества транспортных средств, особенно большегрузных автомобилей, что требует строительство новых дорог, а также ремонт существующих. Но для всего этого необходимо большой объем материалов. В последнее время в дорожном строительстве начали широко применять вторичные материалы, то есть отходы производства. Отходы производства – это продукты, возникшие в следствии физико-химической переработки сырья или производства продукции, которые потеряли полностью либо отчасти свои физико-химические характеристики, также это могут быть материалы, получаемые в процессе демонтажа зданий, сооружений, дорожного полотна.

Крупные объемы отходов производства строительной и промышленной индустрии далеко не всегда используются рационально, и большая их часть складывается в отвалах. В связи с этим основной целью является совершенствование технологий, которые позволят обеспечить более рациональное использование материалов, в том числе их вторичное применение в дорожной отрасли. Наиболее рациональным путем снижения производства в природных минеральных ресурсах и повышения его экологичности, является увеличение использования вторичных энергетических, а также материальных ресурсов. Накопленные знания в данном вопросе показывают, что использование большинства разновидностей отходов производства весьма выгодно в экономическом плане, а также осуществимо в технической части [1,2].

Отработанная формовочная смесь для устройства выравнивающего слоя под бетонные плиты

Касательно выравнивающего слоя из отработанной формовочной смеси, укрепленной вяжущим материалом, в настоящей работе была поставлена задача: проанализировать вероятность применения отработанных формовочных смесей для устройства оснований. Отработанные формовочные смеси (ОФС) образуются в виде отходов на предприятиях, где имеется литейное производство деталей. Данный материал представляет из себя мелкий песок с примесями связывающего материала (жидкое стекло, глина и некоторые иные) в последствии термического воздействия в процессе отливки детали.

В момент выбора вяжущего материала для укрепления слоя из ОФС исходили из того, собственно отработанная формовочная смесь — это мелкий песок, хоть и с примесями. К примеру, для стабилизации супесей при строительстве оснований используют цемент, известь либо смесь цемента и извести. Помимо прочего последние несколько лет разрабатываются особые стабилизаторы битумо-полимерные композиции (БПК). Потому нами была поставлена цель: выбрать наилучшее вяжущее для укрепления отработанной формовочной смеси. Сначала нужно было найти возможность укрепления отработанной формовочной смеси цементом, то есть необходимо было найти возможность укрепления отработанной формовочной смеси цементом, и в случае таковой способности, изучить зависимость прочности получаемого материала от количества в нем цемента [3].

Для достижения этой цели были изготовлены четыре партии образцов-балочек размером 40x40x160 мм по три образца в каждой партии (всего 12 образцов) со следующей рецептурой:

1. Цемент (300гр) 25% + песок (900 гр.) 75% + вода (150мл)
2. Цемент (300 гр) 25% + ОФС (900 гр.) 75% + вода (150мл)
3. Цемент (250 гр) 20,83% + ОФС (950 гр.) 79,17% + вода (125мл)
4. Цемент (200 гр) 16,67% + ОФС (1000 гр.) 83,33% + вода (100мл)

Первая и вторая партии должны сравнить прочность образцов на природном песке и на отработанной формовочной смеси (ОФС); вторая, третья и четвертая партии должны показать зависимость прочности образцов, изготовленных на ОФС, от количества цемента.

После изготовления и набора прочности образцы были испытаны на изгиб, а затем на сжатие.

Определение предела прочности на растяжении при изгибе

За тридцать минут до испытаний, образцы, изготовленные в трехсекционных разборных формах, должны быть вынуты из воды и насухо вытерты. Каждый образец по очереди устанавливаются на опорные элементы прибора, так что бы нагружающий валик находился в центре образца. Положение валика относительно образца должен быть перпендикулярным к слоям укладки бетонной смеси, а заглаженные грани образца должны быть обращены в сторону испытателя. Прибор после запуска автоматически вычисляет величину предела прочности при изгибе $R_{изг}$ для стандартных образцов. Предел прочности при изгибе определяется после испытания трех образцов, при этом вычисляется среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов.

Результаты испытания образцов на изгиб приведены в таблице 1 и рис. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов на растяжение при изгибе

№ образцов	партии	Предел прочности на изгиб $R_{изг}$, МПа	
		Через 7 суток	Через 28 суток
1		5,09	8,72
2		2,73	4,68
3		1,04	1,79
4		0,52	0,89

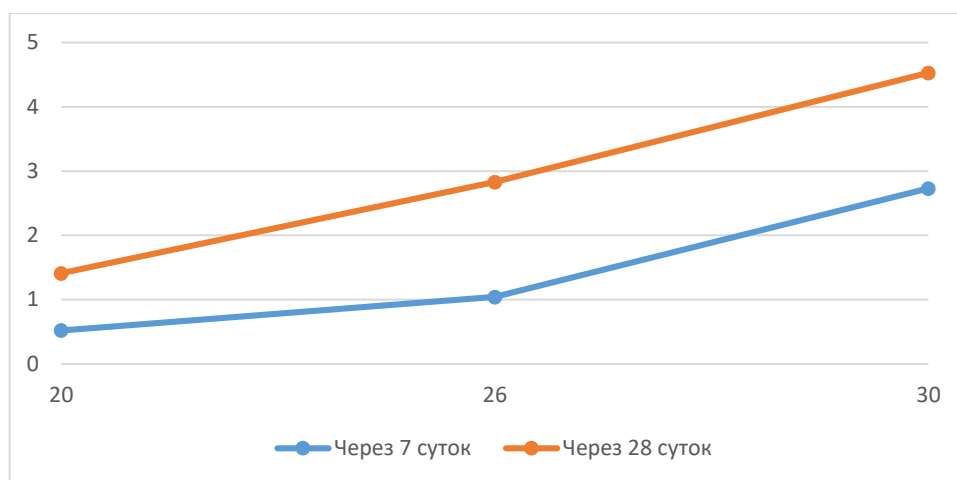


Рис. 1. Зависимость предела прочности на изгиб, МПа (вертикальная ось) от количества в ОФС цемента, % (горизонтальная ось).

Испытание образцов на сжатие

Сразу же после испытания на изгиб, проводится испытание на сжатие, на образцах, полученных в предыдущем опыте, то есть на образцах-половинках. Испытываемые на сжатие образцы помещают между двумя стандартными пластинами таким образом, что грани прилежавшие к стенкам формы в продольном направлении, находились на плоскостях пластинок, а заглаженная грань обращена в сторону испытателя. Площадь поперечного сечения образца подвергающегося нагружению, определяется площадью применяемых пластинок. Далее образец с пластинами устанавливается в центре опорной плиты прессы и производится запуск, при этом средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть в пределах 1,5-2,5 МПа/с. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ отдельного образца, МПа, определяют по формуле:

$$R_{сж} = F/A,$$

где F – разрушающая сила, кН

A – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, равная 2500 мм²

Среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытаний из шести, является значением предела прочности при сжатии. Результаты испытания образцов на сжатие приведены в таблице 2 и рис. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний образцов на сжатие

№ образцов	партии	Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа	
		Через 7 суток	Через 28 суток
1		32,77	55,94
2		7,73	13,23
3		3,52	6,03
4		1,42	2,44

Из рис. 1 и 2 можно отметить, что увеличение прочности образцов на изгиб и на сжатие с увеличением цемента в пределах 26 – 30 % происходит быстрее, чем в пределах 20 – 30 %. Особенно это заметно у образцов в 28 суточном возрасте.

Вместе с тем, из таблиц 1 и 2 видно, что прочностные свойства образцов, как на изгиб, так и на сжатие у образцов с ОФС значительно ниже, чем у образцов с природным песком при одинаковом количестве цемента и одинаковом водоцементном отношении: прочность на изгиб ниже в 1,8 раз, а на сжатие в 4,2 раза.

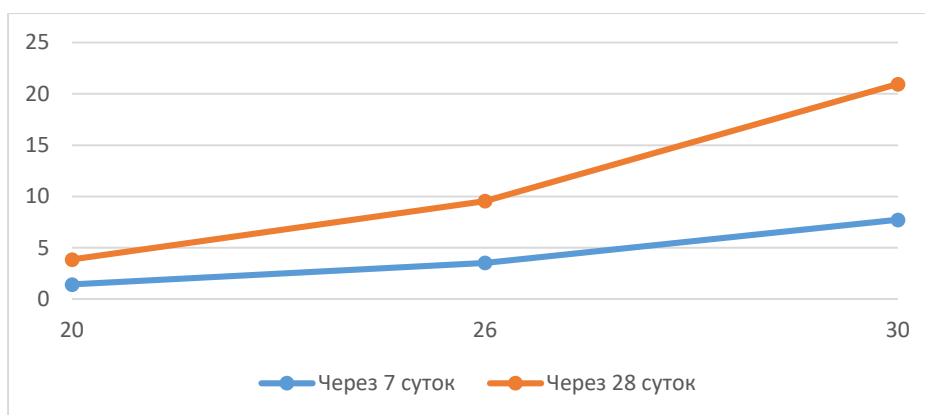


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие, МПа (вертикальная ось) от количества в ОФС цемента, % (горизонтальная ось).

Помимо всего прочего отработанная формовочная смесь может быть использована для улучшения гранулометрического состава песчано-гравийной смеси при нехватке в ней мелких частиц.

Отработанная формовочная смесь, как отмечалось выше, — это мелкий песок, но, очевидно, присутствие в нем добавок ухудшает цементирование материала. Поэтому для возможности использования этого материала для устройства укрепленного выравнивающего слоя под сборные бетонные покрытия необходимы дополнительные исследования по определению специального стабилизатора и его количества для обеспечения необходимых прочностных характеристик. В рамках этой работы такие исследования не проводились.

Литература

1. Веренько, В. А. Новые материалы в дорожном строительстве / В. А. Веренько. Минск: Технопринт, 2004. 169 с.
2. Борукаев, С. Б. Применение вторичных материалов в ходе дорожных работ / С. Б. Борукаев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 28 (266). — С. 20-22.
3. Бусел, А. В. Получение активированных минеральных порошков из отработанных формовочных смесей и их применение в дорожном асфальтобетоне / А. В. Бусел. Минск, 1983. 23 с.

УДК 625.074

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

магистрант О.В. Семец

Республиканское унитарное предприятие “Республиканский научно-технический центр по ценообразованию в строительстве”,
ул. Некрасова, 114, 220068, г. Минск, Беларусь, Olga1022222@mail.ru

Шумозащитный экран — представляет собой искусственную преграду, установленную на пути распространения шума от автомобильного транспорта к защищаемым от шума объектам. Типовая модель такого экрана представляет собой сборную конструкцию, основными элементами которой являются: фундамент, несущие конструкции, панели и другие конструктивные дополнительные элементы. В качестве таких элементов используют материалы шумозащиты и утепления, поперечные профилированные балки, крепежные детали, акустические развязки, козырьки, калитки,

ворота, рамы разрывов и подобные элементы. Акустические экраны относятся к элементам обустройства автомобильных дорог общего пользования.

Целью является изучения возможности использования при изготовлении шумозащитных экранов не традиционных материалов, таких как: деревянные опилки и торфокрошка. Задачей является определение зависимости шумопоглощения опилок и торфокрошки от определенных условий, таких как толщина их слоя и степень уплотнения. На данный момент времени написана не одна работа на тему поиск оптимальных решений по выбору шумозащитных экранов, например, С.С. Борцова. Проводились анализы оптимального решения по выбору шумозащитных экранов, анализировалась эффективность данного сооружения на примерах конкретных развязок и участках дорог (Д. А. Шевелев, В. В. Сиротюк, Е. А. Геращенко, Е. А. Степанова). Рассматривалось применение не традиционных материалов, в том числе «заборов» из бетона. Так же на данный момент остро стоит вопрос экологии, в следствии чего ведутся постоянные поиски способов применения отходов производства и материалов вторичного использования.

Ключевые слова: шум; вторичное сырье; опилки; торфокрошка; акустические экраны.

Шум для здоровья человека далеко не безопасен. Повышенный уровень шума оказывает вредное воздействие на организм человека и его здоровья. Длительное воздействие шума чревато нарушением нормальной деятельности сердечно-сосудистой и нервной системы, пищеварительных и кровеносных органов, развивается профессиональная тугоухость. Прогрессируя все выше перечисленные проблемы могут привести к полной потере слуха.

Вторичное сырье – представляют собой разного вида материалы, предметы, упаковки, которые в результате полного первичного использования можно применить как исходное сырье для производства какой-либо продукции. К ним отнесем лом черных, цветных и драгоценных металлов, отработанные смазочные масла, производственный брак, макулатура, пластик и пластмасса, опилки, полимеры, торфяная крошка, стекло и многое другое. В эксперименте будут применены такие вторичные материалы как: опилки и торфяная крошка (отход при производстве торфяных брикетов).

Для выполнения опыта на пригодность использования вторичных материалов в конструкциях шумозащитных экранов необходимо создать экспериментальные установки. Что бы их реализовать в действительности, нам понадобились конструктивный чертеж, с помощью которого будет производиться сбор модели. На ниже приведенных рисунке 4.1 мы видим получившееся чертеж.

С помощью данного чертежа была собрана экспериментальная установка, приведенная на рисунке 2.

Так же для проведения эксперимента кроме установок необходимо: источник шума, шумомер, линейка, вторичные материалы: опилки и торфяная крошка..

В ходе опыта на экспериментальной установке, были получены данные зависимости уровня звука от толщины слоя не уплотненных вторичных материалов (опилки и торфяная крошка). Полученные данные занесены в таблицу 1.

Далее посмотрим, как снижается шумовое загрязнение при увеличении толщины испытываемых вторичных материалах (таких как опилки и торфяная крошка) в конструкциях шумозащитных экранах. Результат эксперимента приведен в таблице 2.

Как видно из приведенной выше таблицы можно сделать вывод, что использования вторичных материалов, таких как опилки и торфяная крошка могут достаточно эффективно использоваться в конструкциях акустических экранов. Так как эксперимент еще не подошёл к логическому завершению, делать окончательные выводы невозможно. Но все же на промежуточной стадии наблюдаются достаточно неплохие результаты. Так же приведенные выше испытания показывает, что при слое толщиной 5 см опилки без

уплотнения дают в среднем снижения шума на 2%, в то время как торфяная крошка дает снижения в среднем на 12%. При толщине 40 см среднее снижения шума составляет 13% и 18% для деревянных опилок и торфяной крошки соответственно (Рис. 3).



Рис. 1. Экспериментальная установка



Рис. 2. Экспериментальная установка по модели приведенной на рисунке 1

Таблица 1. Данные полученные в ходе эксперимента на экспериментальной установке №1

Высота слоя, h, см	Эксперимент №1		Эксперимент №2		Эксперимент №3	
	Без уплотнения					
	Опилки, дВ	Торфяная крошка, дВ	Опилки, дВ	Торфяная крошка, дВ	Опилки, дВ	Торфяная крошка, дВ
0	57,5	58,8	57,3	59,1	57,6	59,3
5	56,5	52,0	56,7	52,3	56,2	51,9
10	55,8	49,7	55,6	50,9	55,5	51,0
15	54,7	50,3	54,8	50,3	54,8	50,5
20	53,7	50,1	54,0	50,3	53,6	50,0
25	53,0	50,9	53,4	50,1	53,2	50,6
30	51,4	49,9	51,2	49,8	51,2	49,6
35	50,6	48,3	50,8	48,8	50,3	48,5
40	50,1	48,3	50,4	48,5	49,8	48,2

Таблица 2. Результаты эксперимента

Высота слоя, h, см	Снижение уровня шума, эксперимент №1		Снижение уровня шума, эксперимент №2		Снижение уровня шума, эксперимент №3		Средний уровень снижения шума	
	Без уплотнения							
	Опилки, %	Торфяная крошка, %	Опилки, %	Торфяная крошка, %	Опилки, %	Торфяная крошка, %	Опилки, %	Торфяная крошка, %
0	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1,74	11,56	1,05	11,51	2,43	12,48	1,74	11,85
10	2,96	15,47	2,97	13,87	3,65	14,00	3,19	14,45
15	4,87	14,46	4,36	14,89	4,86	14,84	4,70	14,73
20	6,61	14,46	5,76	14,89	6,94	15,68	6,44	15,12
25	7,83	14,79	6,81	15,22	7,64	14,67	7,42	14,44
30	10,61	13,43	10,65	15,73	11,11	16,36	10,79	15,74
35	12,00	15,14	11,34	17,43	12,67	18,21	12,01	17,83
40	12,87	17,86	12,04	17,93	13,54	18,72	12,82	18,17

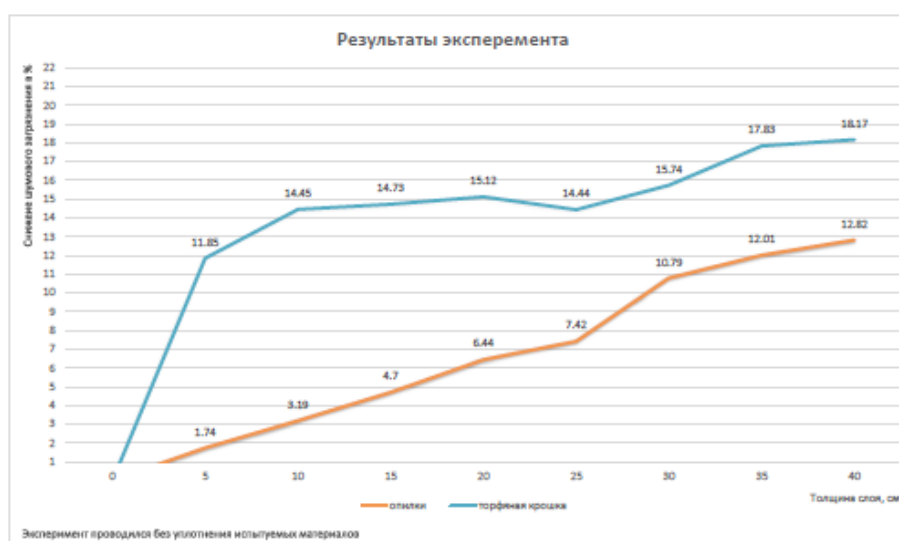


Рис. 3. Результаты эксперимента

Литература

1. ГОСТ 32957-2014. Дороги автомобильные общего пользования, экраны акустические
2. ГОСТ 27296-87. Звукоизоляция ограждающих конструкций
3. СП 51.13330.2011. Защита от шума
4. О влиянии шума на здоровье человека (по материалам территориального отдела Управления Роспотребнадзора по Краснодарскому краю в Славянском, Красноармейском, Калининском районах) [Электронный ресурс] - Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Краснодарскому краю - Режим доступа: <http://23.rospotrebnadzor.ru>: 03.11.2021.
5. ГОСТ 23941-2002. Шум машин методы определения шумовых характеристик
6. Использование отходов промышленного производства при изготовлении строительных материалов и изделий [Электронный ресурс].-Studizba - Режим доступа: <https://studizba.com:03.11.2021>.

УДК 625.7

ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

студент М.С. Миневич,
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, misha.minevich@mail.ru

Противогололедные материалы пролонгированного действия – это материалы, которые вводятся в качестве добавки в холодные асфальтобетонные литые смеси при устройстве защитных слоев (Рис. 1) или в гидроизоляционные пропиточные составы.



Рис. 1 Устройство защитного слоя из холодных литых асфальтобетонных смесей с противогололедными материалами пролонгированного действия

В настоящее время в Республике Беларусь существует три основных метода борьбы с зимней скользкостью: химический, химико-фрикционный и фрикционный способ (Рис. 2).



Рис. 2. Классификация противогололедных материалов в Республике Беларусь

Преимуществами данных методов является простота и эффективность. Однако нынешние методы требуют значительных единовременных затрат и эксплуатационных расходов. Решения данной проблемы может быть достигнута путем придания необходимых противогололедных свойств дорожному покрытию.

Так в Швейцарии был разработан асфальтобетон с антигололедными свойствами. Данные антигололедные свойства удалось достичь благодаря введению в состав асфальтобетонной смеси капсул кристаллизованного хлорида кальция, покрытые полимерной оболочкой. Под воздействием транспортной нагрузки данные капсулы, находящиеся на поверхности покрытия, вскрываются, и хлорид кальция распределяется по поверхности покрытия. Исследованиями было установлено, что в этом случае при температурах от 0 до -10 °С либо не происходит сращивания льда с поверхностью покрытия, либо оно очень незначительно (Рис.2).



Рис. 3. Экспериментальный участок дороги с добавлением антигололедных капсул (справа) и без добавления антигололедных капсул (слева)

Наблюдения за опытными участками покрытий, построенных по этому способу в США, показали, что образование гололеда замедлилось, количество дорожно-транспортных происшествий снизилось по сравнению с другими участками, однако стоимость асфальтобетона с добавками антиобледенителя увеличилась в 3 раза. Также определили, что такое покрытие работает эффективно при интенсивности движения свыше 5000 авт./сут, что значительно сокращает область его применения.

Также в ГипрдорНИИ были проведены испытания по введению хлорида натрия и калия в состав асфальтобетонной смеси, однако данный материал не получил распространение, так как было установлено что хлориды под действием влаги способны набухать и тем самым вызывать мини-деформации покрытия, тем самым повышает истираемость покрытия.

На сегодняшний день в Беларуси разработали противогололедный материал пролонгированного действия, получаемого путем совместного измельчения холодов и гидрофобизатора. Массовая доля хлоридов составляет не менее 95%, а гидрофобизатора – не более 5%. Данная технология уже была внедрена на автомобильных дорогах: Р-11 Поречаны – Новогрудок – Несвиж, на участке длиной 300м и Р-31 Бобруйск – Мозырь – гр. Украины, на участке длиной 1020 м.

На данных участках было выявлено:

Введение противогололедного материала позволяет значительно снизить сцепление снежно-ледяных образований с покрытием;

Применение противогололедного материала пролонгированного действия позволяет сократить расход противогололедных материалов по ТКП 100-2011:

при температуре воздуха выше минус 5 °С не требуется дополнительная обработка покрытия противогололедными материалами;

при толщине слоя рыхлого снега на покрытии не более 4 см допускается очистка покрытия без применения противогололедных материалов.

Применение данной технологии наиболее актуально и целесообразно в местах повышенной опасности, а именно на мостах путепроводах и подходах к ним.

Литература

1. Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия: СТБ 1158-2013. – Минск : Госстандарт, 2013.

2. Ковалев, Н. С. Улучшение свойств асфальтобетона и противогололедных асфальтобетонных покрытий : монография / Н. С. Ковалев. — Воронеж : ВГАУ, 2017. — 182 с.

3. Противогололедный материал пролонгированного действия [Электронный ресурс] -Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»: Режим доступа: <http://www.beldornii.by> – Дата доступа: 24.10.2022

УДК 625

ИННОВАЦИОННЫЕ ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

студент Е.А. Шершнёва, студент Д.В. Хомич
(Научный руководитель Е.П. Ходан)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

Шумозащитные экраны устанавливаются между жилыми зданиями и автомобильной дорогой, обладающей повышенным уровнем шума, обеспечивая снижение шума транспортных потоков, защиту от выхлопных газов и пыли. В дорожно-климатических зонах с возможностью образования льда и снега, экраны размещаются на достаточном расстоянии от проезжей части, чтобы упростить очистку снега и борьбу с гололедом, а также для исключения нагрузки от снега на экран. Высота экрана не должна препятствовать таянию снега и льда под воздействием солнечного света.



Рис. 1. Шумозащитный экран на автомобильной дороге

Существуют три группы шумозащитных экранов с различными характеристиками: шумоотражающие, шумопоглощающие и комбинированные. Шумозащитные экраны снижают транспортный шум за счет поглощения, изменения длины волны, отражения, или дифракции. Изготавливаются из бетона, металла, древесины, пластмассы, рециклированной резины, композитных материалов и даже из стекла.

Бетонные шумозащитные экраны устойчивы к высоким и низким температурам, влажности, соли и солнечному свету, пригодны почти для всех видов монтажа. Преимуществом металлических панелей по сравнению с бетонными является их скорость монтажа, возможность повторного использования материала, легкость, которая делает их полезными для вертикального расположения шумозащитных элементов, установки на существующих подпорных стенках или мостовых сооружениях. Панели из дерева или резины используются редко, так как не отличаются высоким уровнем пожарной безопасности. При горении резины образуется плотный дым, который способен снизить безопасность движения и привести к экологическим и юридическим проблемам. Шумозащитный экран может выполняться из стекла или прозрачной пластмассы типа плексигласа или акрила. Стекланные панели обычно состоят из отдельных отпущенных или слоистых листов закаленного стекла.

Инновационные стекланные шумозащитные экраны имеют прозрачное эластичное защитное покрытие. При разрушении образуются мелкие гранулированные кусочки размером не более 12 мм, которые остаются в защитном покрытии.



Рис. 2. Инновационный шумозащитный экран с эластичным защитным покрытием

На инновационные шумозащитные экраны могут устанавливаться фотоэлектрические панели, которые воспринимают солнечный свет с любой стороны, вырабатывают и накапливают электроэнергию от солнца. Фотоэлектрические панели частично прозрачны, благодаря переменной толщине ячеек, они не загораживают водителям обзор, что важно на поворотах и опасных участках. Толщина слоя зависит от плотности материала. Чем плотнее материал, тем тоньше слой. Некоторые системы экранов разработаны с отверстиями для сброса воды.



Рис.3.Инновационный шумозащитный экран с фотоэлектрическими панелями

Инновационные шумозащитные экраны влияют на уровень жизни людей, улучшая условия проживания, удовлетворяя потребности. Огромное преимущество заключается в том, что они не наносят вред окружающей среде, когда эта проблема наиболее актуальна.

Литература

1. Применение шумозащитных экранов на автомобильных дорогах США [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56231/index.htm> Дата доступа 01.11.22

624.21.01/09; 624.04

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО. ПРОХОДКА ТОННЕЛЕЙ ЩИТОВЫМ МЕТОДОМ

студент М.Г. Цейко
(Научный руководитель В.А. Ходяков)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, atexsmc@gmail.com

Объектом исследований является строительство тоннелей щитовой способом. Предметом исследования является метод проходки полумеханизированным щитом, принцип работы и его основные преимущества. Статья является обзорной, в ней рассмотрены основные преимущества и особенности щитового способа строительства

тоннеля. Для обзора проходки полуавтоматическим способом взят щит под названием «Алеся». Также описаны заводские условия, в которых производят новые тубинги для данного щита. Строительство тоннеля щитовым способом включает в себя три основных этапа. Представлен принцип работы вращающегося режущего диска. Описана система установки новых тубинговых колец по мере продвижения проходческого щита в тоннеле. Также представлены фото первого начала работы щита «Алеся» и завершения этого же тоннеля.

Ключевые слова: проходческий щит; минский метрополитен; тоннель; строительство; тубинг.

Щитовой метод проходки тоннеля — это метод бурения, который используется при строительстве транспортных тоннелей, в том числе тоннелей метрополитена. По сравнению с традиционными методами строительства, он относительно безопасен и быстр, однако эффективность проходческого щита в значительной степени зависит от сложности геологических условий, окружающей среды и др.

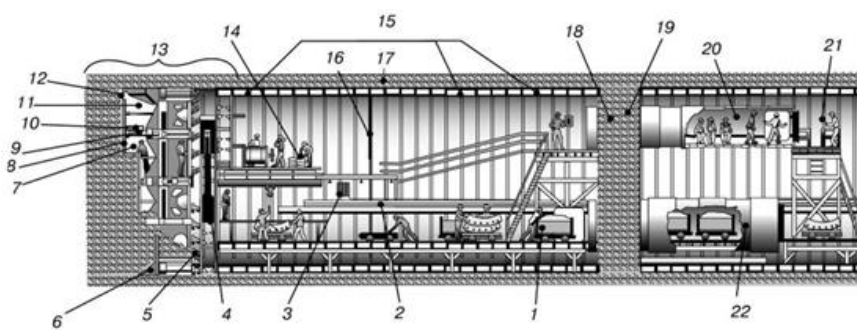
Различают два способа разработки грунта при применении щитового метода проходки: немеханизированный и полумеханизированный.

Полумеханизированный щит действует как временная несущая конструкция, которая предотвращает обвал грунта на стадии, когда тоннель уже вырыт, но обделка ещё не установлена. Это особенно важно в больших тоннелях, глубоко заложения в слабых грунтах, где экстремальное давление на грунт может привести к обвалам и другим чрезвычайным происшествиям.

Режущая головка продвигает бурильный станок через грунт на небольшое расстояние, в то время как в конце щитового комплекса ведётся сборка обделки. Как только постоянная опорная конструкция установлена, машина отталкивается от последнего кольца обделки с помощью специальных домкратов для дальнейшего бурения в почве.

Полумеханизированный щитовой метод проходки тоннелей позволяет быстро вести непрерывное бурение при сохранении безопасных условий труда.

Первый задокументированный случай применения технологии строительства с использованием проходческого щита был в 1825 году, когда британский инженер-строитель Марк Бринелль использовал прямоугольный тоннельный щит для раскопок и строительства тоннеля под рекой Темза. В 1840 году американский изобретатель и патентный поверенный Альфред Бич предположил, что круглый щит может быть более эффективным.



1 – вагонетки с материалами; 2 – водопроводные, воздушные и гидравлические коммуникации; 3 – пожарный рукав; 4 – монтажная стрела; 5 – гидравлические домкраты; 6 – нож щита; 7 – отвал; 8 – обрушение; 9 – домкрат; 10 – платформа; 11 – стойка; 12 – нож щита; 13 – щит; 14 – замешивание раствора; 15 – чугунные тубинги обделки тоннеля; 16 – защитное ограждение; 17 – раствор; 18 – бетонная перегородка; 19 – бетонная перегородка; 20 – воздушный шлюз для людей; 21 – контроль; 22 – шлюз для материалов

Рис. 1. Немеханизированный щит ручной проходки тоннеля

Строительство тоннеля щитовым способом включает три основных этапа:
Сооружение монтажной и демонтажной камеры;
Монтаж и демонтаж проходческого комплекса;
Проходку тоннеля с устройством обделки сразу за продвижением забоя.

На этапе проходки вращающийся режущий диск в передней части щита прижимается к поверхности забойки с помощью специализированных домкратов. Данный диск в процессе работы измельчает почву, разбивая ее на мелкие фрагменты для удаления. Далее на вагонетках грунт вывозится на поверхность.

Непосредственно за щитом и режущим кругом находится система шнековых конвейеров, которая транспортирует грунт к задней части щита. В то же время специализированные домкраты нажимают на внешние сегменты тоннеля, продвигая режущую головку вперед для продолжения дальнейшей работы по выработке грунта.

Когда щит и режущая головка продвинуты на расстояние, необходимое для установки тоннельного тубинга, начинается фаза создания нового кольца тоннеля. Механическая система транспортировки в тоннельном бурильном станке устанавливает сегмент тубинга непосредственно под щитом. Затем этот новый сегмент действует как опора, которая позволяет специализированным домкратам дополнительно вдавливать режущую головку в почву.

При прокладке тоннеля под высоким давлением грунтовых вод по ходу режущего диска наносится бентонит, для компенсации давления вод. Бентонит перемешивают с водой и оставляют на несколько часов для получения превосходной суспензии.

Использование проходческого щита «Алеся» при строительстве белорусского метрополитена

«Алеся» — щитовой проходческий комплекс, который с февраля 2016 года используется при строительстве Минского метрополитена.

Щит был приобретен у французской компании «CSM Bessac» в декабре 2015 года за 11 миллионов долларов и с февраля 2016 года используется в строительстве метрополитена. Он может проходить за месяц до 300 метров.

В следствие частого ремонта с каждой новой проходкой совершенствуется режущее оборудование, что позволяет "Алесе" ускоряться. В настоящее время удалось достигнуть максимальной скорости в 310 метров в месяц.

В целом за время строительства третьей ветки Минского метрополитена тоннельный щит преодолел расстояние в 1828 метров. Самой трудной частью был участок от железнодорожного вокзала до ул. Клары Цеткин, который должен был пройти под рядом инженерных сооружений. В среднем расстояние, которое проходила "Алеся" составляло около 200 метров в месяц. При проходке первого тоннеля приходилось останавливать работы три раза для замены режущих дисков щитового комплекса. На рис.2 представлен момент начала работы «Алеси» в первом своем тоннеле.

Для того, чтобы вывести щит на станции метро «Юбилейная площадь» подготовили монолитную площадку. Точно так же ее подготовили чтобы собрать щит на «Вокзальной». Монтаж и демонтаж «Алеси» производился в несколько этапов с помощью тяжелых кранов. Сначала использовался кран грузоподъемностью 350 тонн, а позже 500 тонн. Причем они использовались одновременно.

Станция «Юбилейная площадь» самая глубокая по залеганию. Глубина составляет от 27 до 32 метра. В этом районе очень сложные геологические условия, относящиеся 5, 6 и 7-й категориям. Например, 10-я категория — это скальные породы и валуны. Главная трудность на станции метро «Юбилейная» — укрепление ее котлована, для чего в его стенах бетонируются стальные анкера длиной более 20 метров.



Рис. 2. Тоннельный щит «Алеся». Начало проходки первого тоннеля

Для нового щиты была запущена новая конвейерная линия на заводе железобетонных изделий по производству обделки для тоннелей. К моменту старта механизированного комплекса на «Вокзальной» на заводе уже изготовили около 600 метров бетонных тубингов. Так же выпускается новый блок верхнего строения пути. Его применяют для уменьшения вибрации и шума при движении электропоездов в тоннелях. На рисунке 3 и 4 представлены элементы производственной линии с этого завода, с формами для изготовления новых тубингов. Фотографии форм и тубингов представлены на рис.3 и рис.4. Также на Рис.5 происходит момент окончания бурения тоннеля щитом «Алеся».



Рис. 3. Форма для изготовления новых тубингов



Рис. 4. Готовые тубинги для нового проходческого щита



Рис. 5. Тоннельный щит «Алеся». Окончание работ по проходке тоннеля — выход щита на поверхность

Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shield-tunneling.html>
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/v-minske-zapustili-tunneleprohodcheskiy-kompleks.html> Дата доступа [16.01.2016]
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://realt.onliner.by/2022/06/08/my-vse-videli-alesyu-snaruzhi> Дата доступа [08.06.2022]
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/liniy-gorodskikh-spletene.html> Дата доступа [13.01.2021]

СТРОИТЕЛЬСТВО SKYBRIDGE MICHIGAN

студент В.О. Казак
(Научный руководитель В.А. Ходяков)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, vlad.kazak.2002@mail.com

Объектом исследования является подвесной мост Skybridge Michigan строительство которого закончилось в октябре 2022 года. Предметом исследования является конструкция и способ монтажа моста Skybridge Michigan. В статье рассмотрено конструкция пилонов, которые изготовлены и собраны из деревянных материалов и закреплены с помощью листовой стали. Также рассматривался монтаж и установка пилонов на опоры сконструированные из бетона, бетонных свай и анкерных стержней. Были рассмотрены главные канаты, состоящие из оцинкованной стали, а также канаты ветряных растяжек, тросы подвесок и их монтаж. Рассматривалась конструкция проходной части и ее монтаж. Была названа причина по которой решили строить мост в основном из деревянных материалов.

Ключевые слова: подвесной мост; пилон; главный канат; ферма; деревянные элементы.

Скайбридж Мичиган построен между вершинами Маклаут и Ридж-Ридж на территории одного из горнолыжных курортов в штате Мичиган. Строительство началось в октябре 2021 с заливки опоры под пилоны подвесного моста. На каждую опору устанавливалось в общей сложности 27 свай. Сваи имеют диаметр 114 см и устанавливались в глубь земли на 12м. Нагрузка на эти сваи составляет более 90 тонн. Для каждого пилон в опору было установлено 168 анкерных стержней диаметром 3,8 см для соединения с опорными плитами пилон, а также же 32 анкерных стержня диаметром 5 см (Рис. 1) которые закрепляют основной канат вантовой системы. В общей сложности на строительство данного моста пошло около 1212 тонн бетона.



Рис. 1. Устройство опоры под пилоны

Пилоны данного моста состоят из двух деревянных ферм, сбор которых изначально происходил на земле в горизонтальном положении (Рис.2). На каждый пилон данного моста приходится 133 деревянных элемента: 92 из клееного бруса и 41 из цельного, для

соединения бруса между собой использовалось 63 болтовых узла, выполненных из листовой стали.



Рис. 2. Сборка ферм

После сборки плоских частей ферм их устанавливают на опоры (Рис. 3) и закрепляют горизонтальными и диагональными деревянными связями между собой, образуя пространственную ферму пилона. Пилон крепится к фундаменту через закладные детали, которые выполнены из листовой стали толщиной 25 мм. Вес одного пилона составляет более 50 тонн, высота составляет порядка 16 м, а длина около 21 м.



Рис. 3. Монтаж ферм

После установки пилонов на них натягивается два главных каната, на которые устанавливаются подвески и на этих подвесках монтируется элементы проходной части. Главные канаты представляют собой нить из оцинкованной стали диаметром 7,6 см, каждый из которых обладает минимальной прочностью на разрыв 488 тонн. Длина каждого каната составляет 360,5 м, а вес 10,4 тонны. Для объединения балки жёсткости моста и главных канатов используется 334 подвески из стального троса.

Также в состав тросовой системы сооружения входят два основных каната ветряных растяжек, которые находятся ниже уровня проходной части и предназначены для придания жёсткости сооружению в горизонтальном положении. Они изготовлены из оцинкованной стали диаметром 2,5 см. Для объединения канатов ветровых растяжек с балкой жёсткости пролётного строения используется.

Как тросы подвесок, идущие от главного каната к балке жёсткости, так и тросы промежуточных ветряных растяжек изготавливаются из оцинкованной стали диаметром 1,2 см (Рис. 4).



Рис. 4. Монтаж подвесок и тросов ветряных растяжек

Балка жёсткости моста монтируется поэлементно и состоит из крупных готовых модулей. Каждый из модулей состоит из стальной рамы уже смонтированным на неё покрытием проходной части. Покрытие проходной части состоит из деревянных реек, а в середине моста установлен стеклянный настил длиной около 11 м (Рис 5).

На данной территории имеются лесозаготовительные предприятия поэтому помимо эстетических преимуществ было принято решения строить мост из дерева. Открытие моста

состоялось в октябре 2022 года, таким образом, время строительства от начала монтажа первых конструкций до открытия моста составило всего один год.

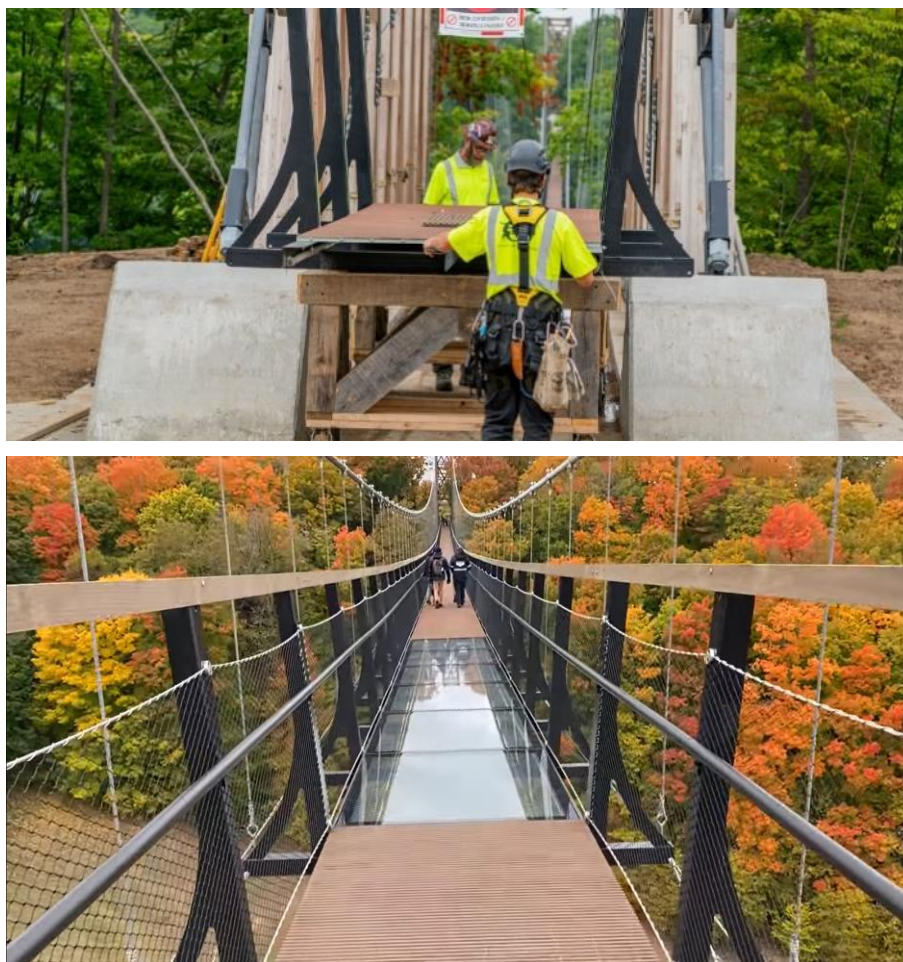


Рис. 5. Монтаж и общий вид прохожей части

Литература

1. SkyBridge Michigan: онлайн трансляция строительства моста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=ioTfHBawdw4&ab_channel=BoyneMountainResort. – Дата доступа: 12.10.2021.
2. Boynemountain: официальный сайт эксплуатирующей организации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.boynemountain.com/skybridge-michigan>. – Дата доступа: 01.10.2022.
3. ERI: официальный сайт компании-строителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.experientialresources.com/skybridgemichigan>. – Дата доступа: 01.10.2022.

ЖИДКАЯ РЕЗИНА

студент А.С. Матвеевко
(Научный преподаватель Г.Д. Ляхевич)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, aleksandra.matveenko2002@mail.ru

Рассмотрены свойства жидкой резины как гидроизоляционного материала, способы ее нанесения, а так же технология нанесения. Используется несколько способов нанесения жидкой резины: напыление, окраска, наливка. Напыление является самым надежным способом гидроизоляции. В качестве инструментов используется оборудование для жидкой резины ДУГА™ в комплекте со шлангами, мешалка для эмульсии, компрессор, армирующий материал, защитная экипировка, различные емкости.

Ключевые слова: жидкая резина; свойства; способы нанесения; технология нанесения.

Несмотря на разнообразие современных материалов, вопрос надежности гидроизоляционного покрытия остается открытым. Такой материал, как жидкая резина, отвечает ряду актуальных предъявленных требований. Жидкая резина, представляющая собой битумно-полимерную эмульсию, позволяет быстро и легко производить гидроизоляцию поверхностей сложных форм (Рис. 1), а также вертикальных поверхностей и даже потолков. Бесшовная технология нанесения и доступность являются еще одними неоспоримыми преимуществами.



Рис. 1. Гидроизоляция жидкой резиной сложной крыши

Используется несколько способов нанесения жидкой резины: напыление, окраска, наливка. Благодаря тому, что образовавшаяся бесшовная мембрана проникает во все отверстия, метод напыления (Рис. 2) обеспечивает наиболее высокую защиту поверхности.

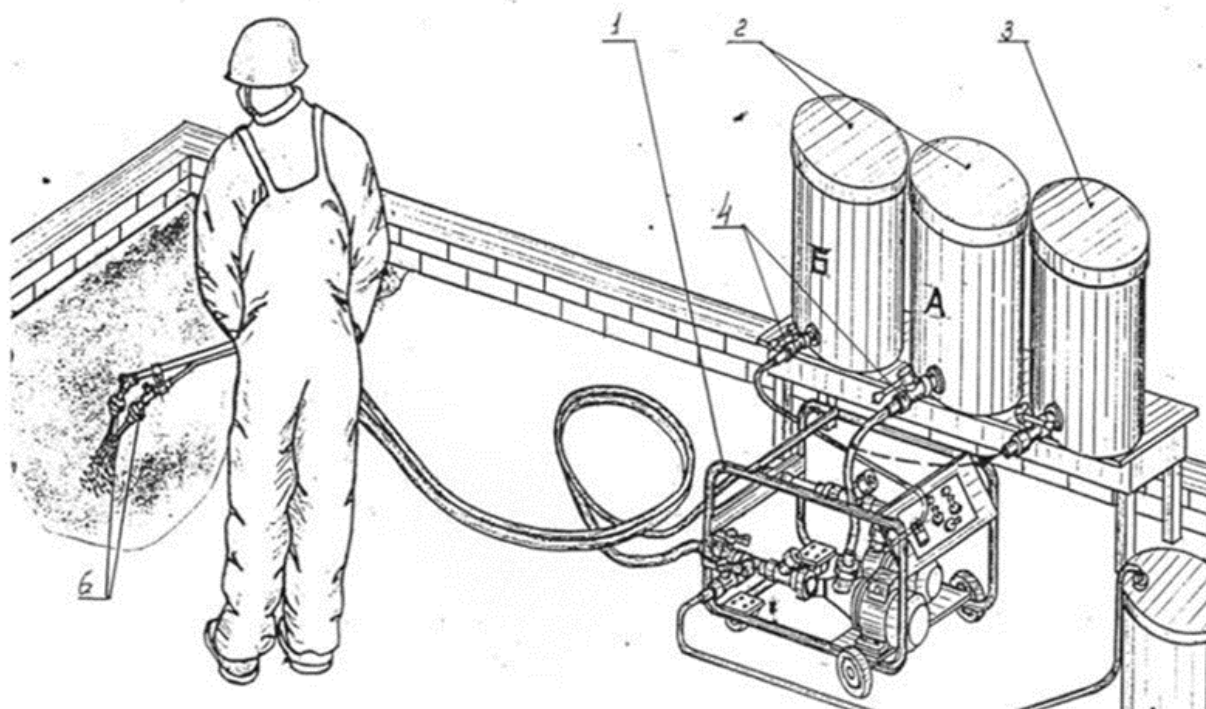


Рис. 2. Технологическая схема работы по напылению жидкой резины:

1. Установка RX-27; 2. Емкости с компонентами А и Б; 3. Емкость с промывочной жидкостью (вода) для компонента Б; 4. Узлы ввода; 5. Емкость с промывочной жидкостью (дизельное топливо) для компонента А; 6. Распылитель двухканальный («Удочка»)

Технология нанесения жидкой резины. Жидкая резина состоит из двух составляющих. Первая составляющая – полимерно-битумная эмульсия, состоящая из битума и воды. Вторая – водный раствор хлористого кальция CaCl_2 . Перед нанесением материала необходимо очистить поверхность, устранить выступы и большие трещины. При работе с металлом, необходимо устранить ржавчину. В местах острых углов, стыков, примыканий, водостоков следует армировать указанные места геотекстилем, стеклотканью или стеклохолстом. При высокой влажности основания напыление жидко резиной не проводят.

В качестве инструментов используется оборудование для жидкой резины ДУГА™ в комплекте со шлангами, мешалка для эмульсии, компрессор, армирующий материал, защитная экипировка, различные емкости. С помощью инструмента ДУГА® производят напыление.

Заключаящими этапами являются проверка полученного покрытия на дефекты и проверка требований по охране труда.

Литература

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stevin.su/faq/rezina.html> – Дата доступа: 28.10.2022
2. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://strport.ru/izolyatsionnye-materialy/germetiki/zhidkaya-rezina-dlya-gidroizolyatsii-kharakteristika-i-primenenie> – Дата доступа: 28.10.2022
3. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.poliuretan.ru/zhidkaya-rezina/tehnologiya/> – Дата доступа: 28.10.2022

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КАМЕРЫ ПО СНИМКАМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА

студент В.В. Андрейчиков, студент К.С. Будкевич,
(Научный руководитель Е.И. Радцевич)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь, inggeod@bntu.by

Выполнена экспериментальная фотограмметрическая калибровка камеры мобильного телефона с целью определения элементов внутреннего ориентирования, включая параметры фотограмметрической дисторсии объектива съёмочной камеры. Определены поправки за тангенциальную и радиальную дисторсию в координаты измеренных точек на снимке в программном продукте Agisoft Photoscan с целью уменьшения влияния фотограмметрической дисторсии объектива фотокамеры. Обобщена технология фотограмметрической калибровки мобильного телефона по снимкам пространственного тест-объекта.

Ключевые слова: калибровка камеры, элементы внутреннего ориентирования, дисторсия объектива, пространственный тест-объект, выравнивание фотографий.

В процессе изучения дисциплины «Прикладная фотограмметрия» возникла необходимость выполнения экспериментальной наземной фотограмметрической съёмки камерой телефона MI 11 Lite с разрешением 2610×4640 и фокусным расстоянием 4,74 мм. Так как цифровая камера телефона не относится к метрическим камерам, а является любительской, возникает необходимость её калибровки с целью определения элементов внутреннего ориентирования, включая параметры фотограмметрической дисторсии объектива съёмочной камеры, поскольку нельзя предполагать долговременную стабильность механических и оптических компонентов, как в случае со специальными метрическими камерами.

Уменьшить влияние фотограмметрической дисторсии объектива фотокамеры можно учтя поправки за тангенциальную и радиальную дисторсию в координаты измеренных точек на снимке. Эти поправки описываются следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} d_x &= x(r^2 \cdot k_1 + r^4 \cdot k_2 + r^6 \cdot k_3 + \dots) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2; \\ d_y &= y(r^2 \cdot k_1 + r^4 \cdot k_2 + r^6 \cdot k_3 + \dots) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2xyp_1. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x, y – координаты точек снимка;

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты радиальной дисторсии;

p_1, p_2 – коэффициенты тангенциальной дисторсии объектива;

$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ – расстояние от точки изображения до главной точки.

Поскольку достижимая точность измерения в пространстве объекта всегда зависит от текущего масштаба изображения в фотограмметрии, необходимо стремиться к чрезвычайно малой погрешности измерения координат в пространстве изображения. Обычно они находятся в диапазоне от 0,5 до 0,02 пикселей или от 1–2 мкм до 0,3 мкм.

Съёмку пространственного тест-объекта осуществляют многократно с поворотом камеры вокруг оптической оси объектива на 180° (рисунок 1) с целью повышения надежности и достоверности определения элементов внутреннего ориентирования калибруемых камер.

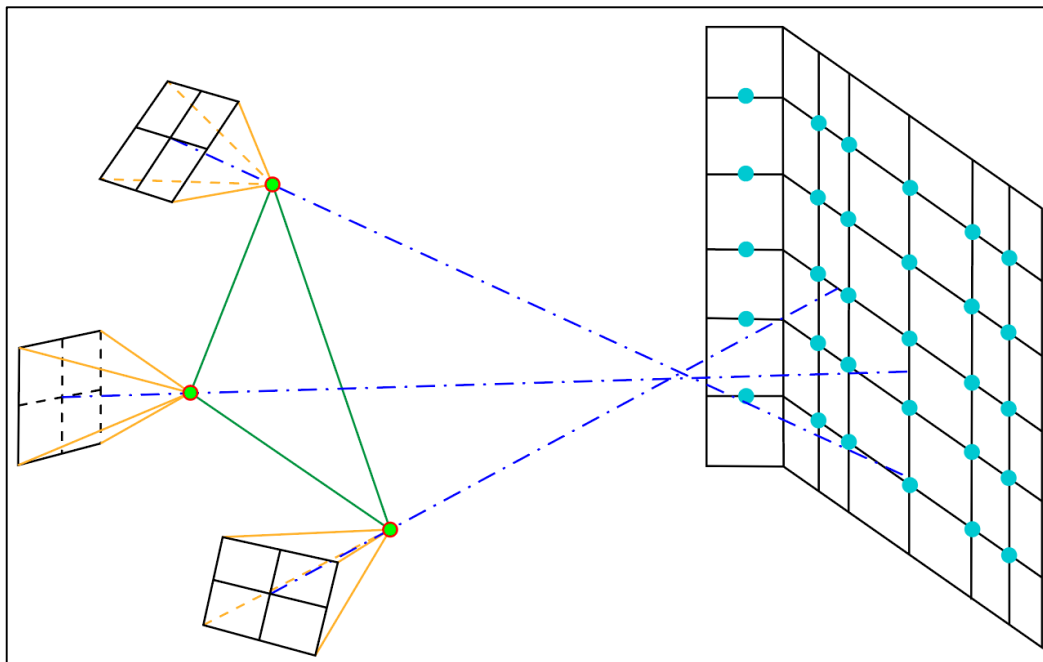


Рис. 1. Схема фотосъёмки тест-объекта

Процесс калибровки камеры, то есть уточнение коэффициентов радиальной и тангенциальной дисторсии, выполнен в программном продукте Agisoft Photoscan в следующей последовательности.

После импорта фотографий в программу выполнено их выравнивание. На этой стадии определяется положение и ориентация камеры для каждого кадра, строится разреженное облако точек.

Следующим этапом выполнен импорт каталога координат маркированных точек. На каждом снимке с высокой точностью последовательно измерены все точки пространственного тест-объекта (рисунок 2).

Далее выполнена оптимизация выравнивания фотографий, с предварительно отключенными снимками, с целью исключения навигационной привязки камер и оптимизация положения

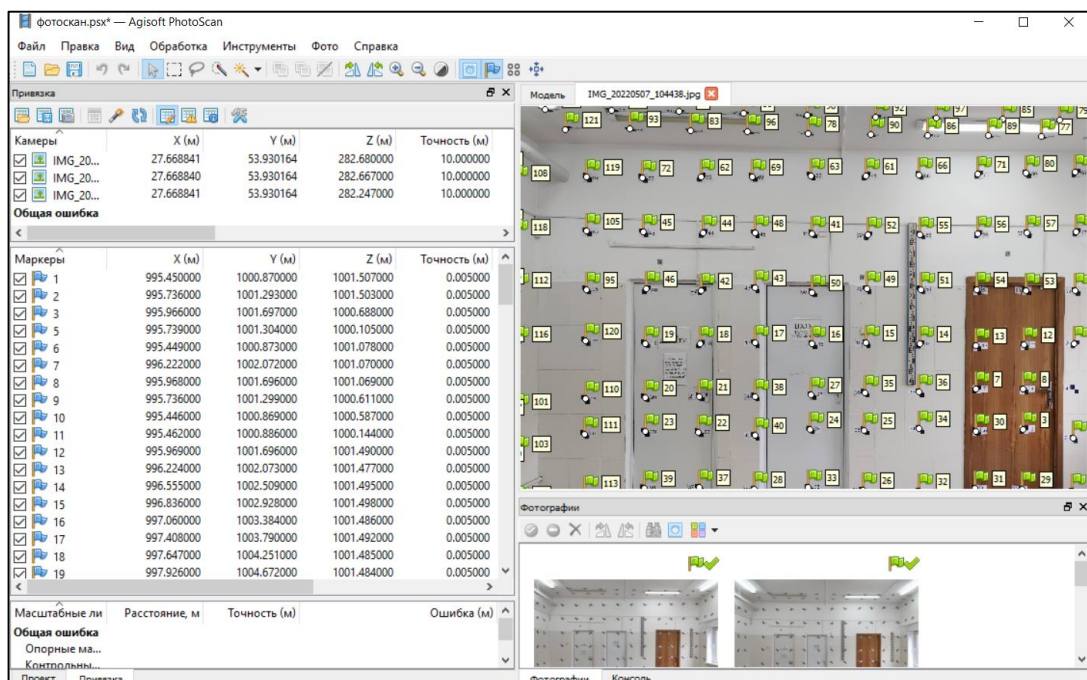


Рис. 2. Процесс измерения точек пространственного тест-объекта

Для сохранения данных фотограмметрической калибровки камеры в окне «Калибровка камеры» выбором пункта «Калибровка камеры» в меню «Инструменты» необходимо перейти на вкладку «Уточненная» и сохранить параметры (рисунок 3).

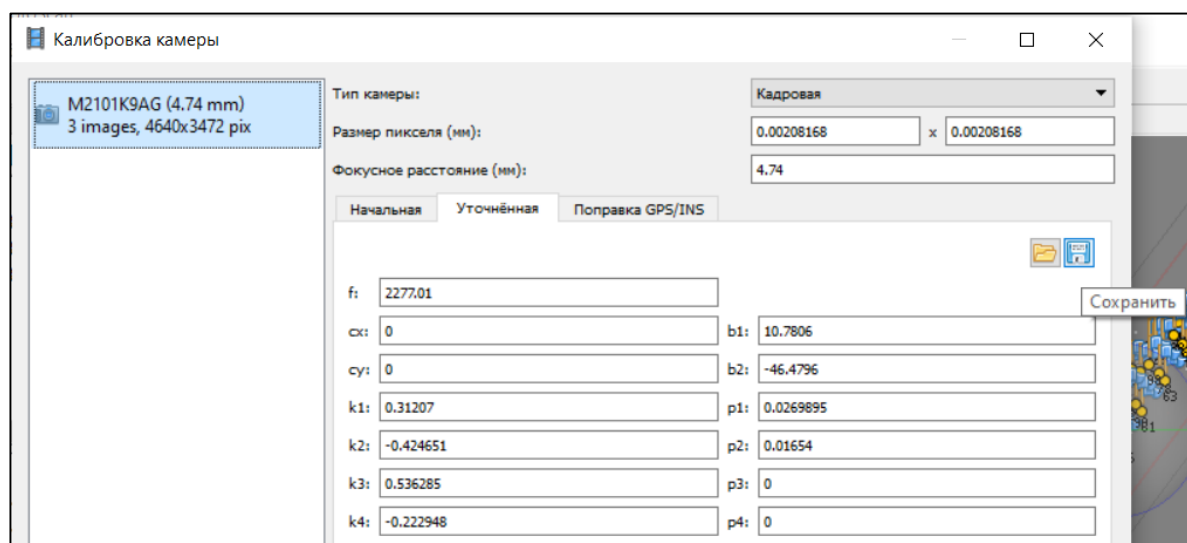


Рис. 3. Сохранение параметров калибровки

Формирование и анализ отчета обработки. В начале работы упоминалось, что критерием оценки точности, выполненной пространственной фотограмметрической калибровки, являются значения погрешностей координат измеренных на снимке точек и эти значения не должны превышать 0,5 пикселя. На рисунке 4 представлен фрагмент программного отчета об обработке, согласно которому остаточные значения не превышают данного требования.

Количество	Ошибка, X (мм)	Ошибка, Y(мм)	Ошибка, Z (мм)	Ошибка XY(мм)	Общая (мм)	Фото (пикс)
124	14.2327	10.1682	5.43977	17.4918	18.3181	0.364

Таблица 2. СКО по опорным точкам.

Количество	Ошибка, X (мм)	Ошибка, Y(мм)	Ошибка, Z (мм)	Общая (мм)	Фото (пикс)
49	18.6738	-13.1951	-2.46703	22.998	0.413 (2)
51	18.3304	-9.25851	-2.40286	20.676	0.092 (2)
53	22.6681	-3.70184	-2.33589	23.0868	0.410 (2)
55	24.8334	-13.7624	-6.29413	29.0812	0.268 (2)
56	25.4832	-10.2713	-6.10316	28.145	0.445 (2)
57	25.5289	-6.2891	-6.08384	26.9869	0.440 (2)
58	16.395	6.65154	-1.52083	17.7582	0.480 (2)
Общая	14.2327	10.1682	5.43977	18.3181	0.364

Таблица 3. Опорные точки.

Рис. 4. Фрагмент программного отчета об обработке

По результатам работы можно сделать вывод о возможности применения камеры мобильного телефона MI 11 Lite с фокусным расстоянием 4,74 мм для производства наземной съемки с предварительной фотограмметрической калибровкой.

Литература

1. Радцевич, Е. И. Проектирование наземной фотограмметрической съёмки / Е. И. Радцевич, А. В. Кабацкий, Н. О. Куприенко // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение [Электронный ресурс]: материалы Международной научно-технической

конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]; сост. В. А. Ходяков. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 201-207.

2. Скрыпицына, Т.Н., Курс лекций по дисциплинам «Основы архитектурной фотограмметрии» и «Архитектурная фотограмметрия» : учебное пособие / Т.Н. Скрыпицына, А.В. Уколова. – М. : МИИГАиК, 2020. – 127 с.

3. Фотограмметрия : учеб. для вузов / А.Г. Чибуничева [и др.]; под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.

УДК 3054

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

студент Р.В. Будай, студент А.И. Лаппо, студент И.С. Ахалли
(Научный руководитель Б.А. Бадак)

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Беларусь, ftk75@bntu.by

Понятие интеграл является одним из важнейших понятий математического анализа. Из определения данного понятия следует, что интеграл - это сумма числа бесконечно малых слагаемых. Элементы интегрального исчисления широко используются во многих аспектах астрономии, биологии, медицине, а также при строительстве различных сооружений. В зависимости от пространства, на котором задана подынтегральная функция, интеграл может быть двойной, тройной, криволинейный, поверхностный и так далее.

Первоначально, использование интегралов Френеля применялось при вычислении интенсивности электромагнитного поля в среде, где свет огибает непрозрачные объекты. Относительно недавно они начали использоваться при проектировании автомобильных и железных дорог и их переходных зон кривизны.

Ключевые слова: автомобильные дороги; интеграл; строительство; освещение; уплотнение.

Автомобильные дороги – транспортная система, имеющая двухполосное, многополосное и встречное направления движения транспортных средств. Экономика любого государства не может успешно функционировать без транспорта. Из-за его отсутствия не будет происходить нормальное функционирование различных промышленных предприятий, возникнут затруднения в освоении новых экономических районов, ослабнет оборона государств и так далее. Так как интегралы активно используются при строительстве автомобильных дорог, то можно сделать вывод, что они довольно важная составляющая в развитии экономики и социальной жизни.

Одной из главных дорог города Минска является магистраль М9 (также - Минская кольцевая автомобильная дорога).

При проектировании закруглений дорог, наряду с известными переходными кривыми используются новые типы кривых, задаваемых посредством переменного радиуса кривизны. [4, стр. 283]

Рассмотрим несколько примеров применения интегралов при строительстве автомобильных дорог:

- Светотехника (яркость), изучаемая в спец. дисциплине “Диагностика автомобильных дорог“

Яркость освещаемых поверхностей зависит от коэффициентов яркости или коэффициентов отражения. Эти коэффициенты изменяются в зависимости от угла падения и отражения света и от оптических свойств поверхности, отражающей световой поток.

Учитывая направление освещения и отражения светового потока, используются несколько разновидностей коэффициентов яркости и коэффициентов отражения, одним из которых является интегральный коэффициент отражения при рассеянном освещении. [2, стр. 153-154]



Рис. 1. Магистраль М9

Коэффициент яркости рассеянного освещения иногда используется для расчетов яркости проезжей части дорог и улиц. С помощью коэффициента рассеянного и полурассеянного отражения оценивают светотехнические характеристики различных поверхностей. Для общей оценки отражательной способности дорожного покрытия можно использовать интегральный коэффициент отражения. [2, стр. 153-154]

- Уплотнение однородного грунта, изучаемое в спец. дисциплине “Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна”

Уплотнение грунта приводит к его осадке, поэтому, зачастую, чтобы вычислить осадку используются формулы теории линейнодеформируемых тел. Вертикальная деформация элементарного объема линейнодеформируемого грунта толщиной dz , расположенного на глубине z от поверхности массива, равна

$$ds = \frac{dz}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

Взяв интеграл этого выражения относительно глубины сжатия, получим

$$S = \frac{1}{E} \int_z^0 [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] dz$$

Подставив значения σ_x , σ_y , σ_z в данное выражение, по формуле Буссинеска и проинтегрировав выражение, получим

$$S = \frac{P(1 - \nu^2)}{2\pi E} \left(\frac{2}{R} + \frac{1}{1 - \nu} \frac{Z^2}{R^3} \right)$$

Данное выражение характеризует осадку для любой точки однородного грунта. [1, стр. 156-157]

- Статистическая обработка результатов при определении количества цемента для укрепления грунта, изучаемая в спец. дисциплине “Технология строительства дорог”

Цементогрунт или грунт, укрепленный цементом, представляет собой искусственно созданный строительный материал, в котором грунтовые частицы связаны в монолит цементным камнем, взятым в количестве не менее 4 % и не более 20 % от общей массы. Статистическая обработка заключается в определении следующих показателей:

-среднеарифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

-среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

-коэффициент вариации:

$$C_v = \frac{100\sigma}{\bar{X}}$$

-средняя ошибка определения среднеарифметического значения величины:

$$m = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}$$

где t - гарантийный коэффициент, определяемый по интегралу вероятности Лапласа. [3, стр. 230]

Рассмотрим решение одной из задач с использованием определённого интеграла, которая применяется для нахождения расстояния.

Условие:

Скорость автомобильного крана с телескопической стрелой марки КС-35715 (МАЗ) изменяется по закону $v = 100 + 8t$ (где v выражается в м/мин). Какой путь пройдёт автомобильный кран за промежуток времени $[0;10]$?

Решение:

Взяв определённый интеграл данного выражения на промежутке $[0;10]$, получим

$$\int_0^{10} (100 + 8t) dt = \int_0^{10} 100 dt + \int_0^{10} (8t) dt = 100(10 - 0) + 8 \left(\frac{10^2}{2} - 0 \right) = 1400 \text{ м.}$$

Ответ: 1400 м.

Как видно из приведённых примеров, рассмотренных в предложенных спец. дисциплинах, применение интегралов при строительстве автомобильных дорог достаточно широкое.

Литература

1. Бабаскин Ю.Г. “Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна” (2015).
2. И.И. Леонович, С.В. Богданович, И.В. Нестерович. “Диагностика автомобильных дорог” (2011).
3. Ю.Г. Бабаскин, И.И. Леонович. “Технология строительства дорог. Практикум” (2010).
4. Материалы научно-технической конференции. “Дорожное строительство и его инженерное обеспечение” (2020).

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РУБЕРОИДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

студент В.В. Болтуцкий
(Научный руководитель А.В. Вавилов)
Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, boltik.2280kk@gmail.com

Использование старого асфальтобетонного покрытия позволяет использовать его для получения рубероида путем измельчения такого отхода в асфальтогранулят, дальнейшего его разогрева и нанесения на стекловолоконный холст.

Ключевые слова: асфальтогранулят; отходы; рубероид; стекловолоконный холст; шредер; валковая дробилка; конвейер; измельчение.

Проведение ремонтов и реконструкции автомобильных дорог увеличивает ежегодные отходы старого асфальтобетонного покрытия, которые свозятся на свалки и ухудшают экологию в целом. Чтобы избежать этого, можно повторно использовать старое асфальтобетонное покрытие для производства рубероида путем измельчения его в мелкий асфальтогранулят.

Рубероид – это рулонный кровельный гидроизоляционный материал, получаемый путем пропитки стекловолоконного холста мягкими нефтяными битумами с последующим покрытием обеих поверхностей слоем мелкоизмельченного асфальтогранулята [1].

Рубероид производится путем приемки асфальтогранулята, его дробления, разогрева в битумоварке и подачи в битумную ванну, где в дальнейшем стекловолоконный холст окунается в разогретый битум, отжимаются остатки битума, полученный рубероид посыпается минеральным порошком и остывает. На выходе всего этого процесса получаем готовый рубероид.

В комплект оборудования для производства рубероида входят (рис.1):

- питатель 1;
- конвейер 2, транспортирующий гранулят к молотковой или валковой дробилке;
- валковая дробилка 3;
- конвейер 4 подачи измельченного гранулята к битумоварке;
- битумоварка 5;
- битумный насос 6;
- стол размотки стеклохолста 7;
- ванна для пропитки стеклохолста 8;
- тэны для подогрева битума 9;
- тянущие валы 10;
- нож для формирования толщины рубероида 11;
- бункер посыпки минеральным порошком 12;
- сушилка 13;
- стол намотки готового рубероида 14;
- рулоны готовой продукции 15 [2].

Стол размотки 7 стеклохолста рубероида является неотъемлемой частью установки по производству рубероида и предназначен для вывешивания и равномерной размотки стеклохолста.

Стол намотки 14 рубероида предназначен для наматывания готовой продукции в рулоны 15.

Ниже приводится более подробное описание получения рубероида с использованием измельченного асфальтогранулята.

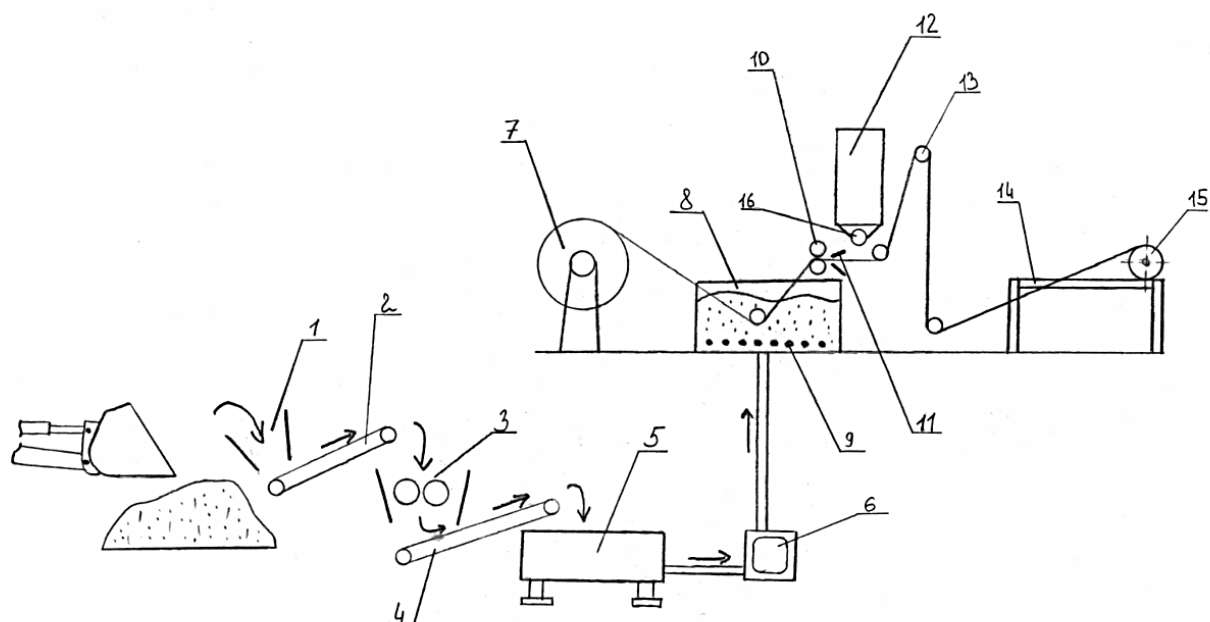


Рис. 1. Комплект оборудования для производства рубероида с использованием асфальтогранулята

Установка для получения рубероида представляет собой последовательное размещение ванны для пропитки стеклохолста 8, бункера посыпки 12, сушилки 13 и стола намотки готового рубероида 14. В нижней части ванны расположена группа ТЭНов 9, которые предназначены для поддержания необходимой температуры битума, поступающего из битумоварки 5. ТЭНы закрываются защитными кожухами. Сверху ванны 8 расположены тянущие валы 10 и нож 11 для формирования толщины готового полотна рубероида. Также сверху ванны 8 расположен бункер посыпки 12.

Принцип работы установки для производства рубероида заключается в следующем: стеклохолст поступает со стола размотки 7 и заряжается (примерно, как фотопленка в фотоаппарат) через ванну для пропитки 8 с помощью тянущих валов 10. В ванну 8 предварительно заливается горячий битум, напрямую из битумоварки 5. В бункер посыпки 12 засыпается минеральный порошок, (необходимый для определенного вида рубероида). Далее стеклохолст посредством тянущих валов 10 протягивается через пропиточную ванну 8, под бункером посыпки 12, благодаря чему и происходит процесс производства рубероида. И далее с помощью этих же тянущих валов 10 готовая продукция отправляется на стол намотки 14, где формируются рулоны 15 необходимой длины. Тянущие валы 10 приводятся в действие мотор-редуктором посредством цепной передачи. Цепь, через звездочки соединяет мотор-редуктор со всеми тянущими валами 10, включая вал посыпки 16.

Использование вторичного битума из измельченного асфальтогранулята выгодно даже по причине сохранения экологического равновесия.

Литература

1. Микульский В.Г. строительные материалы /В.Г. Микульский, Г.Н. Горчаков и др//М.1996,с.365-369. [Электрон. ресурс]: — Режим доступа: <https://delo1.com/rubero.php/>(19окт.2022).

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РУБЕРОИДА

студент А.С. Дадацкий
(Научный руководитель А.В. Вавилов)
Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

Одним из распространенных видов строительных отходов является отработанный асфальтобетон, содержащий битум и каменные материалы. Этот материал образуется при разборке асфальтобетонных покрытий при реконструкции и ремонтных работах на дорогах. Вторичное использование отходов асфальтобетона позволяет предотвращать их захоронение на полигонах и сокращать использование первичных природных ресурсов. [1].

Ключевые слова: отходы; асфальтобетон; вторичное использование; валковая дробилка; измельчение.

В соответствии с классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь, асфальтобетон от разборки асфальтовых покрытий относится к неопасным отходам. Поэтому предлагается использовать асфальтогранулят при получении рубероида. Для этого куски отработанного асфальта необходимо измельчить до фракции 1-2 мм. и подать полученную фракцию на линии производства рубероида.

В связи с этим предлагается исследовать процессы дробления отработанного асфальтобетона.

Установка для исследования включает

-Ленточный наклонный конвейер (для подачи отходов к шредеру).

-Шредер.

-Ленточный наклонный конвейер (для подачи фракции в валковую дробилку).

-Валковая дробилка.

Наклонный ленточный конвейер, установленный до выбранного шредера, обеспечивает бесперебойную подачу кускового асфальта для его измельчения.

Ленточный конвейер состоит из основных узлов: приводного барабана, привода конвейера (мотор-редуктор), натяжного барабана, узла натяжения, несущей ленточной части, опорных и поддерживающих роликов, рамы конвейера, изготовленной из сваренного металлопроката.

По такому же принципу устроен и установлен ленточный конвейер после шредера для транспортирования полученной фракции на второй этап дробления.

После первого конвейера устанавливается двухвальный шредер для измельчения асфальтобетона.

Шредер устроен и работает следующим образом (рисунок 1).

При загрузке отходов в загрузочный бункер (1) они захватываются ножами (2) в виде крюков и режущими дисками (3), смонтированными на двух валах,двигающихся навстречу друг другу и измельчаются до необходимой фракции. А боковые накладки (4) очищают ножи, диски и обеспечивают ссыпание материала вниз.

На кафедре МАДСК проведен эксперимент по дроблению кусков асфальтобетона разных размеров, на шредере со следующими техническими характеристиками (таблица 1). В результате установлено, что на выходе образуется фракция 0,8-20мм (рисунок 2).

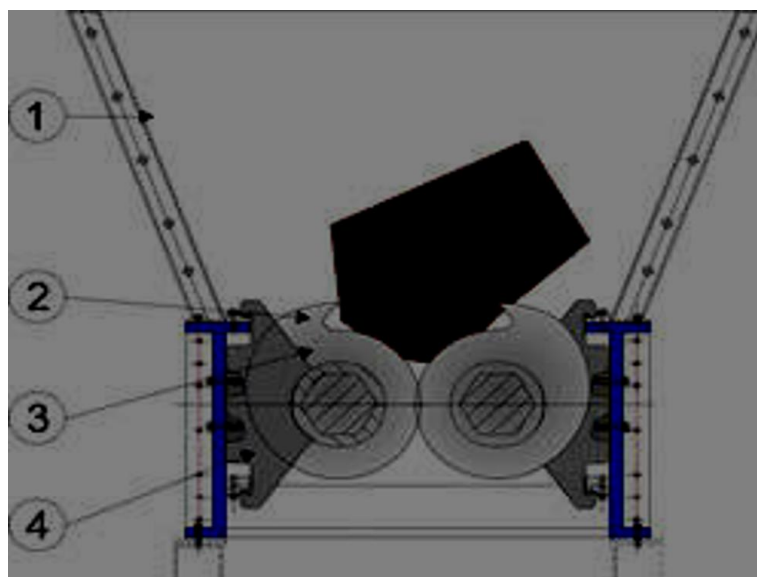


Рис. 1. Устройство двухвального shreddера

Таблица 1. Технические характеристики shreddера

Наименование показателя	Значение
Марка	ШРД-2
Тип	Двухвальный стационарный
Срок службы, лет	8
Диаметр ротора по ножам, мм	300
Длина рабочей части ротора, мм	700
Количество подвижных ножей, шт	58
Электродвигатель, тип	АИР
Установленная мощность, кВт	7,5
Габаритные размеры ДШВ, мм	500x500x100
Масса, кг	330



Рис. 2. Результаты измельчения кусков асфальтобетона на shreddере

Таблица 2. Технические характеристики валковой дробилки ДГ 400х250

Наименование показателя	Показатель
Размеры валков, мм:	
- диаметр	400
- длина	250
Максимальная крупность кусков загружаемого материала, мм	20
Ширина выходной щели, мм	1,0-12
Производительность, т/ч, не более	20
Мощность электродвигателя, кВт	2х3,0
Габаритные размеры, мм:	
- длина	1520
- ширина	1200
- высота	920
Масса, кг	1200

После шредера устанавливается валковая дробилка для доизмельчения и получения фракции до 1-2 мм. Благодаря высокой степени дробления и возможности простой регулировки зазора между валами, такая установка подходит для доизмельчения. Такое дробление достигается путем установки необходимого зазора между валами и подбором пружин по жесткости. Так же имеется система предохранения от поломки при попадании недробимых частей при помощи пружин. Подобрана валковая дробилка со следующими техническими характеристиками (таблица 2).

Таким образом возможно вторичное использование отходов асфальтобетона, что экономически выгодно и сохраняет экологию [2].

Литература

1. Вавилов А.В. О производстве гранулированных стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона из целлюлозосодержащих отходов / А.В. Вавилов, М.В. Севастьянов и др. // Автомобильные дороги и состы. N1. 2022. с. 117-123.

2. Вавилов, А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов / А.В. Вавилов, – Минск: Жилкомиздат, 2018. – 176 с.

УДК: 625.084

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЦЕВОЙ ПАССАЖИРСКОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГИ

магистрант Н.С. Игнатович
 (Научный руководитель А.А. Шавель)
 Белорусский национальный технический университет,
 пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

В статье рассматривается преимущество преодоления водных препятствий с помощью канатной дороги на реках Беларуси с быстрым течением. На возведение канатных дорог требуется значительно меньше финансов, чем на строительство мостов, что важно в условиях стеснённого финансирования.

Ключевые слова: подвесная канатная дорога; городской пассажирский транспорт; преимущества канатных дорог; канат.

В обстоятельствах возрастающих надобностей в транспортирование пассажиров и недостаточным развитием транспортной системы между городами появилась нужда проектирования и стройки пассажирской канатной дороги. [1]

В настоящее время в Республике Беларусь, в обстоятельствах возрастающей надобности в транспортировании пассажиров и недостаточном развитии транспортной системы между городами появилась нужда проектирования и строительстве ППКД. На дорогах появляется все больше и больше машин, следовательно, увеличение время ожидания. Практика показала, что городские ППКД давно перестали быть просто практичной заменой автомобилю, автобусу и метро. Канатные дороги имеют огромный потенциал для социального развития густонаселенных районов, как экономичное и в то же время легкое интегрируемое в уже существующей инфраструктуре города транспортное средство.

В неровных, малодоступных и поделенными водными препятствиями местностях ППКД является одним из самых экономичных и результативным видов пассажирского транспорта. Для ППКД не требуется сооружения мостов, тоннелей, реализации трудоемких планировочных работ на местности, а пространство под канатом можно применять для разных хозяйственных целей. Бесперебойная работа ППКД фактически не зависит от климатических условий, за исключением мощного ветра (больше 20 м/с) и обледенения каната и соприкасающихся с ним поверхностей. Движение происходит фактически беззвучно.

ПКД в отличие от наземных дорог характеризуются наличием подвесного каната, подвешенного на опорах, по которому происходит движение кабин.

ПКД служат для перевозок грузов и пассажирских. Существуют также грузопассажирские дороги. Особенно эффективными они оказываются в сильнопересеченной или густозастроенной местности. [2]

ПКД разделяются на следующие типы: двухканатные и одноканатные. В двухканатных дорогах имеются два рода канатов: несущие канаты, по которым передвигается кабина, и тяговый канат, с поддержкой которого производится движение кабин. Одноканатные подвесные дороги имеют только один канат – тяговый, к которому на станциях прикрепляются кабины и переносятся им между конечными пунктами. [3]

Городской пассажирский транспорт общего пользования является важнейшим элементом транспортной системы, который обеспечивает ежедневную транспортную подвижность двух третей населения Беларуси. В реальное время внутригородские перевозки осуществляются разными видами транспорта – трамваем, троллейбусом, автобусом, метрополитеном, маршрутными и легковыми таксомоторами, а также электропоездами. При довольно высокой допустимой возможной скорости движения этих средств, которая может быть обеспечена применяемыми двигателями, средняя скорость перемещения пассажиров, тем не менее, оказывается гораздо ниже в итоге характерных для урбанизированной среды недостатков образования транспортного потока – наличия светофоров, перекрестков, «пробок», случаев дорожно-транспортных происшествий, ремонта дорожного полотна, прокладки подземных коммуникаций и др. Эти обстоятельства не только замедляют перемещение пассажиров, но и делают фактически немислимым проектирование ими времени нахождения в пути. [4]

Сказанное вычисляет востребованность исследовательских и прикладных исследований перспектив и требований внедрения нынешней инновационной нанотехнологии надземных грузовых перевозок на предпосылке подвесных грузовых канатных тропинок. Это также обусловлено тем стечением, что пассажирский монорельсовый транспорт в предпоследнее время начали активно применить как социальный автотранспорт для урбанизированной среды.

При сравнение канатной дороги с другими видами городского транспорта по ряду основных показателей позволяет сформулировать следующие преимущества канатного метро: [4]

- не высокая стоимость проезда относительно других видов городского транспорта;
- скорость (до 40...50 км/ч);
- отсутствие потерь времени в пробках;
- отсутствие дорожно-транспортных происшествий;
- относительные энергозатраты на перемещение;
- хорошо вписывается в архитектуру города;
- не требуется проведение объемных земляных работ;
- значительная часть площадей посадочных станций может быть передана в аренду и использована в коммерческих целях.
- устойчивость к воздействию неблагоприятных климатических факторов и стихийных бедствий.
- невысокая стоимость строительства;
- не высокая стоимость проектирования;
- стоимость строительства трассы в 2-5 раз дешевле других видов общественного транспорта;
- наименьший удельный расход и наибольший коэффициент использования энергии на перевозку 1 пассажира;
- экономия затрат на перемещение на основе внедрения энергоэффективных технологий и независимости от нефтепродуктов; комфорт и безопасность перемещения.
- движение над землей без пересечения с трассами других видов городского общественного транспорта.

В Беларуси канатный транспорт может быть использован в туристической отрасли, в сельскохозяйственном производстве, для преодоления водных и болотных препятствий.

Литература

1. Игнатович, Н. С. Анализ использования канатного транспорта / Н. С. Игнатович; науч. рук. А. А. Шавель // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений [Электронный ресурс]: материалы V Международной студенческой конференции /редкол.: С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 409-412.
2. Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса [Электронный ресурс]: материалы 76-й студенческой научно-технической конференции / редкол.: А. В. Вавилов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020.
3. А. В. Вавилов, А. А. Шавель, Н. С. Игнатович // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 179-182.
4. Лагереv А.В., and Лагереv И.А.. "Перспективы внедрения инновационной технологии надземных пассажирских перевозок на основе подвесных пассажирских канатных дорог для модернизации системы общественного транспорта города Брянска" Научно-технический вестник Брянского государственного университета, № 2, 2017, стр. 37-52.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ДОБАВОК В АСФАЛЬТОБЕТОН ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

магистрант А.Ю. Чернышенко
(Научный руководитель А.В. Вавилов)
Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

В статье говорится о решении задач по созданию оборудования для производства востребованного продукта - стабилизирующих добавок в асфальтобетон из целлюлозосодержащих отходов.

Ключевые слова: стабилизирующие добавки; щебеночно-мастичный асфальтобетон; целлюлозосодержащие отходы; технологический комплекс.

В Беларуси активизировалась работа по снижению нагрузки на свалки образуемых отходов. Поставлена задача по превращению отходов в востребованные вторичные продукты. Одним из востребованных продуктов для дорожной отрасли являются стабилизирующие добавки в асфальтобетон.

По-прежнему при строительстве твердых покрытий автомобильных дорог используется асфальтобетон.

Наиболее перспективным материалом для возведения сети современных автомобильных дорог является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), который обладает рядом значительных преимуществ по сравнению с традиционными асфальтобетонами. Основным структурообразующим компонентом такого асфальтобетона является гранулированная стабилизирующая добавка, которая вводится в состав щебеночно-мастичной смеси с целью обеспечения стабильности состава смеси при ее транспортировке к месту укладки. Большая удельная поверхность стабилизирующей добавки адсорбирует большую часть свободного битума, что предотвращает его стекание с поверхности нагретых каменных материалов при перевозке смеси автомобилями-самосвалами[1]. Армирующие свойства добавки, в конечном итоге, способствуют упрочнению поверхностного слоя дорожного покрытия[2].

Для существенного снижения затрат на производство стабилизирующей добавки предлагается использовать целлюлозосодержащие отходы, образуемые в нашей стране в большом количестве, которые необходимо задействовать для производства полезных продуктов. Поэтому был создан технологический комплекс по производству таких добавок (рис. 1).

Функционирование технологического комплекса для переработки целлюлозосодержащих отходов (ЦСО) и их гранулирования с минеральными добавками и связующими включает следующие технологические операции: складирование исходных ЦСО; дозирование и их транспортирование к шредеру; двухстадийное измельчение отходов с введением в измельченный материал после шредера механоактивированных минеральных добавок; осаждение измельченных ЦСО в аспирационной системе; гранулирование композиционной смеси в плоскоматричном грануляторе с последующей сушкой и классификацией готового продукта в барабанно-винтовом сушильном агрегате [3]; транспортирование добавки для их последующей упаковки; взвешивание и складирование гранулированной стабилизирующей добавки (ГСД).

Технико-экономический результат разработанной технологии заключается в получении качественных гранул с различными физико-механическими характеристиками при постадийном высокоскоростном смешении поликомпонентной шихты, ее

предуплотнении и экструдировании с организацией рециклинга тепловых потоков и утилизации просыпи гранул путем пневмо-механического гранулирования [4].

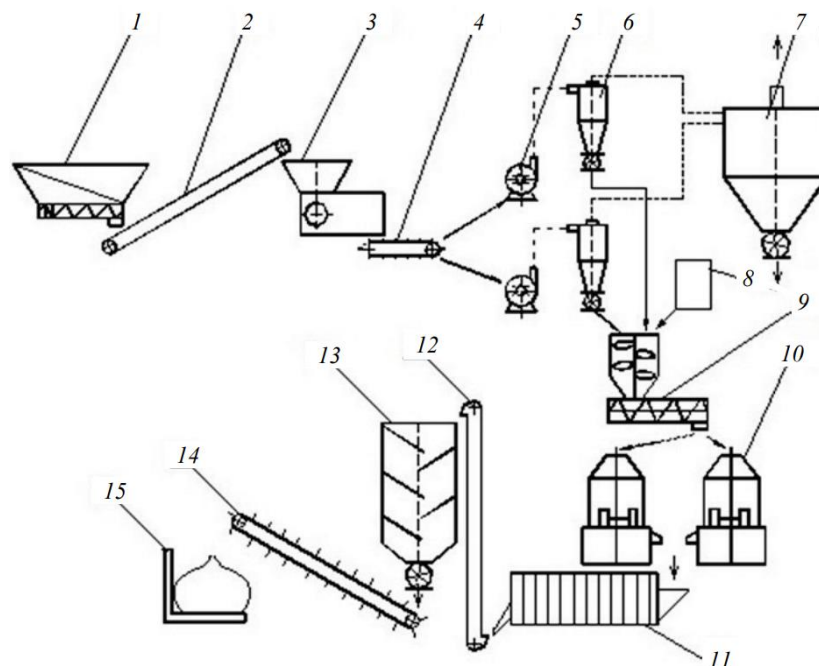


Рис.1. Технологический комплекс по производству гранулированных стабилизирующих добавок:
1 – наклонный стол подачи материала; 2 – ленточный конвейер с магнитоуловителями;
3 – приемный бункер шредера; 4 – скребковый объемный дозатор ЦСО; 5 – роторная дробилка; 6 – циклон-разгрузитель; 7 – рукавные фильтры; 8 – бак; 9 – система смесителей; 10 – камера экструдирования плоскометричного гранулятора; 11 – барабанно-винтовой сушильный агрегат; 12 – загрузочный бункер нории; 13 – бункер-запасник с роторным шлюзовым разгрузителем; 14 – скребковый конвейер; 15 – платформенные промышленные весы.

Стоимость зарубежных гранулированных фиброапполннителей составляет порядка 1700...2500 р. за 1 т, что существенно удорожает использование ЩМА. Кроме того, только 35 % технических волокнистых материалов идет на вторичную переработку (в Японии, например, более 75 %).

Ожидаемый экономический эффект от внедрения ресурсосберегающего технологического комплекса производительностью 250 т ГСД в год составит около 500 р. Срок окупаемости капитальных вложений – 3,1 года. Чистая прибыль на единицу выпускаемой продукции при оптовой цене (без учета НДС) составит 300 р. Рентабельность выпускаемой продукции – 34 %.

Производство добавок из отечественного сырья по разработанной технологии с использованием патентозащищенного оборудования позволяет снизить продажную стоимость добавки на 20 – 30 %.

Литература

1. Патент РБ 16626, МПК С 04В 16/06. Стабилизирующая добавка для приготовления щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси. Г.В. Чепцов, Я.Н. Ковалев, Д.Г. Игошкин, С.С. Будниченко. Заявитель и патентообладатель БНТУ. Заявлено 17.02.2011, опубл. 30.10.2012.
2. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона // ФГУП «Союздорнии». – М., 2002. 36 с.
3. Глаголев С.Н. Тепловой анализ технологической линии по экструдированию и сушке техногенных волокнистых материалов / С.Н. Глаголев, В.С. Севостьянов и др. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2. 2015. С.78-83.

4. Патент РФ № 2538579, В01F 13/10. Устройство для пневмомеханического гранулирования техногенных материалов. Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Емельянов Д.А., Кошуков А.В.; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. заявл. 12.08.2013; опубл. 10.01.2015 Бюл. № 1. 6 с.

УДК 624.21

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТРАНСПОРТНОМ ТРОИТЕЛЬСТВЕ. ЯПОНИЯ И ДРУГИЕ СТРАНЫ

студент А.Ф. Гомолко, студент Д.В. Кузьмич
(Научный руководитель В.А. Ходяков)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, xva609@gmail.com

Объектом исследования является раскрытие области применения композитных материалов в мостовом строительстве разных стран, а также других отраслях. Опыт работы конструкций из композитных материалов и некоторые особенности композитов, а также экономическое сравнение конструкций из композитных материалов. Рассмотрены как отдельные конструкции из композитов, так и мостовые сооружения в целом в Японии, Канаде, Российской Федерации, а также опыт применения в нашей стране. Описана модель цельнокомпозитного решетчатого пролетного строения из пултрузионных стеклопластиковых профилей, созданная в 2010 г. на кафедре «Мосты» СГУПС. Некоторые композитные материалы используются на практике около 20, но это не останавливает развитие данной области, исследования ведутся и по сей день. С целью повышения и так хороших показателей композитов, так и с целью доработки недостатков композитных материалов.

Ключевые слова: composites; composite materials; composite structures; japan; bridges; construction; transport.

Внедрение композитных материалов в мостостроении актуально как никогда. Современные полимерные композиты и изделия из них находят применение в строительстве транспортной инфраструктуры. В данный момент в мире все больше традиционных материалов заменяются полимерами и композитами, что неудивительно, ведь полимеры обладают рядом преимуществ. Они не утяжеляют конструкцию, обладают достаточно высокой прочностью и стойкостью к агрессивным воздействиям окружающей среды, не подвержены коррозии и в случае проведения ремонтных работ отпадает необходимость останавливать движение по мостам.

Япония уже начиная с 90-х годов прошлого века строит целые мосты с использованием FRP (Glass fiber reinforced plastic) и довольно преуспела в строительстве «пластиковых» мостов. Актуальность возведения таких мостов довольно высока, так как окружающая среда довольно агрессивна. Солёная вода, большая влажность, газы и накопления от автомобильных дорог негативно сказываются на состоянии железно-бетонных мостов, но не так сильно сказываются на мостах из композитных материалов.

В настоящее время по всему миру насчитывается уже более 400 мостов с использованием полимерных композиционных материалов и с каждым годом это число увеличивается, что доказывает полезность данных конструкций.

В Беларуси хорошо развита химическая промышленность, на базе которой можно создавать составляющие композитных материалов и изделия из них, что позволит заменить дорогие металлические конструкции на более дешёвые материалы из пластика. Так же

использование композитных материалов довольно экологично, что сейчас немаловажно. Композиты нетоксичны для человека и природы, а срок их службы составляет от 50 лет.

Япония – страна контрастов, место, где могут сочетаться и древние традиции, и современные тенденции. Здесь можно встретить как небольшие традиционные мосты, украшающие парки и сады, так и огромные современные мосты связывающие острова. Значение мостов здесь велико, они фактически соединяют страну, разбросанную по островам, в единое целое. Волнистый силуэт мостов, характерный для японского мостостроения, объясняется не только потребностью прохождения под ними высоких судов, но и эстетическими представлениями. Япония расположена в вулканической зоне Тихоокеанского огненного кольца. Японские острова делятся на три района - остров Хоккайдо, северо-восточная часть остров Хонсю, юго-западная часть остров Хонсю, острова Сикоку и Кюсю и архипелаг Рюкю. На территории всех островов происходят подземные толчки и периодическая вулканическая деятельность. Почвы Японии малоплодородные. Их свойства тесно связаны с географией местоположения, а также с геоморфологическими свойствами. В горной местности преобладают маломощные почвы, которые подвержены механическим нарушениям строения почвенного профиля под влиянием землетрясений. На аллювиальных равнинах почвы более высоких террас часто выщелочены и вообще неплодородны, а более низких террас и пойм – отличаются тяжелым механическим составом и слабо дренированы. На островах Сикоку, Кюсю и на юге Хонсю сформировались желто-красные ферралитные и ферсиаллитные кислые почвы. На востоке Хонсю преобладают буроземы. В условиях прохладного и влажного климата Хоккайдо и северного Хонсю формируются горные буроземы, пеплово-вулканические многогумусные кислые аллофановые (андосоли) и выщелоченные коричневые почвы. По гидрологии Япония разделена на систему артезианских бассейнов, которые представляют собой небольшие впадины с кайнозойским выполнением. Подземные воды ультрапресные. Палеогеновые и миоценовые отложения артезианских бассейнов описываются слабой водоносностью и проницаемостью. Плиоценовые пески и песчаники обладают большей водоносной способностью. Для всего разреза неогеновых отложений характерно распространение минерализованных (от 3 до 35 г/л) подземных вод.

Стекловолокно и перспективы его применения

В связи с растущими требованиями к качеству, долговечности и стоимости бетонных конструкций, на рынке материалов появилась неметаллическая арматура, состоящая из: базальтовых, стеклопластиковых, углепластиковых, арамидных, полимерных и других волокон. Область применения стеклопластика обширна. Используется в мостостроении, в дорожном строительстве для сооружения насыпей, устройства покрытий, для элементов дорог, которые подвергаются агрессивному воздействию противогололёдных реагентов, для железнодорожных переездов. Также применяется для укрепления откосов дорог, в строительстве мостов для проезжей части, пролётных строений, опор.

Стекловолокно (Рис.1) — это быстро вытягиваемая нить из расплавленного стекла. В зависимости от компонентов сырья ее можно разделить на щелочные, безщелочные, среднещелочные и специальные стеклянные волокна, такие как волокна с высоким содержанием кремнезема, кварца и так далее. Изделия из стекловолокна (армированный стекловолокном холст) — это в основном слой из стекловолокна, войлока и специальной трехмерной оболочки. Существуют различные технологии плетения стеклонитей. К примеру, расплавленное стекло определенного состава экструзируется на тончайшие нити, их n -ое количество, которые связываются между собой специальной пропиткой. Используются связующие смолы, на основе которых после соответствующей химико-технологической обработки образуется полимерная матрица, определяющая физико-химические свойства и эксплуатационные качества стеклопластика. Композитные материалы, армированные стекловолокном, благодаря их легкости, коррозионной стойкости, изоляции и другим характеристикам, могут широко использоваться в

строительстве транспортных сооружений, автомобильном строении, химической промышленности и других областях.

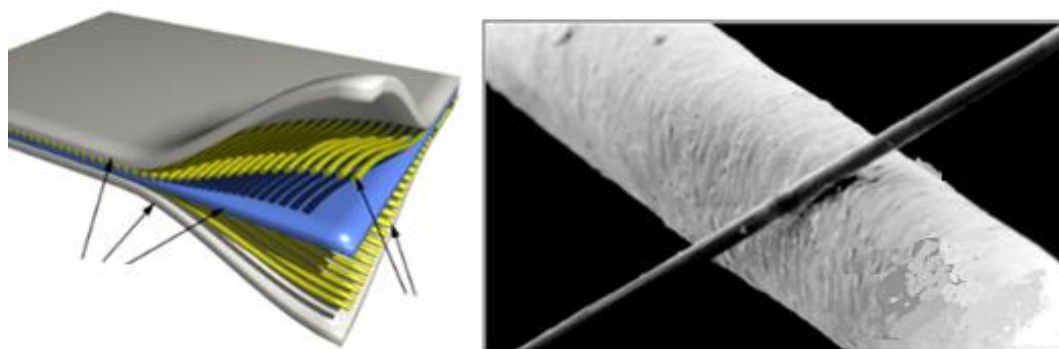


Рис. 1. Композитная арматура, армированная стекловолокном

В связи с растущим рыночным спросом на стекловолокно и иные композитные материалы в области автомобильной промышленности, был сделан большой шаг в развитии промышленности стекловолокна. Некоторые новые процессы и новые продукты, появившиеся в последние годы, такие как термопласты, армированные длинным волокном, листы из термопластов, армированные стекловолокном (СМТ), и программируемые процессы предварительной формовки порошка (процессы Р4), разработаны для автомобильной промышленности.

В долгосрочной перспективе укрепление и трансформация инфраструктуры на Ближнем Востоке и в Азиатско-Тихоокеанском регионе значительно увеличили спрос на стекловолокно. В связи с растущим глобальным спросом на стекловолокно в модифицированных стекловолокном пластмассах, спортивном оборудовании, аэрокосмической промышленности и других аспектах перспективы отрасли стекловолокна по-прежнему оптимистичны. Кроме того, область применения стекловолокна была расширена на рынок ветроэнергетики, что может стать крупным толчком для будущего развития стекловолокна.

Согласно последним прогнозам, обусловленные глобальным промышленным ростом, среднегодовые темпы роста использования стекловолокна составили 7%. Общая стоимость мирового рынка материалов, армированных стекловолокном, достигает 7,7 миллиардов долларов США. Глобальный рост населения и изменение климата обуславливает использование композитных материалов из стекловолокна, которые обладают легкостью, ударопрочностью, долговечностью и высокой прочностью.

Композиты в строительстве мостов Японии

В 1990 году Япония построила целый мостовой переход (Рис.2) с использованием FRP (Glass fiber reinforced plastic) и при поддержке RIPW (Научно-исследовательский институт общественных работ).

Построенный экспериментальный мост стал образцом наблюдения за поведением в нем как арматуры из углепластика, так и из стекловолокна. Этот мост имеет пролёт у береговых опор 4,5 м.

Основной пролет между промежуточными опорами составляет 11,0 м, высота пролета- 2,0 м. В конструкции вес каждого компонента составляет менее 150 кг. Для соединения используются болты FRP диаметром 16 мм. Опоры моста, пролетные балки и поручни — все это профили из стекловолокна, укрепленные внешним армированием в виде углепластиковой арматуры, которая предохраняет основную арматуру моста из стеклопластика при перспективном росте нагрузки на пролетные строения мостового сооружения.



Рис. 2. Мост с применением полимерных композитных пластмасс

В 2000 году было завершено строительство моста FRP в Японии. После наблюдения за поведением такого моста было принято решение о строительстве пешеходного моста из композита в провинции Сагами (Рис.3), на который действуют и агрессивные среды в виде соленой воды, и в виде газов и накоплений от автомобильной дороги.

Бюджет проектов немного выше, чем у обычных мостов, примерно на 10%, но на момент завершения было установлено, что стоимость строительства примерно эквивалентна стоимости обычных стальных и смешанных мостов. Причина в том, что стоимость строительства моста из стеклопластика выше, по сравнению с обычным мостом. Но если учесть то, что содержание FRP-моста намного дешевле и срок службы таких мостов больше, то мосты из композитных материалов будут в перспективе иметь большую выгоду вложенных в них денежных средств, а также не требовать своего частого обслуживания.



Рис. 3. Мост в провинции Сагами

Применение стекловолокна в мире

Мост через реку Нипигон (Канада) является первым вантовым мостом в системе автомагистралей Онтарио и первым вантовым мостом в мире, в котором используется армированное стекловолокно полимерного железобетона (GFRP-RC) (Рис.4). Этот вид GFRP изготовлен из винилэфирной смолы и не содержит бора E-стекловолокнистый композит (низкой электрической проводимости).



Рис. 4. Бетон, армированный стеклянным волокном

Бра Бенмокрейн, профессор гражданского строительства в Университете Шелбрука, помог проекту воплотиться в жизнь. Он считает, что использование GFRP-RC для строительства 252-метрового настила для моста является инновационным и необходимым. Поскольку мост является единственным транспортным сооружением из восточной Канады на запад, остановка и техническое обслуживание заставят водителей свернуть на юг и проехать через Соединенные Штаты. Поэтому вместо того, чтобы использовать контрфорсы для укрепления моста, инженеры выбрали конструкцию вантового моста.

Однако с инженерной точки зрения вантовые мосты гораздо сложнее проектировать, чем традиционные мосты, поскольку они выдерживают давление до 9000 фунтов на квадратный дюйм. Бенмокрейн сказал, что, когда бетон начал разрушаться, было логически невозможно отремонтировать настил вантового моста.

Бенмокрейн и его команда изучили и построили восемь участков настила из GFRP-RC, два обычно усиленных участка и проверили на них воздействие нагрузок. Ребра из стекловолокна, соединенные концами с высокопрочным волокнистым железобетоном шириной 220 мм (UHPRC), показали, что на практике они обладают высокой прочностью на растяжение и модулем упругости, а также при проверке не проявили явных трещин.

Bot Construction и Ferroviai Agroman, две строительные компании, ускорили процесс строительства, предварительно отлив плиты настила и соединив их. После строительства настила моста Bot и Ferroviai изготовили в общей сложности 182 стальных свай глубиной заложения от 50 до 70 метров для монолита нижней конструкции опор. Затем они установили сборный центральный пилон. Пилон соединён с мостом 66 стальными вантами.

Бенмокрейн отмечал, что этот мост является знаковым достижением для индустрии композитных материалов, поскольку ожидается дальнейшее расширение рынка композитных материалов. На Международной конференции по мостостроению, проходившей в Нэшнл-Харбор, штат Мэриленд, Бенмокрейн представил конструкцию

этого моста и преимущества FRP. Он сказал, что был очень счастлив: “Основываясь на полученных мною отзывах, я действительно надеюсь, что в будущем мы сможем увидеть больше мостов по всему миру, использующих этот метод усиления. Эти мосты очень экономичны, элегантны и имеют высокую эстетическую ценность.”. Он уверен в том, что такие конструкции, как мост через реку Нипигон, могут открыть двери для многих композитных материалов.

Первоначальная стоимость бетонного моста, армированного ребрами из стекловолокна, почти такая же, как у бетонного моста, армированного композитными холстами или оцинкованной сталью. Цена арматуры из нержавеющей стали также в 2-4 раза выше, чем у арматуры из стекловолокна.

К настоящему времени насчитывается уже более 400 мостов с использованием полимерных композиционных материалов. Эти мосты представлены разнообразными конструктивными решениями – фермы, арки, вантовые и висячие конструкции, при чем композиты применяются в различных по характеру работы несущих элементах – раскосы, стойки, подвески, балки, гибкие и жесткие ванты, плиты проезжей части и другое.

В 2010 г. на кафедре «Мосты» СГУПС были проведены теоретические исследования цельнокомпозитного решетчатого пролетного строения из пултрusionных стеклопластиковых профилей, запроектированных по аналогии со стальными фермами. Такие конструкции стали популярны при строительстве пешеходных мостов из полимеров в России. Однако на практике выявились различные недостатки и потребовалась модернизация.

На основании проведенного анализа были сформулированы следующие рекомендации по совершенствованию конструктивного решения:

- 1) конструкции проходной (проезжей) части необходимо включать в работу с фермами для увеличения общей жесткости пролетного строения;
- 2) для возможности применения пролетных строений в автомобильных мостах целесообразно организовывать движение нагрузки сверху;
- 3) в качестве основы для модернизации следует рассматривать деревянные конструкции традиционных конструктивных схем;
- 4) несущие элементы ферм должны быть небольшого размера (длиной до 2 м), что позволит проектировать компактные соединения благодаря небольшим по величине усилиям;
- 5) соединения должны быть надежными, технологичными и исключать подвижки элементов.

После разработки и расчета в итоге создали опытное гибридное по материалу пролетное строение (Рис.5). За основу были приняты многораскосные решетчатые фермы системы «Тауна» поверху которых было решено устроить железобетонную плиту и включить ее в совместную работу с фермами. Такое решение позволило обеспечить требуемую жесткость пролетного строения при высоте сопоставимой с типовыми железобетонными балками, а в монтажных соединениях стеклопластиковых элементов отказаться от металлических фасонек.

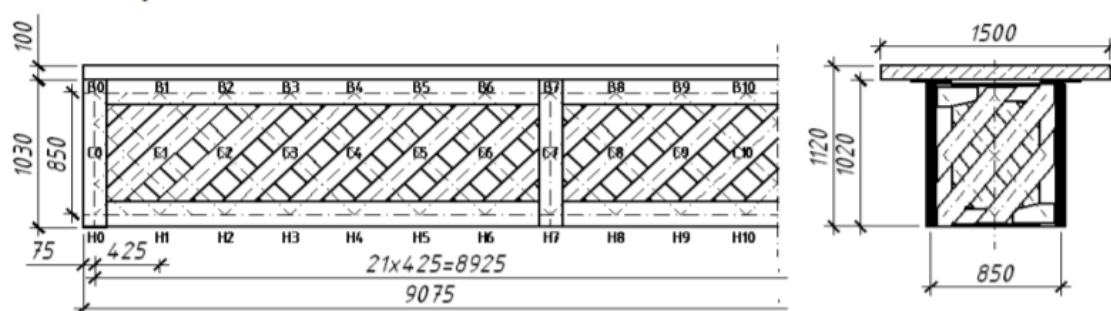


Рис. 5. Схематическое опытное пролетное строение

После испытаний воздействием кратковременной нагрузки конструкция показала, что работает упруго, зафиксированные остаточные деформации не превышают предельно допустимых значений. По результатам анализа динамических параметров конструкции выявлено снижение декремента затухания собственных колебаний после испытаний на 34 % в вертикальной плоскости и 23 % в горизонтальной. Причиной снижения жесткости являются неплотности в соединениях на обычных болтах, которые приводят к подвижке стеклопластиковых элементов, и конструкция жестких упоров не в достаточной мере обеспечивающая упругое включение плиты в совместную работу с фермами и не позволяющая воспринимать усилия, «отрывающие» плиту от ферм.

По результатам исследования сформировали и на практике скорректировали модель расчета композитной конструкции и обосновали возможность применения гибридной конструкции на пешеходных и автодорожных мостах.

Композитные материалы и их применение в Беларуси

Использование композитных материалов стоит расширять в нашей стране, так как у каждого вида композита, будь то стеклопластик или углепластик, свои особенности, одни хорошо работают в агрессивных средах, а другие не могут длительно эксплуатироваться в таких же средах, у одних малая жесткость, а у других сопоставимая или превосходящая жесткость металлических стержней, поэтому стоит тщательно подбирать материал исходя из места и условия его применения, а также физико-химических характеристик композитов. Всё же основным аргументом в применении композитов является экологичность самих материалов, сырья для их производства и сама технология производства композитов. Композиты при их эксплуатации являются нетоксичными для человека и в конструкциях срок службы составляет около 50 лет и более. Так как материал создан полностью искусственно, то можно в таком случае регулировать процесс его разложения, тогда такой материал не составит труда утилизировать или использовать повторно в другом виде, к примеру в виде армирующих волокон в бетонный камень.

В нашей стране имеются примеры применения углеродных холстов и других видов композитов. При реконструкции моста через реку Воложинка по трассе М6 было применено локальное усиление мест, подверженных разрушению балки пролетного строения, с приклеиванием таких холстов и приклеиванием их на эпоксидную смолу (Рис.6). При ремонте некоторых мостов Беларуси иногда используют плиты ездового полотна из композитов, которые хорошо себя зарекомендовали при эксплуатации в соседних странах и странах Запада и Востока.

Из практики заметно, что реализация стеклопластиковой арматуры происходит по схожей цене с металлической арматурой. Производители гарантируют высокую прочность, превосходящую почти в 2 раза металлическую арматуру, однако неметаллическая арматура имеет малую жесткость, о чем свидетельствует её поставка в скрученных бухтах, что не позволяет добиться жесткости в бетонных конструкциях, также очень опасным фактором служит щелочная среда, где стекловолокно буквально рассыпается при незначительной нагрузке и пропадает сцеплением с бетоном. Так как при гидратации цемента pH бетона может достигать 12 единиц, поэтому следует рассматривать другие виды неметаллических арматур, которые превосходят по прочностным показателям и химическим воздействиям.

В общем и целом, производство и использование композитных материалов актуально. За последние 30 лет изделия из композита уже рассчитаны как в отдельных конструктивных элементах, так и в целом сооружении и опробовано на практике. При этом разработка новых материалов не стоит на месте, и предлагаются новые решения и конструкции. В работе не раз доказана долговечность и удобство использования композитных материалов, поэтому их начальная стоимость не должна стать отталкивающим фактором при выборе материалов для сооружения.

При исследовании FRP мостов Японии стоит подчеркнуть стойкость использованных материалов к агрессивным средам и их долговечность. Это и будет ещё

одним аспектом сравнения железобетонных мостов и стальных мостов с мостами из композитных материалов при строительстве новых мостовых переходов.



Рис. 6. Локальное армирование балки моста

Так как в Беларуси имеются заводы по производству полимеров, то внедрение относительно новых технологий создания композитов не составит больших затрат, поэтому следующей задачей станет поиск инвестиции на модернизацию заводов под изготовление конструкций и элементов конструкций на основе этих материалов. Модернизация производства снизит цену для реализации материалов и конструктивных элементов потребителям нашей страны и странам, расположенных рядом с нами, а также откроется новый рынок для реализации таких продуктов.

По результатам исследования и апробирования можно сделать вывод, что внедрение композитных материалов действительно целесообразно и актуально с точки зрения уменьшения цены сооружения в долгосрочном периоде и увеличения срока службы конструкции.

Литература

1. Российская национальная нанотехнологическая сеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_application/bridge_apatech/. – Дата доступа 30.11.2019
2. Статья про мосты из композитов отдельных Японских сооружений и мостов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fanwen.geren-jianli.org/726748.html>. – Дата доступа: 07.29.2020
3. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» том 9 выпуск №2 март-апрель 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: naukovedenie.ru/PDF/81TVN217.pdf. – Дата доступа 01.08.2019
4. Еженедельник Объединенного института ядерных исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jinrmag.jinr.ru/win/2010/43/mo43.htm>. – Дата доступа: 21.12.2019

5. fx361 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fx361.com/page/2018/0514/6250243.shtml>. – Дата доступа: 27.12.2018
6. Fanwen geren jianli [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fanwen.gerenjianli.org/726748.html>. – Дата доступа: 07.29.2018
7. Электронная библиотека Белорусско-Российского университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e.biblio.bru.by/bitstream/handle/1212121212/8368/9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. – Дата доступа: 20.10.2021
8. Патент 4082 РБ, МПК7 Е 04 С 2/28. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин, А.В. Носарев, С.К. Павлюк, А.В. Семенов, В.А. Попковский, А.А. Филатенков; заявитель и патентообладатель Могилевский машиностроительный институт. - № 970421; заявл. 29.07.97; опубл. 19.04.01, Бюл. № 3. - 3 с.: ил.
9. Патент 2181406 РФ, МПК7 Е 01 Д 12/00, Е 04 С 2/24. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин, А.В. Носарев, С.К. Павлюк, А.В. Семенов, В.А. Попковский, А.А. Филатенков; заявитель и патентообладатель Могилевский машиностроительный институт. - № 97121947; заявл. 29.07.97; опубл. 20.04.02, Бюл. № 11. - 6 с.: ил.
10. Кузменко И.М. Новые направления в конструировании композиционных структур с высокой экономической эффективностью и несущей способностью / И.М. Кузменко, В.А. Попковский, А.В. Семенов, В.М. Фридкин // «Nove smery vo vyrobnych technologiach». Сб. статей IV межд. конф. - Presov, 1999. - С. 83-86

УДК 624.21

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ

студент Ю.В. Кулаго
(Научный руководитель В.А. Ходяков)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, xva609@gmail.com

Объектами исследования являются нововведения в проектировании и строительстве мостовых сооружений. Целью работы стала изучение ранее исследуемых автором инноваций в строительстве и архитектуре всемирных мостовых сооружений. В основу работы положены результаты многолетних исследований, описываемые в предыдущих работах автора «Инновации в строительстве мостов», «Беспилотные летательные устройства в проектировании и строительстве мостов» и «Инновации в строительстве мостов Сингапура». В результате исследования были выявлены особенности современных методов проектирования и строительства мостовых сооружений. Нет сомнения, что в ближайшем будущем описанные в работе инновации в проектировании и строительстве будут внедряться и на территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: архитектура; инновации; строительство; беспилотные летательные аппараты.

21 век – век новых технологий. Технологии появляются и в мостостроении. Задача данных технологий состоит в том, чтобы облегчить работу инженерам. Также благодаря инновациям в данном вопросе улучшаются не только технические характеристики, но и видовые, два данных факта и отразятся в работе.

В Республике Беларусь вопрос новых технологий в строительстве и проектировании мостов не стоит на месте, он только начинает набирать охват. Белорусские проектировщики начинают активно внедрять беспилотные летательные аппараты, что в будущем даст стране новые высокотехнологичные проекты в строительстве и не только.

Описанные в работе уникальные сооружения также в дальнейшем могут помочь белорусским архитекторам и строителям реализовать новые идеи и технологии.

Новый век – новые технологии. Строительство мостов, как и других транспортных объектов, не стоит на месте. Усовершенствуются технологии строительства, а также архитектурного проектирования. Появление нейронных сетей способствует развитию данных технологий. Инновации строительства и других сфер, любой желающий может лично увидеть на выставке «Ехро 2020 Dubai», которая проходит в период с 1 октября 2021 года по 31 марта 2022 года. Республика Беларусь также представила свои новые технологии на данной выставке.

Как же нейронные сети помогают в строительстве мостов?

Всемирная компания «Sund & Vælt», отвечающая за техобслуживание мостов, совместно с Microsoft работали над внедрением инновационного решения, сочетающего в себе гибкость дронов и силу нейронных сетей. Они используют беспилотники для полетов над мостами и создают огромное количество изображений бетонной конструкции — это метод более безопасный и быстрый, чем обычный сотрудник будет свисать на огромной высоте над землей и делать данные снимки вручную. Работники, в свою очередь, используют свои знания для обучения машинного алгоритма, способного быстро и качественно работать и автоматически находить трещины на поверхности бетона, далее загружать фото в облако сети. Нейронные сети сами создадут список областей, которые могут вызвать беспокойство экспертов.

Какие еще инновации и технологии есть в строительстве мостов? Рассмотрим на примерах.



Рис. 1. Внешний вид беспилотного устройства

Перекрывающийся мост в Лондоне

Данный мост находится в Лондоне, в районе Паддингтон. Это пешеходный мост. Его длина составляет всего 12 метров.

Он был спроектирован в 2005 году Томасом Хизервиком, по его словам, все разводные мосты выглядят как сломанные в разведенном состоянии, он же хотел удивить, сделать непримечательный мост чем-то удивительным, данный проект принес ему в том же году престижную архитектурскую премию.

Свое название мост получил благодаря своим необычным, в каком-то роде уникальным свойствам, он может складываться и раскладываться, делает это мост

регулярно. Он был спроектирован данным образом для того, чтобы пропускать небольшие суда через канал, для этого мост активирует свои гидравлические поршни и скручивается в восьмиугольник. Время, за которое мост полностью сворачивается, составляет 3 минуты.

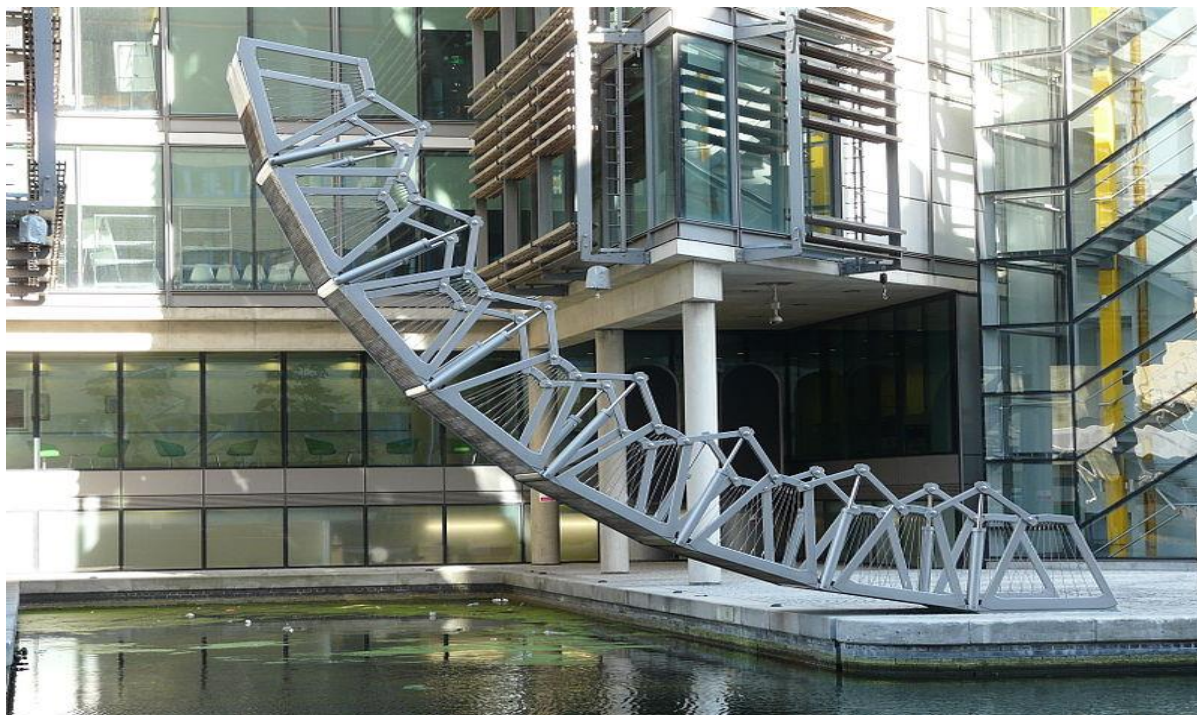


Рис. 2. Перекрывающийся мост во время складывания

Мост «Хеликс» в Сингапуре

В Сингапуре создана система быстрого освоения инноваций. Благодаря ей активно тестируются и внедряются новые технологии от жителей города. Так как данные сервисы открыты, то любой житель может предложить свой стартап, государственные органы его рассмотрят и, возможно, внедрят.

Этот город не перестает удивлять своими архитектурными произведениями. Одно из них – мост «Хеликс».

Он привлекает внимание туристов своим необычным архитектурным строением. Мост имеет необычную форму, строение его конструкций напоминает молекулу ДНК. В мире он известен как мост с двойной спиралью. Находится в центре города, в районе Marina Bay, и является пешеходным.

Задача при проектировании моста для строителей была непростой: необходимо было разработать дизайн моста, который бы отвечал всем требованиям Комитета по Фэншую. Мост должен был быть визуально легким и красивым, при этом быть достаточно крепким и выдерживать большие нагрузки.

Мост был открыт в 2010 году. Его длина составляет 280 метров, вдоль расположены 4 видовые площадки, вмещающие до 100 человек каждая.

В асфальте можно рассмотреть буквы — С, G, T, A, находятся они там неслучайно. В темное время суток они светятся вместе со всем мостом. Сами буквы — это основные вещества молекулы ДНК: цитозин, гуанин, тимин и аденин. Архитекторами было задумано, чтобы мост давал людям представление о жизни.



Рис. 3. Мост «Хеликс»

Мост «Волны Хендерсона» в Сингапуре

Сингапур продолжает удивлять своими необычными архитектурными сооружениями. Следующее из них – это Мост под названием «Волны Хендерсона». Свое название он получил благодаря своей необычной форме, напоминающей морские волны. Он пролегает между двумя парками, Парком Горы Фабер и Парком Телок Бланга Хилл.

Данный мост также является пешеходным. Его длина составляет 284 метра, сами же волны возвышаются на 36 метров над шоссе, благодаря чему мост является самым высоким в городе.

Конструкция моста – это 7 стальных волнообразных ребер, они возвышаются и понижаются непрерывно друг за другом. Волны были спроектированы архитекторами не просто так, они служат укрытием в случае непогоды, для этого они оборудованы местами для отдыха.

В 2009 году данный мост был признан лучшим архитектурным проектом города!

Это звание он действительно заслужил, в этом можно убедиться днем и ночью. Ночью – это яркая, красивая подсветка с иллюминацией, днем – шикарные виды на природу.



Рис. 4. Мост «Волны Хендерсона», вид со стороны



Рис. 5. Мост «Волны Хендерсона», вид изнутри

Мост «Акаси» в Японии

Страна восходящего солнца всегда была на передовой высоких технологий. В проектировании и строительстве мостов она также не остается в стороне.

Мост Акаси-Кайкё находится в Японии, соединяет два города Акаси и Авади, расположенные на разных островах. Он был открыт в 1988 году, так как паромная переправа, по которой можно было попасть с одного берега на другой, была небезопасной. Мост является висячим, автомобильным, движение пешеходов запрещено. Он уникален тем, что является самым длинным мостом в мире данного типа.

Длина моста 3,911 км, расстояние между опорами 1,991 км. Размеры моста впечатляют, благодаря ним он дважды вошел в книгу рекордов Гиннеса. Конструкция данного сооружения имеет свои особенности, выполненные специально, чтобы мост выдержал все природные условия. Он представляет систему, состоящую из двухшарнирных балок жёсткости, позволяющих выдерживать огромную скорость ветра, которая может достигать до 80 метров в секунду, он легко противостоит морским течениям и выдержит землетрясения с магнитудой 8,5 баллов.

На строительство моста японским правительством было выделено 5 миллиардов долларов, поэтому проезд платный и составляет 20 долларов. Многим жителям не нравится этот факт и они, рискуя жизнью, объезжают его на паромной переправе.

В процессе данной работы было изучено огромное количество материала по вопросу новых технологий, а также использованию их в строительстве.

Была рассмотрена информация о таких мостах, как Перекрывающийся мост в Лондоне, Мост «Хеликс» в Сингапуре, Мост «Волны Хендерсона» в Сингапуре и Мост «Акаси» в Японии. Я считаю, что это действительно уникальные в своем роде сооружения. Все, описанные выше, мосты находятся в различных уголках Земли, но подобные проекты можно и нужно реализовывать на территории Республики Беларусь.

По результатам исследования и полученной информации можно сделать вывод, что новые технологии – новый этап в мостостроении, он абсолютно уникален, и, имея возможности современного мира, можно создавать истинно уникальные сооружения любых видов. Также новые технологии помогают в работе инженеров, в некоторых случаях даже и спасают жизнь, что является важным фактором в вопросе внедрения новых технологий в строительство.



Рис. 6. Мост Акаси в Японии

Литература

1. Dubai-экспо-2020. Официальный сайт выставки Экспо-2020 в России – URL: <https://dubai-экспо-2020.ru/daty-provedeniya/>
2. Habr. Крупнейший в Европе ресурс для IT-специалистов – URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/458240/>
3. My world. Путеводитель по миру. – URL: <https://omyworld.ru/7588>
4. Wikiway. Путеводитель по миру. – URL: <https://wikiway.com/japan/most-akashi-kaikyue/>
5. Stroyone.com. Строительный HUB. Проектирование и продажи инновационных и инженерных решений, товаров и услуг. – URL: <https://stroyone.com/bridge/suspension-bridge/akashi-kaikyo-bridge.html>
6. Bridgeart.ru. Информационно-познавательно-развлекательный портал для мостовиков. – URL: <http://www.bridgeart.ru/article/innovation.html>

УДК 624.21

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ В СЛОЖНЫХ ГРУНТАХ

студент П.А. Семерня, студент О.А. Лучковский
(Научный руководитель В.А. Ходяков)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, xva609@gmail.com

Объектами исследования являются состав грунта, исследование особенностей грунта и методы работы с грунтами при мостостроении. Целью работы является апробация ранее исследуемых авторами работ. Результатом научно-исследовательской работы является структурирование знаний о возможностях строительства и обслуживания мостов и мостовых конструкций. В основу положены ранее полученные исследования,

описываемые в предыдущих работах авторов «Особенности грунта под мостами Франции» и «Особенности грунта под мостами Швейцарии». Эти работы были представлены на конкурс в предыдущие годы. В результате исследования были выявлены особенности подбора места для строительства мостов и мостовых конструкций. Область применения полученных данных с мостостроение в Республики Беларусь обширна. Она включает в себя методы укрепления грунтов под уже имеющимися мостами, а также использование технологий при строительстве новых сооружений. На данном этапе полученная информация обрабатывается и готовится к применению в мостостроении в Республике Беларусь.

Ключевые слова: оптимизация; мост; мостостроение; грунты; особенности грунтов; внедрение технологий; инновации.

Мосты очень важны в нашей жизни, их строительство началось с незапамятных времен, их основная цель - обеспечить безопасный и быстрый переход людей, скота, а позже и транспортных средств с одной стороны на другую. Мосты позволяют безопасно проходить там, где раньше это было невозможно или было намного сложнее. Мосты позволяют ходить в школу, обращаться за медицинской помощью и работать, не преодолевая загруженную дорогу, опасную железнодорожную ветку или быстро протекающую реку.

Мосты также позволяют людям и сообществам соединяться друг с другом, что позволяет лучше понять верования и культуры разных людей. Это помогло сделать нас более восприимчивыми, и из-за этого в мире стало меньше предрассудков, насилия и войн.

Мосты обычно строят над реками и каналами, но есть также мосты, которые пересекают каньоны и другие препятствия, которые могут быть созданы руками человека, например, железнодорожные пути и другие дороги... что угодно.

Возможно, однажды мы будем парить над зданиями на хOVERбордах или телепортироваться в пространстве и времени, но до тех пор мосты имеют большое значение.

Именно поэтому так важно укреплять наши знания и накапливать новые в сфере мостостроительства. Для этого мы подготовили эту работу. В ней можно ознакомиться с опытом наших соседей по земному шару для улучшения этой отрасли в нашей стране.

Швейцарский опыт строительства мостов

На территории Швейцарии находится большое количество интересных, с точки инженерной точки зрения, мостов. Однако опыт швейцарских мостостроителей уходит далеко за пределы Швейцарии. Швейцарский инженер Отмар Амман (Othmar Ammann) спроектировал и построил сразу несколько наиболее значительных мостов Нью-Йорка, заново сформулировав основы искусства мостостроения в целом.

Мост Унтерторбрюкке

Мост Унтерторбрюкке (нем.: Мост Нижних ворот) — каменный арочный мост через реку Ааре в самой восточной точке полуострова Энге в городе Берн, Швейцария, соединяющий Маттек-квартал в Старом городе с районом ШосШальде. Построенный в своем нынешнем виде в 1461-89 годах, он является самым старым из бернских мостов Ааре и был единственным мостом города вплоть до середины 19 века. Это объект швейцарского наследия национального значения.

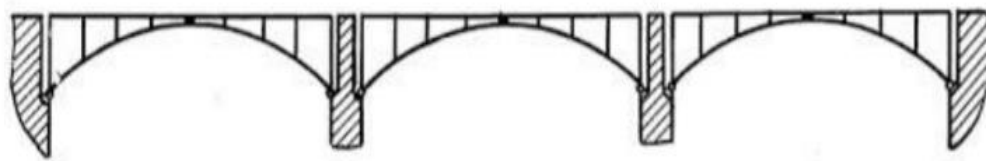


Рис. 1. Упрощенная схема моста

Многолетний мост был несколько раз перестроен и отремонтирован, в последний раз в 1982 году. Три арки с пролетами от 13 до 16 метров опираются на опоры и столбы из туфа и песчаника. Вода, проникающая через мост, все чаще приводила к повреждению сводов, которые были исправлены другим каменным материалом. Бетонная плита с гидроизоляцией защищает основание от проникновения с 1980 года. Кроме того, эта плита распределяет концентрированные нагрузки.



Рис. 2. Внешний вид моста Унтерторбрюкке

В качестве строительных материалов использовались юрский известняк и доломит, тогда как для украшения стен моста использовались миоценовые песчаники. Каменоломни Остермундиген, расположенные недалеко от Берна, действовали с 15 века. В настоящее время на стенках этих мостов образуются пятна минеральных осадков. Осадки имеют форму концентрических кругов вдоль первоначальных пластин песчаника. Грунт в основании моста состоит из 5 основных составляющих: подзолистые почвы, лесные почвы, лёсс, аллювий, рендзина.

Преимущественно мосты в Швейцарии построены в Средние века, поэтому появляется необходимость поддерживать их состояние, защищать от разрушающих действий окружающей среды и времени. В первую очередь в защите нуждаются несущие конструкции, в частности обработка грунтов и почвы. Нарботки европейских специалистов уже используются у нас.

Технология защиты представляет собой процесс замещения ионов в гидратированной оболочке на поверхности глиняных частиц грунтов. В большинстве случаев грунт представляет собой микроскопическую пленку, которая удерживается на поверхности силами химического (связная вода) и электростатического (поверхностного) взаимодействий.

Таким образом, за счет сил электростатического взаимодействия на поверхности частиц грунта регулярно образуется силой из отрицательно заряженных анионов, определяющих ее способность к смачиванию. Главной и заключительной операцией этой технологии стабилизации является уплотнение. При уплотнении обработанных частиц грунта происходит процесс сжатия и вытеснения связанной воды, при этом полифиллизатор заполняет межзерновое пространство, прерывая таким образом капиллярный подъем воды. При правильном уплотнении грунт сжимается до состояния, когда начинают действовать

силы межмолекулярного взаимодействия между частицами грунта. Как результат слой стабилизированного грунта приобретает дополнительную прочность и водонепроницаемость. Обработанный грунт становится гидрофобным и препятствует капиллярной миграции влаги, а так же гравитационному просачиванию воды через поры, а построенные из него слои имеют более высокие модули упругости и несущую способность, а так же грунт приобретает водостойкость и ненабухаемость.

Мост Тейфельсбрюкке

Мост Тейфельсбрюкке — мост, расположенный в Альпах, в ущелье Шёлемен. Является одним из «мостов дьявола». Впервые был построен в 1230 году. После этого мост, проходящий над рекой Ройс, перестраивался много раз, но до сих пор его части функционируют в общей логистической системе региона и близлежащих территорий.

Строительство моста было затруднено из-за необычной местности. Она представляет собой Аарский массив с автохтонными отложениями. В карьере обнажаются отложения триасового и юрского периодов. Река Ройс входит в кристаллический массив Аар, а вся область представляет собой позднеальпийский речной водораздел. Из-за особенностей рельефа инженерам пришлось потратить большое количество времени на геодезические и геологические исследования местности.

Войдя в Капельбрюкке, вы сразу проникнетесь величию этого сооружения: 200-метровая длина моста по сегодняшним меркам считается довольно большой. Из арочных проемов Chapelbrücke открывается великолепный вид на Рейс, озеро Люцерн и кварталы Старого города. Обязательно стоит обратить внимание на массивные каменные столбы моста - это единственная его «недревесная» часть. Но самое главное в Капельбрюкке находится наверху: под потолком крыши 111 картин, через которые можно изучить настоящую и легендарную историю страны, кантона и города. В центре моста находится Водонапорная башня, его неотъемлемая часть (хотя она зародилась раньше, чем сама Капельбрюкке).



Рис. 3. Внешний вид моста Тейфельсбрюкке

Французкий опыт строительства мостов

Франция – страна которая имеет бошатый опыт в сфере строительства в общем и мостостроении в частности. В этой стране родились знаменитые на весь мир инженеры и архитекторы, идеи которых используются до сих пор. Среди таких людей был Перроне, Жан Родольф - создатель нового направления мостостроения, самой известной работой является мост Согласия, Александр Гюстав Эйфель - прородитель современных ферменных мостов, и другие известные деятели инженерного дела.

Виадук Мийо

Виадук Мийо - многопролетный вантовый мост, построенный в 2004 году через долину ущелья Тарн около Мийо на юге Франции. Команду проектировщиков возглавляли инженер Мишель Вирложо и английский архитектор Норман Фостер. Длина его дорожного полотна составляет 2460 метров. На момент строительства Виадук Мийо был самым высоким транспортным мостом в мире, одна из его опор имеет высоту 341 метр — немного выше, чем Эйфелева башня, и всего на 40 метров ниже, чем Эмпайрстейт-билдинг в Нью-Йорке.



Рис. 4. Упрощенный геотехнический разрез виадука

Перед началом земляных работ проводили дополнительные инженерногеологические изыскания грунтов для поддержки фундаментов путем разрушающего бурения на глубину до 10 м ниже самого глубокого уровня стволов свай и 15 м ниже основания фундаментных плит для опор. Поскольку мост очень чувствителен к оседанию фундамента решили использовать метод наблюдения для контроля смещения и, при необходимости, стабилизации 329 фундамента. Измерения показывают, что перемещения остались небольшими и допустимыми, особенно с точки зрения поворотов. Осадки под нагрузкой происходили не непрерывно, а поэтапно.



Рис. 5. Внешний вид виадука Мийо

Основная трудность механики горных пород — получение репрезентативных образцов. Лабораторные испытания, проведенные на небольших образцах, не являются репрезентативными для масштаба всех неоднородностей в массивах горных пород (особенно направления и размера разломов), что означает, что использование таких результатов совсем не надежно. Таким образом, общие механические свойства скального блока, которые обычно считаются изотропными, все чаще определяются полумпирическими методами, которые сочетают геотехнические испытания с геологическим наблюдением за образцами скважин и существующими обнажениями (классификация RMR – rock mass rating). RMR варьируется от 0 до 105. Средние значения,

зарегистрированные на участке виадука Мийо, составляют 65 для известняка и 53 для мергеля. Вдоль виадука есть три разных типа каменных оснований.

Первый, байосский доломитовый известняк на северном устье (С0), представляет собой очень твердую породу, но с карстами, заполненными глиной. Известняк - карбонатная порода, состоящая, главным образом, из кальцита с примесями глины и песка. В верхней части платформы, на которой был установлен плот, было определено значение RMR 70–80.

Уплотненный мергель от пирса Р7 до пирса Р6 составляет второй тип породы. Доломит по химическому составу представляет собой двойную углекислую соль кальция и магния $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Оползни видны на поверхности почвы из-за слоя осыпи толщиной 2 м, подстилаемого мягкой глиной над мергелями. В этом месте RMR равен 45.

Геттангский известняк на обеих сторонах реки Тарн от пирса Р4 до упора (С0) представляет собой третий тип породы. Его RMR = 65-70.

Можно сделать вывод, что мергели менее устойчивы, чем известняк. Мергель не только имеет более слабые механические свойства, чем известняк, но также показывает большее поверхностное скольжение, которое влияет на верхнюю часть. Это причина того, что сваи в мергелях увеличены в основании и длиннее, чем сваи в известняке.

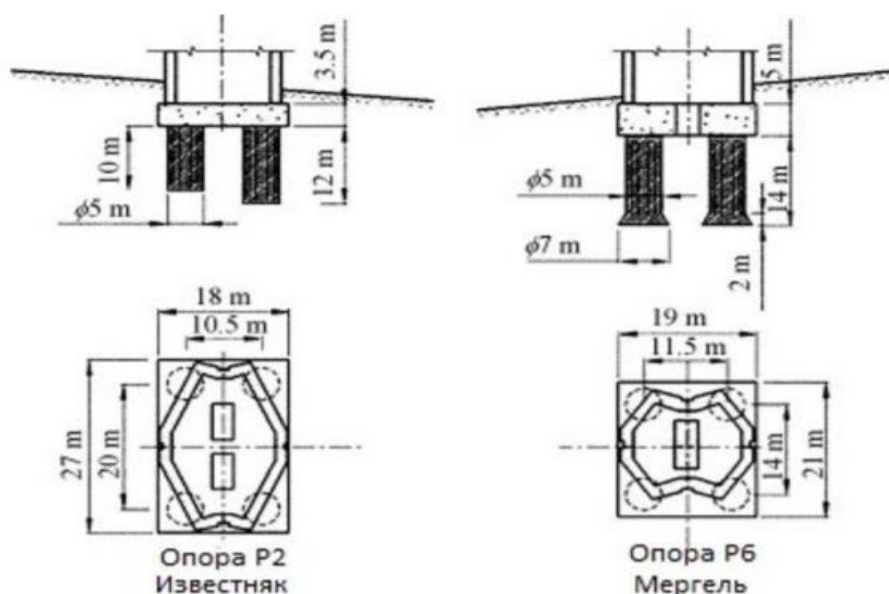


Рис. 6. Поперечные сечения опор в известняке и мергеле

Мост Нормандии

Мост Нормандии является вантовым мостом, охватывающий устье Сены и присоединительный между Гавром и Онфлёром. Этот проект принадлежит Мишелю Вирло. Строительство моста в Нормандии было завершено 8 августа 1994 года. Длина сооружения составляет в целом 2350 м с центральным пролётом в 856 м, имеются два боковых путепровода: южный длиной 600 м и северный длиной 800 м, а ширина в 23 м достаточна для четырёхполосного движения транспорта. Мост стоит на 184 опорах. Пилоны, поддерживающие проезжую часть, имеют высоту 215 м. Известняк, который может переносить нагрузку, встречается только на глубине 40 метров. Таким образом, все фундаменты опираются на бетонные сваи диаметром от 1,5 до 2,1 м и длиной до 55 м. Под северным подходом находится слой ила толщиной 4 м, что потребовало строительства временного строительного моста, с которого были выполнены все фундаментные работы.



Рис. 7. Внешний вид моста Нормандии

Разнообразие грунтов Франции и Швейцарии привело к необходимости разработки новых методов обработки и исследования грунтов. Важными аспектами строительства мостов в этих странах является анализ и подготовка грунтов, разработка и внедрение новых методов обработки грунтов.

В этой научной работе были рассмотрены особенности строительства, особенности местоположения, особенности погодных условий, грунт и другие. Все это рассматривалось для следующих мостов: Мост Унтерторбрюкке, Мост Тейфельсбрюкке, Виадук Мийо, Мост Нормандии.

При разработке проекта успешно использованы собственные разработки автора, которые являются результатом научно-исследовательской деятельности на протяжении последних трёх лет. Используются экономичные конструктивные решения и технологии проектирования. Учтены современные тенденции развития архитектуры и способов изготовления строительных конструкций.

Все сооружения отличаются высоким конструктивным смыслом, оригинальностью исполнения и обладают большой архитектурной ценностью по сравнению с классическими конструкциями. Сооружения эргономичны и привлекательны с архитектурной точки зрения.

Литература

1. Andreja Neve Repe, Ales Polijanec, Borut Vrscaj “Soil management practices in the Alps”, 24 с.
2. Elisabeth Schaber, Clements Geitner “Available spatial soil information in the Alps”, 33 с.
3. Milosz Huber, Stan Halas “Geochemical study of precipitates in the architectural surfaces from Bern, Switzerland”, 19 с.
4. Gis Sol. 2013. The state of the soils in France. A synthesis / Groupement d’intérêt scientifique sur les sols, France, 24 с.
5. This synthesis is based on a document edited by the “Groupement d’intérêt scientifique sur les sols” (French Soils Scientific Interest Group): Gis Sol. 2011. L’état des sols de France. Groupement d’intérêt scientifique sur les sols, 188 с.
6. W. Kubiëna (1952) “The Soils of Europe”, 58 с.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ К КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ОСНОВАНИЯ

Е. Р. Шумский

Государственное предприятие «БелдорНИИ»

4-й загородный пер., 60, 220073, г. Минск, Республика Беларусь, zhenyashumskii@gmail.com

В статье приведена информация по оценке устойчивости дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием к колееобразованию в зависимости от типа основания на основании анализа данных, полученных при измерении просветов под 3-х метровой рейкой (колеяности), а также полученных фактические и расчетные значений модуля упругости конструкций дорожной одежды и коэффициента прочности.

Ключевые слова: дорожная конструкция, колеяность, коэффициент прочности, общий модуль упругости.

В настоящее время актуальными являются работы, нацеленные на уменьшение процесса колееобразования на автомобильных дорогах. Колея, появляющаяся и развивающаяся на поверхности покрытий дорожных одежд, негативно отражается на потребительских свойствах автомобильных дорог. В первую очередь страдает безопасность дорожного движения. Поэтому работы, направленные на борьбу с образованием колеи, актуальны для дорожной отрасли и позволяют уменьшать интенсивность ухудшения безопасности движения, снижения ровности и прочности дорожной одежды, поддерживать скорость движения на требуемом уровне.

Новые технологии позволяют улучшать качество строительства и увеличивать однородность показателей прочности и деформируемости материалов в слоях основания дорожной одежды.

Колея - вид деформирования поперечного профиля проезжей части с образованием углублений по полосам наката с гребнями или без гребней выпора. По результатам оценки келейности дорожных покрытий, колею можно разделить на пластическую и колею износа. Пластическая проявляется в виде поверхностной колеи и сопровождается боковым выпором асфальтобетона, а также в виде толщиной (глубинной) образующееся в результате возникновения деформаций в слоях оснований дорожной конструкции и земляном полотне.

Для оценки устойчивости дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием к колееобразованию в зависимости от типа основания были проведены исследования экспериментальных участков, устроенных с основанием в конструкции дорожной одежды из гравийно-песчаной смеси и гравийно-песчаной смеси на основе асфальтогранулята, укрепленных цементом совместно с добавкой укрепляющей для вяжущих, растворов и сухих смесей по ТУ 24.66.47-004-13881083-2018 NICOFLOK и участков с неукрепленными основаниями из несвязных каменных материалов в конструкциях дорожных одежд, характеризующиеся сходными природно-климатическими и грунтово-гидрологическими условиями, одинаковой интенсивностью воздействия расчетных транспортных нагрузок.

Схема расположения экспериментальных участков № 1, 2 и 3 показана на рис. 1 (линией синего цвета), расположение участков с неукрепленными основаниями из несвязных каменных материалов для оценки и сравнительного анализа обозначены, как № 1а и 2а (выделены линией зеленого цвета).

Участки № 1 и 1а, а также № 2 и 2а имеют одинаковые природно-климатические условия, схожие особенности конструкции земляного полотна, одинаковые интенсивность и состав потока движущегося транспорта. Таким образом прочность конструкций дорожной одежды на смежных участках должна быть сопоставимой.

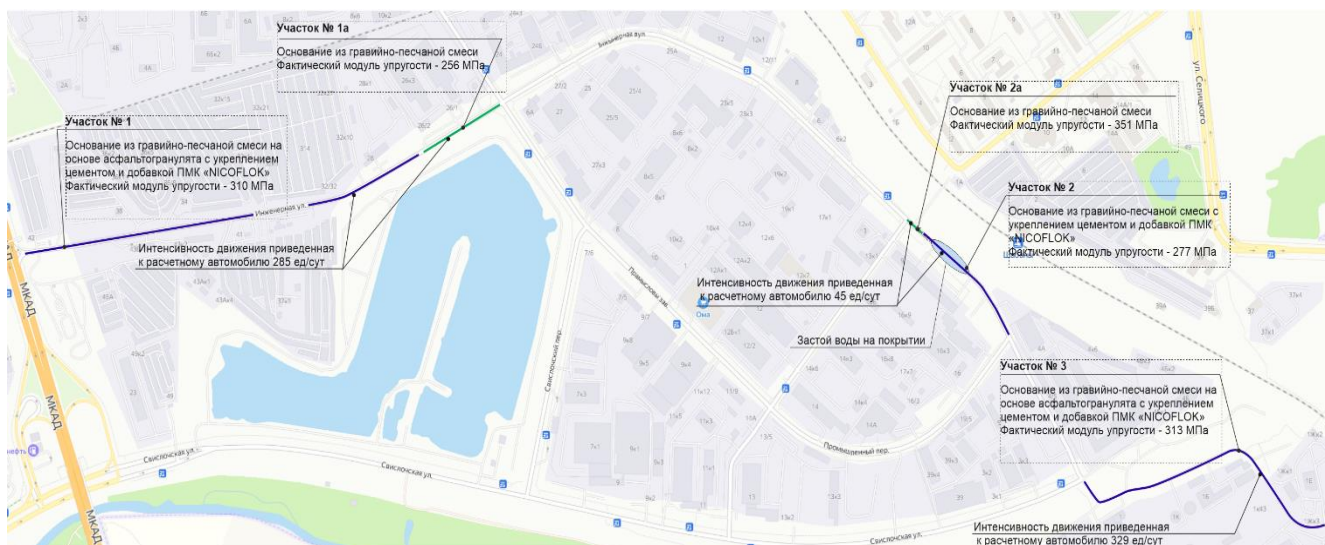


Рис. 1. Схема расположения экспериментальных участков на ул. Инженерная в г. Минске

В период с 2015 г. по 2020 г. осуществлялось обследование в процессе эксплуатации экспериментальных участков на ул. Инженерная в г. Минске.

Экспериментальные участки № 1, 2 и 3 с основанием, укрепленным цементом с ПМК NICOFLOK, находятся на ул. Инженерной в г. Минске, контрольные участки № 1а и 2а выбраны в продолжение экспериментальных участков, имеют неукрепленное основание.

Средняя интенсивность движения по улице в час пик составляет до 600 транспортных средств в час, состав транспортного потока: 80 % легковых автомобилей, 12 % автомобилей с нагрузкой на ось от 5 до 10 т, 8 % грузовых автомобилей с нагрузкой на ось более 10 т (в том числе фуры).

Оценка колееобразования была выполнена на основе промеров просветов под 3-х метровой рейкой. Замер просветов производили в зоне наката. На рис.2 показана средняя величина колеи на участках № 1 и 1а, а на рис. 3 тоже для участков № 2 и 2а.

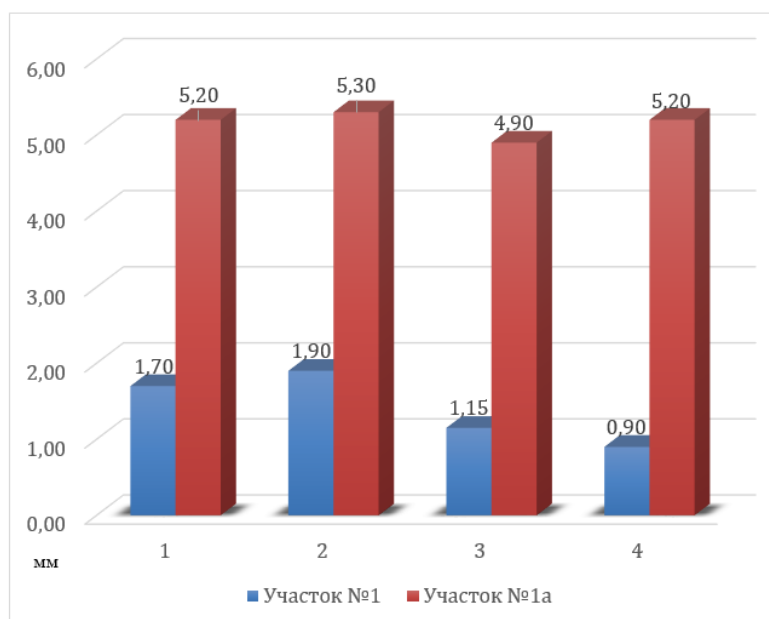


Рис. 2. Величина просветов под 3-х метровой рейкой в зоне наката на участках № 1 и 1а

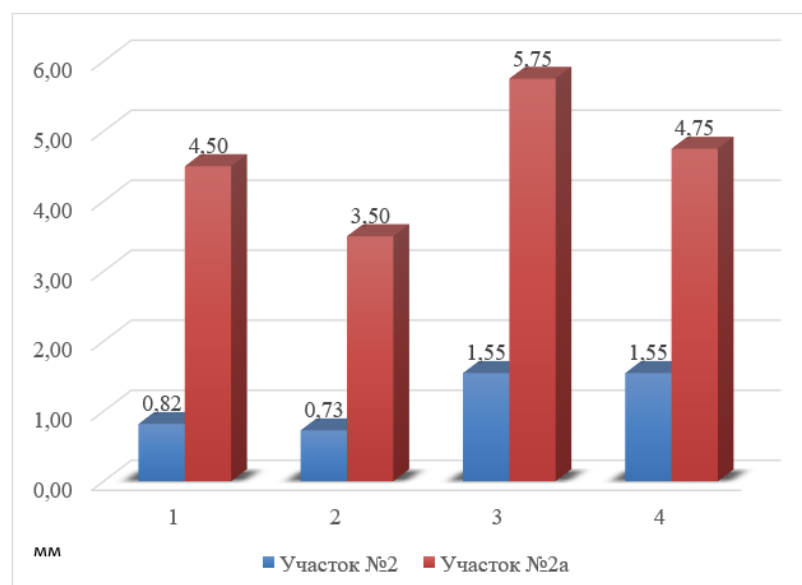


Рис. 3. Величина просветов под 3-х метровой рейкой в зоне наката на участках № 2 и 2а

Средняя величина колеи на участках № 1 и 1а и № 2 и 2а показана на рис. 4.

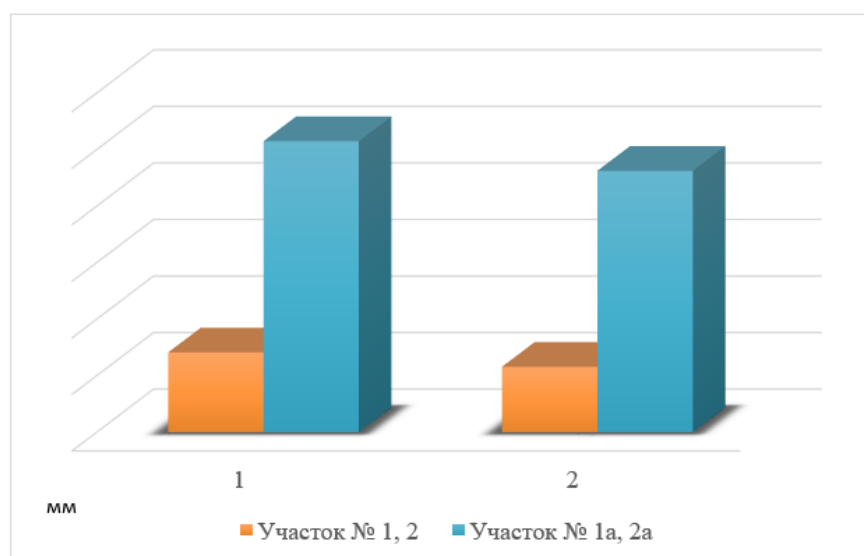


Рис. 4. Средняя величина колеи на экспериментальных участках

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что на участках с основанием, укрепленным цементом с ПМК NICOFLOK, площадь дефектов в виде колеи (просветы под 3-х метровой рейкой) в зоне наката ориентировочно в 2 раза ниже, чем на участках с неукрепленным основанием.

В результате проведенных исследований получены фактические и расчетные значения модуля упругости конструкций дорожной одежды и коэффициенты прочности, приведенные в таблице 1 и на рис. 5 и 6.

За период эксплуатации опытных участков определение фактического общего модуля упругости конструкции дорожной одежды выполнялись в 2015-2021 годах (см. таблицу 2).

Как видно из полученных результатов, снижение модуля упругости дорожной одежды за период эксплуатации носит незначительный характер.

Таблица 1. Фактические и расчетные значения модуля упругости конструкций дорожной одежды и коэффициенты прочности

№ участка	Фактический общий модуль упругости, МПа	Фактический коэффициент прочности	Общий модуль упругости, полученный по расчету, МПа	Расчетный коэффициент прочности	Минимальный требуемый модуль упругости, МПа
1	310	1,35	254	1,10	230
1а	256	1,11	198	0,86	
2	277	1,20	254	1,10	
2а	351	1,53	342	1,49	
3	313	1,36	254	1,10	

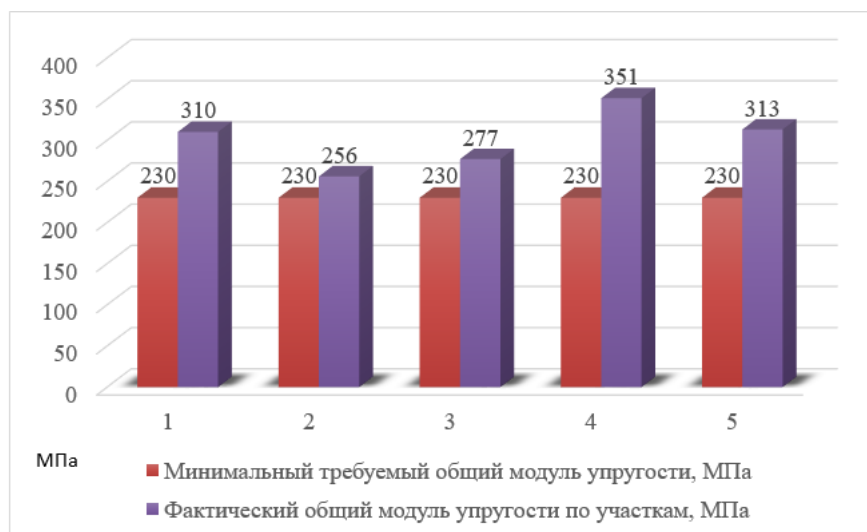


Рис. 5 Фактические и расчетные значения модуля упругости конструкций дорожной одежды: 1 – участок № 1; 2 – участок № 1а; 3 – участок № 2; 4 – участок № 2а; 5 – участок № 3

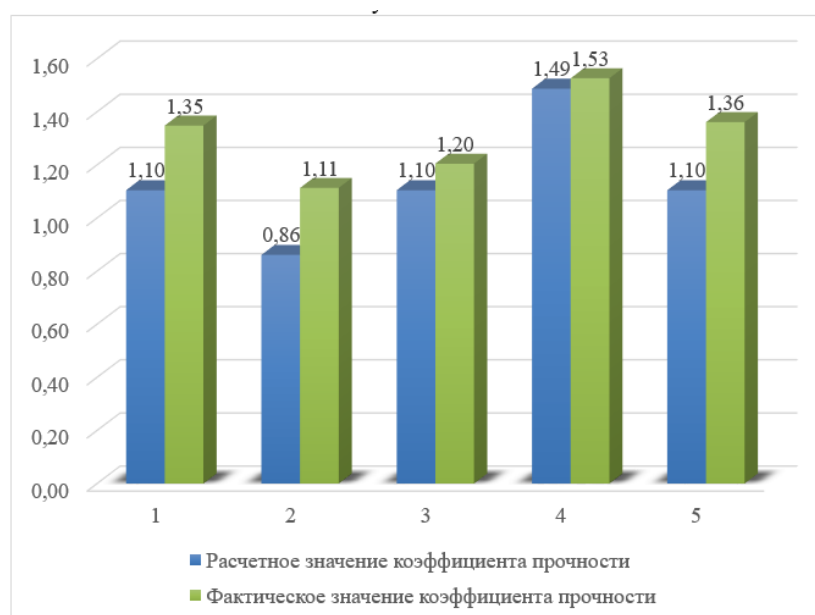


Рис. 6 Фактические и расчетные значения коэффициента прочности: 1 – участок № 1; 2 – участок № 1а; 3 – участок № 2; 4 – участок № 2а; 5 – участок № 3

Таблица 2. Фактический общий модуль упругости конструкции дорожной одежды на период с 2015 г. по 2021 г.

Год	Фактический общий модуль упругости конструкции дорожной одежды, МПа		
	Ул. Инженерная, номер участка		
	1	2	3
2015	318	305	-
2017	321	305	-
2020	315	281	312
2021	310	277	313

Анализируя полученные данные, установлено, что прочность конструкции дорожной одежды с основанием, укрепленным цементом с добавкой NICOFLOK, на участках № 1 и 3 на 18 %, а на участке № 2 на 8 % выше расчетных значений, что можно объяснить более высокой прочностью укрепленного слоя по отношению к его значению, принятому при расчете.

В результате проведенных исследований было установлено, что конструкции дорожных одежд с основаниями, укрепленными цементом с ПМК NICOFLOK, устойчивы к колееобразованию, так как способны работать в упругой стадии без накопления остаточных деформаций в слоях основания за счет его повышенной жесткости. Пластические деформации в таких конструкциях могут накапливаться за счет слоев покрытия, устроенных из асфальтобетонных смесей.

Литература

- 1 ТКП 45-3.03-112-2008 (02250) Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования.
- 2 ТКП 140-2015 (33200) Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики.
3. Мозговой В. В. и другие. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колееобразности. В книге «Дорожная техника и технологии: каталог-справочник». — СПб.: ООО «Славутич». 2010. — 13 с/

УДК 372.862

ТРУДОВОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СТАРТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

студент Н.А. Кулиш
 (Научный руководитель Е.П. Ходан)
 Белорусский национальный технический университет,
 пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, kulish_05@inbox.ru

Трудовое обучение – учебный предмет в школе, главной задачей которого является развитие технологического мышления учащихся, формирование у них общетрудовых, политехнических, технологических знаний, умений, сенсомоторных, манипуляционных навыков, необходимых для трудового, экономического воспитания, профессионального и жизненного самоопределения. В школах Республики Беларусь предмет «Трудовое обучение» преподают для учеников V-IX классов.

Основная общая цель изучения учебного предмета «Трудовое обучение» – формирование у учащихся основ компетентности в различных сферах трудовой, хозяйственно-бытовой, конструкторско-технологической деятельности, технического и

художественного творчества, способствующей социализации личности в современных социально-экономических условиях. [1].

Задачами изучения учебного предмета «Трудовое обучение» являются:

- формирование знаний, умений и навыков в процессе выполнения различных видов учебно-познавательной и трудовой деятельности (технологических операций) по обработке материалов, техническому и художественному творчеству, ремонтным работам в быту;
- формирование основ графической и технологической грамотности, умений экономно использовать материалы и соблюдать правила безопасного поведения;
- формирование готовности учащихся к профессиональному самоопределению;
- развитие познавательных интересов, конструкторско-технологических и творческих способностей, технического и художественного мышления, коммуникативных и организаторских умений в процессе выполнения различных видов трудовой деятельности;
- воспитание трудолюбия, культуры труда, коллективизма, инициативности и самостоятельности, эстетического вкуса, культуры поведения и общения, уважения к мастерству; приобщение к культурным национальным ценностям и традициям.

В процессе трудового обучения учителю необходимо использовать межпредметные связи с такими учебными предметами, как «Физика», «Биология», «Химия», «Математика», «Информатика», которые активизируют познавательную деятельность учащихся, развивают их мышление и память при переносе и обобщении знаний из разных учебных предметов.

Трудовое обучение дает начальный набор знаний, которые понадобятся при обучении на первом курсе любого технического университета, только в том случае если ученик был заинтересован предметом и смог показать свою заинтересованность преподавателю.

По всем предметам школьной программы проводятся олимпиады среди учащихся средних школ, не исключением является и олимпиада по трудовому обучению. Республиканская олимпиада по учебному предмету «Трудовое обучение» – это не только проверка учебных достижений учащихся по двум направлениям – обслуживающий труд и технический труд, но и формирование интеллектуального потенциала, положительной мотивации к учению. Это своего рода соревнование, где каждому учащемуся предоставлена возможность проявить свои компетенции в применении теоретических знаний и практических умений по выполнению единых олимпиадных заданий разной степени сложности при проведении двух туров – теоретического и практического в четыре этапа: первый – учреждения образования; второй – районный; третий – городской; четвертый – заключительный.

Заинтересованные и трудолюбивые ученики принимают участие в олимпиаде. Как только преподаватель увидел заинтересованность своего ученика, он может начать подготовку к олимпиаде по трудовому обучению. В свою очередь подготовка делится на теоретическую и практическую. В теоретическую подготовку входит изучение материалов, связанных с предметом трудовое обучение, большинство из которых сформируют начальную базу для обучения на первом курсе технического университета. Например, учебная дисциплина «Черчение», являющаяся неотъемлемой частью трудового обучения, развивает своеобразный ход мысли у ученика. А связано это с тем что при черчении объемного предмета его нужно начертить и в объеме, и в трёх проекциях. Или же при решении графических задач, где нужно достроить недостающие проекции точек или линий. Также теоретическая подготовка использует основные знания, полученные при изучении таких предметов как математика и физика.

В практическую подготовку входит изучение материалов и их свойств, структур и сопротивляемости к обработке. И ещё один очень важный критерий, для того чтобы сделать поделку из данных материалов за определенный промежуток времени у тебя должны быть «золотые руки». А связано это с тем что практическое задание, как и теоретическое,

ограниченно временным промежутком. В свою очередь ещё легко представить как можно написать теоретический тур за три часа отведённого времени. А вот представить как можно сделать изделие за четыре часа, с соблюдением размеров и преобразованием внешнего вида, уже сложнее. На счет «преобразование внешнего вида» в трудовому обучению оно имеет такое название как «техническое творчество». И оценивается творчество отдельно от всех критериев. При этом ученик не ограничен в полёте своих мыслей ничем кроме как габаритами изделия, которые имеют определенное значение.

Если ученик участвовал в олимпиаде по трудовому обучению и при этом смог добиться хороших результатов на заключительном этапе, то по итогу окончания школы, мы имеем абитуриента с расширенной начальной базой знаний для поступления в технический университет, творческим мышлением и «золотыми руками».

Литература

1. <http://www.adu.by> – Научно-методическое учреждение «Национальный институт образования» Министерства образования Республики Беларусь.

УДК 504.03

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. АРАЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА

студент А. У. Курбонбоева

(Научный руководитель Е.П. Ходан)

Белорусский национальный технический университет,

пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, azuzakhonkurbonboeva@gmail.com

За последние годы Узбекистан уделяет особое внимание на решение экологических вопросов на своей территории. А самой важной экологической проблемой остается Аральское море отныне уже пустыня Аралкум.

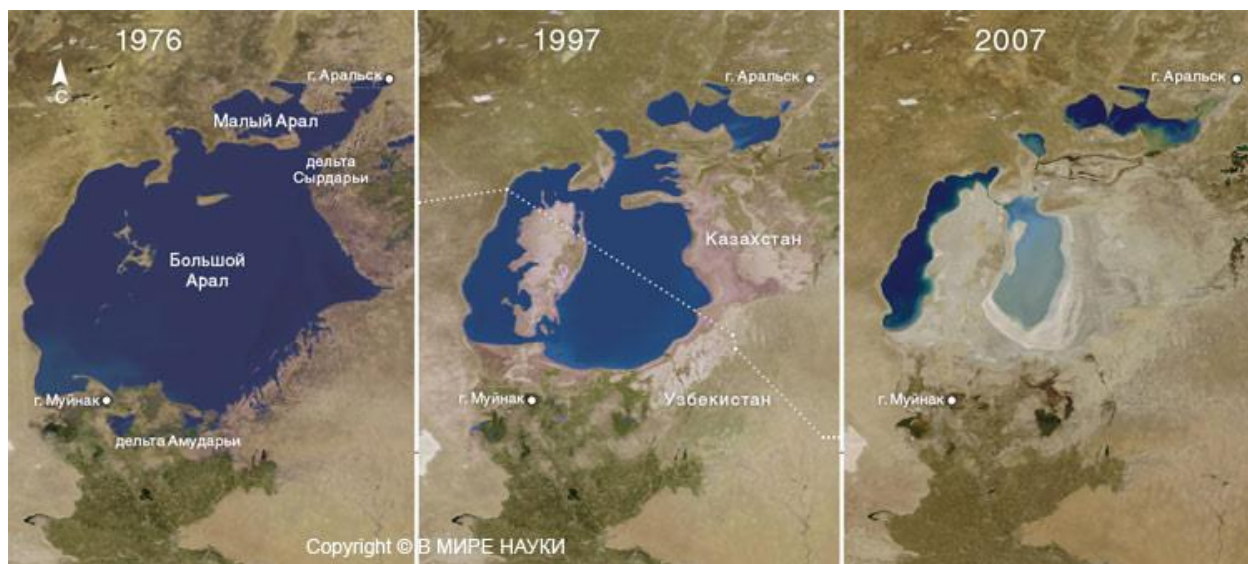


Рис. 1. Деградация Арала

На территории бывшего Аральского моря образовалась солевая пустыня, над которой бушуют ветры, разнося вредные вещества и соли по всему миру.

Причиной высыхания этого моря является:

- повышение численности населения;
- интенсивное освоение земель;

- строительство ирригационных и гидротехнических сооружений;
- не правильное орошение земель реками Амударьи и Сырдарьи, воды которых пополняли Арал на 56 куб. км воды ежегодно.



Рис. 2. Чрезмерный забор воды для полива сельскохозяйственных угодий превратил четвертое в мире по величине озеро-море, прежде богатое жизнью, в бесплодную пустыню.

В следствии высыхания моря изменился климат, ощущаемый не только в Центральной Азии, но и в других регионах. Исчезли многие виды диких животных и растений, погибли многие виды редких рыб. Из-за высокого содержания в воде пестицидов, различных ядовитых веществ и солей.



Рис. 3. Отходы и пестициды, выброшенные когда-то в воду гавани Аральска, оказались сегодня на самом виду (слева). Сильные бури (справа) разносят ядовитые вещества, а также огромное количество песка и соли по всему региону, уничтожая сельхозкультуры и нанося ущерб здоровью людей.

Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев выступая на 72-й сессии Генеральной ассамблеи ООН, обратил внимание мирового сообщества на трагедию Аральского моря, для наглядности продемонстрировав карту высохшего моря. По его словам, необходимо продолжать программу помощи жителям региона, пострадавшего от этой природной катастрофы, и сообща решать возникшую экологическую проблему.

Создание Многопартнерского трастового фонда по человеческой безопасности для региона Приаралья

В ходе Саммита ООН по устойчивому развитию в сентябре 2015г. в г.Нью-Йорке Республика Узбекистан выступила с инициативой создать под эгидой ООН специальный Трастовый фонд по Аральскому морю, который должен стать единой площадкой развития международного сотрудничества и мобилизации средств донорского сообщества для осуществления практических действий по реализации комплексных мероприятий, направленных на улучшение экологической и социально-экономической обстановки в регионе Приаралья.

ООН всецело поддержала инициативу Республики Узбекистан, что было еще раз подтверждено Генеральным Секретарем ООН г-ном Гуттеришем в ходе его визита в страну в июне 2017г. В этом контексте при поддержке ряда агентств ООН (ПРООН, ЮНЕСКО, ЮНФПА, ДООН) в 2017 году запущена Совместная Программа «Укрепление потенциала жизнеустойчивости населения, пострадавшего в результате кризиса Аральского моря, посредством создания многопартнерского фонда по человеческой безопасности для региона Приаралья»

Литература

1. Аральское море <https://www.aral.mptf.uz/site/aralsea.html>
2. Аральское море: история и современность <https://www.centralasia-travel.com/ru/countries/uzbekistan/places/aral-sea>
3. Как погибало Аральское море – Судоходство <https://sudohodstvo.org/kak-pogibalo-aralskoe-more/>
4. Трагедия высыхающего Аральского моря <https://www.advantour.com/rus/uzbekistan/aralsea.htm>

УДК 625

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

магистрант А.А. Серебренников
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, fcminsk1998@gmail.com

Анализ технологий устройства цементобетонных покрытий автомобильных дорог Республики Беларусь, рассмотрен способ устройства монолитного цементобетонного покрытия методом сращивания слоев и устройства покрытия с оголенным крупным заполнителем («мытого бетона»)

Ключевые слова: цементобетонное покрытие, сращивание слоев, мытый бетон

В последнее время цементобетонные покрытия получили широкое применение при строительстве автомобильных дорог. Технология устройства двухслойного цементобетонного покрытия методом сращивания слоёв была применена специалистами ДСТ -5 на участке второй кольцевой автомобильной дороге вокруг г. Минска, автомобильной дороге Р-80 Слобода – Паперня, км 0,00 – км 14,770, Р-53 Слобода – Новосады, км 1,85-км 6,6; км 6,6 – км 12,993 (2020 год)

Залогом высокой прочности и способностью длительный период сохранять эксплуатационные характеристики цементобетонного покрытия является оптимальный состав цементобетонной смеси, технологии укладки смеси, условия схватывания и набора прочности цементобетона. Для сокращения времени доставки смеси к месту укладки рядом с объектом строительства устраивают мобильные цементобетонные заводы.

Для верхнего слоя двухслойного цементобетонного покрытия применяли следующий состав бетонной смеси:

- Песок, I класса – 29%;
- Портландцемент ПЦ-Д0-Н – 18%;
- Щебень (5-10мм) – 46%;
- Вода – 6%;
- Добавки – 1%.

Для нижнего слоя двухслойного цементобетонного покрытия применяли другой состав бетонной смеси:

- Песок, I класса – 24%;
- Портландцемент ПЦ-Д0-Н – 13%;
- Щебень (5-10мм) – 36%;
- Вода – 23%;
- Добавки – 4%.

Для того, чтобы достичь однородности при укладке цементобетонной смеси, необходимо отладить все производственные процессы.

Необходимо проводить работы при устройстве верхнего слоя цементобетонного покрытия в следующей последовательности:

- Подготовительные работы. К подготовительным работам на объекте строительства относят доставку и выгрузку комплекса бетоноукладчика, поверка приборов, приемочный контроль ранее выполненных работ.

- Установку копирных струн или наладку 3D системы нивелирования выполняет геодезист при помощи теодолита или тахеометра;

- Подготовка рабочего шва и устройство начального участка выполняют для достижения максимально плавного перехода от одной захватки к другой;

- Процесс кладки бетонной смеси включает в себя доставку приготовленной смеси к месту укладки, распределение смеси, формование и уплотнение конструктивных слоев покрытия, армирование швов, окончательная отделка поверхности верхнего слоя покрытия;

- Нанесение искусственной шероховатости служит для достижения требуемых значений шероховатости поверхности будущего покрытия и нанесение пленкообразующего материала для создания защитного слоя, служащего для минимизации испарения воды из бетона;

- Заключительные работы.

Специалисты ДСТ-5 широко используют инновационную технологию строительства цементобетонных покрытий с устройством покрытия с оголенным крупным заполнителем (мытый бетон). Основной отличительной особенностью данной технологии является уникальная текстура с оголением крупного заполнителя бетонной смеси. Технологический процесс создания поверхности «Мытого бетона» заключается в обработке механической щеткой поверхности бетона и обнажении крупнозернистых заполнителей при достижении им прочности в пределах 2,5 – 3,0 МПа. После выметания щетками «замедленного клея» в поперечном направлении его убирают. Окончательная

обработка происходит нанесением средства по уходу за бетоном типа VM, которая образует защитную пленку на восковой основе (сводит к минимуму испарение воды на стадии затвердевания бетона). Устройство продольных и поперечных (сжатия и расширения) деформационных швов, а также продольного шва на стыке асфальтобетонного и цементобетонного покрытий при достижении бетоном прочности на сжатие от 8 МПа.

Технология строительства цементобетонных покрытий с устройством покрытия с оголенным крупным заполнителем была применена на строительстве автомобильной дороги **Р-23** Минск – Микашевичи, км 74,0-км 83,0, второй кольцевой автомобильной дороги вокруг г. Минска (МКАД-2).

Отличительная особенность цементобетонного покрытия с оголением крупного заполнителя, создаваемая частицами щебня микро- и макро- шероховатость, предопределяет ряд взаимосвязанных эксплуатационных преимуществ такого типа дорожных покрытий перед другими. Повышенная шероховатость усложняет очистку покрытия перед нанесением разметки и требует применения специальных грунтовочных составов повышенной толщины при приклеивании ленточных разметочных материалов. Остатки фрикционного противогололедного материала могут приводить к некоторому снижению коэффициента сцепления колеса автомобиля с поверхностью проезжей части, поэтому необходимо производить их своевременную уборку, при этом для покрытия с оголенным крупным заполнителем это снижение не столь значительное. Как для покрытий с другими типами шероховатой поверхности.

При использовании технологии строительства цементобетонных покрытий с устройством покрытия с оголенным крупным заполнителем достигается ряд преимуществ:

- меньший износ разметки красками по площади после зимнего периода эксплуатации;
- лучшая визуальная контрастность разметки на покрытии;
- улучшенный водоотвод, повышенная видимость и световозвращение разметочных линий в неблагоприятных погодных условиях и темное время суток;
- больший коэффициент сцепления разметки с колесом автомобиля.

Созданная шероховатость, характеризуется высокими начальными значениями средней глубины впадин, является однородной в продольном и боковом направлении, и позволяет обеспечить высокие и стабильные значения коэффициента сцепления с колесом транспортного средства в сухом, влажном состоянии, а также при наличии на поверхности остатков фрикционных материалов. Наиболее однородной и стабильной шероховатостью обладает дорожное цементобетонное покрытие с оголением крупного заполнителя.

Первоначальные значения шумовых характеристик цементобетонного покрытия с оголением крупного заполнителя ниже, чем на цементобетонных покрытиях с другими типами шероховатости.

Цементобетонные покрытия с оголением крупного заполнителя являются более предпочтительными перед другими типами шероховатости, позволяя снизить значение уровня звука для различных категорий транспортных средств на величину 0,1-0,7 дБА.

По окончании зимнего сезона было установлено, что площадь шелушения бетонного покрытия на участках с покрытием с оголением крупного заполнителя составляет меньший процент в сравнении с другими типами бетонных поверхностей.

Двухлетний мониторинг экспериментального участка показал, что покрытие с оголением крупного заполнителя позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики дороги, но и отлично справляется с высокими нагрузками.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

С.А. Турончик

Государственное предприятие «БелдорНИИ»,
4-й Загородный пер., 60, 220073, г. Минск, Беларусь, turonchiks@rambler.ru

Получение активированного минерального порошка при помощи поверхностно активных веществ. Применение полиэтиленполиамина как активатора улучшает удобоукладываемость смеси, а также снижает температуру уплотнения. Модифицирование состава асфальтобетона эпоксидной смолой, вводимой в состав битума для последующего взаимодействия с активированным минеральным материалом. Определены физико-механические свойства модифицированного асфальтобетона, указывающие на улучшение прочностных характеристик асфальтобетона. При использовании объемного метода проектирования асфальтобетонной смеси наблюдается уменьшение затраченной энергии на уплотнение образцов, уменьшение температуры уплотнения.

Ключевые слова: асфальтобетон; минеральный порошок; поверхностно активные вещества; эпоксидная смола; активированные материалы.

Минеральный порошок является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится 90-95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона. Основное назначение минерального порошка заключается в том, чтобы переводить объемный битум в пленочное состояние. Вместе с битумом минеральный порошок образует структурированную дисперсную систему, которая выполняет роль асфальтовязующего в асфальтобетоне. Присутствие необходимого количества минерального порошка в асфальтобетоне способствует повышению плотности минерального остова, а, следовательно, и к повышению плотности асфальтобетона. Асфальтобетоны, содержащие активированный минеральный порошок, отличаются повышенной прочностью, плотностью и теплоустойчивостью, а также пониженной битумоемкостью. Такие асфальтобетоны менее водопроницаемы. Применение активированного минерального порошка существенно улучшает и показатели технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей: снижается температура выпускаемой смеси, улучшается качество и снижается продолжительность перемешивания, повышается удобообрабатываемость смеси при укладке и уплотнении.

Технологией активации минерального порошка предусматривается создание на минеральных зернах первичного контактного слоя высокоструктурированного битума, изменяющего свойства порошка и получаемы на их основе асфальтобетонов. Активация минерального порошка производится посредством введения поверхностно активных веществ (ПАВ) на поверхность минерального порошка. Выбор ПАВ осуществляется в зависимости от особенностей используемых материалов. В данном случае был выбран ПАВ в виде полиэтиленполиамина (ПЭПА), который способен взаимодействовать с эпоксидной смолой, которую предполагается ввести в состав битума.

Для исследований был принят песчаный асфальтобетон, являющийся наиболее однородным материалом, в котором отчетливо проявляются особенности взаимодействия битума с минеральным порошком. Состав асфальтобетонной смеси следующий:

- Отсев дробления: 95%;
- Минеральный порошок: 5%;
- Битум 7,7%.

Содержание ПЭПА в минеральном порошке – 1% от массы порошка, эпоксидной смолы ЭД-20 – 3% от количества вяжущего в составе смеси. Для приготовления смеси

использовался битум марки 70/100. В таблице 1 приведены показатели свойств асфальтобетонов, приготовленных с использованием активированных минеральных порошков и без.

Таблица 1. Физико-механические свойства образцов асфальтобетона

Тип асфальтобетона	Плотность, г/см ³	Водонасыщение, % объёма	Предел прочности при сжатии, МПа		
			R ₅₀	R ₀	R ₋₁₅
Без активированного МП	2,45	0,3	1,67	3,32	25,0
С активированным МП	2,45	0,5	2,00	3,16	23,6

Из приведенных данных видно, что с добавлением ПАВ прочность при 50 градусах увеличилась на 20%, а при температуре -15°С отмечается несколько увеличенная прочность (на 5.6%), что свидетельствует о меньшей хрупкости, а следовательно о повышении трещиностойкости асфальтобетона. Увеличение прочности при +50°С предполагает повышенную сдвигоустойчивость асфальтобетона и достаточную колееустойчивость полученных асфальтобетонов.

На следующем этапе настоящей работы были изучены возможности получения модифицированных асфальтобетонов на отечественных материалах, соответствующих требованиям объемного проектирования, среди которых основным является достижение требуемой остаточной пористости после уплотнения в гираторе.

Были выбраны два типа асфальтобетонов: типа А (ЩМАг20-І/2,7) и типа Б (ЩМБг20-І/2,7). Составы асфальтобетонных смесей приведены в таблице 2.

Таблица 2. Составы асфальтобетонных смесей

Наименование материала	Тип А	Тип Б
	Содержание материала в составе смеси, %	
Щебень фр. 10-20	40	30
Щебень фр. 5-10	20	15
Гранитный отсев дробления	35	48
Минеральный порошок	5	7
Битум 70/100 (сверх 100 % минеральной части)	4,5	5,6

Для приготовления образцов асфальтобетона использовали битум, активированный добавлением 4 мас. % эпоксидной смолой ЭД-20, и минеральный порошок, активированный в процессе помола с 2 мас.% пполиэтиленполиамиона ПЭПА (состав №1). Для сравнения изготавливали образцы аналогичного состава на неактивированных материалах (состав №2).

Учитывая пластифицирующий эффект от действия эпоксидной смолы асфальтобетонную смесь уплотняли в гираторе при ее исходной температуре 135°С, а смеси на исходном битуме 70/100 при температуре 145°С.

Для асфальтобетонных смесей типа А и типа Б определили значения истинной плотности по методике СТБ 1115.

Значения истинной плотности составили:

-для типа А – 2,61 г/см³;

-для типа Б – 2,58 г/см³.

Удобоукладываемость смесей определяли исходя из необходимого количества оборотов гираторного уплотнителя до достижения значения требуемой остаточной пористости.

Исходя из климатических условий Республики Беларусь, требуемое значение остаточной пористости асфальтобетона составляет 3%.

Требуемое значение остаточной пористости определяется гираторным уплотнителем в процессе уплотнения смеси, путем расчета средней плотности уплотняемого образца по его геометрическим характеристикам (диаметр образца – 100 мм, высота образца при каждом обороте гираторного уплотнителя, мм) и с использованием значения истинной плотности асфальтобетонной смеси.

Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя до достижения значения остаточной пористости асфальтобетонного образца 3% приведено в таблицах 3 и 4.

Таблица 3. Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя для асфальтобетона типа А

Состав	Требуемое значение остаточной пористости асфальтобетона, %	Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя
№1	3	66
№2	3	93

Таблица 4. Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя для асфальтобетона типа Б

Вид минерального порошка	Требуемое значение остаточной пористости асфальтобетона, %	Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя
№1	3	68
№2	3	98

Значение суммарной энергии, затраченной на уплотнение образцов до требуемого значения остаточной пористости асфальтобетона приведено в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. Требуемое количество суммарной затраченной энергии для уплотнения асфальтобетона типа А

Состав	Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя	Требуемое количество энергии, Дж
№1	66	2934,9
№2	93	4309,5

Таблица 6. Требуемое количество суммарной затраченной энергии для уплотнения асфальтобетона типа Б

Вид минерального порошка	Требуемое количество оборотов гираторного уплотнителя	Требуемое количество энергии, Дж
№1	68	2761,5
№2	98	4352,3

Графики изменения количества затрачиваемой энергии на уплотнение образцов типа А и Б приведены на рисунках 1 и 2.

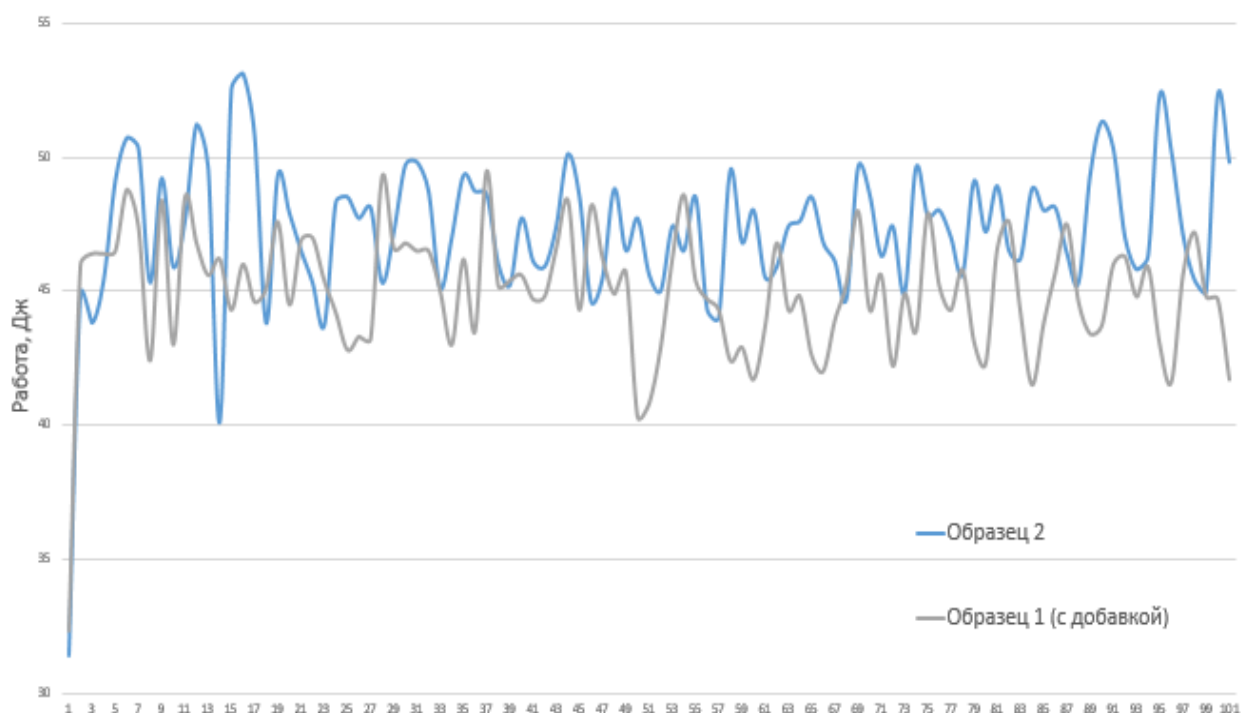


Рис. 1. График изменения затрачиваемой энергии на уплотнение образца асфальтобетона типа А (затрачиваемая работа на цикл уплотнения образца)

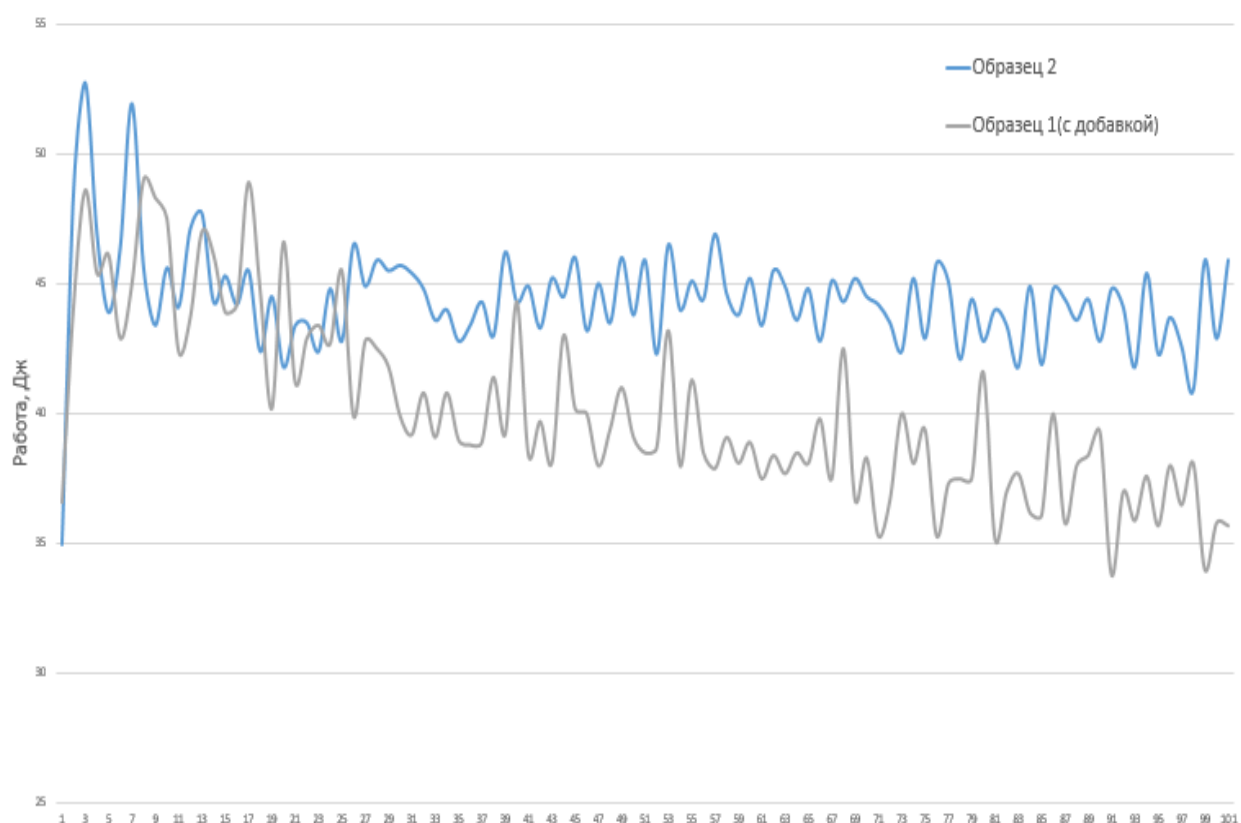


Рис. 2. График изменения затрачиваемой энергии на уплотнение образца асфальтобетона типа Б (затрачиваемая работа на цикл уплотнения образца)

Наличие эпоксидной смолы в битуме предполагает, что асфальтобетонные смеси с их применением будут обладать большей подвижностью. В связи с этим при подборе состава такого асфальтобетона по методу «Суперпейв» необходимо учитывать

повышенную удобоукладываемость смеси. Для этого была рассчитана исходная температура такой смеси для уплотнения в гираторе. По результатам исследований она оказалась на 10°C меньше, чем для традиционного материала, приготовленного на неактивированных компонентах.

Так же установлено, что применение битума с добавкой эпоксидной смолы позволило снизить энергозатраты за счет понижения температуры при перемешивании и уплотнении асфальтобетонной смеси в среднем на 35%.

Литература

1. Телтаев Б.Б. Закономерности увеличения количества трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги// Доклад НАНРК, 2015, №5-с.35-37
2. Калгин О.И. Эпоксидно-битумные композиты каркасной структуры: автореф. дис. канд техн - Пенза, 1997. - 16 с.
3. Майданова Н.В. Структурообразование компонентов нефтяных битумов // Автомобильные дороги. - 2015. - №1. - С. 81-86.
4. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата//
URL:<http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf> .
5. Мурзина Е.В. Оценка совместимости нефтяных битумов с термоэластопластами // Вестник МГСУ. - 2010. - №3. - С. 63-68.
6. Каргин В.А. Энциклопедия Полимеров. М.: Сов. Энци. , 1972. Т.1 - 609 с.
7. Бусел А.В., Кулина Л.О., Чистова Т.А., Буко А.Н. Улучшение потребительских свойств дробленого доломита / Автомобильные дороги и мосты, 2012, №1(9) – с. 55-59.
8. Котлярский Э.В. Строительно-технологические свойства дорожного асфальтового бетона. М.: Техполиграфцентр, 2004 -183 с.
9. ГОСТ 16557-2005 Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия.

УДК 625.765

ПРОБЛЕМЫ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

студент М.Р. Шебеко

(Научный руководитель Е.М. Жуковский)

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

В статье авторами применение различных материалов для ямочного ремонта дорог в рамках содержания нежестких покрытий автомобильных дорог. Предлагается использование принципиально новых материалов для поддержания дорожных покрытий в удовлетворительном транспортно-эксплуатационном состоянии в целях обеспечения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: ремонт; автомобильная дорога; безопасность; ремонтный материал; выбоина; ямочность; заплаты; асфальтобетон; дорожное покрытие; нефтешлам

В настоящее время для текущего ремонта автомобильных дорог используется ряд различных технологий, таких как холодное асфальтирование, горячие асфальтирование, струйно-инъекционные технологии и др.

При неблагоприятных погодных условиях и проведении ремонта вне сезонного времени, оптимально использовать технологию холодного асфальтирования. Для производства этих работ используются специальные смеси по типу СОМС, СЭМС, «патч»

и др. Преимуществом данного метода является быстрая укладка, простота хранения материала, высокая степень безопасности при работе. Однако широким применением данный метод не обладает из-за своей высокой стоимости, низкой механической прочности, тщательной обработки от пыли и грязи поверхности выбоин.

Широкое применение при проведении небольшого ямочного ремонта, приобрела струйно-инъекционная технология (СИТ) с применением битумной эмульсии. Распространенность данного метода получил за счет возможности использования его в любое время года, оперативности проведения работ и отсутствия специализированной техники для дополнительного уплотнения. Тем не менее, неудобство СИТ заключается в малом сроке службы, потребностью обработки поверхности эмульсии, а также снижении безопасности до полного прилипания щебня.

Наиболее приемлемой технологией является ремонт покрытий с нарезкой карт и заделкой выбоин горячими асфальтобетонными смесями. Достоинством данного способа является его высокие параметры прочности, эксплуатационные свойства и долговечность. Однако при производстве работ используется большое количество механизмов для нарезки, очистки и сушки дорожных карт, необходимость в благоприятных природно-климатических условиях.

В работах [5-6] предлагается использование специальных смесей, которые не требуют выполнения большинства стандартных операций и нацелены в первую очередь на повышение скорости устранения проблемных участков и восстановление их конструктивно-технологической безопасности. В условиях ограниченного времени и большого количества запланированного объема работ, необходимо при минимальных затратах и большой скорости достичь высоких результатов, и в таком случае возникает необходимость применения принципиально новых материалов. При создании данного материала ставилась задача обеспечить возможность его применения в любую погоду, для исключения необходимости подготавливать место ремонта (осушать выбоину, очищать и предварительно обрабатывать перед проведением ремонта). [5] Технологический процесс устранения выбоины включает в себя заполнение выбоины ремонтным материалом с некоторым запасом на уплотнение, которое может производиться притаптыванием, а окончательное уплотнение происходит под воздействием движущегося транспорта

Вышеперечисленные технологии требуют особого подхода к производству работ. Они имеют ряд преимуществ и недостатков. Поэтому существует необходимость в разработке универсального метода, который будет обладать рядом свойств: долговечностью, высокими эксплуатационными свойствами, укладкой при любых погодных-климатических условиях, низкой стоимостью, возможностью использования переработанного материала, отсутствием дополнительной техники, механизмов и оперативностью проведения работ.

Литература

1. Зленко, Л. В. Основы технологий ямочного ремонта на дорожных покрытиях нежесткого типа / Л. В. Зленко, Т. М. Шохалевич. – Текст : электронный. // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 72-75.
2. Козлова, Е. Н. Холодный асфальтобетон / Е. Н. Козлова. – Текст : непосредственный. – М.: Автотрансиздат, 1958. – 124 с.
3. Игошкина, А. Ю. Складируемые органоминеральные смеси для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий / А. Ю. Игошкина. – Текст : непосредственный. // Вестник Белорусского национального технического университета : научно-технический журнал. – 2007. – № 2. – С. 15-19.
4. Поздняков, В. Р. Опыт применения холодных смесей Мультигрейд для текущего и аварийного ямочного ремонта / В. Р. Поздняков. – Текст : непосредственный. // Дорожная техника-2006: каталог-справ. – М., 2006. – 270 с.

5. Жуковский, Е. М. Зимний аварийный ремонт выбоин на дорожных покрытиях / Е. М. Жуковский, А. В. Корончик // Новые технологии - нефтегазовому региону : Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В IV томах, Тюмень, 30 мая 2022 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 234-237

6. Жуковский Е.М. Современный ремонтный материал для устранения ямочности на дорожных покрытиях / Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко, Д.В. Глинский // Минск-Шанхай-Чанчунь: стратегия прорывного сотрудничества : сборник материалов научно-практической конференции, 21 апреля 2022 года / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 122-124.

**СЕКЦИЯ
«ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ»**

ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕНИЯ СОЛЕЙ НА РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

А. Д. Каюмов¹⁾, Р. М. Худайкулов²⁾

¹⁾ Ташкентский государственный технический университет имени
Ислама Каримова, г. Ташкент, ул. Университетская 2, abdubakimg@mail.uz

²⁾ Ташкентский государственный транспортный университет,
100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул. Темирийулчилар 1, rektorat@tstu.uz

В данной статье приведены результаты изучения влияния накопления солей на расчетные показатели грунта земляного полотна. Разработана схема для определения наименьшего возвышения бровки земляного полотна на засоленной местности.

Ключевые слова: грунт, засоление, земляное полотно, насыпь, автомобильная дорога, коэффициент уплотнения, соль, увлажнение, плотность, уплотнение.

Рост интенсивности, грузоподъемности транспортных средств, скорости движения автомобилей и поездов предъявляет к транспортным сооружениям повышенные требования. В частности, большое значение приобретает ровность поверхности дорожных покрытий. В настоящее время дорожное строительство развивается в направлении увеличения прочности и долговечности дорог, что обуславливает применение для устройства дорожных одежд дорогостоящих материалов и усложняет технологию. Сегодня в Республике Узбекистан около 98% пассажиров и более 88% грузов перевозятся автомобильным транспортом на автомобильных дорогах. Сегодня общая протяженность дорожной сети Республики Узбекистан составляет 184 тыс. км, из них 42695 км автомобильных дорог общего пользования, 116560 км внутренних дорог, 24745 км ведомственных дорог. В сети автомобильных дорог общего пользования дороги местного значения составляют 51,7%, дороги с капитальным покрытием 52,9%, дороги с двумя полосами движения 76,4%, дороги с IV и V категориями 63,8%. [1].

Однако вложенные средства и затраченные усилия оказываются напрасными, если земляное полотно недостаточно устойчиво. В этих случаях быстро утрачивается также и приданная в процессе строительства ровность дорожного покрытия. Поэтому в условиях современного строительства устройству прочного и устойчивого земляного полотна, являющегося фундаментом транспортного сооружения, уделяется особенно большое внимание. Одним из важнейших мероприятий, обеспечивающим устойчивость транспортного сооружения, в том числе земляного полотна, является уплотнение. От степени уплотнения грунта земляного полотна во многом зависит и состояние дороги. Плотность грунта непосредственно влияет на водно-тепловой режим земляного полотна и прочность грунтового основания [2, 3].

Засоленные грунты распространены в основном в сухих засушливых зонах и составляют 240 млн. гектаров площади всего земного шара. Евразийский регион расположен на территории Восточной Европы, Центральной Азии и Кавказа и включает в себя Армению, Азербайджан, Белоруссию, Грузию, Казахстан, Киргизию, Молдавию, Россию, Таджикистан, Турцию, Туркменистан, Украину и Узбекистан. Евразийский регион разнообразен с точки зрения климатических условий, грунтов, флоры и фауны, землепользования и деятельности человека [4]. Деградация грунтов является серьезным вызовом в регионе; к наиболее разрушительным её проявлениям относятся засоление, эрозия, потеря органического вещества грунта, питательных веществ и биологического разнообразия, а также переуплотнение грунтов, которые широко используются при строительстве земляного полотна автомобильных дорог (рис-1,2.).



Рис. 1. Земляное полотно из засоленного грунта



Рис. 2. Кристаллы соли в составе грунта

Все грунты, подвергшиеся влиянию солей, делятся на четыре большие группы: 1. Солончаки; 2. Солончаковые и солончаковатые грунты (в том числе сероземные, бурые и полупустынные, каштановые и др.); 3. Солонцы; 4. Такыры.

Анализ литературных материалов показывает что, при засолении грунтов применяемых в земляном полотне очень часто встречаются следующие соли: $NaCl$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, $NaHCO_3$, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, $CaCO_3$ и $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и другие [5, 6].

Допустимое содержание солей в грунте земляного полотна определяется их количеством, которое может быть растворено в воде, заполняющей поры грунта, уплотненного при оптимальной влажности. Классификация засоленных грунтов по пригодности для дорожных работ [6] приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация засоленных грунтов

Степень засоления грунтов	Среднее содержание солей в используемом слое грунта, % по массе при засолении		Возможность использования в дорожном строительстве при устройстве	
	хлоридно-сульфатно-хлоридном	сульфатно-хлоридно-сульфатном и содовом	земляного полотна	оснований из грунта, укрепленного вяжущими
слабозасоленные	0,8-3,0	0,8-1,5	пригодны	
среднезасоленные	3,0-6,0	1,5-4,0	пригодны	пригодны с ограничением
сильнозасоленные	6,0-11,0	4,0-10,0	пригодны с ограничением	непригодны
избыточно-засоленные	>11,0	>10,0	непригодны	

Глубину залегания соленых грунтовых вод, при которой начинается быстрое засоление почв, академик Б.Б. Полюнов предложил назвать критической. Если она не

достигнута, засоление не происходит или развивается медленно, и тогда в борьбе с ним можно пользоваться несложными приемами. Когда глубина равна или выше критической, засоление развивается быстро и бороться с ним значительно сложнее.

Критическая глубина зависит от нескольких причин и прежде всего от свойств почвы. В песчаных почвах она невелика, так как высота поднятия в толстых капиллярах песков небольшая. Значительнее она у супесчаных и суглинистых грунтов, где имеются средние капилляры, подающие воду на большую высоту и достаточно быстро. У тяжелых глинистых почв эта глубина может оказаться меньшей вследствие затрудненной и медленной подачи растворов по очень тонким капиллярам. Известно, что капиллярное движение воды к поверхности возможно с глубины 7-9 м. Но соленакопление в этом случае происходит настолько медленно, что только в исключительно благоприятных для этого условиях и за очень длительный срок может вызвать существенное засоление. Обычно оно перекрывается рассоляющим действием воды атмосферных осадков.

Практически засоление грунтов суглинистого состава в очень засушливых областях впервые выявляется при глубине подпочвенных вод около 4-5 м. Но и в этом случае растворы достигают поверхности лишь по самым тонким порам, часто в виде медленно перемещающихся по их стенкам пленок. Засоление за счет такой подачи может быть лишь незначительным. Несколько активнее она пойдет при глубине грунтовых вод в 3-4 м. Поднимаясь по тонким капиллярам в верхние, более нагретые летом слои, растворы испаряются, отчего часть солей может выпасть в осадок. Возникает слабое засоление. Вначале она бывает не сплошным, обнаруживаясь лишь там, где испарение идет быстрее, например на незатененных растениями пятнах или на обдуваемых ветром бугорках. Небольшая часть растворов испаряется внутри почвы, отчего возможно на некоторой глубине выпадение в осадок некоторого количества менее растворимых солей, в частности извести и гипса.

Осенние и зимние осадки промывают почву, и к весне при слабом местном засолении верхние горизонты окажутся пресными; однако летом засоление возобновится. Так возникает сезонно-обратимое пятнистое засоление.

В случае, когда грунтовые воды располагаются на глубине 2-3 м, растворы от них достигнут верхних слоев через большее количество капилляров. Подача влаги вверх ускорится, размеры соленакопления за летний период возрастут. Осенне-зимних осадков может оказаться недостаточно, чтобы полностью сбросить вниз соли, собравшиеся за лето в верхних горизонтах.

Накопление соли существенно влияет на прочностные показатели грунтов земляного полотна. Для определения наименьшего возвышения бровки земляного полотна в засоленной местности с учетом уровня грунтовых вод авторами разработана схема (рис. 3).

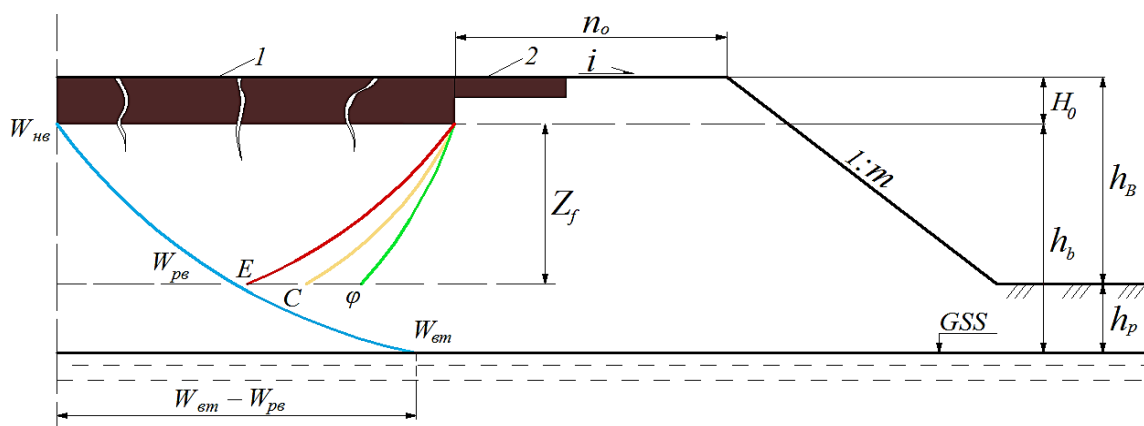


Рис-3. Расчетная схема-конструктивное решение дорожной насыпи:

1- проезжей часть, м; 2-ширина укрепленной части обочины, м; $W_{нв}$ - начальная влажность, равная оптимальной влажности при уплотнении грунта земляного полотна,%; $W_{рв}$ - расчетная влажность,%; $W_{вл}$ - влажность при текучести грунта,%; E - модуль упругости, МПа; C - удельное сцепление, МПа; φ -

угол внутреннего трения, град; Z_a - активная зона, м; n_0 - ширина обочины, м; i - уклон обочины; УГВ - уровень грунтовых вод.

По предложенной схеме активная зона находится на некотором расстоянии ниже от поверхности покрытия дороги и выше от уровня грунтовых вод. В данном случае увлажнение происходит за счет капиллярного поднятия грунтовых вод. Уровень грунтовых вод может меняться во времени.

Анализ схемы приведенной на рис.3 даёт возможность написать следующее выражение, в котором видно, что прочностные, в том числе и деформационные показатели засоленных грунтов, которые используются при проектировании конструкции дорожной одежды зависят от плотности, влажности, степени засоления, а также от вида солей:

$$\varphi, c, E = f(K_{yn}, W_{pac}, N, A);$$

где, K_{yn} - коэффициент уплотнения грунтов; W_{pac} - расчетная влажность, %; N - степень засоления; A - вид солей.

Литература

1. Уроқов А.Х. Ўзбекистон Республикаси ҳудудини йўлга оид туманлаштиришнинг методологик асослари. Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси автореферати. Тошкент-2020 й. 60 б.
2. Каюмов А.Д., Худайкулов Р.М. Расчетные характеристики засоленных грунтов. "Строительная механика инженерных конструкций и сооружений" Журнал №2 Москва-2016 г. с. 68-75.
3. Kayumov Abdubaki, Hudaykulov Rashidbek, Makhmudova Dilfuza, Kayumov Dilshod. Impact of repeated loads on saline soils of earth roadbed. E3S Web of Conferences 264, 02010 (2021) CONMECHYDRO-2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402010>
4. Борьба с деградацией земель для обеспечения продовольственной безопасности и сохранения услуг, предоставляемых почвенными экосистемами, в Европе и Центральной Азии-Международный год почв, Будапешт, Венгрия, 22 и 23 сентября 2015 г.
5. Научно-технический отчет по теме «Теоретическое и практическое исследование влияния различного качества и количества солей в грунте на их водно-физические и механические свойства». – Ташкент, 2012. – Ч.1. - 90 с.
6. Худайкулов Р.М. «Обоснование расчетных характеристик засоленных грунтов насыпей земляного полотна». Диссертация на доктора философии (PhD) по техническим наукам. Ташкент-2018 г. 134 с.

УДК 625.76.031

К ВОПРОСУ УТОЧНЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Р. М. Худайкулов, Д.А. Махмудова, Рахмонов Ж.Ф.
Ташкентский государственный транспортный университет,
100167, г. Ташкент, Мирабадский район, ул. Темирйулчилап 1, rektorat@tstu.uz

В данной статье приведена расчетная схема дорожной насыпи для определения расчетных показателей дорожных насыпей из засоленных грунтов в условиях Узбекистана. А также приведены результаты изучения влияния накопления солей на расчетные показатели грунта земляного полотна, графическое изображение зависимости прочностных показателей засоленного грунта от количества засоления и влажности.

Ключевые слова: грунт, расчетная схема, засоление, земляное полотно, насыпь, автомобильная дорога, коэффициент уплотнения, соль, увлажнение, плотность, уплотнение.

В Узбекистане орошаемые земли составляют 1970,7 тысяч гектаров площади, из них 50% приходится на вновь усваиваемых земель. В частности, 75% земель в различной степени засолены, слабо засоленные грунты составляют 1117,7 тысяч гектаров, средnezасоленные 611,2 тысяч, сильно засоленные составляют 241,6 тысяч гектаров земли, и они широко используются при строительстве земляного полотна автомобильных дорог (рис.1.) [1, 2].



Рис.1 Карта распространения засоленных грунтов по территории Республики Узбекистан

Засоленные грунты, которые используются для насыпи автомобильных дорог в Узбекистане, слагают из солончаков, солоди, солонцы, такыры, которые различаются составом и содержанием легкорастворимых солей. Они в большинстве случаев формируются на пониженных элементах рельефа: шлейфах склонов, низменностях, берегах соленых озер и лиманов, во впадинах на поймах, в днищах степных блюдц суффозионного происхождения, где минерализованные воды стоят близко к земной поверхности (1 - 3 м) [3-4]. Грунты рабочих слоев дорожных насыпей в первую очередь, находятся в напряжённом состоянии под воздействием нагрузок от транспортных средств и под влиянием водно-теплового режима. Исследования водного режима земляного полотна на орошаемых районах показали, что источниками увлажнения рабочих слоев дороги является режим орошения полей и режим подземных вод [4-7].

Исходя из выше указанных соображений, для определения расчетных показателей дорожных насыпей из засоленных грунтов в условиях Узбекистана предложена схема приведенная на рис. 2.

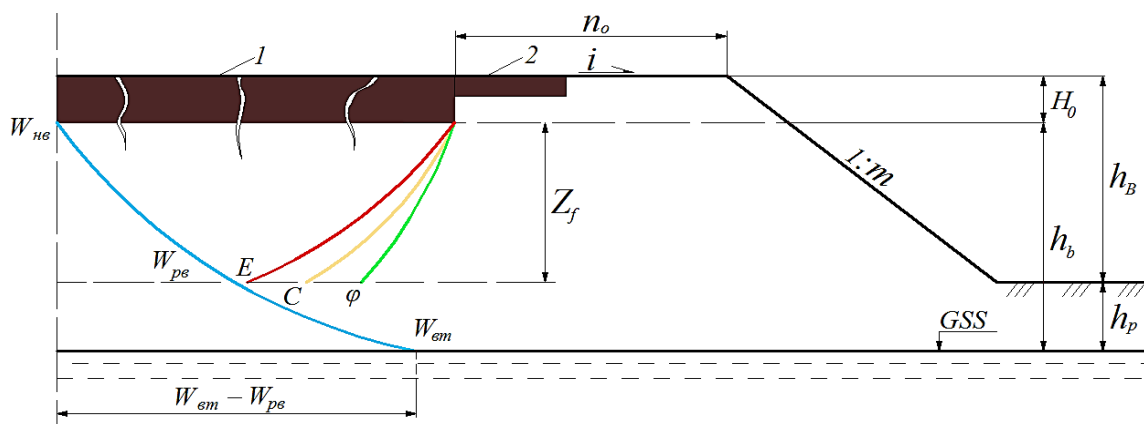


Рис. 2. Расчетная схема дорожной насыпи:

1- проезжая часть, м; 2- ширина укрепленной части обочины, м; $W_{нев}$ - начальная влажность, равная оптимальной влажности при уплотнении грунта земляного полотна, %; $W_{рв}$ - расчетная влажность, %; $W_{вт}$ - влажность при текучести грунта, %; E - модуль упругости, МПа; C - удельное сцепление, МПа; φ - угол внутреннего трения, град; Z_f - активная зона, м; n_0 - ширина обочины, м; i - уклон обочины; GSS - уровень грунтовых вод.

На схеме, граница активного рабочего слоя находится от поверхности дорожной одежды по определенной глубине и на определенной высоте от уровня грунтовых вод. Грунтовые воды по капиллярам поднимаясь вверх, увлажняют грунт. Уровень грунтовых вод со временем изменяется, соответственно изменяется и диаметр капилляров. Анализ приведенных на рис.2 показывает, что используемые при проектировании конструкции дорожных одежд прочностные и деформационные показатели засоленного грунта зависят от его плотности, влажности, типа и количества солей. Эту функциональную зависимость можно записать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} E &= f_1(K_{yn}, W_{рас}, N, A) \\ C &= f_2(K_{yn}, W_{рас}, N, A) \\ \varphi &= f_3(K_{yn}, W_{рас}, N, A) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где: E - модуль упругости; C - удельное сцепление; φ - угол внутреннего трения; K_{yn} - коэффициент уплотнения грунтов; $W_{рас}$ - расчётная влажность, по отношению к влажности на границе текучести; N - количество засоления; A - тип солей.

В этих (1) выражениях в первую очередь нужно определить $W_{рас}$ и K_{yn} . В лабораторных и полевых условиях исследовалось влияние показателей приведенные в функциональной зависимости (1) K_{yn} , $W_{рас}$, N , A как в отдельности, так и в совокупности на прочностные показатели E , C , φ . Для исследования использованы два вида незасоленного лёссового грунта отобранного на участке 16-20 км 4Р1-кольцевой автодороги Ташкента [8].

Исследуемый грунт по количеству легкорастворимых солей относится к слабозасоленным грунтам. Гранулометрический состав грунтов определен предварительным промыванием, с помощью сита и пипетки. Грунты для исследований подготовлены в следующем порядке: высушенный в воздухе суглинок легкий пылеватый или тяжелый пылеватый супесь измельчен и пропущен через сито с отверстиями 1мм, затем добавлен водный раствор различных солей разной концентрации до требуемого количества. Этот грунт сохранен в эксикаторе в течении трёх суток, затем осушен на воздухе и пропущен через того же сито. Пропущенный грунт через сито, исходя из целей исследования, доведен до нужной влажности и плотности.

Исследования в полевых условиях показали, что грунты основания дорог преимущественно представляют собой супеси тяжелые пылеватые. По этой причине исследования в лабораторных условиях проведены на засоленных супесях тяжёлых

пылеватых. Образцы грунта увлажнены до $(0,60; 0,70; 0,80; 0,90)C_{тек}$ и уплотнены в металлических кольцах диаметром 7,1 см и высотой 3,5 см до плотности 0,94; 0,96; 0,98; 1,00; 1,02. Затем образец грунта вместе с кольцом установлен на прибор «Маслова-Лурье» и определены показатели сцепления C и угол внутреннего трения φ . В аналогичном порядке приготовлен образец засоленного грунта в металлическом кольце диаметром 10 см и высотой 11 см. Грунт уплотнен до требуемого значения и по нему, с помощью штампа диаметром 3 см и рычажной установки определен модуль упругости E .

На рис. 3-5 показаны результаты исследования, проведенного для определения зависимости модуля упругости, силы сцепления и угла внутреннего трения засоленного грунта с хлоридными ($NaCl$), сульфатами ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) и гипсами в виде кристалла ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) имеющие различные влажности $(0,60; 0,70; 0,80; 0,90 W_{тек})$ и плотности (коэффициент уплотнения равно 0,94; 0,96; 0,98; 1,00; 1,02).

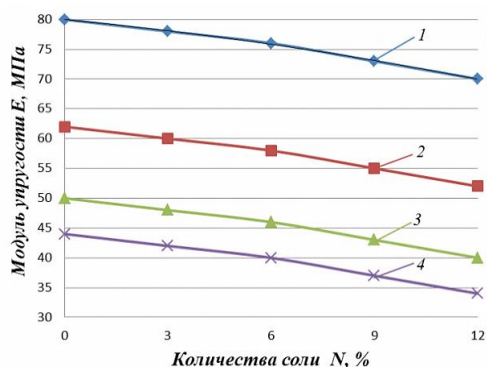


Рис. 3. График зависимости модуля упругости засоленного с NaCl ом грунта от количества засоления и влажности: $K_{уп}=1,00$; 1-0,60Wтек; 2-0,70Wтек; 3-0,80Wтек; 4-0,90Wтек

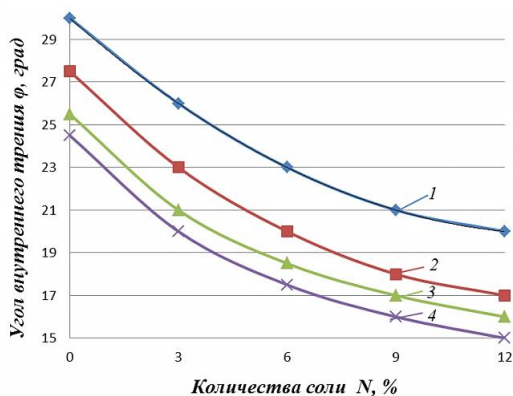


Рис. 4. График зависимости угла внутреннего трения засоленного с NaCl ом грунта от количества засоления и влажности: $K_{уп}=1,00$; 1-0,60Wтек; 2-0,70Wтек; 3-0,80Wтек; 4-0,90Wтек

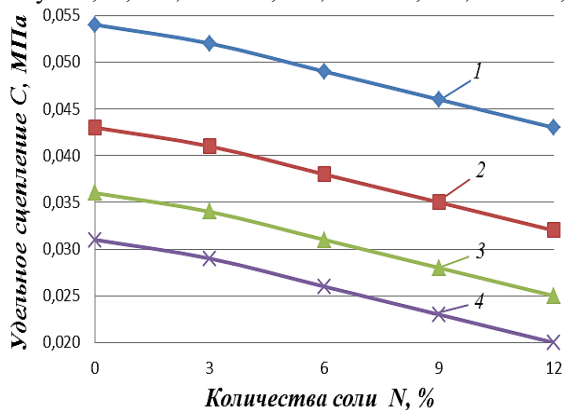


Рис. 5. График зависимости удельного сцепления засоленного с NaCl ом грунта от количества засоления и влажности: $K_{уп}=1,00$; 1-N=0%; 2-N=3%; 3-N=6%; 4-N=9%; 5-N=12%

По результатам исследований можно сделать следующие выводы: для прогноза расчетных характеристик дорожных насыпей из засоленных грунтов предложена схема рабочего слоя увлажняемого капиллярными водами. Это позволяет получить функциональные зависимости для назначения расчетных характеристик рабочего слоя земляного полотна. Определены расчетные характеристики рабочего слоя земляного полотна существующих автомобильных дорог и они дифференцированы в соответствии количества и качества солей, плотности и влажности засоленного грунта. Это позволяет создать оптимальные конструкции земляного полотна и дорожных одежд с использованием засоленных грунтов.

Литература:

1. Каюмов А.Д., Худайкулов Р.М. Расчетные характеристики засоленных грунтов. «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений» Журнал №2 Москва-2016 г. с. 68-75.
2. Kayumov, A., Hudaykulov, R., Makhmudova, D., Kayumov, D. Impact of repeated loads on saline soils of earth roadbed. E3S Web of Conferences, 2021, 264, 02010
3. Махмудова Д.А. Universum: технические науки. Исследование водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог. Журнал №5-2(86) Москва- 2021 г. с. 83-85.
4. Каюмов А.Д., Худайкулов Р.М., Махмудова Д.А. Транспорт шелкового пути «Изучение влияния капиллярного увлажнения на плотность дисперсных грунтов при строительстве транспортных сооружений». Журнал №2 Ташкент- 2020 г. с. 64-69.
5. Kayumov Abdubaki, Hudaykulov Rashidbek, Makhmudova Dilfuza, Kayumov Dilshod. Impact of repeated loads on saline soils of earth roadbed. E3S Web of Conferences 264, 02010 (2021) CONMECHYDRO-2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402010>
6. Борьба с деградацией земель для обеспечения продовольственной безопасности и сохранения услуг, предоставляемых почвенными экосистемами, в Европе и Центральной Азии-Международный год почв, Будапешт, Венгрия, 22 и 23 сентября 2015 г.
7. Худайкулов Р.М. «Обоснование расчетных характеристик засоленных грунтов насыпей земляного полотна». Диссертация на доктора философии (PhD) по техническим наукам. Ташкент-2018 г. 134 с.
8. Научно-технический отчет по теме «Теоретическое и практическое исследование влияния различного качества и количества солей в грунте на их водно-физические и механические свойства». – Ташкент, 2012. – Ч.1. - 90 с.

ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УПРУГО-РЕЛАКСИРУЮЩЕГО СТЕРЖНЯ: КОРРЕКТНОСТЬ ЗАДАЧИ КОШИ И КАЧЕСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ

В. И. Корзюк^{1,2)}*, Я. В. Рудько³⁾** , В. В. Колячко²⁾***

¹⁾ Институт математики Национальной академии наук Беларуси,
ул. Сурганова, 11, 220012, г. Минск, Беларусь

²⁾ Белорусский государственный университет,
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

³⁾ ООО «Открытые информационные системы»,
ул. В. Гастинец, 143Б, к. 579, 220030, г. Молодечно, Беларусь,
e-mail: *korzyuk@bsu.by, **janycz@yahoo.com, ***vlad.kolyachko@yandex.ru

В настоящей работе исследуется корректность по Адамару задачи Коши для одномерной гиперболической системы уравнений в частных производных, описывающей продольные колебания упруго-релаксирующего стержня постоянного поперечного сечения. Показывается, что механическая энергия системы затухает. Также обсуждаются некоторые важные качественные свойства решений: принцип причинности, области зависимости и влияния, конечная скорость распространения волн.

Ключевые слова: продольные колебания; модель Максвелла; гиперболическая система уравнений; задача Коши; корректно поставленная задача.

Введение. В строительстве различных сооружений очень часто приходится иметь дело с колебаниями сплошных сред. Поэтому изучение математических моделей таких явлений является целесообразным. В данной работе мы исследуем одну из таких моделей, представляющую систему двух дифференциальных уравнений в частных производных, исследуем задачу Коши для нее и обсуждаем качественные свойства решений.

Постановка задачи. Требуется найти решение системы уравнений

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(t, x) = \frac{\partial w}{\partial x}(t, x), \gamma \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}(t, x) = \beta \frac{\partial w}{\partial t}(t, x) + w(t, x), (t, x) \in (0, \infty) \times \mathbb{R}, \quad (1)$$

при начальных условиях

$$w(0, x) = \mu(x), u(0, x) = \varphi(x), \partial_t u(0, x) = \psi(x), x \in \mathbb{R}. \quad (2)$$

в предположении достаточной гладкости функций μ, φ, ψ .

В уравнениях (1) постоянная $\rho > 0$ – плотность материала стержня, $\beta > 0$ – время релаксации, $\gamma\beta^{-1} > 0$ – мгновенный модуль упругости, u – дилатации (смещения) стержня, w – напряжения стержня, x – пространственная координата, t – временная координата.

Если $\gamma\beta^{-1}\rho^{-1} > 0$, то система (1) является гиперболической по классификации, предложенной Д. Стриквердой [1].

Затухание энергии. Определим «энергию» системы (1) как

$$E(t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \frac{\beta}{\gamma} w^2 \right) (t, x) dx + \frac{1}{2\gamma} \int_0^t d\tau \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(\tau, x) dx \quad (3)$$

Исходя из соображений теории упругости [2], можно показать, что при некоторых дополнительных предположениях функция (3) действительно определяет энергию стержня,

деленную на площадь поперечного сечения этого стержня. Справедливо утверждение о том, что эта «энергия» не возрастает.

Пусть пара функций u, w есть классическое решение уравнения (1) и функции $u(t, \cdot)$ и $w(t, \cdot)$ имеют компактный носитель в пространстве для любого t . Тогда E невозрастающая функция.

В самом деле, легко рассчитать

$$\begin{aligned} E'(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\rho \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\beta}{\gamma} w \frac{\partial w}{\partial t} \right) (t, x) dx + \frac{1}{2\gamma} \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t, x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\rho \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{1}{\gamma} w \left(\gamma \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} - w \right) + \frac{1}{2\gamma} w^2 \right) (t, x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\rho \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial t} \right) (t, x) dx - \frac{1}{2\gamma} \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t, x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial u}{\partial t} \left(\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) (t, x) dx - \frac{1}{2\gamma} \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t, x) dx \leq 0. \end{aligned}$$

Интегрирование по частям в этом доказательстве корректно, поскольку функции u и w имеют компактный носитель в пространстве для любой временной координаты.

Из затухания энергии следует, что задача (1), (2) имеет не более одного классического решения, если оно существует.

Задача Коши. Дифференцируя первое уравнение системы (1) по x , а второе по t и выражая $\partial_t^2 \partial_x u$ из обеих уравнений, получаем

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (t, x) - \frac{\gamma}{\rho\beta} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} (t, x) + \frac{1}{\beta} \frac{\partial w}{\partial t} (t, x) &= 0, \quad (t, x) \in (0, \infty) \times \mathbb{R}, \\ w(0, x) = \mu(x), \quad \partial_t w(0, x) &= \frac{\gamma}{\beta} \psi'(x) - \frac{1}{\beta} \mu(x), \quad x \in \mathbb{R}. \end{aligned}$$

Такая задача Коши легко интегрируется, и ее классическое решение существует [3–5], и может быть записано в явном аналитическом виде [4,6]

$$\begin{aligned} w(t, x) &= \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{t}{2\beta}\right) \left\{ \left(\mu\left(x - t\sqrt{\gamma\rho^{-1}\beta^{-1}}\right) + \mu\left(x + t\sqrt{\gamma\rho^{-1}\beta^{-1}}\right) \right) + \right. \\ &+ \sqrt{\rho\beta\gamma^{-1}} \int_{x-t\sqrt{\gamma\rho^{-1}\beta^{-1}}}^{x+t\sqrt{\gamma\rho^{-1}\beta^{-1}}} I_0\left(\frac{1}{2\beta} \sqrt{t^2 - \rho\beta\gamma^{-1}(x-\xi)^2}\right) \left(\frac{\gamma}{\beta} \psi'(\xi) - \frac{1}{\beta} \mu(\xi) \right) d\xi + \\ &\left. \frac{t}{2} \sqrt{\rho\beta^{-1}\gamma^{-1}} \int_{x-t\sqrt{\gamma\rho^{-1}\beta^{-1}}}^{x+t\sqrt{\gamma\rho^{-1}\beta^{-1}}} \frac{1}{4\beta} {}_0F_1\left(2; \frac{t^2 - \gamma^{-1}\rho\beta(x-\xi)^2}{16\beta^2}\right) \mu(\xi) d\xi \right\}, \\ &(t, x) \in (0, \infty) \times \mathbb{R}, \quad (4) \end{aligned}$$

Тогда,

$$u(t, x) = \varphi(x) + t\psi(x) + \frac{1}{\rho} \int_0^t d\lambda \int_0^\lambda \frac{\partial w}{\partial x}(\tau, x) d\tau. \quad (5)$$

В формуле (4) использованы обозначения: I_n – модифицированная функция Бесселя первого рода порядка n и ${}_0F_1$ – вырожденная гипергеометрическая функция.

Таким образом, построено в явном аналитическом виде классическое решение задачи Коши (1) – (2), если $\mu \in C^2(\mathbb{R})$, $\varphi \in C^2(\mathbb{R})$ и $\psi \in C^2(\mathbb{R})$.

Непрерывная зависимость решения от начальных данных легко доказывается с помощью априорных оценок и многомерной леммы Гронволла. Хотя есть более простой способ доказательства корректности задачи Коши – использование матричного критерия [1].

Из формул (4) и (5) явным образом следует, что решения системы обладают конечной скоростью распространения колебаний.

Область зависимости. Из приведенной выше формулы видно, что для вычисления решения задачи (1), (2) в точке (t_0, x_0) необходимо задать значение функции φ всего в одной точке, а значения функций μ , ψ – на отрезке $[x_0 - t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}, x_0 + t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}]$.

Иными словами, если мы рассмотрим два набора начальных условий (μ, φ, ψ) и $(\mu_1, \varphi_1, \psi_1)$, совпадающих на отрезке $[x_0 - t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}, x_0 + t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}]$, то решения обеих задач Коши совпадают в точке (t_0, x_0) . В частности, изменение начальных данных вне интервала $[x_0 - t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}, x_0 + t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}]$ не влияет на решение в точке (t_0, x_0) .

Таким образом, областью зависимости точки (t_0, x_0) является интервал $[x_0 - t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}, x_0 + t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}]$.

Область влияния. Область влияния точки x_0 , лежащей на действительной оси, это множество всех точек (t_0, x_0) , область зависимости которых содержит точку $(0, x_0)$. И ее можно явно указать как

$$\{(t, x) | t \in [0, \infty) \wedge x \in \mathbb{R} \wedge x - t\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}} \leq x_0 \leq x + t\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}\}.$$

Аналогично определяется область влияния любого множества. В частности, область влияния отрезка $[a, b]$ задается выражением

$$\{(t, x) | t \in [0, \infty) \wedge x \in \mathbb{R} \wedge x - t\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}} \leq b \wedge a \leq x + t\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}\}.$$

Принцип причинности. Пусть пара функций u, w есть классическое решение задачи (1), (2). Тогда значения $u(t_0, x_0)$ и $w(t_0, x_0)$ зависят только от значений μ, φ и ψ на отрезке $[x_0 - t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}, x_0 + t_0\sqrt{\gamma\beta^{-1}\rho^{-1}}]$.

Доказательство принципа непосредственно следует из формул (4) и (5). Однако, можно привести доказательство этого результата без использования явных формул. Например, вместо (4) можно использовать интегральное представление [3].

Заключение. В данной работе показано, что задача Коши для одномерной системы уравнений в частных производных, описывающей продольные колебания упруго-релаксирующего стержня, является корректной. Найдено ее решение в явном аналитическом виде. Также указаны некоторые качественные свойства решений.

Литература

1. Strikwerda, J. C. Finite Difference Schemes and Partial Differential Equations / J. C. Strikwerda. – 2nd ed. – Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2004. – 439 p.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учеб. пособ.: для вузов: в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Т. VII: Теория упругости. – 264 с.
3. Korzyuk, V. I. Classical solution of the initial-value problem for a one-dimensional quasilinear wave equation / V. I. Korzyuk, J. V. Rudzko // XX Международная научная

конференция по дифференциальным уравнениям (Еругинские чтения–2022): материалы международной научной конференции, Новополоцк, 31 мая – 03 июня 2022 г.: в 2 ч. / Полоцкий государственный университет; редкол.: А. А. Козлов [и др.]. – Новополоцк: 2022 – Ч. 2. – С. 38–39.

4. Корзюк, В. И. Уравнения математической физики: учеб. пособие / В. И. Корзюк. – 2-е изд. – М.: ЛЕНАНД, 2021. – 480 с.

5. Корзюк, В. И. Классическое решение первой смешанной задачи для телеграфного уравнения с нелинейным потенциалом / В. И. Корзюк, Я. В. Рудько // Дифференциальные уравнения. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 174–184.

6. Полянин, А. Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / А. Д. Полянин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.

УДК 624.072

СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БЕСКОНЕЧНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ СЛОЕ

К.А. Сирош¹), О.В.Козунова²)

1) Белорусский государственный университет транспорта,
ул. Кирова, 33, г. Гомель, Беларусь, e-mail: kris.sirosh@mail.ru

2) Белорусский национальный технический университет,
ул. Ф. Скорины, 25/3, г. Минск, Беларусь, e-mail: kozunova@gmail.com

Рассматривается бесконечная регулярная система железобетонных плит, расположенная на упругом слое. Слой ограничен по толщине и жестко соединен с недеформируемым основанием.

Упругий слой заменяется расчетной областью, которая аппроксимируется симметричной объемной разбивочной сеткой с постоянными шагами в осях XYZ, состоящая из объемных ячеек. При решении поставленной задачи в перемещениях энергия деформации подсчитывается для каждой объемной ячейки расчетной области, после чего интегрируется по всему объему упругого основания.

Статический анализ бесконечной регулярной системы плит на упругом слое под воздействием пространственной нагрузки выполняется итерационным алгоритмом вариационно-разностного метода (ВРМ), для которого характерна замена дифференциальных уравнений конечно-разностными аппроксимациями, используя метод конечных разностей. ВРМ является численно-аналитическим методом расчета строительных конструкций и приближен к реальным условиям работы системы «фундамент – основание».

Ключевые слова: бесконечная регулярная система железобетонных плит, вариационно-разностный метод, упругий слой, контактная зона, прогибы, осадки, контактные напряжения, внутренние усилия.

В работе авторами рассматривается бесконечная регулярная система железобетонных плит на упругом слое. Система разбивается в силу симметрии на базовые расчетные элементы – плиты, свободно опирающиеся на упругий слой. Линейные размеры конструкций – l_x , l_y . Поперечные сечения плит приняты постоянными.

Основание моделируется упругим однородным изотропным слоем, ограниченным по толщине и соединенным с несжимаемым основанием. Внешняя сосредоточенная нагрузка F перпендикулярна плоскости упругого слоя и приложена в центре плиты.

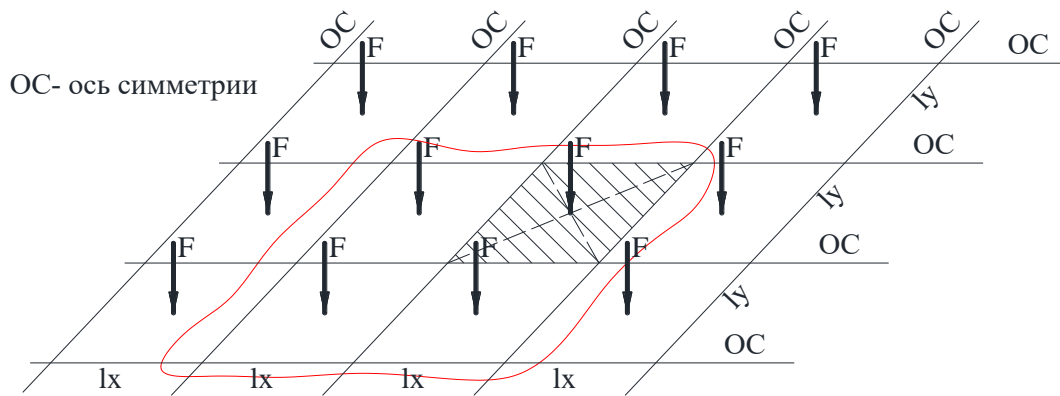


Рис. 1. Регулярная система железобетонных плит под действием внешней нагрузки

Граничные условия задачи. На границах расчетной области основания горизонтальные перемещения $u(x)$, $v(y)$ равняются нулю. В зоне контакта осадки упругого слоя и прогиб плиты равны. Для крайних точек плиты регулярной системы введены смешанные граничные условия

$$Q_z|_{x=\pm \frac{lx}{2}} = -D_x \frac{d^3 w}{dx^3} = 0, \quad Q_z|_{y=\pm \frac{ly}{2}} = -D_y \frac{d^3 w}{dy^3} = 0,$$

$$\varphi_x|_{y=\pm \frac{ly}{2}} = \frac{dw}{dy} = 0, \quad \varphi_y|_{x=\pm \frac{lx}{2}} = \frac{dw}{dx} = 0. \quad (1)$$

Расчетный элемент (плита) разбивается на равные участки размерами $\Delta x \times \Delta y$. В контактной зоне касательные напряжения не учитываются. Для решения пространственной задачи основание (упругий слой) заменяется расчетной областью из совокупности ячеек и узловых точек, полученных путем аппроксимации [1] симметричной объемной разбивочной сеткой с постоянными шагами в осях глобальной системы координат. Ячейка расчетной области является параллелепипедом с размерами граней Δx , Δy , Δz .

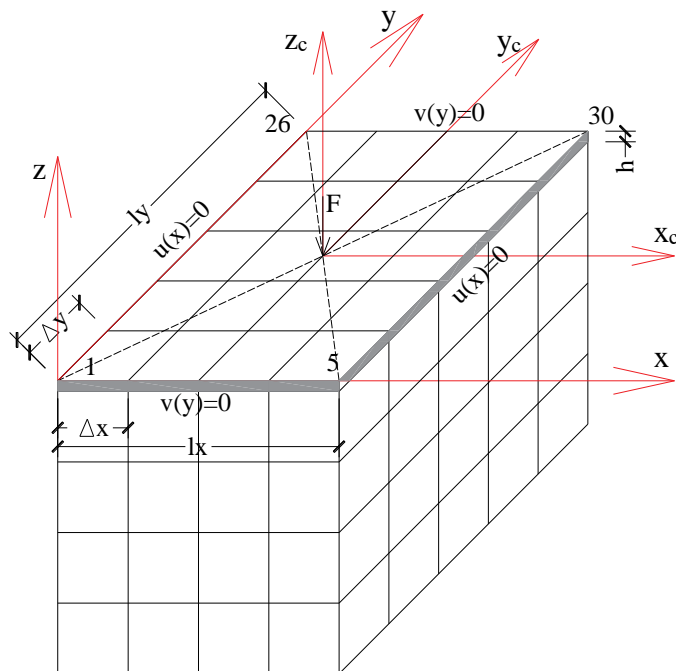


Рис. 2. Расчетная область для решения пространственной задачи

Согласно вариационному принципу Лагранжа [2] при нагружении статической нагрузкой на упругом слое расчетного элемента исследуемой бесконечной системы ее полная потенциальная энергия в состоянии равновесия принимает минимальное значение.

Величина полной потенциальной энергии конструкции (плиты) состоит из энергий деформации конструкции Ω и упругого основания U , а также работы внешней нагрузки Π

$$\mathcal{E} = U + \Omega + \Pi. \quad (2)$$

Удельная энергия деформации определяется для каждой ячейки через конечно-разностные аппроксимации, а после по объему упругого слоя интегрируется [1, 3].

После замены интегро-дифференциальных выражений функционалов энергий конечно-разностными аппроксимациями система дифференциальных уравнений преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений. Решение СЛАУ позволяет найти неизвестные компоненты вектора $u_i(x,y,z)$, $v_i(x,y,z)$, $w_i(x,y,z)$. Система линейных алгебраических уравнений представлена в общем виде

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial v_i} = 0, \\ \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial u_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \\ \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial w_i} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

где N – число узловых точек параллелепипеда.

В [4] рассматривалось упругое равновесие плоской однородной анизотропной пластинки постоянной толщины, закрепленной по всему краю (или по его части) под воздействием деформируемой изгибающей нагрузки, распределенной по плоским поверхностям и нормальной к срединной поверхности в недеформированном состоянии. Плоскостью изгиба (плоскость XY) принимается срединная плоскость недеформированной плиты. Ось Z направляется в сторону ненагруженной внешней поверхности и в силу симметрии поставленных задач в дальнейшем является одной из главных осей, а точка приложения осей совпадает с центром тяжести плиты. Объемными силами можно пренебречь [5].

Обычно энергию деформации и энергию изгиба конструкции отождествляют (деформации сдвига не учитываются). Учет кручения плиты в плоскости XY возможен через потенциальную энергию деформаций ортотропной плиты по Лехницкому [4]

$$\Omega = V = \frac{1}{2} \iint \left[D_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 4D_k \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dx dy, \quad (4)$$

где D_x, D_y – цилиндрические жесткости изгиба ортотропной плиты вокруг осей Y и X соответственно (которые совпадают с главными осями);

$D_k (D_{xy})$ – жесткость кручения плиты.

Цилиндрические жесткости изгиба плиты с учетом ортотропии имеют вид [4]

$$D_x = \frac{E_x h^3}{12(1-\nu_x \nu_y)}, \quad D_y = \frac{E_y h^3}{12(1-\nu_x \nu_y)}, \quad (5)$$

где E_x, E_y, ν_x, ν_y – главные модули упругости и коэффициенты Пуассона материала плиты.

В расчетах учитывается жесткость кручения плиты (для определения которой применена формула из монографии С.П. Тимошенко [6])

$$D_k = D_{xy} = \frac{\nu_x + \nu_y}{2} \sqrt{D_x \cdot D_y}. \quad (6)$$

Для определения изгибающих моментов M_x, M_y и крутящего M_k ортотропной изолированной плиты справедливы следующие соотношения [5]

$$\begin{aligned} M_x &= -D_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \\ M_y &= -D_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right), \\ M_k &= -2D_k \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \end{aligned} \quad (7)$$

При определении энергии деформации упругого слоя на основании закона сохранения энергии ее заменяют работой реактивных давлений в контактной зоне конструкции [7]. Если пренебрегать реактивными касательными усилиями в контактной зоне, то энергия деформации упругого слоя для плиты определяется [8] как:

$$U = \frac{1}{2} \iint_S p(x, y) w(x, y) dx dy; \quad (8)$$

где $q(x, y)$ – реактивные давления в контактной зоне конструкции.

Работа внешней нагрузки $q(x, y)$ для прямоугольной плиты [8]

$$\Pi = - \iint_S q(x, y) w(x, y) dx dy. \quad (9)$$

Следует отметить, интегрирование в формулах (8), (9) производится по области S контакта конструкции (плиты) с упругим слоем.

Зависимость «жесткость-кривизна». Для железобетонных конструкций (балок и плит) с возможным трещинообразованием ТНПА в статических расчетах рекомендует использовать приведенный модуль упругости (деформации) для нахождения соответствующих переменных жесткостей. Алгоритм такого расчета дан в работе [7], в которой нелинейный расчет железобетонных балок базируется на зависимости «жесткость-кривизна» по В.И. Соломину [9], взаимосвязанной с диаграммой «момент-кривизна» через переменную (секущую) жесткость

$$\operatorname{tg}\beta_i = B_i = \frac{M_k}{\chi_k}, \quad (10)$$

где B_i – переменная (секущая) жесткость при изгибе конструкции (балки, плиты) i -том состоянии, представляющая собой тангенс угла наклона секущей к оси кривизны, проведенной к точке К диаграммы «момент – кривизна».

При нахождении переменной (секущей) жесткости плиты на каждой итерации используется зависимость «жесткость – кривизна» (рис. 3) в направлениях X, Y. Зависимость построена в [10], с использованием приведенной цилиндрической жесткости плиты по направлению осей ортотропии.

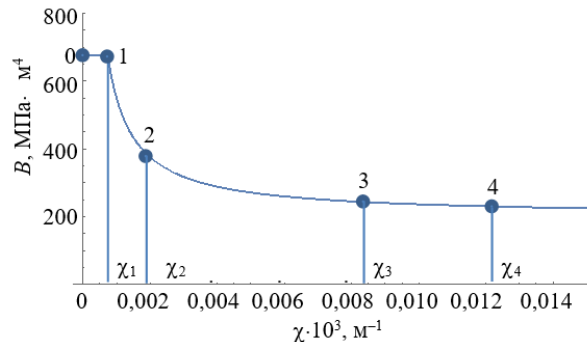


Рис. 3. Зависимость «жесткость – кривизна» по [9]

Упругий расчет выполнен для дорожной железобетонной плиты размерами $4 \times 3 \times 0,14$ м из бетона класса С20/25 с характеристиками: модуль деформации бетона $E_b = 29,05$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu_b = 0,17$. Упругий изотропный слой мощностью (толщиной) $H = 7$ м жестко соединен с недеформируемым основанием. Параметры упругого слоя: модуль деформации $E_0 = 20$ кПа, коэффициент Пуассона $\nu_0 = 0,33$. Внешняя нагрузка $Q = 65$ кН распределялась по площади $0,4 \times 0,4$ м и была приложена в центре плиты. В расчете учитывался собственный вес плиты $q = 3,5$ кН/м².

Использование зависимости «жесткость-кривизна» помогает сократить промежуточные вычисления, также эта зависимость легче аппроксимируется, чем зависимость «момент-кривизна» [7].

Контактная поверхность конструкции с упругим слоем разбивается на равные прямоугольные участки и определяются перемещения центра каждого участка от единичной силы, равномерно распределенной по площади каждого выделенного участка. Таким образом, образуется матрица податливости упругого слоя, из которой в дальнейшем будет получена матрица жесткости упругого слоя [7].

Организуется итерационный алгоритм, при котором на каждой итерации по зависимости «жесткость – кривизна» уточняется изгибная жесткость на каждом участке железобетонной плиты.

Литература

1. Козунова, О. В. Расчет бесконечной системы перекрестных балок на упругом основании вариационно-разностным методом / О. В. Козунова, К. А. Сирош // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 65-71
2. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высшая школа, 1990. – 400 с.
3. Козунова, О. В. Нелинейный расчет регулярной системы железобетонных балок на упругом основании на симметричную нагрузку / О. В. Козунова, К. А. Сирош // Механика.

Исследования и инновации: международный сборник научных трудов / БелГУТ. – Гомель, 2021. – Вып. 14. – С. 97-104.

4. Лехницкий, С. Г. Анизотропные пластинки / С. Г. Лехницкий. М.: Госуд. изд-во технико-теор. лит-ры, 1957. 387 с.

5. Козунова О.В. Совершенствование методики расчета гибких ортотропных плит на упругом основании. Часть 1. Теория расчета. / О.В. Козунова // Наука и техника. – 2022. – 21(3). – С. 211-221.

6. Тимошенко, С.П. Пластины и оболочки/ С.П. Тимошенко, С.Войновский-Кригер М., Фитматгиз, 1963.– 536 с

7. Козунова, О.В. Нелинейный расчет железобетонной балки на упругом основании с помощью зависимости «жесткость-кривизна» / О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №1– 2022 – с.37-46.

8. Босаков, С. В. Метод Ритца в контактных задачах теории упругости: монография / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. – 107 с.

9. Соломин, В.И. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций // В.И. Соломин, С.Б. Шматков/ М., Стройиздат –1986. –208с.

10. Козунова, О. В. Совершенствование методики расчета гибких ортотропных плит на упругом основании. Часть 2. Результаты расчета = Improvement of Calculation Technique for Flexible Orthotropic Plates on Elastic Base. Part 2. Calculation Results / О. В. Козунова // Наука и техника. – 2022. – № 4. – С. 290-296.

УДК 624.072

НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ КЛИНОВИДНОГО ОСНОВАНИЯ ПОД БАЛОЧНОЙ ПЛИТОЙ С УЧЕТОМ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ В ЗОНЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

О.В. Козунова¹⁾, А.Г. Пусенков²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

Минск, Беларусь, e-mail: kozunova@gmail.com

²⁾ ОАО «Гомельский ДСК»,

Гомель, Беларусь

Расчет упругого основания и балочной плиты с учетом сил сцепления в общем виде является чрезвычайно сложной биконтактной задачей.

Взаимодействие балочной плиты и упругого основания с учетом касательных напряжений в зоне контактного взаимодействия по сути является разновидностью контактных задач теории упругости, решение которой возможно в нелинейной постановке при работе упругих сред в зоне небольших упруго-пластических деформаций, то есть с учетом физической нелинейности.

Учет нелинейности деформирования балочной плиты позволяет увеличить, как правило, допустимую нагрузку на плиту за счет перераспределения и уменьшения максимальных значений усилий, но при этом обнаруживается резкое возрастание неравномерности осадок. Данные нелинейного расчета позволяют выполнить достоверную оценку работы конструкции по предельным состояниям эксплуатационной пригодности.

Для решения рассматриваемой задачи авторами применяется вариационно-разностный метод (ВРМ), который реализуется в перемещениях через конечно-разностные соотношения теории упругости при использовании в решении функционала полной потенциальной энергии деформации системы, состоящей из плиты, упругого основания и зоны контактного взаимодействия.

Предлагаемая методика статического расчета позволяет определить внутренние усилия в балочной плите и осадки упругого основания под плитой с учетом касательных

напряжений в контактной зоне, достаточно полно исследовать эту зону взаимодействия балочной плиты с упругим основанием, а также получить полную картину влияния касательных напряжений на напряженно-деформированное состояние упругого основания. Численная реализация ВРМ производится методом конечных разностей в вариационной постановке в программном пакете Mathematica.

Ключевые слова: балочная плита, упругое основание, клиновидное основание, силы сцепления.

Введение. Из-за разнообразия конструктивных решений балочных плит и грунтовых условий в настоящее время нет возможности дать строгое решение пространственной задачи. В связи с этим допускают использование приближенного решения, согласно которому влияние жесткости балочной плиты и реактивных касательных напряжений на расчетные величины плитного фундамента определяют строго в плоской постановке. Затем результаты такого расчета используют для приблизительной оценки влияния указанных факторов на результаты расчетов по действительной пространственной схеме, выполненных по существующим методам без учета этих факторов [1].

Взаимодействие балочной плиты и упругого основания ленточного фундамента с учетом касательных напряжений в зоне контактного взаимодействия по сути является разновидностью одной из контактных задач теории упругости [2], решение которой возможно в нелинейной постановке при работе упругих сред в зоне малых упруго-пластических деформаций по А.А. Илюшину.

Постановка задачи. Граничные условия. Балочная плита ленточных фундаментов мелкого заложения находится на упругом неоднородном (двухслойном) основании глубиной (толщиной) H с приложенной внешней нагрузкой $q(x)$ (рис. 1а). Параметры плиты: высота h , ширина $2l$, изгибная жесткость EJ , жесткость на растяжение EA .

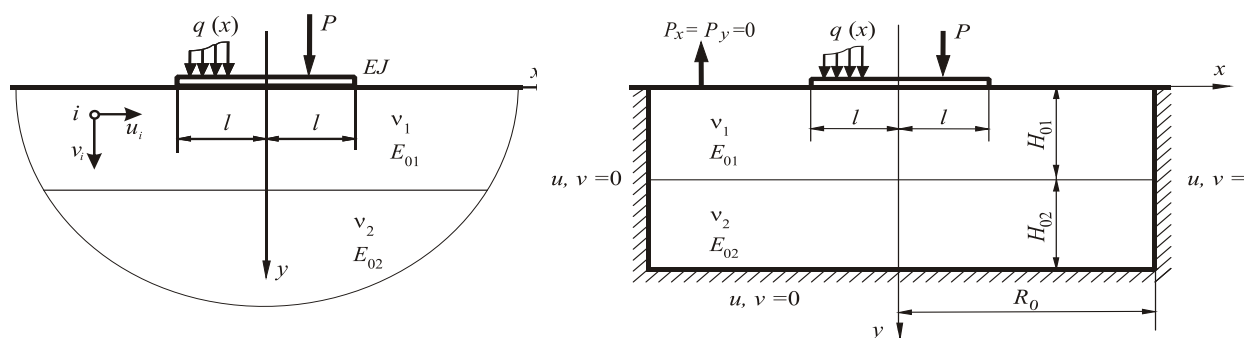


Рис. 1 Балочная плита на двухслойном основании:
 а) параметры плиты и упругого основания;
 б) расчетная область. Граничные условия задачи.

Для расчета балочных плит на упругом основании с учетом касательных напряжений в контактной зоне вводим следующие гипотезы и допущения:

1. гипотезы и допущения теории упругости, которые справедливы для рассчитываемой области упругого основания;
2. гипотезы плоского изгиба балки (плиты), справедливые для балочной плиты;
3. допущение о том, что при моделировании контактной зоны между балочной плитой и основанием могут возникать и растягивающие, и сжимающие напряжения. Кроме того, при моделировании учитываются силы трения, как и касательные напряжения в зоне контактного взаимодействия.

Рассматриваемая контактная задача замыкается кинематическими и статическими граничными условиями.

Кинематические граничные условия реализуются на границе принятой расчетной области и в контактной зоне (см. рисунок 1б), а именно:

на границе принятой расчетной области перемещения в направлении осей X и Y принимается равными нулю $u=0$ и $v=0$;

в контактной зоне справедливо равенство осадок основания прогибам плиты.

Статические граничные условия.

На рисунке 1б отражены статические граничные условия в усилиях вне контактной зоны, а именно $P_x = P_y = 0$.

Для крайних точек k балочной плиты вводятся статические граничные условия (см. формулу 2.29 [3])

$$Q^{(k)} \Big|_{x=\pm l} = -EJ \frac{d^3 y_k}{dx^3} = 0; \quad M^{(k)} \Big|_{x=\pm l} = -EJ \frac{d^2 y_k}{dx^2} = 0, \quad (1)$$

из условия свободного опирания балочной плиты на упругое полупространство.

Алгоритм решения нелинейной задачи ВРМ. Для решения рассматриваемой задачи авторами применяется вариационно-разностный метод (ВРМ) [4], который реализуется в перемещениях через конечно-разностные соотношения теории упругости (плоская деформация) при использовании в решении функционала полной потенциальной энергии деформации системы, состоящей из энергии изгиба плиты, энергии деформации упругого основания с учетом продольных сил в зоне контактного взаимодействия и работы внешней нагрузки.

Основание аппроксимируется разбивочной сеткой конечных размеров с постоянным шагом по осям (рис. 2).

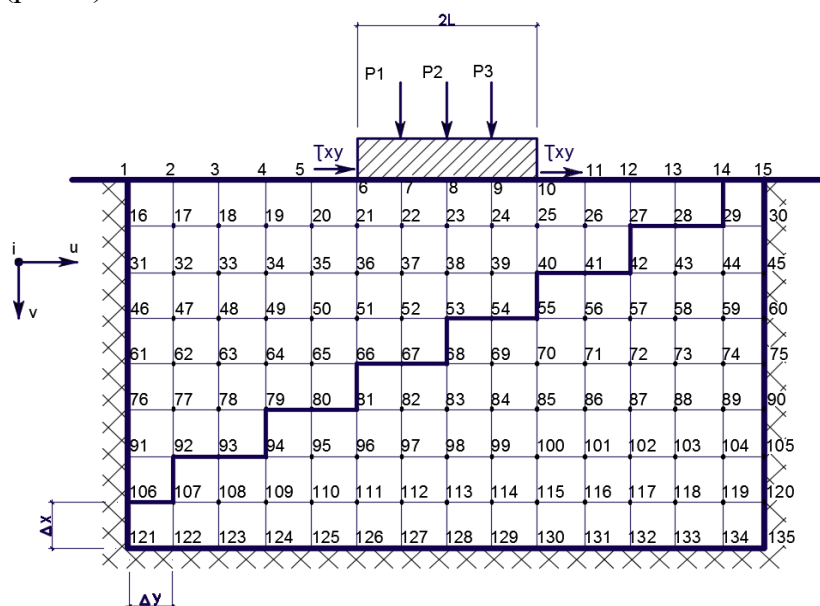


Рис. 2 Разбивочная сетка расчетной области

За неизвестные принимаем: $u_i(x,y)$, $v_i(x,y)$ – компоненты вектора перемещения i -той узловой точки основания, направленные вдоль осей X и Y соответственно; $p_y^{(i)}(x,y)$ – реактивные давления в зоне контакта балочной плиты с основанием.

Решение краевой задачи строится в перемещениях и реализуется методом конечных разностей, то есть заменой дифференциальных уравнений конечно-разностными соотношениями.

Рассматривается прямоугольная ячейка метода конечных разностей (рис.3)

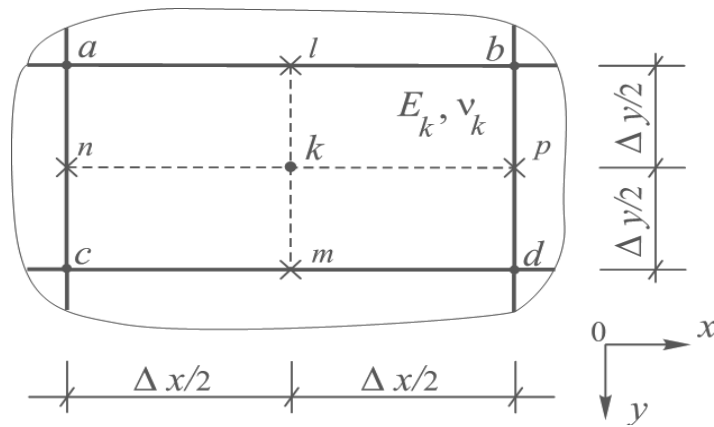


Рис. 3 Прямоугольная ячейка метода конечных разностей

Соотношение Коши в выражениях деформаций в точке k [3]

$$\varepsilon_x^{(k)} = \frac{\partial u_k}{\partial x} = \left(\frac{u_b + u_d}{2} - \frac{u_a + u_c}{2} \right) \cdot \frac{1}{\Delta x} = \frac{u_b + u_d - u_a - u_c}{2\Delta x}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_y^{(k)} = \frac{\partial v_k}{\partial y} = \left(\frac{v_c + v_d}{2} - \frac{v_a + v_b}{2} \right) \cdot \frac{1}{\Delta y} = \frac{v_c + v_d - v_a - v_b}{2\Delta y};$$

$$\begin{aligned} \gamma_{xy}^{(k)} &= \frac{\partial u_k}{\partial y} + \frac{\partial v_k}{\partial x} = \left(\frac{u_c + u_d}{2} - \frac{u_a + u_b}{2} \right) \cdot \frac{1}{\Delta y} + \left(\frac{v_b + v_d}{2} - \frac{v_a + v_c}{2} \right) \cdot \frac{1}{\Delta x} = \\ &= \frac{u_c + u_d - u_a - u_b}{2\Delta y} + \frac{v_b + v_d - v_a - v_c}{2\Delta x}. \end{aligned} \quad (3)$$

Энергия деформаций прямоугольной ячейки [3]

$$U_{i,j}^{(k)} = \frac{E_k}{2(1+\nu_k)} \left[\frac{\nu_k}{1-2\nu_k} (\varepsilon_x^{(k)} + \varepsilon_y^{(k)})^2 + (\varepsilon_x^{(k)})^2 + (\varepsilon_y^{(k)})^2 + \frac{1}{2} (\gamma_{xy}^{(k)})^2 \right] \Delta x \Delta y. \quad (4)$$

Величина полной потенциальной энергии балочной плиты на упругом основании \mathcal{E} состоит из энергии изгиба плиты U , энергии деформации упругого основания A с учетом энергии продольных деформаций (сцепления) в контактной зоне плиты с основанием U_t и работы внешней нагрузки Π :

$$\mathcal{E} = U + A + \Pi. \quad (5)$$

Хотелось бы отметить, что при составлении соотношения полной энергии деформации упругого основания A в формуле (5), авторами был выполнен учет касательных напряжений в контактной зоне в дополнительном слагаемом: энергия продольных деформаций в контактной зоне плиты с основанием, то есть

$$A = U_f + U_t, \quad (6)$$

где U_f – энергия деформации упругого основания (плоская деформация) [3]; U_t – энергия продольных деформаций (сцепления) в контактной зоне плиты с основанием.

Энергия деформаций упругого основания

$$U_f = \sum_{j=1}^{MY-1} \left(\sum_{i=1}^{NX-1} U_{i,j}^{(k)} \right) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{MY-1} \left(\sum_{i=1}^{NX-1} \left(\frac{E_k}{1+\nu_k} \cdot \left[\frac{\nu_k}{1-2\nu_k} \cdot \left(\frac{1}{2\Delta x} (u_b + u_d - u_a - u_c) + \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{1}{2\Delta y} \cdot (v_c + v_d - v_a - v_b) \right) \right]^2 + \left(\frac{1}{2\Delta x} \cdot (u_b + u_d - u_a - u_c) \right)^2 + \left(\frac{1}{2\Delta y} \cdot (v_c + v_d - v_a - v_b) \right)^2 + \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2\Delta y} \cdot (u_c + u_d - u_a - u_b) + \frac{1}{2\Delta x} \cdot (v_b + v_d - v_a - v_c) \right)^2 \right] \Delta x \Delta y \right) \quad (7)$$

где NX – число узлов по оси X ; и MY – число узлов по оси Y .

Энергия продольных деформаций (сцепления) в контактной зоне плиты с основанием

$$U_t = \sum_{i=I+1}^{K1-1} EA_{i=I+1} \cdot \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x} \right)^2 \Delta x. \quad (8)$$

Энергия изгиба балочной литы

$$U = \frac{\Delta x}{2} \sum_{i=I+1}^{K1-1} EJ_{i=I+1} \cdot \left(\frac{v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}}{\Delta x^2} \right)^2 \quad (9)$$

Потенциал внешней нагрузки

$$\Pi = - \sum_{i=I+1}^{K1-1} q_i(x) v_i \Delta x \quad (10)$$

При составлении функционала энергии деформаций упругого основания (5) не учитывается работа сил собственного веса упругого основания. Дело в том, что силы собственного веса упругого основания уравновешены начальным напряженным состоянием уже в упругом основании, а работа самоуравновешенной системы сил на малых возможных перемещениях равна нулю. Это означает, что при поиске полного напряженного состояния рассматриваемой задачи необходимо на полученное решение наложить напряженное состояние от сил собственного веса основания.

Так как в состоянии статического равновесия функционал полной энергии \mathcal{E} должен иметь минимум, то неизвестные перемещения $u_i(x), v_i(y)$ найдем из условия обращения в нуль производных от полной энергии по каждому из перемещений, то есть

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial v_i} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial u_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (11)$$

где N – число узловых точек основания.

В результате получается система дифференциальных уравнений, порядок которой равен $2N$, то есть числу неизвестных перемещений.

Вначале решается задача в линейной постановке. По вычисленным значениям перемещений i -той узловой точки $u_i(x, y)$, $v_i(x, y)$, используя геометрические уравнения Коши и конечно-разностные соотношения (2, 3), определяется интенсивность деформаций и интенсивность напряжений в центрах ячеек (см. формулы теории упругости).

Имея значения напряжений и перемещений, полученных в результате решения задачи в первом приближении, определяется касательный или секущий модули деформации для каждой ячейки и задача решается во втором и последующих приближениях, с учетом изгибной жесткости балочной плиты.

Итерационный процесс заканчивается, как только разница между последующим и предыдущим приближением исследуемой функции будет соответствовать требуемой точности решения задачи.

Заключение. Предложенная авторами методика расчета системы балочной плиты с неоднородным упругим основанием вариационно-разностным методом с использованием конечно-разностных уравнений полной потенциальной энергии, позволяет определить внутренние усилия в балочной плите и осадки упругого основания под плитой, более полно исследовать эту зону биконтактного взаимодействия с учетом сил сцепления.

Учет физической нелинейности при деформировании балочной плиты на упругом основании позволяет увеличить, как правило, допустимую нагрузку на плиту за счет перераспределения и уменьшения максимальных значений усилий, но при этом обнаруживается резкое возрастание неравномерности осадок. Результаты нелинейного расчета позволяют выполнить достоверную оценку работы конструкции по предельным состояниям эксплуатационной пригодности.

Литература

1. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа. Разработано к СНиП II-15-74. М.: Стройиздат., 1984. – 265 с.
2. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности: уч. для строит. спец. вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 400 с.
3. Козунова, О. В. Статический анализ системы "балочная плита — нелинейно-упругое неоднородное основание" вариационно-разностным методом: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 05.23.17 Строительная механика / Козунова О.В., Минск – 2017 – 168 с.
4. Козунова, О. В. Особенности проектирования плитных фундаментов на многослойных основаниях со слабыми слоями грунтов / О. В. Козунова // Рекомендации по проектированию и устройству рациональных фундаментов на основаниях, сложенных озерно-ледниковыми и лессовидными грунтами : Р 5.01.056.09 : введ. 01.10.09. – Минск : Стройтехнорм, 2009. – Гл. 8. – С. 39–47.
5. Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск: БНТУ, 2002. – 127 с.
6. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 631 с.
7. Федоровский, В. Г. Жесткий штамп на нелинейно-деформируемом связном основании (плоская задача) / В. Г. Федоровский, С. Е. Кагановская // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 1. – с. 41–44.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСЧЕТА ОРТОТРОПНЫХ ДОРОЖНЫХ ПЛИТ НА ПРОИЗВОЛЬНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ МАТЕРИАЛА ПЛИТ

С.В. Босаков, О.В. Козунова
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, г. Минск, Беларусь,
e-mail: kozunova@gmail.com

В предлагаемой работе получила дальнейшее развитие теория нелинейных расчетов конструкций несущего дорожного покрытия на произвольном упругом основании, таких, как железобетонная ортотропная плита, лежащая без трения и скольжения на упругом изотропном слое, жестко соединенным с недеформируемым основанием. Выполнены упругий и нелинейный расчеты плиты под действием внешней статической нагрузки с учетом их собственного веса. В нелинейном расчете исследуемой конструкции учитывается изменение ее жесткости в момент трещинообразования и дальнейшего активного раскрытия трещин.

Расчет ортотропной плиты на упругом основании в нелинейной постановке выполняется итерационным путем метода Б.Н. Жемочкина. Для определения коэффициентов канонических уравнений и свободных членов использован смешанный метод строительной механики. На первой итерации плита рассчитывается как линейно-упругая, однородная и ортотропная, на последующих - как линейно-упругая, ортотропная и неоднородная на каждом участке Жемочкина. Прогибы плиты с защемленной нормалью в основной системе смешанного метода от действия сосредоточенной силы определяются методом Ритца при представлении прогибов в виде степенного полинома в новом оригинальном выражении, которое предлагает автор впервые в проводимых ниже исследованиях. Это выражение удовлетворяет не только граничным условиям защемленной плиты по перемещениям, но и бигармоническому уравнению.

В нелинейных расчетах плиты при нахождении переменной (секущей) жесткости для участка Жемочкина на каждой итерации используется зависимость "жесткость - кривизна" для каждого из направлений X и Y , аппроксимированная нелинейной функцией, характер зависимости которой графически свидетельствует о нелинейно-упругой работе ортотропной плиты и ее деформировании с учетом трещинообразования и раскрытия трещин.

Приводятся примеры нелинейных расчетов железобетонных ортотропных плит на упругом изотропном слое. Алгоритмы приводимых выше решений реализованы при помощи компьютерной программы Wolfram Mathematica 11.3.

Ключевые слова: упругое основание, метод Жемочкина, упругий слой, нелинейный расчет, зависимость «жесткость-кривизна», гибкая ортотропная плита, метод Ритца, трещинообразование, дорожная железобетонная плита, осадки, контактные напряжения, изгибающие моменты.

Учет нелинейного деформирования железобетона и грунта. Обзор публикаций. Полученные ранее В.И. Мурашевым [1], А.А. Гвоздевым [2, 3] физические уравнения железобетонных балок и плит учитывают трещинообразование и другие нелинейные деформации, возникающие в этих конструкциях, и нашедшие свое описание в монографии Н.И. Карпенко [4]. Моделирование грунтов в фундаментных конструкциях на упругом основании также неоднозначно и разнообразно, что достаточно полно отразили в своих монографиях отечественные ученые, такие как М.И. Горбунов-Посадов [5], С.Д. Семенюк [6], С.В. Босаков [7] и другие. В настоящее время ученые продолжают разрабатывать

модели, учитывающие остаточные деформации, зоны пластического течения и другие нелинейные проявления упругого основания под эксплуатационной нагрузкой [8, 9].

Следует отметить, что в фазе уплотнения осадку *жесткого* фундамента и реактивные давления следует считать *линейно-зависящими от нагрузки на фундамент*, поэтому нормы проектирования фундаментов и оснований [10] допускают рассчитывать основания по деформациям, используя линейные модели, если среднее давление на основание не превышает некоторой величины, называемой расчётным сопротивлением основания. Гораздо сложнее взаимодействие с основанием *гибких* железобетонных фундаментов. В этом случае изменение эпюры реактивных давлений с ростом нагрузки происходит не только за счет особенностей деформирования грунта, но также за счет *уменьшения жесткости фундамента*, которое начинается с образования и раскрытия в нем трещин.

Первые задачи о расчете фундаментных конструкций с учетом физической нелинейности были решены Б.Г. Корневым [11]. Деформирование элемента балки (в координатах «момент-кривизна») он описывал диаграммой Прандтля. При расчете осесимметрично-деформируемых плит эта предпосылка принималась для радиального направления. Рассматривая балки и плиты большой протяженности, Б.Г. Корнев использовал для оснований линейные модели, полагая что в таких конструкциях значительные напряжения возникают при малых давлениях на основание, вызывающих в грунтах преимущественно линейные деформации.

Аналогичные гипотезы были приняты Р.В. Серебрянным [12] для определения несущей способности бесконечных плит на упругом полупространстве, нагруженных по кругу малого радиуса. Теоретическая разрушающая нагрузка хорошо совпала с полученной в опытах В.Д. Попова и И.Н. Толмачева. В тоже время по линейному расчету разрушающая нагрузка оказалась почти с пять раз меньше.

Уже эти первые попытки учета нелинейности деформаций железобетона при расчете фундаментных конструкций показали перспективность такого направления. Усилия в конструкциях получались не только более близкими к действительным, но и существенно меньшими, чем при расчете в линейной постановке. Это открывало возможность уменьшить расход бетона и арматуры при проектировании фундаментов.

Методы расчета фундаментов, учитывающие нелинейные деформации, возникающие в железобетоне до образования пластических шарниров, разрабатывались несколькими авторами, обзор которых освещается в работе В.И. Соломина, С.Б. Шматкова [13].

С механической точки зрения *расчет плитных конструкций на упругом основании* есть решение контактной задачи соприкасающихся тел [14]. Данные задачи сводятся к решению интегральных уравнений, решение которых зависит от ядра интегрального уравнения и формы соприкасающихся тел [15]. В инженерной практике нецелесообразно решать каждую контактную задачу через интегральные уравнения в связи с трудоемкими математическими вычислениями. Поэтому на практике успешно используют метод Б.Н. Жемочкина [16], который сводит контактную задачу к задаче строительной механики.

Вопросы расчета фундаментных и дорожных плит на упругом основании *с учетом анизотропии (в частности ортотропии) плит и их трещинообразования* в силу неоднозначности и неопределенности исходных данных неоднородных и композиционных упругих тел (железобетона и грунтов), и в связи с этим большого математической сложности реализации постановок и алгоритмов решаемых задач до настоящего времени не исследованы в полной мере.

О новой модели трехслойного упругого основания. Конструкцию неоднородного (слоистого) основания предполагается моделировать в виде поверхностного слоя щебня, расположенного на слое песка, который, в свою очередь, находится на естественном грунтовом полупространстве (рисунок 1). Модель трехслойного (слоистого) основания представим в виде основания Винклера (слой щебня), расположенного на двухслойном основании Когана (песок + естественный грунт) [17].

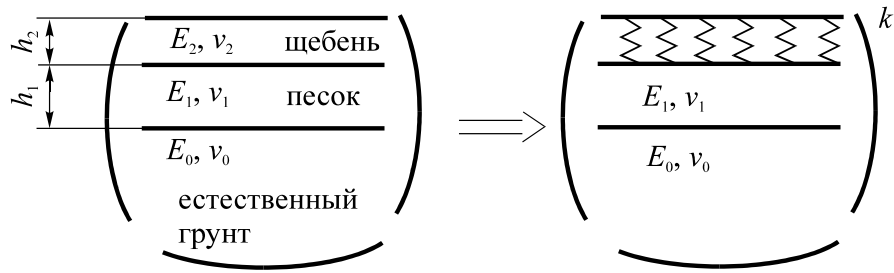


Рис. 1. Модель трехслойного (слоистого) упругого основания

Авторами в работе [8] приведено выражение для определения перемещений точки $M(x_i, y_i)$ поверхности трехслойного основания от действия равномерно распределенной по прямоугольному участку размером $\left(x_k \pm \frac{\Delta x}{2}\right) \times \left(y_k \pm \frac{\Delta y}{2}\right)$ поверхности трехслойного основания от действия единичной нагрузки в следующем виде

$$W(x_i, y_i) = \frac{P(1 - \nu_1^2)}{\pi E_1 h_1} F_{i,k}, \quad (1)$$

где $F_{i,k}$ – безразмерная функция, которая определяется по формулам, полученным авторами [8] с учетом соотношений [7],[17], а именно

$$F_{i,i} = \frac{1}{k \Delta x \Delta y} + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} \left[\ln \frac{\Delta y}{\Delta x} + \frac{\Delta y}{\Delta x} \ln \left(\frac{\Delta x}{\Delta y} + \sqrt{\frac{\Delta x^2}{\Delta y^2} + 1} \right) + \ln \left(1 + \sqrt{\frac{\Delta x^2}{\Delta y^2} + 1} \right) \right] + \sum_{n=0}^3 a_n \frac{\Gamma(n+1)}{\left(4 + \frac{R^2}{h_1^2}\right)^{\frac{n+1}{2}}} P_n(z) \left(\frac{2h_1}{\sqrt{R^2 + 4h_1^2}} \right); \quad (2)$$

$$F_{i,k} = \frac{h_1}{R} + \sum_{n=0}^3 a_n \frac{\Gamma(n+1)}{\left(4 + \frac{R^2}{h_1^2}\right)^{\frac{n+1}{2}}} P_n(z) \left(\frac{2h_1}{\sqrt{R^2 + 4h_1^2}} \right), \quad (3)$$

$$R = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2}.$$

В приведенных выше формулах: $\Gamma(n+1)$ – Гамма-функция [18]; $P_n(z)$ – полином Лежандра [18]; k – коэффициент постели верхнего слоя трехслойного основания, который определяется по формуле [5]

$$k = \frac{E_2(1 - \nu_2)}{(1 + \nu_2)(1 - 2\nu_2)h_2}, \quad (4)$$

где E_2, ν_2 – модуль упругости и коэффициент Пуассона верхнего слоя трехслойного основания (щебня, см. рис. 1). Хотелось бы отметить, что формула (4) справедлива в практическом применении при рекомендуемой толщине упругого слоя $h_2 < \frac{b}{2}$.

Учет нелинейного деформирования железобетона в гибких пластинах. Следует отметить, что в фазе уплотнения осадку жесткого фундамента и реактивные давления следует считать *линейно-зависящими от нагрузки на фундамент*, поэтому нормы проектирования фундаментов и оснований [19] допускают рассчитывать основания по деформациям, используя линейные модели, если среднее давление на основание не превышает некоторой величины, называемой расчётным сопротивлением основания. Гораздо сложнее взаимодействие с основанием *гибких* железобетонных фундаментов. В этом случае изменение эпюры реактивных давлений с ростом нагрузки происходит не только за счет особенностей деформирования грунта, но также за счет *уменьшения жесткости фундамента*, которое начинается с образования и раскрытия в нем трещин.

Приближенная теория изгиба анизотропных пластинок (тонких плит) достаточно полно и основательно изложена С. Г. Лехницким в монографии [20]. Цилиндрические жесткости изгиба пластинки определяются для главных направлений упругости, и имеют название главных жесткостей

$$D_1 = \frac{E_1 h^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}, \quad D_2 = \frac{E_2 h^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}. \quad (5)$$

Приведем здесь же выражение для потенциальной энергии изгиба ортотропной пластинки [20], при пренебрежении некоторыми компонентами тензора напряжений σ_z, τ_{yz} и τ_{xz} ,

$$V = \frac{1}{2} \iint \left[D_1 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2D_1\nu_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 4D_k \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dx dy. \quad (6)$$

Хотелось бы отметить, что для железобетонных гибких пластин с возможными трещинообразованием ТНПА в статических расчетах рекомендует использовать приведенный модуль упругости (деформации) для нахождения соответствующих жесткостей.

Постановка задачи. Граничные условия. В работе рассматривается прямоугольная гибкая ортотропная плита под действием внешней нагрузки размерами $2a \times 2b$, толщиной h , опирающаяся на упругое основание (рис. 2), с цилиндрическими жесткостями в соответствующих плоскостях D_x, D_y . В приводимых ниже расчетах учитывается крутильная жесткость изолированной ортотропной плиты, которая вычисляется по формуле [21]

$$D_k = \frac{\nu_x + \nu_y}{2} \sqrt{D_x \cdot D_y}, \quad (7)$$

где D_x, D_y определяются по формулам (5).

В ходе упругого и нелинейного расчетов определяются осадки плиты, распределение контактных напряжений под ней, внутренние усилия в плите (изгибающие моменты), а также выполняется анализ полученных результатов.

Упругое основание в данных исследованиях моделируется в виде упругого однородного изотропного слоя, жестко соединенного с недеформируемым основанием (несжимаемым слоем).

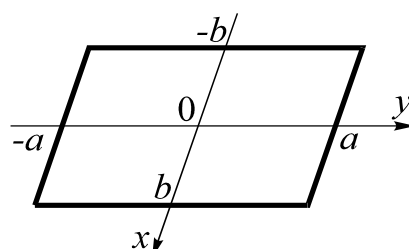


Рис.2 Расчетная модель плиты

Принимается, что в контактной зоне отсутствуют касательные напряжения и для плиты справедливы гипотезы технической теории изгиба [22].

Расчет прямоугольной ортотропной плиты выполняется методом Б.Н. Жемочкина [16]. Плита разбивается на одинаковые прямоугольные участки размерами $\Delta x \times \Delta y$ и в центре каждого участка размещается вертикальная связь для описания контакта плиты с упругим основанием. Считается, что усилие в связи вызывает равномерное распределение контактных напряжений при определении перемещений центра участка.

Полученная статически неопределимая система решается смешанным методом строительной механики [22], приняв за неизвестные силы в контактных связях Жемочкина, а также два угловых и линейное перемещения введенного защемления нормали в центре плиты.

Канонические уравнения смешанного метода для решения поставленной задачи имеют следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{1,1} X_1 + \dots + \delta_{1,m} X_m - \varphi_x y_1 - \varphi_y x_1 + u_1 + \Delta_{1,p} = 0; \\ \dots \\ \delta_{m,1} X_1 + \dots + \delta_{m,m} X_m - \varphi_x y_m - \varphi_y x_m + u_1 + \Delta_{m,p} = 0; \\ \sum_{k=1}^m X_k y_k - M_x = 0; \\ \sum_{k=1}^m X_k x_k - M_y = 0; \\ - \sum_{k=1}^m X_k - R = 0, \end{array} \right. \quad (8)$$

где m – число участков Жемочкина на плите; u_1 , φ_x , φ_y – неизвестные линейное и угловые перемещения введенного защемления в центре плиты; R , M_x , M_y – равнодействующая внешних сил и моменты равнодействующей относительно координатных осей, расположенных в плоскости плиты и проходящих через центр плиты; X_k – усилие в связи Жемочкина с номером k .

Алгоритм нелинейного расчета ортотропной плиты с трещиной методом Б.Н. Жемочкина. Сформулированную задачу в нелинейной постановке авторы предлагают решать итерационным путем метода Б.Н. Жемочкина через зависимость «жесткость – кривизна» [13]. На первой итерации плита рассчитывается как линейно-упругая, однородная и ортотропная (см. выше), на последующих - как линейно-упругая, ортотропная неоднородная на каждом участке Жемочкина.

Для упругого однородного изотропного слоя, шарнирно соединенного с недеформируемым основанием (несжимаемым слоем), вертикальные перемещения поверхности упругого слоя от сосредоточенной силы P определяются через соотношение (2.13) из монографии Босакова С.В. [7]

$$W(R) = \frac{P(1-\nu_0^2)}{\pi E_0} \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{h} \sum_{n=0}^{\infty} a_n \frac{\Gamma(n+1)}{\left(4 + \frac{R^2}{h^2}\right)^{\frac{n+1}{2}}} P_n \left(\frac{2h}{\sqrt{R^2 + 4h^2}} \right) \right], \quad (9)$$

где $R = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}$ – радиус-вектор перемещающихся точек с координатами (x, y) исследуемой поверхности упругого слоя от силы, приложенной в точке с координатами (ξ, η) ;

h – мощность (толщина) упругого слоя, м; $\Gamma(n+1)$ – гамма-функция; $P_n \left(\frac{2h}{\sqrt{R^2 + 4h^2}} \right)$

– полином Лежандра [18];

a_n – неопределенные коэффициенты разложения в ряд.

В монографии Босакова С.В. [7] определены коэффициенты a_n в следующих значениях $a_0 = -1$; $a_1 = -3/2$; $a_2 = -1$; $a_3 = -1/3$; $a_4 = 1/18$; ...

После интегрирования (9) по площади прямоугольного участка размерами $\Delta x \cdot \Delta y$ получаем выражения для определения перемещений центра участка Жемочкина с номером i от действия сосредоточенной силы, равной 1, приложенной к центру участка с номером k .

Первое слагаемое в формуле (9) определяет функцию вертикальных перемещений для упругого однородного изотропного полупространства (решение Буссинеска), интегрируется точно (оно сингулярное), остальные – не сингулярные и не интегрируются. Для практических расчетов в формуле (9) можно ограничиться пятью членами ряда.

В монографии [7] получено соотношение (3.3) для перемещения точки $M(x_i, y_i)$ поверхности упругого полупространства при загрузении участка прямоугольной формы на этой поверхности равномерно-распределенной нагрузкой с равнодействующей, равной 1.

Перемещения точки поверхности основания $M(x_i, y_i)$ запишем в следующем виде

$$W(x_i, y_i) = \frac{1-\nu_0^2}{\pi E_0 \Delta x} \cdot F_{ik}, \quad (10)$$

где $F_{i,k}$ – безразмерная функция, которую определяем из формулы (9) через соотношение (3.3) [7].

Прогибы плиты с защемленной нормалью в основной системе смешанного метода от действия сосредоточенной силы (рис. 3) определяются методом Ритца [23] при представлении прогибов в виде степенного полинома в новом оригинальном выражении, которое один из авторов предлагает впервые в [24].

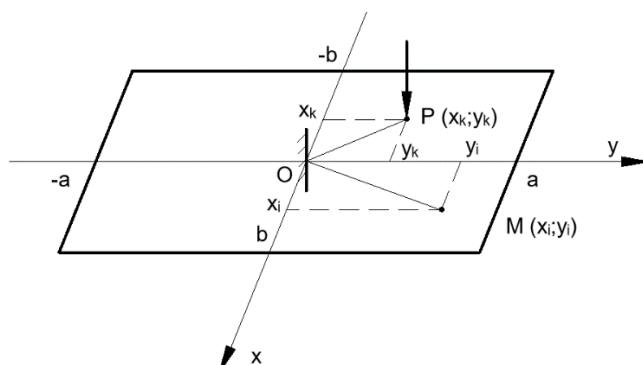


Рис.3. Гибкая плита с защемленной нормалью

Общий вид нового решения имеет следующее представление

$$W_{(i)}^{(n)}(x_i, y_i) = \left(\frac{x_i^2}{a^2} + \frac{y_i^2}{b^2} \right) \left(A_{0,0}^{(n)} + A_{1,0}^{(n)} \frac{x_i}{a} + A_{0,1}^{(n)} \frac{y_i}{b} + A_{2,0}^{(n)} \frac{x_i^2}{a^2} + A_{1,1}^{(n)} \frac{x_i y_i}{ab} - \frac{b^2(a^2 + 3b^2)A_{2,0}^{(n)}}{a^2(3a^2 + b^2)} \frac{y_i^2}{b^2} \right), \quad (11)$$

где x_i, y_i – координаты точки i , в которой определяются прогибы плиты $W_{(i)}^{(n)}(x_i, y_i)$ с защемленной нормалью в основной системе смешанного метода;

$A_{m,k}^{(n)}$ – постоянные коэффициенты метода Ритца [23] при координатных функциях,

базисной из которых является функция $f_{m,k}(x_i, y_i) = \frac{x_i^m y_i^k}{a^m b^k}$, где чередующиеся индексы $m, k = 0, 1, 2$.

Выражение (11) удовлетворяет не только граничным условиям защемленной плиты по перемещениям, но и бигармоническому уравнению.

Далее определяется функционал полной энергии ортотропной пластинки с защемленной нормалью и действующей на нее сосредоточенной единичной силы как квадратичную функцию коэффициентов $A_{i,k}$, что позволяет из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) найти эти коэффициенты и, таким образом, вычислить прогибы плиты с защемленной нормалью. Так формируется система уравнений способа Жемочкина на каждой итерации.

В нелинейных расчетах плиты при нахождении переменной (секущей) жесткости для участка Жемочкина на каждой итерации используется зависимость "жесткость - кривизна" для каждого из направлений X и Y , аппроксимированная нелинейной функцией, характер зависимости которой графически свидетельствует о нелинейно-упругой работе ортотропной плиты и ее деформировании с учетом трещинообразования и раскрытия трещин.

Итерационный процесс решения сформулированной контактной задачи организуется через итерационный алгоритм по А.А. Ильюшину [25] в области малых упругопластических деформаций и заканчивается при достижении заданной точности получаемых результатов.

Численные результаты по предлагаемой выше новой универсальной методике нелинейного расчета гибких ортотропных плит на изотропном упругом слое приведены в работе [26].

Выводы и заключения. В работе предложена в развитии методика и последовательность нелинейного итерационного расчета методом Б.Н. Жемочкина железобетонной гибкой ортотропной плиты на произвольном упругом основании,

моделируемом в данной работе упругим слоем конечной толщины. Прогибы плиты с защемленной нормалью в основной системе смешанного метода от действия сосредоточенной силы определяются методом Ритца при представлении прогибов в виде степенного полинома в новом оригинальном выражении, которое автор предлагает впервые в проводимых исследованиях. Кроме того, в отличие от традиционных подходов, основанных на применении зависимости «момент-кривизна», используется зависимость «жесткость-кривизна», что сокращает объем вычислений.

Моделированию работы фундаментной балки с трещинами посвящены работы Соломина В.И., Мурашева В.И. и др. Как следует из данных работ, предполагается, что фундаменты будут работать с трещинами. В этом случае необходимо учитывать нелинейные свойства железобетона через переменную кривизну элемента балки. Проведенный выше анализ по данной тематике показал, что данный вопрос изучен не в неполной мере. Таким образом, изучаемая отрасль исследований нелинейных задач требует дальнейшей разработки, как в плане создания общей методики решения данного вида задач, так и в плане создания численно-аналитических методов аналогичных расчетов с учетом нелинейности конструкции и неоднородности основания.

Литература

1. Мурашев, В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона / В.И. Мурашев – М.: Машиностроение, 1950. – 268 с.
2. Гвоздев, А.А. Метод предельного равновесия в применении к расчету железобетонных конструкций // А.А. Гвоздев/ Инженерный сборник, т.5, вып.2. – 1949. – С. 3-20.
3. Гвоздев, А.А. К вопросу о предельных условиях (условиях текучести) для ортотропных сред и для изгибаемых железобетонных плит // А.А. Гвоздев / В кн.: Строительная механика. М.: Стройиздат – 1966. – С. 208-218.
4. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко – М.: Стройиздат, 1976. – 204 с.
5. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В.И. Соломин – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1984. – 680 с.
6. Семенюк, С.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно-деформируемом основании / С.Д. Семенюк – Могилев, БРУ, 2003. – 269 с.
7. Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск: БНТУ, 2002. – 128 с.
8. Босаков, С. В. Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании / С. В. Босаков, С. И. Зиневич, О. В. Козунова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – Т. 279, № 4. – С. 2–5.
9. Козунова, О. В. Статический расчет дорожной плиты на слоистом основании / О. В. Козунова // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 134–139.
10. ТКП 45-5.01-254-2012* (02250) (переиздание в 2019 г.) Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования. РУП «Стройтехнорм», 2012. – 118 с.
11. Коренев, Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании / Б.Г. Коренев – М.: Госстройиздат, 1954. – 231 с.
12. Серебрянный, Р.В. Определение разрушающе нагрузки для плит на упругом основании // Р.В. Серебрянный / Основания, фундаменты и механика грунтов, №2 – 1960. – С. 10-12.
13. Соломин, В.И. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций // В.И. Соломин, С.Б. Шматков/ М., Стройиздат – 1986. – 208с.

14. Развитие теории контактных задач в СССР / Академия наук СССР, Ин-т проблем механики; отв. ред. Л. А. Галин. – М.: Наука, 1976. – 496 с.
15. Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление в примерах и задачах / Под общ. ред. А. Б. Васильева [и др.]. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.
16. Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Госстройиздат, 1962. – 240 с.
17. Коган, Б. И. Напряжения и деформации многослойных покрытий / Б. И. Коган // Труды ХАДИ. – 1953. Вып. 14. – С. 33–46.
18. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М.: Физматгиз, 1963.–1098 с.
19. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254–2012* (02250). Введен 01.07.2012. – Минск: Минстройархитектуры, 2012. – 118 с.
20. Лехницкий, С. Г. Анизотропные пластинки / С. Г. Лехницкий. М.: Госуд. изд-во технико-теор. лит-ры, 1957. – 387 с.
21. Тимошенко, С. П. Пластины и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. М.: Физматгиз, 1963. – 536 с.
22. Ржаницын, Р. А. Строительная механика / Р. А. Ржаницын. – М.: Высш. шк., 1991. – 439 с.
23. Босаков, С. В. Метод Ритца в контактных задачах теории упругости / С. В. Босаков. – Брест: БрГТУ, 2006. – 107 с.
24. Козунова, О. В. Совершенствование методики расчета гибких ортотропных плит на упругом основании. Часть 1. Теория расчета / О. В. Козунова // Наука и техника. – 2022. Т. 21, № 3. – С. 211–221.
25. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400 с.
26. Козунова, О. В. Совершенствование методики расчета гибких ортотропных плит на упругом основании. Часть 2. Результаты расчета / О. В. Козунова // Наука и техника. – 2022. Т. 21, № 4. – С. 290–296.

УДК 51-74

ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА

В.Т. Калайда, А.И. Шапошников, Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, 634050, г. Томск, Российская Федерация, albertelena@mail.ru.

Недавно зарегистрированная Роспатентом [1] техника измерения фрактальной размерности применена для спутниковых изображений Минских городских кварталов. Подробно разобраны шаги вычисления статистических параметров. Приведены и обсуждены результаты для примеров вложенных друг в друга изображений. Примененный метод поиска статистических параметров фрактальной размерности позволяет обоснованно сравнивать между собой значения фрактальной размерности существенно различающихся объектов. В качестве материалов используются имеющиеся в открытом доступе [2] снимки городских кварталов Минска. Новизной данного исследования является использование двух вложенных друг в друга изображений. То есть, на втором изображении взят участок с первого более детализированным масштабом. Такой прием позволяет сравнивать между собой результаты, полученные для вообще говоря различных изображений. Приведены гистограммы и графики выборок значений фрактальной размерности, получившиеся в

разных случаях. Показана дополнительная информативность графика по отношению к гистограмме. Показано каким образом можно использовать значения, получаемые методом Box counting для получения оценки фрактальной размерности.

Ключевые слова: фрактальная размерность, городской квартал, оценка, ошибка, погрешность.

Введение. Фрактальной размерностью множества, следуя [3], будем называть размерность Минковского – величину $-\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \log_{\varepsilon} N(\varepsilon)$, где ε – единичный размер и $N(\varepsilon)$ – количество "шаров" размера ε , достаточное для покрытия этого множества. Эта конструкция имеет богатую историю: будучи изначально, как размерность пространства, интересной только профессиональным математикам и философам – Р. Декарту, А. Лебегу, А. Пуанкаре, в последние несколько десятилетий дробная размерность множества стала активно и успешно применяться в самом широком спектре областей. Для вычислений размерности применяется метод Box counting, сочетаемый с методом наименьших квадратов для нахождения предела. Поскольку предел бесконечен, а количество данных мало, то оценки фрактальной размерности получаются весьма приближительными [4]. В качестве оценки предела используется тангенс угла наклона регрессионной прямой, аппроксимирующей выборку, составленные из логарифмов количества покрывающих подмножество "шаров" единичного размера и самого единичного размера.

Фрактальная размерность полутонового изображения

Рассмотрим изображение в градациях серого размером 800×600 участка спутникового снимка города Минска [3]. На рис. 1 показан участок карты. Согласно [5] это изображение можно рассматривать как функцию из R^2 в R , то есть как подмножество в трехмерном пространстве. Такое подмножество является двумерной поверхностью в трехмерном пространстве. Интуитивно ясно, что его размерность должна бы равняться 2, во всяком случае не превышать 3.

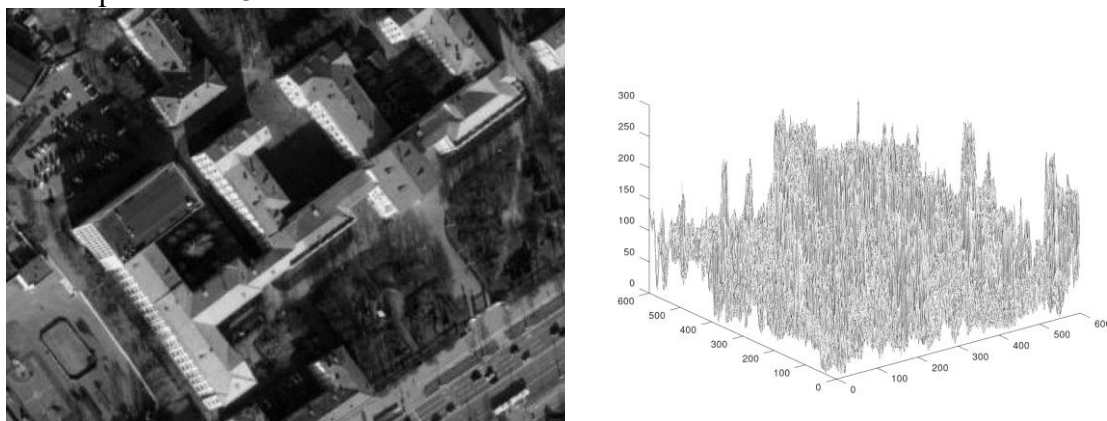


Рис. 1. Изображение главного корпуса БНТУ в градациях серого, и та же функция, вид сбоку.

Для получения идентичных подмножеств добавляем ко всем значениям упомянутой выше функции последовательно по 1. Затем также ко всем значениям функции прибавляем по 2, затем по 3, и так далее. В результате получается выборка, состоящая из одинаковых поверхностей – подмножеств, обладающих, по построению, одинаковыми фрактальными размерностями. Для элементов этой выборки вычисляем оценки фрактальных размерностей методом Box counting. Результаты расчетов приведены на рис. 2.

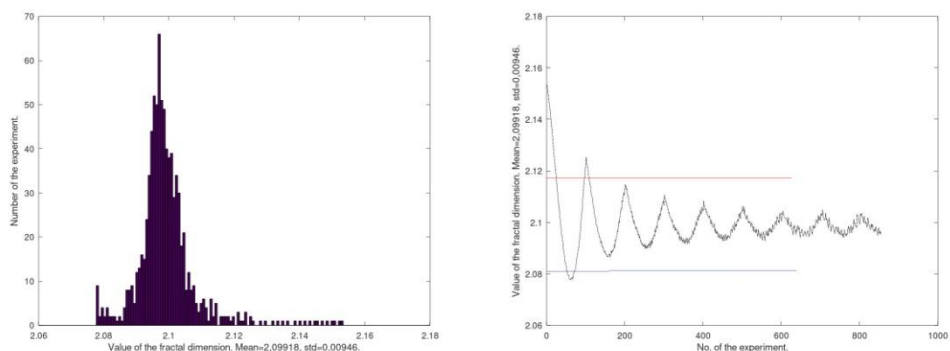


Рис. 2. Гистограмма и график значений фрактальной размерности как функции от номера эксперимента = величине сдвига. Красной и синей линиями отмечены границы доверительного интервала.

Для изображения, представленного на рис. 1 было проведено 854 эксперимента. Среднее полученных значений фрактальной размерности составило 2,0991, среднеквадратичное отклонение 0,00946. На рис. 2 слева приведена гистограмма для выборки, составленной из значений фрактальной размерности. В правой части гистограммы имеется большой хвост значений, не попадающих даже в 99% доверительный интервал. Для уточнения природы этого хвоста, справа приведен график функциональной зависимости значений фрактальной размерности от величины сдвига, который равен номеру эксперимента. По графику видно, что в доверительный интервал не попадают значения именно первых экспериментов. То есть, если напрямую брать для оценки размерности первое значение, выдаваемое Box-counting'ом, то результаты будут значимо искажены.

Рассмотрим еще одно изображение. Представленный на рис. 3 снимок включает в себя участок, показанный на рис. 1. Логично ожидать, что размерность нового подмножества будет не меньше, чем значение, полученное для предыдущего случая.

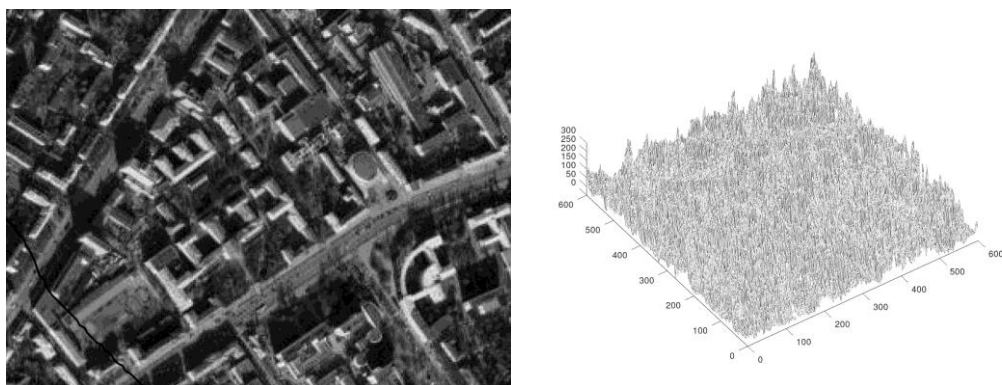


Рис. 3. Большой участок земной поверхности, содержащий в себе изображение главного корпуса БНТУ, и эта функция, вид сбоку

Чтобы корректно сравнивать результаты обоих изображений, размеры их сделаны одинаковыми – 800×600 пикселей. Также как и для предыдущего изображения, составлена выборка из 854 идентичных изображения, для которых вычислены фрактальные размерности. Результаты расчетов представлены на рис. 4. Слева показана гистограмма значений фрактальной размерности, а справа график зависимости фрактальной размерности от величины сдвига.

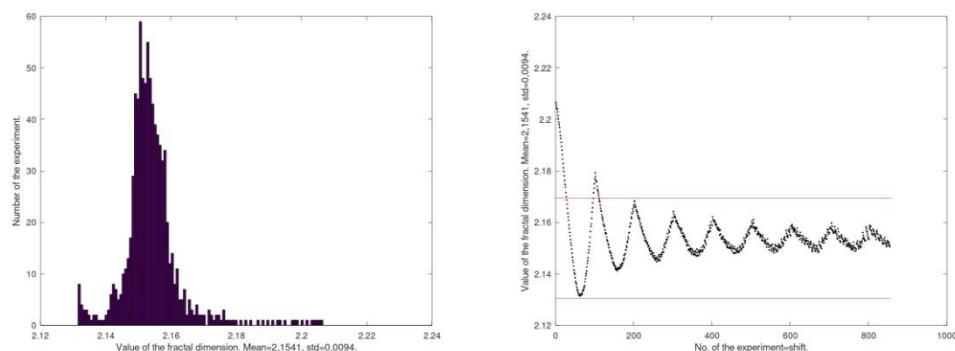


Рис. 4. Слева – гистограмма, справа – график значений фрактальной размерности. Горизонтальными линиями на графике значений фрактальной размерности снова отмечены границы доверительного интервала

Среднее полученных значений фрактальной размерности для изображения на рис. 3 составило 2,1541, среднеквадратичное отклонение 0,0094. Как и ожидалось, значение фрактальной размерности множества больше фрактальной размерности его подмножества, а среднеквадратичное отклонение для однотипных изображений оказывается одинаковым. Снова отмечаем выпадение из довольно широкого доверительного интервала именно первых экспериментальных данных, несмотря на существенную нетребовательность интервала.

Заклучение

Техника оценивания фрактальной размерности, изложенная в [1] доступна для применения в разных случаях и показывает адекватные результаты. Для вложенных изображений получаются возрастающие значения, тогда как величина разброса остается неизменной.

Литература

1. Калайда В.Т., Шапошников А.И. Получение статистических параметров оценки фрактальной размерности // Программа для ЭВМ, Номер свидетельства о регистрации 2022666440. Дата регистрации: 01.09.2022.
2. Электронные карты Яндекс [Электронный ресурс] // Яндекс Карты, 2022. URL : <https://yandex.ru/maps> (access date: 17.10.2022). Access mode: free.
3. Александров П. С., Пасынков Б. А. Введение в теорию размерности. М.: Наука, 1973. 402 с.
4. Шелухин О.И., Магомедова Д.И. Анализ методов измерения фрактальной размерности цветных и черно-белых изображений // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 6-16.
5. Шапошников А.И. Цифровое описание множества при компьютерной обработке // Актуальные проблемы радиофизики АПР-2021. Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Томск, 2021. С. 276.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»

С.Е. Кравченко, Ж.В. Реут, Е.П. Ходан СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ	4
Л.В. Зленко СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	8
Ю.Г. Бабаскин УСТРОЙСТВО ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ	9
Ю.Г. Бабаскин РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	13
Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко, Я.А. Добрынович СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И УЛИЦ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ.....	16
Н.В. Романов, П.А. Пегин НОВЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИННОВАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ	19
А.В. Корончик, Е.М. Корончик, С.Е. Кравченко АНАЛИЗ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ХИМИЧЕСКОЙ ВОДОЧИСТКИ НА ТЭЦ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	22
А.В. Савуха УКРЕПЛЕНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗВЕШЬЮ В КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	25
Р.М. Худайкулов, Б.Д.Салимова, Д.Э. Аралов СТАБИЛИЗАТОР ГРУНТА	26
Д.А. Махмудова, И.З. Ибрагимова ОЗЕЛЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ПУСТЫННЫХ РЕГИОНАХ.....	28
Б.Д. Салимова, М.Р. Мухаммаджонов, Ж.Г.Рахмонов ОПЫТ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН ПО ОТВЕДЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	30
И.С. Содиков, С.М. Тилаков, Э.С. Соттикулов, А.Т. Маматмуминов АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТОГО СЕРОАСФАЛЬТБЕТОНА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН	34

Р. А. Пахолак ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МАЛОШУМНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАГРУЗОК.....	38
Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко, Е.П. Ходан К ВОПРОСУ КОРРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	42
Ж.И.Садиков, К.Н.Мусулманов, Д.М.Имамалиев РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ДОРОЖНОТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ.....	45
Е.М. Жуковский, А.В. Корончик, С.Е. Кравченко ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА И ИНТЕНСИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДНО-ТЕПЛОВЫХ ФАКТОРОВ НА ДОРОЖНУЮ КОНСТРУКЦИЮ ПО ШИРИНЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ	52
А.В. Войтехович, Н.И. Шишко КОЛЬЦЕВЫЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК НЕПОЛНОГО ТИПА	57
А.В. Кудласевич, Н.И. Шишко СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ	60
В.Т. Калайда, А.И. Шапошников ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ РАЗМЕРНОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЭКВИАФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ	65
И. С. Садиков, А. М. Карабаев, Ш. Ч. Буриев ОПТИЧЕСКИ-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ СЛАНЦЕВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД	68
И.С. Садиков, А. М. Карабаев ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД КАРЬЕРА “УЗБЕКИСТАН”	72
Sh.Sh. Shojalilov INFLUENCE OF THE INERTIA FORCE OF UNDERGROUND PIPELINE SYSTEMS UNDER SEISMIC LOADS	76
Я.М. Жукоўскі УЛІК АСАБЛІВАСЦЕЙ УЗДЕЯННЯ ТРАНСПАРТУ НА КАНСТРУКЦЫІ НЯЖОРСТКІХ ДАРОЖНЫХ АДЗЕННЯЎ ПРЫ ПРАЕКТАВАННІ КАНСТРУКЦЫЙ.....	78
Артющик В.С., Чжан Цин, Минченя В.Т., Алексеев Ю.Г., Нисс В.С.	

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В РЕЦИРКУЛЯЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ	82
А.Х.Туляганов , Б.Р.Махкамов К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ РУСЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОЦЕССОВ НАМЫВА ИЛИ РАЗМЫВА.....	87
М.М. Каширипур, В. М. Борейко АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЛЯ СЛОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА	90
Тан Дунян, Ван Минюань, С.Н. Бондаренко, С.Н. Ковшар ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МИКРОКАПСУЛ, СОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ САМОВООТАНОВЛЕНИЯ БЕТОНА	94
А.Х. Уроков, Д.В. Ташев ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ И ПЛОТНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА УРОВЕНЬ ОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	101

Секция «МОСТЫ И ТОННЕЛИ»

V. Shkatov , В. А. Гречухин ALLPLAN BRIDGE, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВМ ИЗ ГЕРМАНИИ ДЛЯ МОСТОСТРОЕНИЯ.....	106
В. А. Гречухин , V. Shkatov ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ И РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УЧЕБНОМ И ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ	110
А.В. Устинович ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА	114
М. Л. Берестевич, В. А. Гречухин, Е. К. Мойсейчик, Е. А. Мойсейчик ПОВРЕЖДЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ И ПУТИ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ	118
Г. Д. Ляхевич, И. И. Лиштван, В. А. Гречухин, А. В. Кулан ФИБРОБЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ЗОЛОЙ ОТ СЖИГАНИЯ БУРОГО УГЛЯ БЕЛАРУСИ	124
Е. А. Мойсейчик, С. Д. Шафрай, А. Е. Мойсейчик ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ.....	132
Ю.В. Василевич, Е.А. Мойсейчик, Е.Ю. Неумержицкая, Л.Н.Беляцкая, В.А. Чигарев ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	141

Н.М. Прибыльская, В.А. Гречухин СПОСОБ СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ДЛЯ ПРОХОДКИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТОННЕЛЬНОГО ТИПА	148
С.В. Шевченко УСИЛЕНИЕ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ КОМПОЗИТНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	154
С.В. Шевченко ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕНТРАЛЬНО -СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	158
А.В. Устинович, В.А. Гречухин ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ.....	161
В.А. Ходяков ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕБРИСТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ.....	164
В.А. Ходяков ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ И ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОНСТРУКЦИИ ПУТЕПРОВОДА	168
Л.В. Гулицкая, О.С. Шиманская О МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	174

Секция «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ»

Н.И. Рудницкая СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	180
А.В. Гущо, А.А. Панкова НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕСТНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ОПЫТ ИХ УСТРАНЕНИЯ	184
В.П. Подшивалов ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРНОГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	187
В.В. Мкртычян, Н.Н. Мадаминов ВЫДАЮЩИЙСЯ УЗБЕКСКИЙ УЧЕНЫЙ АБУ РАЙХАН БИРУНИ И ЕГО «ГЕОДЕЗИЯ».....	189

В.Н. Кашура , И.Е. Рак ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, НА ПРИМЕРЕ МЕТРОПОЛИТЕНА	190
В.И. Михайлов, Н.О. Куприенко ВЫСОКОТОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА И АБК ГРОДНЕНСКОГО ЦЕХА «БЕЛЦВЕТМЕТ»	198
В.В. Мкртычян, М.Г. Гиря ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	197
А.Ю. Будо, А.В. Кабацкий О ВАЖНОСТИ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ГЕОДЕЗИЯ» НА ПРИМЕРЕ УЧАСТИЯ СТУДЕНТОВ БНТУ В КОНКУРСЕ «ОБЕСПЕЧИМ СОХРАННОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ»	201
Е.Ю. Мысливчик, О.Е. Гармаза ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ	204
Е.И. Радцевич , В.А. Колосёнок ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ – ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ	205
И.В. Вахнер, Е.И. Лабуневич, В.В. Мкртычян ПЕРВЫЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ.....	208
Т.М. Абдуллаев, Ю.А. Романюк ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ	210
Секция «МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА»	
А.В. Вавилов О ПРОИЗВОДСТВЕ ВОСТРЕБОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОТХОДОВ ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.....	218
М.М. Гарост, А.А. Шнаркевич СМЕННОЕ КОММУНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ К АВТОМОБИЛЯМ МАЗ.....	222
А.Н. Смоляк ЭЛЕКТРОГИДРОУДАРНАЯ ДРОБИЛКА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ДРОБИЛЬНО- СОРТИРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА	232

А.И. Антоневиц
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛИФТАХ.....236

И.В. Бурмак
ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В
РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....239

А.Н. Юрин ,А.В. Вавилов
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАЛКОВАТЕЛЯ ВЕТОК ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ .247

А.В. Конопацкий, А.А. Шавель
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ
УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАНАТНОБЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ261

Секция «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

В.А. Акимов
ВЕКТОРНАЯ АЛГЕБРА И ЛИНЕЙНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ В n - МЕРНЫХ
ПРОСТРАНСТВАХ266

О.Л. Вербицкая, Л.И. Шевчук
РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.....271

Н.П. Воронова, О.А. Мороз
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАНЯТИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ НЕПРЕРЫВНОСТИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА274

Н.В. Ковалёнок, С.В. Чернявская
РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА К ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У
ШКОЛЬНИКОВ И АБИТУРИЕНТОВ ЧЕРЕЗ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ
ЗАДАЧИ ПО МАТЕМАТИКЕ278

Е. А. Крушевский, А. А. Кузнецова
О КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ
УНИВЕРСИТЕТОВ.....282

М.А. Хотомцева
ПРОВЕДЕНИЕ ЭКЗАМЕНА ПО МАТЕМАТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ -
СЕРВИСА ONLINE TEST PAD286

Секция студентов и магистрантов

А. К. Каюмов, А.Т. Яворовский
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ В ДОРОЖНОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....290

О.В. Семец ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ	293
М.С. Миневич ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ.....	297
Е.А. Шершнёва, Д.В. Хомич ИННОВАЦИОННЫЕ ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	299
М.Г. Цейко НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЕЙ МЕТРО. ПРОХОДКА ТОННЕЛЕЙ ЩИТОВЫМ МЕТОДОМ.....	301
В.О. Казак СТРОИТЕЛЬСТВО SKYBRIDGE MICHIGAN	306
А.С. Матвеевко ЖИДКАЯ РЕЗИНА	310
В.В. Андрейчиков, К.С. Будкевич ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КАМЕРЫ ПО СНИМКАМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА	312
Р.В. Будаи, А.И. Лаппо, И.С. Ахалли ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	315
В.В. Болтуцкий УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РУБЕРОИДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА	318
А.С. Дадацкий УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ РУБЕРОИДА.....	320
Н.С. Игнатович ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЦЕВОЙ ПАССАЖИРСКОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГИ.....	322
А.Ю. Чернышенко ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛИНИИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ДОБАВОК В АСФАЛЬТОБЕТОН ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	325
А.Ф. Гомолко, Д.В. Кузьмич	

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ЯПОНИЯ И ДРУГИЕ СТРАНЫ	327
Ю.В. Кулаго ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ	335
П.А. Семерня, О.А. Лучковский ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ В СЛОЖНЫХ ГРУНТАХ.....	340
Е. Р. Шумский ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ К КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ОСНОВАНИЯ	347
Н.А. Кулиш ТРУДОВОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК СТАРТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	351
А. У. Курбонбоева ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. АРАЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА	353
А.А. Серебренников АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	355
С.А. Турончик МОДИФИЦИРОВАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ.....	358
М.Р. Шебеко ПРОБЛЕМЫ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	362
Секция «ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ»	
А.Д. Каюмов, Р. М. Худайкулов ВЛИЯНИЕ НАКОПЛЕНИЯ СОЛЕЙ НА РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	366
Р. М. Худайкулов, Д.А. Махмудова, Ж.Ф. Рахмонов К ВОПРОСУ УТОЧНЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	369
В. И. Корзюк, Я. В. Рудько, В. В. Колячко ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УПРУГО-РЕЛАКСИРУЮЩЕГО СТЕРЖНЯ: КОРРЕКТНОСТЬ ЗАДАЧИ КОШИ И КАЧЕСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ.....	374

К.А. Сирош, О.В.Козунова СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БЕСКОНЕЧНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ СЛОЕ.....	377
О.В. Козунова, А.Г. Пусенков НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ КЛИНОВИДНОГО ОСНОВАНИЯ ПОД БАЛОЧНОЙ ПЛИТОЙ С УЧЕТОМ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ В ЗОНЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	382
С.В. Босаков, О.В. Козунова РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСЧЕТА ОРТОТРОПНЫХ ДОРОЖНЫХ ПЛИТ НА ПРОИЗВОЛЬНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ МАТЕРИАЛА ПЛИТ	389
В.Т. Калайда, А.И. Шапошников ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА	396