

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет  
Факультет транспортных коммуникаций

# **ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЕГО ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**Материалы  
IV Международной научно-технической  
конференции**

26-27 октября 2023

Минск  
БНТУ  
2024

УДК 625.7/.8:658.51(06)

ББК 39.311я43

Д69

Редакционная коллегия:

Главный редактор:  
старший преподаватель Е.М. Жуковский.

Редакторы:

доктор технических наук, профессор А.В. Вавилов;  
кандидат технических наук, доцент В.А. Гречухин;  
кандидат технических наук, доцент И.Е. Рак;  
кандидат физико-математических наук, доцент С.В. Чернявская;  
старший преподаватель Е.П. Ходан;  
старший преподаватель С.Н. Соболевская;  
старший преподаватель В.А. Ходяков.

Составитель:

старший преподаватель В.А. Ходяков.

В сборник включены статьи преподавателей, аспирантов и студентов Факультета транспортных коммуникаций, а также учащихся и работников других организаций дорожно-строительного профиля и его инженерного обеспечения.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Автомобильные дороги» .....	4
Секция «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» .....	120
Секция «Математические методы в строительстве» .....	162
Секция «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» .....	203
Секция «Мосты и тоннели» .....	262
Секция Студенческая.....	368

**СЕКЦИЯ  
«АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»**



**КАФЕДРА «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ» –  
СТАНОВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И РОЛЬ В ПОДГОТОВКЕ  
КАДРОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА  
СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

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

***Аннотация:** Обоснована роль кафедры «Автомобильные дороги» факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета в подготовке инженеров для дорожного хозяйства Республики Беларусь с учетом накопленного педагогического опыта и современных требований к инженерам-дорожникам.*

***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. Задачи решаемые в дорожном хозяйстве, которое представляет собой единый производственно-хозяйственный комплекс, включающий сеть автомобильных дорог общего пользования, производственные базы дорожных организаций, организации государственного дорожного хозяйства, осуществляющие деятельность по проектированию, возведению, реконструкции, эксплуатации (содержанию и текущему ремонту), капитальному ремонту автомобильных дорог, связаны с развитием транспортных коммуникаций и поддержанием их в требуемом эксплуатационном состоянии.

Для решения такого комплекса задач необходимы высококвалифицированные инженерные кадры, обладающие компетенциями по осуществлению дорожной деятельности, обеспечению сохранности автомобильных дорог, улучшению их технического уровня и эксплуатационного состояния для удовлетворения потребностей экономики и населения в транспортных услугах. Ведущим учреждением образования, занимающееся подготовкой инженерных кадров для дорожного хозяйства Республики Беларусь, является факультет транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета.

Необходимо отметить, что острый недостаток кадров дорожного хозяйства испытывало и в середине прошлого века в Белорусской ССР. В этой связи, по инициативе руководства дорожной отрасли 23 августа 1958 года был издан приказ № 868 за подписью заместителя министра высшего образования СССР М.Прокофьева «Об утверждении в составе Белорусского политехнического института подготовки по специальности **«Автомобильные дороги»** и об организации в этом институте кафедры **«Дорожное строительство»**, что и послужило поводом для открытия **факультета гидротехнического и дорожного строительства (ФГДС)**.

Организатором специальности, кафедры и ее первым заведующим стал член-корреспондент АН БССР, доктор технических наук, профессор Борис Иванович Ладыгин (рис. 1).

Около 25 лет помещение кафедры и ее учебно-лабораторная база располагались на площадях учебного корпуса №3, который был построен в 1962 г. за счет средств Государственного управления шоссейными дорогами при Совете Министров БССР.

В первые годы своего существования и кафедра испытывала острый дефицит кадров в преподавательском составе и учебно-вспомогательном персонале. К преподавательской работе привлекались опытные специалисты с производства на постоянной основе или в качестве совместителей на условиях почасовой оплаты труда.

В течение первого учебного года на кафедре работали только три штатных сотрудника, но с каждым последующим учебным годом число сотрудников кафедры увеличивалось за счет распределения молодых специалистов и аспирантов. Уже в 1961 году, когда

состоялся первый выпуск молодых специалистов, число сотрудников кафедры возросло в 3 раза и составило 9 человек.

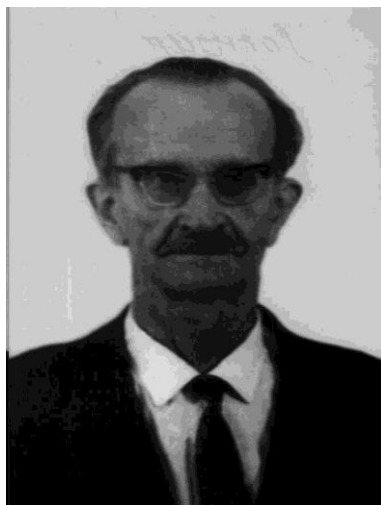


Рис. 1. Борис Иванович Ладыгин

Первыми преподавателями кафедры были Лебедев Александр Петрович (дисциплина «Проектирование автомобильных дорог»), Баховчук Петр Семенович (дисциплина «Экономика дорожного строительства»), Краюхин Александр Федорович (дисциплина «Эксплуатация автомобильных дорог»), Ткаченко Николай Алексеевич (дисциплина «Мосты») (рис. 2).

Первый выпуск инженеров по специальности «Автомобильные дороги» (две группы) с присвоением квалификации «Инженер путей сообщения» состоялся в 1966 году. В составе группы № 66 были такие ведущие специалисты в дорожном хозяйстве, как Алексей Георгиевич Федоров – заслуженный строитель. Республики Беларусь, директор ГПИ «Белгипродор»; Петр Михайлович Демьянюк, который впоследствии возглавлял дорожно-строительный трест № 4; Михаил Евгеньевич Першай – в будущем генеральный директор НПО «Дорстройтехника»; Каспер Францевич Шумчик – впоследствии кандидат технических наук, доцент, работавший на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» долгие годы.



Рис. 2. Первые преподаватели кафедры «Дорожное строительство»  
(слева направо: доцент Н.А. Ткаченко, профессор Б.И. Ладыгин,  
доцент А.П. Лебедев)

В группе № 65 обучились Ф.М. Горохов (работал главным инженером дирекции строящихся дорог дорожного департамента Российской Федерации); Г.М. Кухаренок – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ; М.Я. Куделко – кандидат техн. наук, доцент кафедры «Проектирование дорог» БНТУ; И.К. Яцевич – кандидат техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Проектирование дорог» БНТУ; А.Е. Роговин – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник НИИ «Градостроительство».

В дальнейшем педагогическую работу на кафедре «Дорожное строительство» успешно вели молодые специалисты: Н.С. Семашко, В.А. Стрижевский, М.Я. Куделко, Я.Н. Ковалев, И.Л. Деркаченко, И.К. Яцевич (рисунки 3, 4, 5).

Усилиями молодых сотрудников кафедры (Деркаченко И.Л., Ковалев Я.Н., Куделко М.Я., Оковитый А.Л., Яцевич И.К.) под руководством проф. Ладыгина Б.И. было подготовлено первое учебное пособие «Строительство автомобильных дорог» (рис. 6).



Рис. 3. Состав кафедры (1965 г.) В первом ряду слева направо: второй доц. Ткаченко Н.А., четвертый – проф. Ладыгин Б.И., пятая – Бурачевская Н.И., шестой – доц. Лебедев А.П. Второй ряд: третий – ст. преп. Стрижевский В.А., ст. преп. Ковалев Я.Н., ст. препод. Деркаченко И.Л.; третий ряд: асс. Куделко М.Я., ст. препод. Яцевич И.К., ст. препод. Семашко Н.С.



Рис. 4. Кафедра «Дорожное строительство» (1967 г.)  
 В первом ряду слева направо: Лебедев А.П., Никиткина К.А., Ткаченко Н.А., зав. кафедрой Ладыгин Б.И., Стрижевский В.А., Красновский В.Л.  
 Во втором ряду слева направо: Шумчик К.Ф., Ковалев Я.Н., Семашко Н.С., Деркаченко И.Л., Яцевич И.К., Куделко М.Я., Чернолясов В.А., Кузнецов Б.В.



Рис. 6. Кафедра «Дорожное строительство» в 1977 году  
 В первом ряду слева направо: Ковалев Я.Н., Яцевич И.К., Куделко М.Я.,  
 Лебедев А.П., Раковец Л.Д., Оковитый А.Л., Семашко Н.С., Красновский В.Л.  
 Во втором ряду слева направо: Карлович М.И., Дерман И.В., Куприянчик А.А.,  
 Стрижевский В.А., Вдовиченко С.Л., Шумчик К.Ф., Вербило И.Н.,  
 Малиновский В.В. (зав. кафедрой Куделко М.Я.)

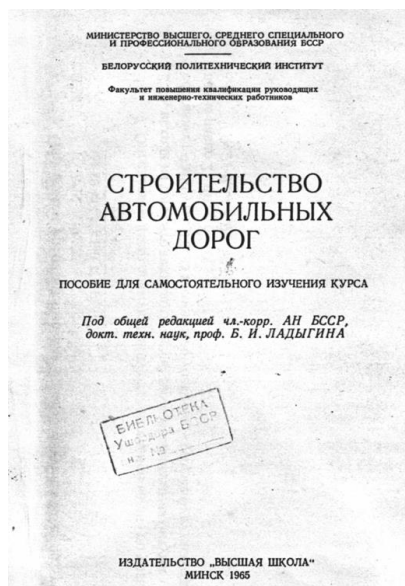


Рис. 5. Первое учебное пособие

Первыми аспирантами, успешно защитившими кандидатские диссертации, были Ярослав Никитич Ковалев («Исследование температурного режима дорожных покрытий из песчаного асфальтобетона и уточнение требований к температурным свойствам применяемых битумов» в 1965 г.) и Иван Климентьевич Яцевич («Исследования деформационной способности асфальтобетона в условиях БССР» в 1965 г.).

В период становления кафедры были защищены следующие кандидатские диссертации:

- К.Ф. Шумчик – «Исследование сдвигоустойчивости покрытий из песчаного асфальтобетона в условиях БССР» (1970 г.);

- С.Л. Вдовиченко – «Исследование методов оценки и способов повышения долговечности по трещиностойкости асфальтобетонных покрытий в условиях БССР» (1972 г.);

- М.Я. Куделко – «Исследование трещиностойкости песчаных асфальтобетонных покрытий при низких температурах в условиях БССР» (1975 г.);

- И.Н. Вербило «Износостойкость асфальтобетонных покрытий с применением местного гравия в условиях БССР» (1975 г.);

- А.Л. Оковитый – «Укрепление грунтов цементом с добавками торфяных зол в условиях БССР» (1965 г.).

Кафедрой последовательно руководили:

- член-корреспондент Академии наук БССР, профессор, доктор технических наук Борис Иванович Ладыгин (1958 – 1966 гг.);

- доцент, кандидат технических наук Николай Алексеевич Ткаченко (1966 – 1975 гг.);

- доцент, кандидат технических наук Виталий Андреевич Чернолясов (1975 – 1977 гг.);

- доцент, кандидат технических наук Михаил Яковлевич Куделко (1977 – 1979 гг.).

В 1979 году в результате разделения кафедры «Дорожное строительство» были созданы кафедра «Строительство и эксплуатация дорог» (СЭД) и кафедра «Проектирование дорог».

К началу функционирования кафедры СЭД уже был сформирован определенный кадровый состав, создана материальная база для проведения лабораторных работ.

Заведующим кафедрой СЭД назначен доктор технических наук, профессор Леонович Иван Иосифович (в должности заведующего кафедрой 1979-2012 гг.). В 2012 году заведующим кафедрой СЭД назначен кандидат технических наук, доцент Кравченко Сергей Егорович (в должности заведующего кафедрой 2012-2018 гг.). С 2018 г. по настоящее время работает в должности декана факультета транспортных коммуникаций.

В состав педагогического коллектива на момент создания кафедры входили: кандидаты технических наук, доценты И.Н. Вербило, С.Л. Вдовиченко, Я.Н. Ковалев, А.Л. Оковитый, К.Ф. Шумчик; старшие преподаватели Н.С. Семашко, В.А. Стрижевский; ассистенты: А.П. Баховчук, И.В. Дерман, М.И. Карлович, А.А. Куприянич, Л.Д. Раковец. Учебно-вспомогательный персонал – В.Л. Красновский; Ф.С. Кравченя, Н.П. Симоненко, С.Е. Кравченко, С.И. Зиневич, Н.А. Триндюк, А.Б. Воробьев, Е.И. Руденкова, И.П. Ракица, Н.П. Симоненко, М.В. Ячейко.

Первым заведующим кафедрой «Проектирование дорог» был назначен кандидат технических наук, доцент Куделко Михаил Яковлевич (1978-1983 гг.). Профессорско-преподавательский состав кафедры «Проектирование дорог» после ее создания был сформирован за счет сотрудников кафедры «Дорожное строительство», преподававших учебные дисциплины, связанные с проектированием автомобильных дорог.

На кафедру «Проектирование дорог» перешли доцент Л.П. Лебедев, кандидаты технических наук Д.Д. Селюков, И.К. Яцевич; ассистенты В.В. Малиновский, В.А. Веренько (рисунок 6).

В дальнейшем кафедрой «Проектирование дорог» руководили кандидат технических наук, доцент Яцевич Иван Климентьевич (1983-2006 гг.); доктор технических наук, профессор Веренько Владимир Адольфович (2006-2007 гг.); кандидат технических наук, профессор Мытько Леонид Романович (2007-2019 гг.)

В соответствии с приказом от 26.10.2018 № 8447 «О совершенствовании структуры БНТУ» с 11.02.2019 г. произошла реорганизация путем объединения кафедр «Строительство и эксплуатация дорог» и «Проектирование дорог» и создания кафедры «Автомобильные дороги». Заведующим кафедрой «Автомобильные дороги» назначен кандидат технических наук, доцент Зиневич Сергей Иванович (2019-2021 гг.)





Рис. 7. Кафедра «Проектирование дорог» (1983 г.)

В первом ряду слева направо: Смирнов М.В., Кузнецова Н., Богданович С.В., Деркаченко Н.И., Яцевич И.К., Малиновский В.В., Куделко М.Я.  
Во втором ряду слева направо: Шеко С., Веренько В.А., Концевой В.А., Богданович Ю.А., Загорский Д.В., Вишняков Н.В., Селюков Д.Д.

Работа кафедры «Автомобильные дороги» развивается в соответствии с требованиями «Кодекс Республики Беларусь об образовании», с учетом научно-технического прогресса дорожного хозяйства и требованиями, которые предъявляются к современным инженерам. Совершенствуется методика преподавания и организации учебной работы, поддерживаются и развиваются связи с производственными организациями страны.

В период с 2011 по 2024 годы кафедрой выпущено 101 учебный материал в электронном и печатном видах: электронные учебно-методические комплексы, учебники, учебные пособия, методические указания и пособия по выполнению курсовых проектов (работ) и лабораторных работ, конспекты лекций и др.

В настоящее время подготовка специалистов осуществляется с учетом требований нормативной правовой базы дорожного хозяйства для чего была укреплена материально-техническая база

кафедры: учебная и научная лабораторная база кафедры пополнилась новейшим оборудованием, компьютерной техникой, наглядными информативными материалами. На кафедре функционирует современная учебная лаборатория “Дорожно-строительные материалы”, оснащенная современными, иногда и уникальными, приборами и оборудованием, где студенты, магистранты и аспиранты не только получают фундаментальные знания о традиционных строительных материалах, но и разрабатывают новые, инновационные, как во время учебных занятий, так и в свободное время (рис. 8).



Прибор для определения свойств бетона



Приборы для определения свойств дорожно-строительных материалов



Прибор для определения свойств



Приборы для определения реологических характеристик битума

Рис. 8. Учебная лаборатория дорожно-строительных материалов

Также в учебном процессе используется комплексная передвижная лаборатория «Трасса» (рис. 9), позволяющая определить такие эксплуатационные характеристики, как прочность дорожной конструкции, ровность покрытия, коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, дефектность покрытия и другие параметры.



Рис. 9. Комплексная передвижная лаборатория «Трасса»

Особенностью работы кафедры «Автомобильные дороги» является ее тесная связь с производством. Такой симбиоз позволяет с одной стороны готовить специалистов под изменяющиеся потребности отрасли, а с другой стороны – производству получать новейшую научно-техническую информацию.

В ходе сотрудничества происходит постоянное обновление материально-технической базы кафедры, обучающиеся обеспечиваются реальными исходными данными для курсового и дипломного проектирования. В процессе обучения студенты посещают объекты строительства, как во время производственных практик, где непосредственно участвуют в строительстве, так и во время практических занятий и экскурсий. Так студенты принимали участие в строительстве таких знаковых объектов, как «Вторая кольцевая автомобильная дорога вокруг Минска», «Строительство второй взлетно-посадочной полосы в Национальном аэропорту «Минск» и др.

На сегодняшний день существует в дорожном хозяйстве проблема закрепления молодого специалиста на первом рабочем месте. Анализ причин ухода молодых специалистов после отработки связан в первую очередь с неправильным выбором направления деятельности: проектирование, строительство и эксплуатация. Все направления имеют свои принципиальные особенности и деятельность инженера существенно отличается. Поэтому кафедра с 2023 года подготовила и реализовывает «пилотный проект» совместно с ОАО «Управляющая компания холдинга «Белавтодор» по ознакомлению студентов старших курсов с современными технологиями строительства автомобильных дорог. Для заинтересованных студентов организованы выездные экскурсии на строящиеся объекты и производственные предприятия (асфальтобетонные и цементобетонные заводы), проводят мастер-классы по испытаниям дорожно-строительных материалов, практическому применению программного комплекса Spider Project в дорожном строительстве.

Одним из показателей доверия к кафедре является и то, что мнение преподавателей учитывается при разработке и переработке технических нормативных правовых актов.

Активно ведется работа по подготовке молодых научных кадров еще со студенческой скамьи. Ежегодно студенты кафедры «Автомобильные дороги» принимают участие в студенческих научно-технических конференциях, олимпиадах.

Студенты специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» участвовали во II, III и IV Международных олимпиадах среди студентов высших учебных заведений, осуществляющих подготовку специалистов для дорожного хозяйства, проводимых ОАО «Управляющая компания холдинга «Белавтодор» заняли высокие места:

- III место в индивидуальном зачете и I место в командном зачете;
- I место в индивидуальном зачете и III место в командном зачете;
- III место в индивидуальном зачете.

В олимпиадах принимали участие команды девяти университетов: БНТУ, БГУТ, БГТУ, Белорусско-Российского университета, БрГТУ, Вильнюсского технического университета имени Гедиминаса, Силезского технического университета (г. Гливице), Краковской Политехники имени Тадеуша Костюшко,

Рижского технического университета, Таллиннского технологического университета.

Кафедра сотрудничает с учебными заведениями и научными центрами России (МАДИ-ГТУ, СоюздорНИИ, РосдорНИИ), Узбекистана (ТГТУ, НамИСИ).

Сотрудничество реализуется по следующим направлениям:

- совместная реализация научно-исследовательских и образовательных проектов и программ;
- академический обмен студентами, магистрантами, аспирантами и докторантами по согласованному перечню направлений подготовки (специальностям);
- научные и педагогические стажировки преподавателей, аспирантов и докторантов; проведение лекционных занятий ведущими специалистами;
- совместное научное руководство (консультирование);
- совместная подготовка методических пособий и учебников;
- совместное участие в работе научных конференций, семинаров, организуемых одной из сторон.

На кафедре обучаются студенты и магистранты из Ташкентского государственного технического университета (Республика Узбекистан) и по совместным образовательным программам.

На протяжении 65 лет БНТУ (ранее – БПИ, БГПА) несомненно готовит лучших специалистов в области дорожного строительства. Выпускники БПИ – БГПА – БНТУ занимали и занимают высокие должности в организациях дорожной и строительной отраслей, являются квалифицированными и авторитетными руководителями.

В разные периоды времени кадры для дорожного хозяйства готовили по следующим специальностям:

- «Автомобильные дороги»;
- «Строительство автомобильных дорог и аэродромов»;
- «Строительство дорог и транспортных объектов».

В 2022 году в связи с вступлением в силу Общегосударственного классификатора Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации» Министерство транспорта и коммуникаций инициировало открытие новой специальности 7-07-0732-03 «Строительство транспортных коммуникаций». Основанием для такого решения являются иные компетенции, предъявляемые к специалистам в области гражданского и промышленного

строительства, а также разработанные на их основе образовательные стандарты, примерные учебные планы и программы, которые не соответствуют компетенциям специальностей дорожного и мостового профиля, базирующимся на Законе РБ «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности» и Техническом регламенте Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».

Проектирование автомобильных дорог отличается углубленным анализом геологических и гидрологических условий на протяжении всей проектируемой трассы и выбором оптимального варианта такого элемента дорожной конструкции, как земляное полотно, с учетом гидрогеологических и погодных-климатических условий дислокации проектируемой дороги, динамических транспортных нагрузок и безопасности движения транспортных средств в плане, продольном и поперечных профилях. Специфика расчёта и конструирования мостовых и тоннельных сооружений в первую очередь заключается в наличии постоянных динамических воздействий в совокупности с относительно невысокой жёсткостью конструкций и пролётами большой величины. Помимо этого, эксплуатация мостовых и тоннельных сооружений происходит в более жёстких климатических условиях, которые оказывают решающее влияние на долговечность и безопасность конструкций. Поэтому необходим динамический расчёт конструкций с учётом сил инерции, действующих на пролётное строение моста и элементы транспортного средства, с учётом постоянно меняющихся нагрузок от поддрессоренной и неподдрессоренной масс автомобиля.

Любое инженерное сооружение предназначено для сохранения несущей способности под заданными нагрузками и в заданных условиях эксплуатации. С учётом того, что эти факторы носят крайне специфический характер на автомобильных дорогах и в мостовых и тоннельных сооружениях, в инженерном деле принято выделять отдельные программные комплексы, компьютерные и информационные технологии для автомобильных дорог и отдельные – для мостового и тоннельного строительства, которые не совместимы с промышленным и гражданским строительством.

В 2023 году состоялся набор на новую специальность 7-07-0732-03 «Строительство транспортных коммуникаций» (профилизация «Автомобильные дороги») в соответствии с ОКРБ 011-2022. По

итогам обучения по профилизации «Автомобильные дороги» специальности 7-07-0732-03 «Строительство транспортных коммуникаций» выпускникам присваивается квалификация инженера-строителя и степень магистра.

Подготовка инженеров-строителей автомобильных дорог осуществляется по дневной и заочной формам получения непрерывного образования кафедрой «Автомобильные дороги». Учебным планом предусмотрено изучение цикла гуманитарных, естественнонаучных, общетехнических и специальных дисциплин. Творческие способности студентов развиваются в научно-исследовательской деятельности кафедры, в научной лаборатории и в филиале УП «МИНСКИНЖПРОЕКТ».

На кафедре «Автомобильные дороги» действуют соглашения о межкафедральном сотрудничестве с кафедрами «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» и «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог» Ташкентского государственного транспортного университета, с кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы» Наманганского инженерно-строительного института.

Научная деятельность кафедры – одно из приоритетных направлений ее работы.

И эта тенденция имеет исторические корни, объясняющие преобладание поколений в подготовке научных кадров. В течение многих лет кафедра подготовила тысячи инженеров-дорожников (в том числе из числа иностранных граждан).

В аспирантуре и докторантуре кафедры обучались и обучаются многие специалисты, которые, получив ученые степени, работают в высших учебных заведениях и научно-исследовательских учреждениях Республики Беларусь и за ее пределами.

Научные исследования, проводимые на кафедре, связаны с проблемами дорожного хозяйства и направлены на обеспечение качества дорожно-строительных материалов, совершенствование технологий строительства, содержания и ремонта автомобильных дорог, улучшение технических, технико-эксплуатационных и транспортных характеристик дорожной сети, повышение экологической и транспортной безопасности дорог страны. Для выполнения поставленных перед кафедрой задач создаются

необходимые условия, а сотрудники кафедры обеспечивают их своевременное и качественное выполнение.



## **ПРИНЦИПЫ РАССТАНОВКИ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКЕ “НЕПОЛНЫЙ КЛЕВЕРНЫЙ ЛИСТ” С ДВУМЯ СОЕДИНИТЕЛЬНЫМИ ОТВЕТВЛЕНИЯМИ**

**Адашкевич В.И.**, старший преподаватель  
кафедры «Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет, г.Минск  
Adashkevich@bntu.by

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности дорожного движения с точки зрения расстановки дорожных знаков на транспортной развязке «неполный клеверный лист».*

Для информирования участников дорожного движения об условиях, направлениях и режимах движения на дорогах устанавливают дорожные знаки. В Республике Беларусь нормативным документом, регламентирующим виды знаков, их форму, общие технические требования к знакам является стандарт СТБ 1140-2013 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические условия».

При расстановке дорожных знаков на транспортных развязках необходимо выполнить следующие требования:

дать информацию о направлении движения по транспортной развязке и после нее;

обеспечить преимущество проезда по одному направлению;

обеспечить маршрутное ориентирование.

Для информирования водителя о направлении движения устанавливаются знаки 5.20.1 «Предварительный указатель направлений». На этих знаках приводится схема движения на транспортной развязке по каждому направлению (рис.1) наименование крупных населенных пунктов по направлению и номера маршрутов.

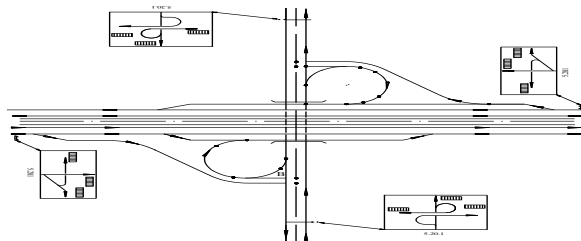


Рис. 1 Схема расстановки знаков 5.20.1 «Предварительный указатель направлений» на транспортной развязке «Неполный клеверный лист»

Стандартная схема дорожного знака 5.20.1 приведена на рисунке 2



Рис. 2 Стандартная схема дорожного знака 5.20.1

Схема дорожного знака 5.20.1 для неполного клеверного листа отличается от стандартной. Она ориентирует водителя о схеме движения при повороте налево и направо (рис.3).



Рис. 3 Схема дорожного знака 5.20.1» на транспортной развязке «Неполный клеверный лист»

На полных транспортных развязках имеются зоны разветвления и зоны слияния потоков. На неполных транспортных развязках транспортные потоки отдельных направлений пересекаются. В местах пересечений потоков расстановка дорожных знаков

подчиняется принципам расстановки этих знаков на пересечениях или примыканиях дорог в одном уровне.

В зоне разветвления потоков необходимо дать информацию о направлении движения на транспортной развязке и за ее пределами. Для этого у дороги устанавливают знак 5.20.1 «Предварительный указатель направлений» на расстоянии не менее 300м от начала отгона полосы торможения (5.20.2 «Предварительный указатель направлений» над проезжей частью в начале полосы торможения) (рис. 4) или начала правоповоротного съезда, если полоса торможения отсутствует (дороги IV или V категорий).

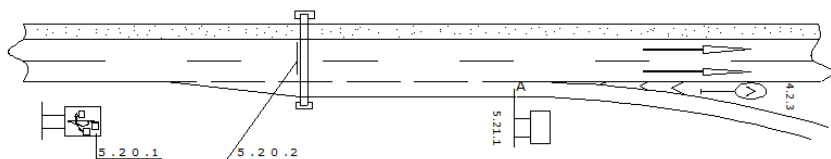


Рис. 4. Схема расстановки знаков на дороге I категории

В случае ЛПС с дороги, расположенной в нижнем уровне, знак 5.20.2 размещают на боковой поверхности пролетного строения.

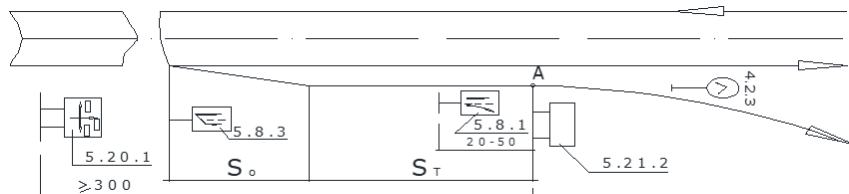


Рис. 5. Схема расстановки знаков на дороге II, III категорий в зоне разветвления потоков (ППО)

В начале криволинейной части разветвления потоков (т.А) устанавливают «Указатель направлений» 5.21.1 или 5.21.2 (рис. 5).

В зоне слияния потоков необходимо обеспечить преимущественное право проезда по прямому направлению дороги, на которой заканчивается съезд, предотвратить въезды на соединительные ответвления (СО), имеющие одностороннее движение.

На СО в начале полосы разгона, а при ее отсутствии в конце СО устанавливают знак 2.4. «Уступите дорогу». На одной стойке с ним размещается знак 4.1.2 «Движение только направо», если угол между осью съезда и осью основной дороги более  $30^\circ$  (рис. 6) или знак 4.1.1 «Движение только прямо», если этот угол менее  $30^\circ$ . Если съезд заканчивается полосой разгона, то на ее конце устанавливается знак 5.8.5 «Конец полосы».

На дороге, на которую выходит соединительное ответвление, устанавливают знак 4.1.1 «Движение только прямо». На дорогах II, III, IV и V категорий, не имеющих разделительной полосы, на противоположной стороне знака 4.1.1 устанавливают знак 3.1 «Въезд запрещен». Он предназначен для водителей, движущихся по встречной полосе дороги.

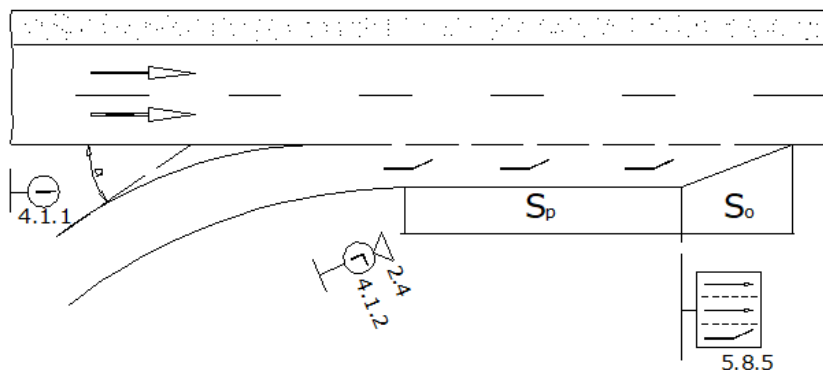


Рис. 6. Схема расстановки знаков в зоне слияния потоков в конце СО

Правила расстановки дорожных знаков устанавливает государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1300-2014 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения».

## ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА БОЛОТАХ БОЛЬШОЙ ГЛУБИНЫ

**Бабаскин Юрий Георгиевич**, канд.техн.наук, доцент, профессор  
Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65 220000, г. Минск. Беларусь,  
ad\_ftk@bntu.by

**Юхнюк Анна Сергеевна**, магистрант  
Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65 220000, г. Минск. Беларусь,  
ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** При строительстве автомобильных дорог большие проблемы возникают при преодолении болот с большой глубиной залегания слабого грунта. Приведены результаты геологических исследований, проведенные на автомобильной дороге М-3, на участке, на котором глубина болота достигает 12 м. Результаты лабораторных исследований грунтов, разведанных на различных глубинах буровых скважин, позволили составить полное геологическое описание техногенных образований, болотных отложений и гидрогеологических условий.*

***Ключевые слова:** земляное полотно, слабые грунты, болото, бурение, скважины, лабораторные исследования.*

Автомобильная дорога представляет собой комплекс линейных и сосредоточенных транспортных сооружений с технико-экономическими параметрами, которые должны обеспечить безопасные, экономичные, комфортные условия движения автотранспортных средств с расчетными скоростями и нагрузками круглый год в течение заданного периода эксплуатации /1/. Качество автомобильной дороги зависит от многих её компонентов, основными из которых являются земляное полотно и дорожная одежда. Качество работ при строительстве земляного полотна играет важную роль, поскольку от этого зависит устойчивость, прочность, долговечность автомобильной дороги в целом. И если в земляном

полотне начнут возникать деформации, связанные с просадкой грунта, его набуханием, липкость и другими отрицательными явлениями, то никакие материалы дорожной одежды не спасут конструкцию от разрушения /2/. Одной из сложных задач, решаемой при строительстве земляного полотна, является обеспечение устойчивости его основания. В практике строительства возникают моменты прокладки трассы на участках с глубоким залеганием слабых грунтов, особенно при строительстве на болоте.

Автомобильная дорога М-3 Минск-Витебск - дорога республиканского – значения I-II технической категории. Протяжённость 254,460 км. Дорога проходит по пересеченной местности с первым типом по характеру и степени увлажнения и запроектирована, как в насыпи, так и в выемке. Высота насыпи составляет от 1,0 м до 7,0 м, максимальная глубина выемки 2 м.

На данной дороге, в Лепельском районе, имеется участок, длиной приблизительно 300 м, на котором глубина торфа составляет от 3 до 12 м. Ширина земляного полотна составляет от 14,0 до 17,0 м. Конструкция дорожной одежды: покрытие – асфальтобетонное, ширина проезжей части – 7,5 м с укрепленной обочиной шириной 2,5 м.

При проектировании трассы выполнены геологические изыскания, задача которых была - изучение геологического строения и гидрогеологических условий, физико-механических свойств грунтов.

Вначале была проведена рекогносцировка, с целью уточнения местности точек проведения работ, условий доступа к ним технических средств, возможности безопасного ведения работ и выявление других факторов, влияющих на проведение изысканий. После чего были проведены буровые работы на глубину до 13,2 м, с сопутствующим отбором образцов грунта нарушенной и ненарушенной структуры, а также лабораторные исследования проб грунта. Полевые работы и лабораторные исследования позволили составить полное геологическое описание района проведения работ.

*Голоценовый горизонт. Техногенные образования представлены:* дорожной одеждой: асфальтобетоном, вскрытым в скважинах, пробуренных на существующей автомобильной дороге, мощностью 0,04...0,5 м. Под асфальтобетоном в различных скважинах вскрыты: цементобетон мощностью 0,07...0,14 м; щебень мощностью

0,09...0,29 м; булыжная мостовая 0,13...0,18 м; песчано-гравийная смесь мощностью 0,05...0,48 м;

насыпным грунтом: песком пылеватым желтым, желто-серым, серым, вскрытая мощность отложений от 0,5 м до 4,05 м, коэффициент фильтрации 0,05...1,45 м/сутки;

- песком мелким желтым, серым, желто-серым, вскрытым в большинстве скважин, с коэффициентом фильтрации 0,05...2,84 м/сутки, мощностью от 0,25 до 7,05 м;

- песком средним серым, желто-серым, желтым с коэффициентом фильтрации 0,05...2,78 м/сутки, мощностью 0,4...8,2 м;

- супесью насыпной бурой, серо-бурой пластичной /3/ (число пластичности  $I_L = 0,03...0,51$ ), твердой ( $I_L = (-0,07)...(-0,69)$ ), мощностью от 0,9 м до 3,0 м.

*Болотные отложения* вскрыты в многочисленных скважинах. Они представлены:

- торфом, грунтом заторфованным черным с содержанием органического вещества от 11% до 91% ( $I_{om} = 0,11...0,91$ ), мощностью 0,2 м до 10,5 м;

- илом и сапропелью темно-серого, серого цвета с содержанием органического вещества от 6% до 47% ( $I_{om} = 0,06...0,47$ ), мощностью 0,2 м до 3,1 м;

- мергелем светло-серого цвета с содержанием карбонатов  $\text{CaCO}_3$  от 39,1% до 63,3%, мощностью 0,9...2,7 м.

*Гидрогеологические условия.* Грунтовые воды вскрыты большинством скважин, как с дневной поверхности (уровень 0,0 м) на подтопленных участках, так и на различной глубине (максимальная 9,9 м) от дневной поверхности. Они приурочены к пескам озёрно-аллювиальных, моренных отложений, а также распространяются в болотных отложениях. Также вскрыты воды типа «верховодка» на кровле глинистых грунтов и спорадические воды в прослоях и линзах песков, а также в толще глинистых грунтов.

В периоды интенсивной инфильтрации атмосферных осадков (интенсивное снеготаяние, обильные дожди) возможно повышение уровня всех вод на 0,7-1,0 м относительно зафиксированного в период изысканий.

По результатам испытаний болотных отложений методом вращательного среза, на участке существующей дороги, удельное

сопротивление срезу для торфа и грунта заторфованного составило от 0,014 до 0,016 МПа, при среднем значении 0,0148 МПа; для сапропеля, ила – от 0,0127 до 0,0157 МПа, при среднем значении 0,0142 МПа. Согласно п.12.5.1.2 ТКП 200-2018 /4/ болотные отложения, распространенные на данном участке, соответствует 2 строительному типу болотного грунта, тип основания по устойчивости на исследуемом участке – II.

По результатам испытаний болотных отложений методом вращательного среза, на участке проектируемой дороги, удельное сопротивление срезу для торфа и грунта заторфованного составило от 0,0034 до 0,0052 МПа, при среднем значении 0,0044 МПа. Согласно п.12.5.1.2 ТКП 200-2018 /4/ болотные отложения, распространенные на данном участке, соответствует 3б строительному типу болотного грунта, тип основания по устойчивости по участку – III Б.

На участке, на котором был вскрыт мергель, сопротивление срезу составило от 0,0123 до 0,0161 МПа, при среднем значении 0,0145 МПа. Согласно ТКП 200-2018 /4/ болотные отложения, распространенные на данном участке, соответствует 2 строительному типу болотного грунта, тип основания по устойчивости на участке – II.

При прохождении трассы дороги, в местах залегания слабого грунта, проектом предусмотрено выторфовывание с засыпкой песчаным непылеватым грунтом.

### ***Заключение***

Климатические характеристики района проектирования приведены по действующим нормативным документам - СНБ 2.04.02-2000 и Изменению №1 СНБ 2.04.02-2000. Согласно ТКП 45-3.03-19-2006 /5/ участок изысканий входит в первый дорожно-климатический район Республики Беларусь – северный, влажный.

В период проведения полевых работ грунтовые воды вскрыты преимущественным большинством скважин, как с дневной поверхности (уровень 0,0 м) на подтопленных участках, так и на различной глубине (максимальная 9,9 м) от дневной поверхности. Они приурочены к пескам озёрно-аллювиальных, моренных отложений, а также распространяются в болотных отложениях. Также вскрыты воды типа «верховодка» на кровле глинистых



грунтов и спорадические воды в прослоях и линзах песков в толще глинистых грунтов.

Залегающие на глубину промерзания супеси и суглинки – чрезмернопучинистые (V группа – относительное морозное пучение св. 10 %), супеси и суглинки моренные – пучинистые (III группа – относительное морозное пучение 4...7 %), глины – пучинистые (III группа – относительное морозное пучение 4...7 %), пески пылеватые – сильнопучинистые (IV группа – относительное морозное пучение 7...10%), пески мелкие – слабопучинистые (II группа – относительное морозное пучение 1...4%), пески средние, крупные, гравелистые – непучинистые (I группа – относительное морозное пучение до 1%).

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта под открытой (оголенной) поверхностью по данным Госкомгидромета РБ составляет для Лепельского района: для суглинков и глин – 105 см, супесей, песков мелких и пылеватых – 128 см, песков гравелистых, крупных и средней крупности – 137 см, крупнообломочных грунтов – 155 см.

При проектировании следует учитывать:

- наличие в разрезе органогенных грунтов (инженерно-геологический элемент – ИГЭ-5, 6, 6а), обладающих низкими прочностными характеристиками;

- наличие в разрезе глинистых грунтов с показателем текучести более 0,5 ( $I_L > 0,5$ ) (ИГЭ-10, 12, 20), которые обладают пониженными прочностными характеристиками;

- пучинистость при промерзании песков пылеватых (ИГЭ-1, 7, 14), супесей и суглинков (ИГЭ-9...12), глин (ИГЭ-13), супесей и суглинков моренных (ИГЭ-18...21), залегающих в верхней части разреза;

- способность глинистых грунтов к ухудшению физико-механических свойств при замачивании, промерзании, повреждениях механизмами;

- высокий, с учетом прогнозируемого, уровень грунтовых вод, как следствие подтопление участков.

При строительстве должны применяться методы, не приводящие к ухудшению свойств грунтов: замачивание, размыв поверхностными водами, промерзание, повреждение механизмами и транспортом. Кроме того, следует предусмотреть мероприятия по предотвращению подтопления котлованов.

## Литература

1. Бабаскин Ю.Г. Технология строительства дорог. : учеб. пособие / Ю.Г.Бабаскин. - Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2014. – 534 с.
2. Бабаскин Ю.Г. Строительство земляного полотна автомобильных дорог. ; учеб. пособие / Ю.Г.Бабаскин. - Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2016. – 333 с.
3. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация. Госстандарт. Минск. – 20 с.
4. ТКП 200-2018 (33200). Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования.
5. ТКП 45-3.03-19-2006. Автомобильные дороги. Нормы проектирования.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

**Бабаскин Юрий Георгиевич**, канд.техн.наук, доцент, профессор  
Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65 220000, г. Минск. Беларусь,  
ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** При строительстве земляного полотна возникают проблемы по обеспечению его прочности и устойчивости. В основном они связаны с подстилающим слоем основания и наличием грунтов в насыпи пылеватых фракций. При сооружении земляного полотна в выемке возникают трудности при работе с переувлажненными грунтами. Для борьбы с этими явлениями применяют различные конструкции земляного полотна, геосинтетические материалы и различные химические реагенты в виде гидрофобизаторов.*

***Ключевые слова:** земляное полотно, слабые грунты, выторфовывание, переувлажнение, геосинтетики, гидрофобизирующие добавки.*

Земляное полотно является неотъемлемой частью автомобильной дороги и представляет собой дорожное сооружение, служащее основанием для размещения конструктивных слоев дорожной одежды. Основное назначение земляного полотна - это обеспечение прочного и стабильного основания всей дорожной конструкции, защита дорожной одежды от влияния капиллярной природной влажности на слои дорожной одежды, обеспечение плавности продольного профиля, безопасность при аварийной ситуации транспорта, связанная с крутизной откосов. От качества сооружения земляного полотна зависит долговечность автомобильной дороги. В то же время, качества земляного полотна зависят от множества факторов, таких как, устойчивость естественного основания, на которое опирается земляное полотно, вида грунта, из которого возводится конструкция и степени его уплотнения.

Основание дорожной конструкции представляет собой естественное природной залегание местных грунтов, которые могут быть представлены слабыми грунтами, характеризующимися прочностью на сдвиг менее 0,075 МПа или модулем осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа. К таким грунтам относятся: торф, торфосапрпель, детритовые, известковистые, кремнеземистые сапрпели, болотные мергель и ил. Несущая способность этих грунтов весьма низкая, что приводит к их деформации и как следствие к осадке всей конструкции.

Наряду с этими видами грунтов к числу слабых могут быть отнесены глинистые грунты, имеющие повышенную влажность в природном залегании. Такие грунты могут находиться в текучепластичном и текучем состояниях, при показателе текучести более 0,75, что приведет к возникновению сдвиговых деформаций или пучинистости.

Для борьбы с этими явлениями в настоящее время применяются различные конструкции земляного полотна – это с полным и частичным выторфовыванием, на песчаных дренах и продольных разрезах, с устройством торфоприемников, дренирующих слоев, гидроизолирующих прослоек, применением геотекстильного материала, использованием геоматов, решеток, геосеток, геомембраны, геокомпозитов, геокамер.

Для усиления откосной части земляного полотна весьма эффективно применяют подпорные стенки конструкции «Husker», «Terramesh».

Сооружение земляного полотна производится из местных грунтов. для этого разведываются сосредоточенные резервы в виде карьеров, из которых грунт доставляется на объект строительства для сооружения насыпи. Однако, карьеры также включают слоистое расположение отдельных видов грунтов, где имеют место чередование песчаных, супесчаных, суглинистых разновидностей с включениями пылеватых фракций, влияющих на деформационные свойства грунтов в сторону их ухудшения при взаимодействии с инфильтрационной или грунтовой водой.

При сооружении земляного полотна в виде выемки возникают проблемы при работе с переувлажненными грунтами. Как правило, при высокой (коэффициент переувлажнения  $K_w = 1,4...1,5$ ) и избыточной ( $K_w = 1,55...2,05$ ) степени переувлажнения грунты

используются только после естественного просушивания. Для понижения степени переувлажнения применяют сухой несвязный грунт, топливные золы, шлаки, отходы горнорудной промышленности, а также химические способы, у которых реакция протекает со связыванием молекул воды (например, обработка негашеной известью, цементом, золой-уноса, гипсом, безводной кристаллической фосфорной кислотой) /1/.

С целью усиления несущей способности грунтов широко применяются геосинтетики и гидрофобизирующие добавки. Геосинтетики представляют собой полимерные материалы, основная цель которых это изменения фильтрационных и прочностных свойств грунтов. Геосинтетики предназначены для армирования, разделения отдельных фракций крупнообломочных грунтов, фильтрации, дренажа, предотвращения эрозии, защиты конструктивных элементов дороги или искусственных сооружений, а также для изоляции во время миграции жидкости и газов. В дорожном строительстве применяют такие геосинтетики, как: двуслойная решетка ГЕО ДС, стеклонит, высокопрочный геотекстиль стабитекс, геосинтетический материал дорнит, георешетки типа «Armater» (ArmaterA 20-25, 20-20) и «TENWEB» (TENWEB 4/100, 4/200, 4/300), геобююлочка «ГеоФРАМ».

Свойство гидрофобизации представляет собой обработку грунтов химическими реагентами для получения водоотталкивающих свойств, т.е. приобретать гидрофобность. В качестве гидрофобизирующих добавок применяют полифиллизаторы, которые способствуют нейтрализации сил поверхностного натяжения воды. За счет применения гидрофобизаторов получают уменьшение оптимальной влажности и повышение максимальной плотности грунтов, снижение размокаемости и деформации морозного пучения. В качестве гидрофобизирующих добавок применяют: полифиллизатор грунтовый стабилизирующий жидкий (ПГСЖ 1), битумосодержащий (ПГСЖ 2), порошковый (ПГСЖ 3). При уплотнении грунта, который был обработан добавкой ПГСЖ 1, увеличивается его сжимаемость за счет вытеснения из пор рыхлосвязанной воды. А при обработке грунта добавкой ПГСЖ 3 порошкообразное вещество заполняет поровое пространство, прерывая капиллярную способность тонкодисперсных частиц.

Помимо применения различных инновационных материалов совершенствование способов строительства может быть связано с изменением конструкции самого земляного полотна. Например, при борьбе с морозным пучением может быть изменена конструкция основания земляного полотна из-за неравномерного промерзания насыпи по оси и по краям. Для этого сооружают корытообразную выемки в средней части поперечного профиля и заполнения ее высокопористым материалом. Натурные измерения, проведенные на таких конструкциях, показали, что промерзание центральной части земляного полотна уменьшилось, что положительно отразилось на сокращении количества и вида трещин на дорожном покрытии /2/.

На основании рассмотренного материала можно сделать заключение, что земляное полотно автомобильной дороги претерпевает большие инновационные изменения, связанные с применением различных синтетических материалов, химических реагентов и изменением самой конструкции земляного полотна.

### Литература

1. Бабаскин Ю.Г. Строительство земляного полотна автомобильных дорог.: учеб. пособие / Ю.Г.Бабаскин. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2016. – 333 с.
2. Леонович И.И. Механика земляного полотна. / И.И.Леонович., Вырко Н.П.. Минск, «Наука и техника», 1975. - 232 с.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ПОРОД В ТУРКМЕНИСТАНЕ

**Бекова Генлик Аширкулыевна, Бабаева Бягуль Нургельдыевна**  
Туркменский государственный  
архитектурно-строительный институт,  
ул. Баба Аннанова, 136, 744025, г. Ашхабад, Туркменистан,  
djelaletdin@gmail.com

***Аннотация:** При сейсмических воздействиях лессовые породы ведут себя своеобразно: в них наблюдаются местные приращения бальности сейсмического импульса, сейсмодислокации, сейсмические сели и просадки.*

*Анализ материалов изучения лессовых пород в сейсмоактивных районах показывает, что их сейсмические особенности связаны с возрастом и генезисом грунтов, петрографическими характеристиками и строением, мощностью лессовых пород и литологическим составом подстилающих отложений, уровнем грунтовых вод, их режимом и амплитудной колебаний, расчлененностью рельефа и крутизной склонов и, естественно, частотой, интенсивностью и природной сейсмических воздействий.*

***Ключевые слова:** лесные породы, сейсмический импульс, бальность, просадки.*

Лессовые породы покрывают почти всю предгорную равнинную территорию Туркменистана, эти грунты широко распространены не только в пределах аридной зоны, но и в Европейской части СНГ.

Независимо от региона расположения лессовых грунтов они обладают рядом особенностей, вызывающих пристальное внимание исследователей, строителей, мелиораторов, сейсмологов и т.д.

К этим особенностям относится их значительное распространение, неясный генезис, своеобразие структуры, особо неблагоприятные для технического использования инженерно-геологические особенности (чувствительность к влаге и просадочность). Включение территорий, сложенных лессовыми

грунтами, в сфере инженерной деятельности порождает ряд специфических проблем, связанных с надежным прогнозом поведения этих грунтов в качестве оснований инженерных сооружений и с разработкой эффективных методов их стабилизации в соответствии с конкретными задачами.

Прогресс в строительных отраслях народного хозяйства ведет к возрастанию объемов строительства в Туркменистане ведет к возрастанию объемов строительства, увеличению этажности зданий и сооружений, росту масштабов земляных работ в просадочных грунтах, развитию сетей оросительных каналов и водоводов. В связи с этим повышаются требования к пониманию региональных особенностей лессовых пород [1], научному осознанию природы и механизма просадочных деформаций под действием естественных и антропогенных факторов, ответственному отношению к рекомендациям СНиП-ов изыскателей, проектировщиков и строителей. Эксплуатация лессовых массив в условиях Туркменистана осложняется еще одним существенным фактором, практических отсутствующих в других регионах с высокой природной сейсмической активностью.

При сейсмических воздействиях лессовые породы ведут себя своеобразно: в них наблюдаются местные приращения бальности сейсмического импульса, сейма дислокации, сейсмические сели и просадки.

Анализ материалов изучения лессовых пород в сейсмоактивных районах показывает, что их сейсмические особенности связаны с возрастом и генезисом грунтов, петрографическими характеристиками и строением, мощностью лессовых пород и литологическим составом подстилающих отложений, уровнем грунтовых вод, их режимом и амплитудной колебаний, расчлененностью рельефа и крутизной склонов и, естественно, частотой, интенсивностью и природной сейсмических воздействий.

Если перечисленные геостатические факторы, влияющие на поведения лессовых просадочных грунтов, находится в сфере пристального внимания специалистов, то факторы геодинамические, связанные с природными землетрясениями, а также с промышленной сеймикой, их влияние на надежность лессовых грунтовых массивов как оснований инженерных сооружений, требует изучения, как в теоретическом, так и в практическом плане.



В институте ведутся поиски наиболее эффективных методов преобразования грунтов основания, устранения просадочных свойств и снижения их сейсмической реактивности.

Под сейсмическими свойствами пород поднимается их реакция на динамические воздействия. Сюда относятся упругие, поглощающие и инженерно-сейсмологические свойства [8]. Эти свойства характеризуются следующими основными параметрами: скоростями распространения продольных  $U_p$  и поперечных  $U_s$  волн (упругие), коэффициентом поглощения продольных волн  $X_p$  или декрементом поглощения  $\theta_p$ ; коэффициентом поглощения поперечных волн  $X_s$  или декрементом поглощения  $\theta_s$ ; амплитудно-частотными характеристиками  $S(f)$ , сейсмическими просадками.

Сейсморазведочные исследования показали взаимосвязь в решении инженерно-геологических задач (плотность, пористость, влажность, пластичность, просадочность и др.) [2,3,4]. В работе Н.Н. Горяинова [2] показаны полученные данные о сейсмических свойствах лессовых пород в естественном залегании и на образцах установил зависимость между скоростью распространения продольных волн  $U_p$  в лессовых породах с нарушенной структурой и влажностью  $W$ . Было показано, что с увеличением влажности скорость  $U_p$  резко возрастает до значений порядка 1400-1500 м/с.

Г.Н. Назаров [5], выявил ряд корреляционных зависимостей между скоростями распространения упругих волн и некоторыми показателями физико-механических свойств лессовых пород (пористостью, коэффициентом крепости и др.). И.Г. Миндель [3] в своих исследованиях, впервые определил коэффициенты и декременты поглощения продольных волн на акустических частотах для лессовых пород юга Украины и Яванской долины Таджикистана.

Лабораторные исследования по изучению просадки в условиях динамических воздействий проведены А.А. Мусалэяном [4].

Связь сейсмических свойств лессовых пород с географической средой исследования проведены А.З. Закировым [6], была показана зависимость скоростей сейсмических волн в лессовых породах от процессов переноса влаги, от техногенного изменения уровня грунтовых вод. На формирования сейсмических свойств лессовых грунтов оказывают влияние разнообразные инженерно-геологические факторы как механические, так физико-химическое [6,7].

Детальное изучению геологической гидрогеологической обстановки строительных площадок позволяет с достаточной точностью установить возможные осадки грунта при замачивании, что позволяет в процессе проектирования предусматривать мероприятия, исключающие появление нежелательных деформаций.

### Литература

1. Ильясов Б., Куликов Г.В., Закиров А. Ликвидация просадочных свойств лессовых грунтов в деформируемой зоне под сельскохозяйственные здания плодосовхоза №1 Гяурской долины // Сейсмостойкое строительство и строительные материалы – Ашхабад: Ылым, 1978. С. 9-17.
2. Горяинов, Н.Н. Сейсмические методы в инженерной геологии / Н.Н. Горяинов, Ф.М. Ляховицкий. – М.: Недра, 1979. 143 с.
3. Миндель И.Г. Изучение физико-механических свойств лессовых пород сейсмоакустическими методами / Автореферат канд.дисс.канд.техн.наук. - М., 1970. С. 24.
4. Мусалэян А.А. О просадочных деформациях лессовых грунтов при динамических нагрузках // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоне СССР.-Ташкент: фан, 1969.-Вып.10.4.2. С. 10-16.
5. Назаров Г.Н. Новые данные о скоростях распространения упругих волн в грунтовых массивах. - М.: Стройиздат, 1972/ Инженерно-строительные изыскание. Информ.бюлл. ПТИСИЗ, №2.27. С. 25-28.
6. Закиров А. Уплотнение просадочных лессовых грунтов с использованием энергии взрыва / Новые эффективные материалы и конструкции в строительстве. - Ашхабад: ИСС Туркм.ССР, 1980. С.65-67.
7. Иванов П.Л. Уплотнение несвязных грунтов взрывами.- Л: Стройиздат, 1967. 172 с.
8. Казиев А.С., Закиров А. Исследование упругих и поглощающих свойств грунтов Гяурской долины / Сейсмостойкое строительство и строительные материалы. - В.7.- Ашхабад: Ылым, 1981. С.79-81.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

**Зленко Людмила Владимировна** - ст. преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
ФТК, кафедра «Автомобильные дороги»,  
Zlenkov@bntu.by

***Аннотация:** Рассмотрены основные направления использования инновационных технологий для управления дорожным движением автомобильных дорог, для контроля за нарушениями правил дорожного движения.*

***Ключевые слова:** Инновационные технологии, управление дорожным движением автомобильных дорог, контроль за нарушениями правил дорожного движения.*

Для улучшения качества и безопасности дорожного движения при постоянно растущем количестве автомобилей, требуется целый комплекс мер, таких как: создание автоматизированных систем для управления дорожным движением и для контроля за нарушениями правил дорожного движения, что в свою очередь, позволит повысить пропускную способность автомобильных дорог, уменьшить пробки и тем самым сократить расход топлива и отрицательное воздействие на окружающую природу. Используя инновационные технологии управления дорожным движением, улучшается эффективность работы дорожных служб, которые в свою очередь получают информацию о состоянии поверхности дорожного покрытия.

Видеоинформация о дорожной обстановке, характеристиках транспортных потоков, погодных условиях и состоянии дорожного покрытия передается в центральный пункт управления позволяет фиксировать нарушения дорожного движения.

Системы управления движением используют: датчики видео – и фотокамеры, датчики тока в секциях светофора, давления, влажности, освещенности для фиксации погодных условий, а также вычислительные устройства для обработки информации,

полученной от датчиков. Важную роль для управления дорожным движением автомобильных дорог играют модули связи, от них зависит надежность, безопасность и стоимость. Широко применяются модули беспроводной связи и общедоступные каналы (Интернет), что позволяет улучшить качество управления дорожным движением и фиксации нарушений ПДД. Можно привести несколько систем, которые решают конкретные задачи, такие как, система контроля проезда на красный сигнал светофора и система фотовидеофиксации нарушений скоростного режима.

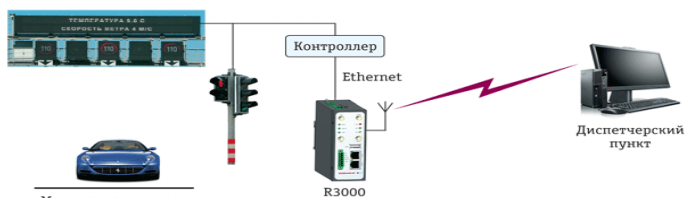


Рис. 1. Схема работы системы контроля проезда на красный сигнал светофора

Система контроля проезда на красный сигнал светофора. Постоянно контролируется состояние сигналов светофора, время их включения записывается системой. При загорании зеленого сигнал, включается таймер. Когда время превышает запрограммированное, дорожные контуры начинают определять наличие движущихся автомобилей, которые проехали на красный сигнал светофора, и если такие обнаружены, то программа переходит в режим снимка нарушения дорожного движения и записывает увеличенное изображение транспортного средства. Такая система выполняет и другие функции, изображение погодных показателей на электронном табло: о температуре, скорости ветра, влажности, давлении. Водитель может видеть погодные показатели в режиме онлайн.

Еще есть одна система фотовидеофиксации нарушений скоростного режима, которая востребована на высокоскоростных трассах, когда автомобильная дорога содержит более четырех автомобильных полос. Датчики устанавливаются на высоте около 6 метров над серединой каждой полосы движения. Для этого используют стандартные арочные фермы или консоли на опорах, на которых датчики разворачивают, чтобы контролировать скорость приближающихся и удаляющихся транспортных

средств. Программно-аппаратное обеспечение датчика автоматически обрабатывает информацию, анализирует изображение и распознает номера автомобиля.

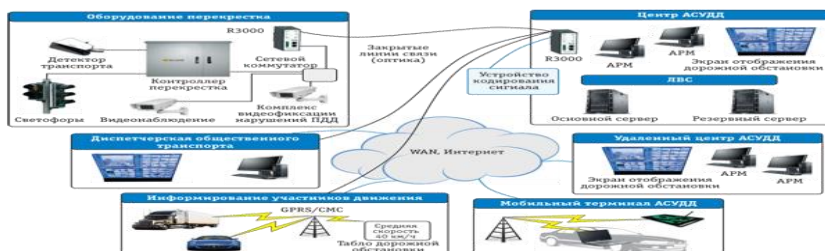


Рис. 2. Схема автоматизированного управления дорожным движением

На карте памяти фоторадарного датчика сохраняется информация о транспортном средстве. Также эта система измеряет скорости и автоматическое фотографирование автомобилей в зоне контроля, распознает государственные регистрационные знаки, выезд транспортного средства на полосу встречного движения; автоматическое сохранение данных о зафиксированных нарушениях на энергонезависимом карте памяти датчика. Информация о нарушении включает в себя цифровую фотографию ТС нарушителя, зафиксированную скорость ТС, распознанный номер ГРЗ, направление движения, дату и время нарушения, значение максимально допустимой скорости на данном участке дороги, место нарушения, серийный номер датчика; передачи данных о зафиксированных нарушениях на сервер центрального пульта наблюдения; работа в темное время суток благодаря встроенной инфракрасной подсветке;

Такая система применяется на автомобильных трассах, которая состоит из шести и более автомобильных полос.

## Литература

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

## УЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ НАГРУЗОК НА ОСНОВАНИЕ НАСЫПИ

**Махмудова Дильфуза Абдулазизовна**

Ташкентский государственный транспортный университет,  
ул. Темирийулчилар 1, 100167, г. Ташкент, Узбекистан,  
dilfuz240570@mail.ru

***Аннотация:** В статье приведен анализ влияния транспортной нагрузки на грунты основания. Характер воздействия подвижной многократно повторяющейся транспортной нагрузки на основание насыпи в общем случае гораздо сложнее, чем воздействие статической нагрузки от собственного веса насыпи. Изучение воздействия подвижной транспортной нагрузки на основание насыпи показывает, что влияние этой нагрузки может проявиться двояко: подобно влиянию некоторой дополнительной статической нагрузки или в виде определенного динамического эффекта, вызывающего колебания насыпи вместе с основанием. Напряжения от подвижной нагрузки в условиях статической задачи с учетом реальных параметров современных транспортных средств, могут быстро затухать и при некоторой толщине насыпного слоя оказываются достаточно малыми по сравнению с напряжениями от собственного веса.*

***Ключевые слова:** земляное полотно; конструкция; грунт; насыпь; уплотнение; нагрузка; транспорт.*

Дорога представляет собой единый инженерный комплекс, все элементы которого работают в тесной взаимосвязи. Земляное полотно должно служить надёжным фундаментом дорожной одежды, обеспечивать её прочность и долговечность независимо от местных гидрогеологических, грунтовых, климатических и других факторов [1,2].

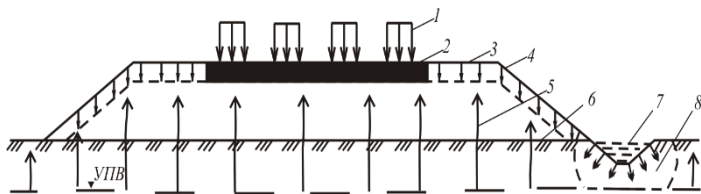


Рис. 1. 1-подвижная нагрузка от колеса автомобиля; 2-дорожная одежда; 3-обочина; 4-атмосферные воды; 5-капиллярные воды; 6-грунт естественного залегания (основание насыпи); 7-коллектор; 8-просочивающаяся вода из коллектора.

Земляное полотно и дорожная одежда считаются прочными, если под воздействием кратковременных и многократных нагрузок от движущихся транспортных средств они сохраняют в течение срока службы сплошность и ровность. Транспортно-эксплуатационные характеристики, а также вид покрытия и все элементы конструкции дороги не должны изменяться по всей длине трассы. К конструкции автомобильной дороги предъявляются следующие требования: основания земляного полотна должно быть устойчивым, осадки основания в эксплуатационный период не должны вызывать недопустимого искажения продольного и поперечного профилей, упругие прогибы и колебания конструкции от статического и динамического воздействий должны быть ограничены условиями длительной прочности дорожной одежды. Эти требования определяют основные критерии расчета дорожной конструкции с лёссовыми грунтами в основании земляного полотна[3,4].

Характер воздействия подвижной нагрузки (от автомобиля) на основание насыпи в общем случае гораздо сложнее, чем воздействие статической нагрузки от собственного веса насыпи. Изучение воздействия подвижной нагрузки на основание насыпи показывает, что влияние этой нагрузки может проявиться двояко: подобно влиянию некоторой дополнительной статической нагрузки или в виде определенного динамического эффекта, вызывающего колебания насыпи вместе с основанием. В первом случае следствием воздействия подвижной нагрузки может быть дополнительная осадка основания или нарушение устойчивости основания при совместном действии постоянной и временной нагрузок. Учет подвижной нагрузки в этом случае должен сводиться к решению задач с квазистатической нагрузкой. Во втором случае учет динамического эффекта связан с решением динамической задачи,

рассматривающей влияние возникающих колебаний насыпи на прочность и долговечность дорожных одежд.

Для суждения о влиянии подвижной нагрузки на основание насыпи в условиях статической задачи прежде всего нужно иметь представление о величине напряжений, которые могут возникать в основании насыпи от этой нагрузки [2]. Такой анализ, выполненный на основе некоторых упрощений дает следующие выражения для определения напряжений от подвижной транспортной нагрузки:

$$p_n^k = \frac{1,33P_0}{(1,5h + 0,3D)^2} \left[ n - \frac{\sum_1^{n-1} L_i}{1,5h + 0,3D} \right] n$$

где  $P_0$  - нагрузка на колесо;  $n$ - число колес, влияющих на напряженное состояние в данной точке;  $h$ - толщина насыпного слоя;  $L_i$ -расстояние от оси  $i$ -го колеса до рассматриваемой вертикали;  $D$ - диаметр отпечатка колеса.

Полученные выражения показывают, что напряжения от подвижной нагрузки в условиях статической задачи с учетом реальных параметров современных транспортных средств, могут быстро затухать и при некоторой толщине насыпного слоя оказываются достаточно малыми по сравнению с напряжениями от собственного веса. Уже в связи с этим можно придти к выводу, что при некоторой мощности насыпного слоя в расчете основания насыпи влияние подвижной нагрузки вообще может не учитываться. При этом необходимо учитывать возможный характер влияния подвижной нагрузки на основание: - подвижная нагрузка может вызвать нарушение прочности грунта основания;- подвижная нагрузка может вызвать некоторое дополнительное уплотнение грунта основания;-подвижная нагрузка может вызвать большие упругие деформации основания насыпи.

Влияние подвижной нагрузки на нарушение прочности грунта основания может проявиться двояко. Прежде всего может наблюдаться местное нарушение прочности грунта в зонах, располагающихся непосредственно под полосой наката, поскольку в этих зонах имеется скачок в эпюре нагрузки. Вместе с тем подвижная нагрузка может способствовать нарушения прочности грунта в более глубоких слоях, где возникают опасные касательные напряжения от собственного веса насыпи. В этом случае воздействие



временной нагрузки можно рассматривать как некоторое дополнительное повышение веса насыпи, например, вследствие увеличения ее высоты. Анализ приводит к выводу, что наибольшее влияние как с точки зрения нарушения прочности грунта, так и с точки зрения его осадки, подвижная нагрузка может оказать в процессе строительства земляного полотна.

Влияние подвижной многократно повторяющейся нагрузки тем меньше, чем больше толщина насыпи. Поэтому, назначая соответствующую толщину насыпи, можно практически исключить то или иное влияние подвижной нагрузки на основание насыпи в процессе ее эксплуатации.

### Литература

1. Махмудова Д.А. Исследование водно-теплого режима земляного полотна автомобильных дорог // *Universum: технические науки*. 2021. №5-2 (86). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vodno-teplovogo-rezhima-zemlyanogo-polutna-avtomobilnyh-dorog>.
2. Евгенийев И.Е., Казарновский В.Д. Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. М.Транспорт, 1976, -271 с.
3. Каюмов А. Д., Махмудова Д. А., Худайкулов Р. М. Поведение лессовых грунтов // *Журнал Автомобильные дороги*. Москва. – 2014. – №. 06. – С. 991.
4. Каюмов А. Д., Махмудова Д. А. Влияние циклических кратковременных нагрузок на физико-механические свойства уплотнённых лёссовых грунтов // *Журнал Наука и техника в дорожной отрасли*. Москва. – 2019. №. 04. –С. 40.

## ПРИНЯТИЕ ВО ВНИМАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Мыратбердыев Ягмыр, Аманов Мердан Эсенгулыевич**

Туркменский государственный  
архитектурно-строительный институт,  
ул. Баба Аннанова, 136, 744025, г. Ашхабад, Туркменистан,  
amanovmerdan73@gmail.com

***Аннотация:** При строительстве автомобильных дорог с двухсторонним движением, необходимо учитывать, чтобы уровень грунта в разделительном бордюре в виде боскета соответствовал уровню дорожного покрытия. На этой разделительной полосе в место деревьев необходимо сажать декоративные цветы. При таком расположении, будь то естественные осадки или искусственный полив цветов просачивания воды и попадание влажного песка на проезжую часть дороги ограничено, что способствует быстрому высыханию проезжей части дороги. В результате это обеспечивает надёжность, прочность и невредимость дорог. Также это играет огромную роль в безопасной эксплуатации дорог.*

***Ключевые слова:** дорожное покрытие; разделительный бордюр; эксплуатация автомобильных дорог.*

В соответствии с долгосрочными планами социально-экономического развития Туркменистан сегодня реализует задачу по превращению страны в транспортно-логистический центр на направлениях Восток-Запад и Север-Юг. Во всех регионах нашей страны согласно проектам высокими темпами осуществляется строительство автомобильных дорог. Эти масштабные проекты внесли явный вклад в развитие общей транспортно-логистической инфраструктуры Туркменистана. К тому же, дорожно-транспортная сеть Туркменистана восстанавливает и историческую карту Великого Шёлкового пути. В результате дальновидной внешней политики Президента, наша страна становится важным

транспортным коридором в средне-азиатском регионе и крупным международным логистическим центром. Реализуемая в этой сфере деятельность полностью соответствует Целям устойчивого развития программы ООН [1]. Например, сегодня в Туркменистане модернизируется и строится сеть автомагистралей протяжённостью около 14 тысяч километров. В эксплуатацию введено около двухсот мостов. Активно продолжается строительство Автобана.

Для строительства государственных автомобильных дорог составляются объёмы дорожно-строительных работ, а также планы работ и проекты их строительства [1].

В техническом разделе проектов приводится генеральный план и общие характеристики объекта, а также основные технические показатели технологического оборудования, которое будет использоваться при строительстве. Обеспечение экологического благополучия является одним из основных направлений политики Президента. Поэтому условия обеспечения экологической безопасности путем размещения лесозащитной зоны соблюдены и в проекте строящихся дорог [2].

В строительном разделе проекта представлен проектный чертеж автомобильной дороги, где указаны профили участков автомобильных дорог, проходящих по населённым и незаселённым территориям, структура дорожного покрытия, особые архитектурные решения автомобильных дорог, ограждающие балки, опоры освещения при котором учитывается светотехническое оборудование, материал для изготовления дорожных знаков, материал для полос движения [2].

В технико-экономическом разделе проекта показаны численность управленческого и эксплуатационного персонала, подготовка специалистов и другие особенности, а также график работ и расчеты, обеспечивающие достаточную ясность по содержанию и использованию объекта.

Чтобы удалить воду, естественным образом попадающую на дорогу, по обе стороны от нее устанавливают водоотводные лотки, где дорожное покрытие обычно укладывается в форме серпа. По краям дорожных сетей высаживают 2-4 ряда саженцев деревьев с защитной полосой леса от лавин и дождя.

Для обеспечения удобства эксплуатации автомобильных дорог качество ее покрытия выполняется на высоком уровне [2].

Территория Туркменистана представляет собой в основном засушливые почвы, образовавшиеся в условиях сухого и жаркого климата, и поскольку состав этих почв обычно беден растворимыми солями и низким содержанием органических веществ, эти показатели учитываются при строительстве дорог.

Анализируя результаты мероприятий проводимых ежегодно в Туркменистане, в частности месячник безопасности дорожного движения под девизом «Безопасность дорожного движения – спокойствие нашей жизни» установлено, что в этом направлении проводится огромная работа. Такие мероприятия приносит положительные плоды в обеспечении спокойствия и безопасности дорожного движения в стране, сокращаются серьезные дорожно-транспортные происшествия и связанных с ними несчастных случаев.

Рост городского населения, а также улучшение условий жизни нашего народа, приводит к увеличению и транспорта, что приводит к привлечению большего внимания к безопасности дорожного движения. Поэтому, государство уделяет огромное внимание дорожно-транспортной инфраструктуре, отвечающей высоким международным требованиям и стандартам.

В настоящее время проектирование и строительство дорог в больших городах предусматривает в основном двустороннее движение. Строительство дорог осуществляется таким образом:

Посередине дороги размещают садовый участок шириной 1,0-4,0 метра (рис. 1 и 2). Затем по краям этого места возводят бордюр высотой  $H=0,2-0,5$  метра и шириной 0,15-0,20 метра. Пустое пространство между ними засыпается почвой на высоте  $h=0,2-0,5$  метра над поверхностью дороги и засаживается разными видами саженцев деревьев.

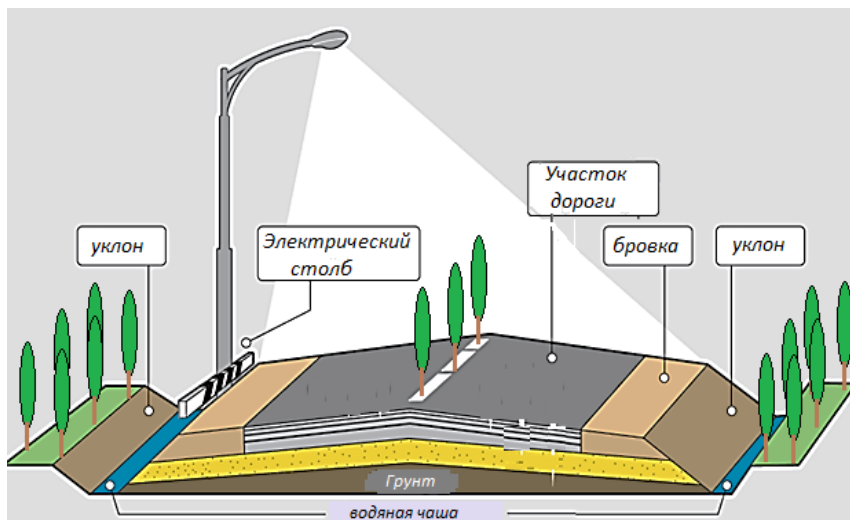


Рис. 1.

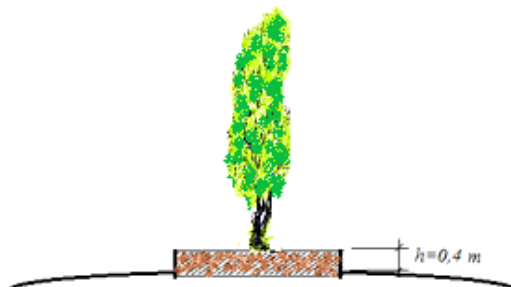


Рис. 2.

При строительстве участка дороги по такому плану он не обеспечивает в полной мере безопасность дорожного движения, то есть:

1. Когда идет дождь и орошаются деревья посреди дороги, вода просачивается на проезжую часть, в результате чего почва становится грязной.

2. На проезжей части дороги образуется пыль.

3. Поскольку деревья закрывают профиль дороги, и он не полностью виден водителю, то при возникновении на дороге в неожиданный момент какой-либо "опасной" ситуации водителю

становится сложно зафиксировать это событие в пределах тормозной магистрали (Рисунок 3).

4. Коэффициент трения тормозного пути снижается примерно в 1,5-2 раза, таблица 1 [3].



Рис. 3.

Таблица 1

Коэффициенты трения тормозной магистрали  $\phi$

Скорость на торможении, км/ч	Пределы тормозного пути, м			
	Сухое асфальтобетонное покрытие, $\phi=0,7$	Мокрый, слабозагрязненный, $\phi=0,4$	покрытый снегом $\phi=0,2$	скользкий $\phi=0,1$
20	5-6	11-12	15-17	22 и выше
30	16-17	21-22	28-30	45 и выше
40	25-26	32-33	44-47	76 и выше
50	34-36	45-47	66-70	114 и выше
60	45-47	61-64	91-95	Экстренное торможение
70	57-60	75-80	119-125	невозможно -
80	73-76	99-105	-	

Пределы тормозного пути на мокрой дороге  $\phi=0,4$

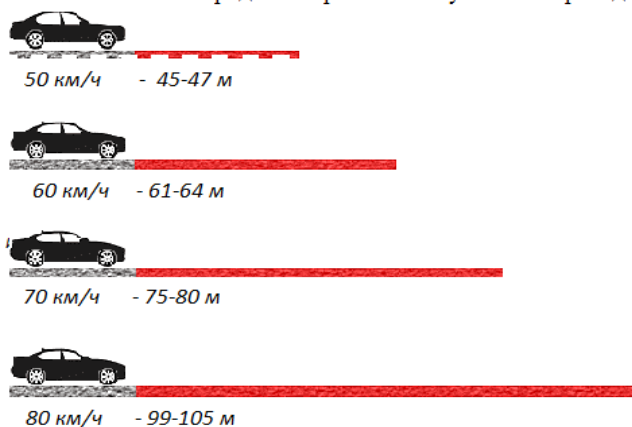


Рис. 4. Показано, что на скоростях коэффициент трения снижается, а тормозной путь увеличивается в 1,5 раза, когда дорожное покрытие мокрое, слабозагрязненное

Пределы тормозного пути на мокрой дороге  $\phi=0,4$

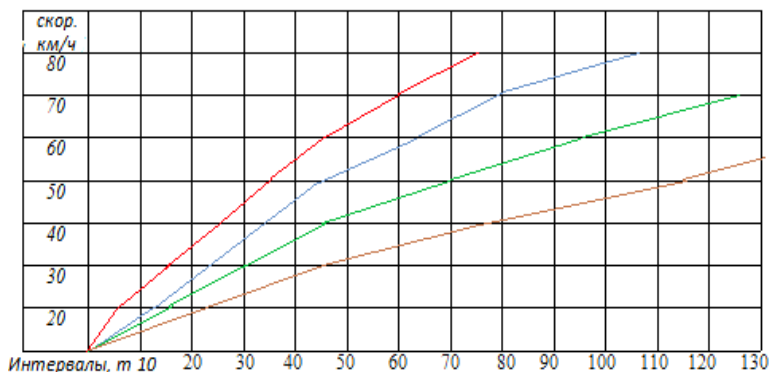


Рис. 5. График коэффициента трения тормозных магистралей на разных скоростях:  
 — по сухому асфальтобетону, — по мокрым, слабозагрязненным, — по заснеженному, — по скользким дорогам

Таким образом, учитывая вышеизложенное, мы предлагаем спроектировать и построить профиль дороги по сечению, показанному на рисунках 6 и 7, с целью увеличения коэффициента трения по границе тормозной дороги.

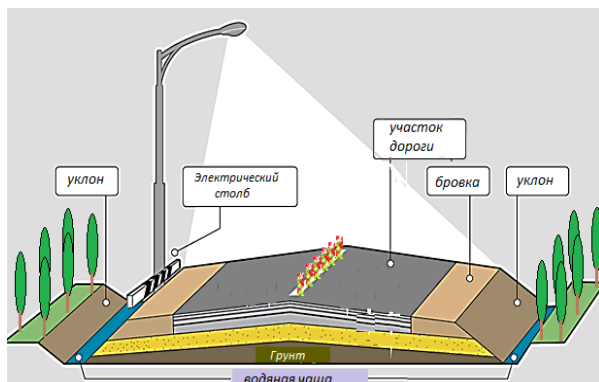


Рис. 6.

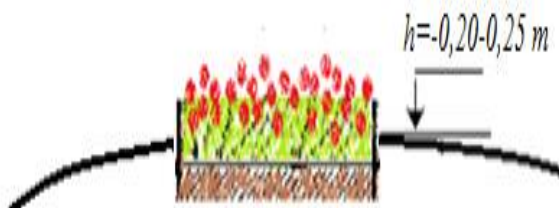


Рис. 7

При двустороннем строительстве дорожных систем пространство между ними засыпается грунтом, уровень  $h = -0,20 - 0,25$  м понижается от поверхности дороги и вместо саженцев деревьев высаживаются декоративные цветы. Таким образом, при выпадении атмосферных осадков и поливе декоративных цветов вода не просачивается на проезжую часть вместе с почвой, что ограничивает скопления пыли на проезжей части дороги. Также обеспечивает сквозную видимость, то есть видна противоположенная часть дороги, что обуславливает полный сектор видимости водителя в случае возникновения на дорогах непредвиденных «опасных» ситуаций. Такой обзор позволяет вовремя реагировать на неожиданные опасные ситуации, давая водителю возможность остановиться в пределах тормозного пути.



Обобщая вышеизложенное, хотелось бы отметить следующие:

1. Транспортный участок дороги в любом случае остается сухим в зависимости от природных погодных условий, количества осадков и правил использования воды.

2. Обеспечивает удобство использования, устойчивость и техническое обслуживание дороги.

3. Коэффициент трения тормозной магистрали увеличивается и помогает обеспечить безопасность дорожного движения.

### **Литература**

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. “Türkmenistan Durnukly ösüşini maksatlaryna ýetmegiň ýolunda”. - A., Türkmen döwlet neşirýat gullugy. 2018. 468 s.
2. Kazyýew A.S. Gurluşyk prosesleriniň tehnologiýasy. - A., 2012. 270 s.
3. Кленников В.М., Ильин Н.М. Автомобиль. Учебник водителя первого класса. – М., Транспорт, 1976. 368 с.

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ БНТУ,  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «МОСТЫ, ТРАНСПОРТНЫЕ  
ТОННЕЛИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ», ИЗУЧАЮЩИХ  
УЧЕБНУЮ ДИСЦИПЛИНУ «АВТОМОБИЛЬНЫЕ  
ДОРОГИ»**

**Мытько Леонид Романович**, кандидат технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Автомобильные дороги»  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, г. Минск, Беларусь,  
ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** Приведен перечень методических документов, подготовленных для студентов БНТУ, специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены», изучающих учебную дисциплину «Автомобильные дороги».*

***Ключевые слова:** Методические документы, курс лекций, учебное пособие, электронный учебно-методический комплекс.*

Практика показывает, что некоторые студенты, закончившие обучение в БНТУ по специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены», работают в дорожных организациях на инженерных должностях, а студенты, закончившие обучение в БНТУ по специальности «Автомобильные дороги» работают в мостостроительных организациях.

Поэтому студенты, обучающиеся по специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» должны изучать основы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Студенты, проходящие обучение по специальности «Автомобильные дороги» изучают дисциплины по основам проектирования, строительства, ремонта и содержания транспортных сооружений.

Студенты, обучающиеся по специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» изучают учебную дисциплину «Автомобильные дороги». Для студентов этой

специальности подготовлено учебное пособие «Автомобильные дороги», в котором приведен конспект лекций по этой дисциплине [1]. В библиотеке БНТУ имеется 30 экземпляров учебного пособия «Автомобильные дороги».

В учебном пособии приведены следующие разделы:

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
2. КЛАССЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
3. КАТЕГОРИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
4. КЛАССЫ И КАТЕГОРИИ ДОРОГ ПОСЕЛЕНИЙ
5. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ
6. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ
7. СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА
9. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ДОРОГАМ
10. ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСОВ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ
11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ ПО КРУГОВОЙ КРИВОЙ
12. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ С ПЕРЕХОДНЫМИ КРИВЫМИ
13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ
14. СОСТАВЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА «ПЛАН ДОРОГИ»
15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ
16. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КРИВЫХ
17. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КЮВЕТОВ
18. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
19. ПЕРЕСЕЧЕНИЯ И ПРИМЫКАНИЯ
20. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
21. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ДОРОГАХ
22. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
23. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

24. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ
25. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
26. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ
27. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
28. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
29. РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ
30. ЗИМНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Студенты, обучающиеся по специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» при изучении учебной дисциплины «Автомобильные дороги» выполняют курсовой проект. Для студентов этой специальности подготовлено учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта [2] Данное учебное пособие имеется в библиотеке и репозитории БНТУ - <https://rep.bntu.by/handle/data/40217>.

Для студентов специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» подготовлен электронный учебно-методический комплекс учебной дисциплины «Автомобильные дороги». Данный электронный учебно-методический комплекс имеется в репозитории БНТУ - <https://rep.bntu.by/handle/data/103434>.

Электронный учебно-методический комплекс содержит:

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Перечень лабораторных работ

Перечень практических работ

ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Для выполнения курсовой работы по дисциплине издано пособие [3].

Данное пособие имеется в библиотеке и репозитории БНТУ <https://rep.bntu.by/handle/data/52349>.

Студенты, обучающиеся по специальности «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» изучают учебную дисциплину «Автомобильные дороги» два семестра. В первом

семестре изучают раздел «Основы проектирования автомобильных дорог». Для студентов этой специальности подготовлено учебное пособие «Основы проектирования автомобильных дорог» [4].

В учебном пособии приведены следующие разделы:

1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
  - 1.1. Зарождение дорог
  - 1.2. Дороги древнего Рима
  - 1.3. Конструкция одежд на римских дорогах
  - 1.4. Строительство дорог в период XVII - XVIII в
  - 1.5. Развитие конструкций щебеночных дорожных покрытий
  - 1.6. Начало строительства автомобильных магистралей
2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
3. КЛАССЫ И КАТЕГОРИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
4. КЛАССЫ И КАТЕГОРИИ ДОРОГ ПОСЕЛЕНИЙ
5. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ
6. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ
7. СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА
9. ОСНОВЫ РАСЧЕТОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ДОРОГАМ.
10. ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСОВ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ
11. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ ПО КРУГОВОЙ КРИВОЙ
12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
  - 12.1 Система глобального позиционирования GPS
  - 12.2 Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС
  - 12.3 Применение спутниковых систем в дорожной отрасли
  - 12.4 Состав GPS оборудования
  - 12.5 Состав инженерно-геодезических изысканий

12.6 Определение глобальных координат основных точек плана трассы по топографической карте

12.7 Определение глобальных координат основных точек закругления

### 13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

14. СОСТАВЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА «ПЛАН ДОРОГИ»

15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

16. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КРИВЫХ

17. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КЮВЕТОВ

18. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

19. ПЕРЕСЕЧЕНИЯ И ПРИМЫКАНИЯ

20 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

21 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ДОРОГАХ

22. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

23.ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

23.1 Типы беспилотных летательных аппаратов

23.2 Использование GPS технологий при изысканиях автомобильных дорог

24. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

25. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Во втором семестре студенты изучают раздел «Основы строительства и эксплуатации автомобильных дорог». Для студентов этой специальности подготовлено учебное пособие «Основы строительства и эксплуатации автомобильных дорог» [5].

В учебном пособии приведены следующие разделы:

1. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

3. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

4. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

5. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
6. РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙНОГО КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
7. ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОГ
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОРОГИ
- 9 ПЕРЕДВИЖНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ
- 10 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
- 11 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛОНАСС/GPS ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
- 12 ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
- 13 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ПО ДЕФЕКТНОСТИ
- 14 ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
- 15 ЗИМНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
16. ПЕРЕХОДЫ НА ПУТИ МИГРАЦИИ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ ЧЕРЕЗ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ
17. ШУМОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.

### Литература

1. Мытько Л.Р. Автомобильные дороги: Учебное пособие. - Москва, Вологда «Инфра - Инженерия», 2021.-344с.
2. Проектирование участка автомобильной дороги: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта по дисциплине «Автомобильные и железные дороги» для студентов специальности
3. 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»
4. /Л.Р. Мытько. – Минск: БНТУ, 2018. -117 с.

5. Автомобильные дороги: пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены»/Л.Р. Мытько. – Минск: БНТУ, 2019. -120 с.
6. Мытько Л.Р. Основы проектирования автомобильных дорог: Учебное пособие. - Москва, Вологда «Инфра - Инженерия», 2022.- 308с.
7. Мытько Л.Р. Основы строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Учебное пособие. - Москва, Вологда «Инфра - Инженерия», 2023.-368с.



## ПОСЛЕДСТВИЯ СЕЛЕВЫХ ПАВОДКОВ: АНАЛИЗ И ПУТИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

Салимова Барно Джамаловна<sup>1)</sup>, Дергачёва Ирина Викторовна<sup>2)</sup>,  
Мухаммаджонов Муроджон Рустам угли<sup>3)</sup>,  
Рахмонов Жамшид Гайратжон угли<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>кандидат технических наук, профессор,  
кафедра изыскания и проектирование автомобильных дорог,  
Ташкентский Государственный Транспортный университет, 100167,  
Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1-й проезд, г. Ташкент, Республика  
Узбекистан, barno.salimova@inbox.ru

<sup>2)</sup>PhD по географическим наукам,  
заведующий лаборатории изучения опасных гидрологических  
явлений, Научно-исследовательский гидрометеорологический  
институт, 100052, Ташкент, Юнусабадский район, 1-ый тупик  
Бодомзор йули, 72, г. Ташкент, Республика Узбекистан,  
dergacheva\_iv@mail.ru

<sup>3,4)</sup>ассистент кафедры изыскания и проектирование автомобильных  
дорог, Ташкентский Государственный Транспортный университет,  
100167, Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1-й проезд, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан, murodjon190596@mail.ru,  
01011996jr@gmail.com

***Аннотация:** Данная научная статья представляет собой анализ гидродинамики и экологических последствий селевых паводков. Основываясь на актуальных исследованиях и практических наблюдениях, авторы рассматривают физические процессы, лежащие в основе селевых паводков, и их воздействие на окружающую среду. Более того, статья предлагает рассмотрение гидротехнической инфраструктуры и строительных норм как средств снижения разрушений от селевых паводков. Важное внимание уделяется образованию населения и системам предупреждения, чтобы увеличить готовность к стихийным бедствиям. Эта статья предоставляет ценные научные и*

*практические наработки для эффективного управления рисками селевых паводков и обеспечения устойчивости среды обитания.*

**Ключевые слова:** *селевые паводки, экологические последствия, риски стихийных бедствий, управление водными ресурсами.*

## **Введение**

Селевые паводки представляют собой стихийное бедствие, которое может привести к серьезным разрушениям на своем пути. Вода, несущаяся с высокой скоростью и с большим количеством глины и горных пород, способна нанести значительный вред как зданиям и инфраструктуре, так и окружающей среде [1]. В данной статье мы рассмотрим основные проблемы разрушения, связанные с селевыми паводками.

### **Разрушительное действие селевых паводков**

1. Уничтожение зданий и инфраструктуры. Селевые паводки могут уничтожить здания, мосты, дороги и другую инфраструктуру. Это приводит к значительным материальным убыткам и опасности для жизни людей.

2. Потеря жизней. Повреждение инфраструктуры также затрудняет работу спасательных служб и оказание помощи пострадавшим. Люди могут быть затоплены в своих домах, автомобилях или на улицах. Кроме того, угроза обвала и обрушения затопленных зданий может привести к смертельным исходам. Это одна из самых трагических последствий селевых паводков.

3. Экологические проблемы. Селевые паводки также оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Вода, несущая мусор и загрязнители, нарушает водные и сухопутные экосистемы. Потеря почвы и растительности во время схода селей усугубляет проблемы эрозии и деградации почвы в горных районах. Кроме того, селевые паводки могут разносить вредные вещества из объектов разрушенной инфраструктуры. Утечка нефтепродуктов и химических загрязнителей создает серьезные угрозы для водных и наземных организмов.

### **Факторы, способствующие возникновению селевых паводков**

- География и климат. Местоположение и климатические условия региона играют важную роль в формировании селевых паводков. Районы с большим количеством осадков или

расположенные вблизи горных цепей более подвержены этому типу стихийных бедствий [2]. Селевая опасность в горах существует в основном в определенные месяцы и обусловлена периодами ливневой активности. На рисунке 1 показана зависимость частоты схода селей в различных районах республики Узбекистан от времен года.

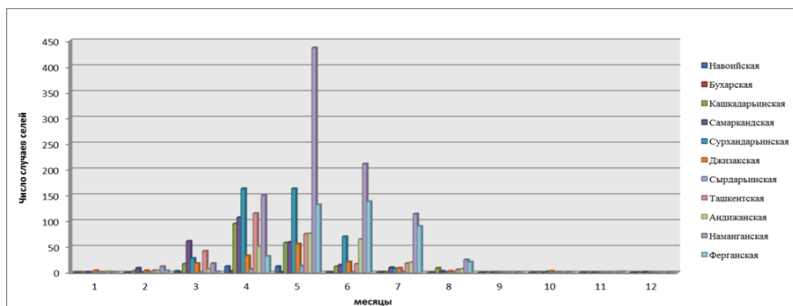


Рис. 1. Внутригодовое распределение частоты схода селей в разных областях Узбекистана с 1990 по 2021 год

- Незадокументированное строительство. Строительство в запретных зонах, без должных разрешений и без учета гидротехнических аспектов, может усугубить разрушения при селевых паводках. Незаконные постройки могут блокировать естественные потоки воды и создавать узкие участки, где вода накапливается и разрушает всё на своем пути.

- Недостаточная система предупреждения и готовности. Отсутствие эффективной системы предупреждения и готовности к селевым паводкам оставляет население в неведении и затрудняет эвакуацию и защитные мероприятия. Это также влияет на возможность своевременного реагирования спасательных служб.

### Пути снижения разрушительного действия селевых паводков

1. Улучшение гидротехнической инфраструктуры. Строительство и реконструкция дамб, плотин, каналов и водоотводных систем способствует уменьшению разрушений от селевых паводков. Эффективные системы управления водами и сброса избыточной влаги могут снизить уровень наводнений.

2. Образование и информирование населения. Важно предоставлять населению информацию о потенциальных рисках

селевых паводков и о том, как следует действовать в случае их возникновения. Проведение регулярных учений и подготовительных мероприятий может способствовать повышению готовности и безопасности [3].

3. Законодательные меры и строительные нормы. Введение строгих законодательных мер и строительных норм, запрещающих строительство в опасных зонах и обязывающих соблюдать гидротехнические требования, может снизить уровень разрушений от селевых паводков.

### **Заключение**

Селевые паводки представляют собой серьезную угрозу для человеческой жизни, инфраструктуры и окружающей среды. Основные проблемы разрушения, связанные с этими стихийными бедствиями, могут быть решены с помощью улучшения гидротехнической инфраструктуры, образования населения и строгого соблюдения законодательных мер и строительных норм. Эффективное управление рисками селевых паводков является неотъемлемой частью обеспечения безопасности и устойчивости наших обществ.

### **Литература**

1. Дергачёва И. В., Салимова Б. Д. Исследование селевой активности в горных и предгорных районах Республики Узбекистан //Проблемы современной науки и образования. – 2022. – №. 9 (178). – С. 48-52.
2. Куксина Л. В., Голосов В. Н., Промахова Е. В. Причины возникновения и география внезапных ливневых паводков //Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2020. – №. 1. – С. 11-22.
3. Салимова Б. Д., Худайкулов Р. М. Теоретические аспекты применения ГИС в прогнозировании и мониторинге чрезвычайных ситуаций //Universum: технические науки. – 2020. – №. 10-1 (79). – С. 19-21.

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ КРЕДО ДОРОГИ

**Шишко Н.И., Мордас М.С.**

Белорусский национальный технический университет  
ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** Рассмотрены актуальные возможности и перспективные направления в создании концептуальных вариантов проектирования транспортных объектов с применением технологий информационного моделирования на базе отечественного программного обеспечения – системы автоматизированного проектирования КРЕДО ДОРОГИ.*

***Ключевые слова:** концептуальное проектирование, технологии информационного моделирования, проектное решение.*

Этап планирования проектной деятельности с целью участия в тендерах на проектирование объектов транспортной инфраструктуры может потребовать высоко производительных ресурсов для создания многовариантных решений за относительно короткий промежуток времени, а также обеспечение обоснованного уровня детализации разрабатываемых решений и высокого уровня визуализации представляемых вариантов.

На этапе предпроектных решений, когда в основу материалов изысканий, на которые буду опираться начальные концептуальные решения, могут быть положены данные открытых геоинформационных источников, важно иметь действенные инструменты для проектирования основной геометрии будущих объектов.

Вариантное проектирование участков автомобильных дорог любой технической категории в системе КРЕДО ДОРОГИ [1] может быть выполнено с использованием команд эскизного проектирования плановой геометрии объекта, где основными техническими параметрами являются: радиус псевдо-прямой,

кратность радиуса, минимальная длина кривой и минимальный угол поворота. Указанные параметры влияют на геометрию сплайнов Безье [2], вписываемых в план трассы проектируемого участка дороги, затем полученную геометрию можно уточнить при редактировании образованного тангенциального хода. Проектирование плана трассы с помощью сплайнов помогает максимально быстро обойти имеющиеся препятствия для трассирования, выполнить все ограничения по положению трассы относительно коммуникаций или линий перспективной застройки, а также получить плавное очертание трассы с учетом принципов ландшафтного проектирования.

Сплайн Безье – это кривая, определяемая четырьмя точками: две из них – это начальные и конечные точки и две другие – это контрольные точки. Кривая начинается с начальной точки и заканчивается на точке конечной, через контрольные точки кривая не проходит, но контрольные точки участвуют в формировании криволинейного очертания кривой. Изначально сплайны подобного характера были разработаны для применения в автомобильной промышленности в 60-х годах XX века двумя независимыми друг от друга математиками, но на сегодняшний день данные виды кривых нашли широкое применение во многих сферах проектирования и моделирования формы различных объектов.

Применение шаблонов различных типов для проектируемых объектов широко распространено в системе КРЕДО ДОРОГИ. Использование поставочных шаблонов для технических категорий дорог, параметров автобусных остановок и съездов (проектирование планового положения простых, канализированных и соединительных съездов) помогают в кратчайшие сроки применить для проектируемой трассы параметры поперечного профиля, параметры геометрии элементов плана с возможностью настройки автоматизированного контроля нормативных параметров (радиус в плане, длина переходных кривых, радиус на малых углах поворота). Также в шаблонах для категории автомобильной дороги содержатся контролируемые параметры для проектного профиля: максимальный продольный уклон, минимальные радиусы вертикальных кривых, минимальные длины вертикальных кривых, параметры переломов прямых и криволинейных элементов продольного профиля.

На этапе эскизного проектирования определение положения трассы в продольном профиле также может быть выполнено в сжатые сроки с последующей детальной проработкой. Для этих задач в системе КРЕДО ДОРОГИ существуют методы оптимизации проектной линии с помощью сплайнов: Экспресс-Оптимизация и Сплайн-Оптимизация. Экспресс-Оптимизация с применением сплайнов гладкостью G1, обеспечивающих непрерывную цепочку коротких отрезков прямых и параболических кривых с общей касательной в точках стыковки, может быть с успехом использована на этапе определения оптимального положения проектного профиля, для выяснения возможности выдержать параметры контрольных точек и предъявляемых геометрических ограничений. Для концептуального проектирования данный метод также предварительно дает возможность определения объемов работ и анализа возможных путей оптимизации проектных решений. Однако, математическая особенность сплайнов гладкостью G1 – скачкообразный характер кривизны составляющих его сегментов, ограничивает их последующее применение для использования в качестве конечного варианта проектного профиля.

Метод Сплайн-Оптимизации в системе КРЕДО ДОРОГИ базируется на использовании геометрии проектной линии в виде непрерывной цепочки G2-гладкосопряженных V\_Spline, которые представляют собой плоскую параметрическую бикубическую G2-гладкую кривую, которая при заданных отметках, уклонах и кривизне в ограничивающих ее точках позволяет оптимизировать закономерность кривизны и координат по критерию близости к множеству заданных точек с учетом ограничений (максимальные абсолютные значения положительной и отрицательной кривизны; максимальные абсолютные значения уклонов касательных; максимальные абсолютные значения отклонений от эскизной линии; минимальные значения плавности). В этом случае гладкость G2 подразумевает общие касательные и одинаковые радиусы кривизны в точках стыковки сопрягаемых элементов, что обеспечивает оптимальное положение проектной линии с учетом обеспечения необходимого баланса земляных работ, водно-теплового режима проектируемого земляного полотна, плавности движения и высоких безопасных скоростей комфортного движения.

При назначении параметров земляного полотна, для этапа предпроектных решений широко используются заданные в шаблонах категорий дорог стили откосов насыпей и выемок, которые содержат типовые решения для проектирования откосов земляного полотна, параметров продольного водоотвода (кюветов).

В системе КРЕДО ДОРОГИ с реализацией нового типа проекта – «Дорога», появилась возможность применения типовых проектных решений по водоотводу с проезжей части дороги в виде системы открытого водоотвода: продольных водосбросных лотков и поперечных водосборов.

Также концептуальные решения по мостовым сооружениям доступны при работе с новым типом проекта «Дорога». Для работы с мостами и путепроводами на стадии первых оценочных решений предусмотрены отдельные стили объекта, которые доступны для редактирования через редактор тематического классификатора. При работе с функционалом команды *Мосты и путепроводы* доступно моделирование как линейного комплексного объекта, так и моделирование опор (точечных объектов), пролетных строений и переходных плит для сопряжения мостовых сооружений с конусами подходов. Привязка мостового сооружения производится путем согласования пикетного положения, а также с помощью функционала работы в 3D-модели по длине мостового сооружения не рассчитываются объемы работ по устройству дорожной одежды и земляного полотна по всей ширине поперечника.

Для расчета объемов работ, создания цифровой модели проекта и 3D-модели в список характерных точек по дороге добавляются начало и конец пролетных строений и переходных плит, а также границы земляных работ на сопряжении с мостовым сооружением.

Автоматизированный расчет объемов работ на основе созданной трехмерной модели объекта возможен с разным уровнем детализации. Концептуальное проектирование подразумевает оценочное сравнение как можно больше числа вариантов по итоговым укрупненным показателям, что дает четкое представление выбора оптимального решения и назначение его для детального проектирования.

Создание цифровой модели участка дороги или проектируемого транспортного сооружения осуществляется после передачи данных из профилей в план, после чего в проекте сформирована полноценная



цифровая модель объекта. Одним из заключительных этапов концептуального проектирования может быть создание информационной модели проектируемого объекта экспорт её в формат Industry Foundation Classes (IFC) [3]. Это специальный формат файла, в котором содержится информация об используемой в проекте информации, позволяющей иметь полное представление об объекте. Формат файлов IFC является открытым и может быть считан любой программой САПР, которая имеет соответствующий функционал.

Информационная модель по трассе автомобильной дороги строится по всем конструктивным элементам проектного поперечника в расчетных точках, которые определены для создания цифровой модели проекта и хранятся в профиле трассы.

### Литература

1. КРЕДО ДОРОГИ программа по проектированию автомобильных дорог в условиях нового строительства, реконструкции и ремонта с реализацией концепции информационного моделирования (ТИМ/ВМ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : - <https://credo-dialogue.ru/tekhnologii/transport.html> – Дата доступа : 20.09.2023г.
2. <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/gdiplus/-gdiplus-bezier-splines-about>. [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 20.09.2023г.
3. <https://1-bim.ru/> о-формате-ifc. [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 20.09.2023г.

**ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ  
ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС СПЕЦИАЛЬНОСТИ  
1-70 03 01 «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ» ФАКУЛЬТЕТА  
ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ БНТУ**

**Шохалевиц Т. М., Шишко Н.И.**

Белорусский национальный технический университет  
ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** Рассмотрен опыт по внедрению технологий информационного моделирования при подготовке молодых специалистов для дорожной отрасли. Изложена методика обучения современным технологиям проектирования автомобильных дорог в условиях возведения, реконструкции и ремонта в рамках учебно-образовательного процесса кафедры «Автомобильные дороги» Белорусского национального технического университета.*

***Ключевые слова:** внедрение, технологии информационного моделирования, междисциплинарное взаимодействие, сотрудничество.*

Кафедра «Автомобильные дороги» факультета транспортных коммуникаций БНТУ ведет активную работу по подготовке квалифицированных специалистов в сфере информационного моделирования в области строительства транспортных коммуникаций. Сотрудниками кафедры изменены подход и методика организации учебного процесса, разработаны новые учебные планы в соответствии с утвержденным общегосударственным классификатором Республики Беларусь ОКРБ 011-2022 «Специальности и квалификации». Учебные программы дисциплин разрабатываются в соответствии с требованиями Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь по выработке подходов по внедрению и развитию технологий информационного моделирования (далее

ТИМ) в строительстве в рамках реализации Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021 – 2025 годы [1].

Основой внедрения ТИМ в образовательный процесс на новом уровне послужила задача по разработке системы междисциплинарного взаимодействия подготовки студентов направления «Автомобильные дороги» по специальности 7-07-0732-03 «Строительство транспортных коммуникаций». Уже имеющийся опыт создания индивидуальных заданий для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» в рамках двух связанных последовательно дисциплин «Информационное моделирование» и «САПР автомобильных дорог» позволили успешно реализовать концепцию создания непрерывного процесса работы над жизненным циклом объекта на этапах «изыскания – проектные решения» [2]. Что также положительно повлияло на уровень ответственности студентов за выполняемые виды работ, учитывая важность сохранения информации и передачи ее на последующие этапы процесса информационного моделирования. Междисциплинарная взаимосвязь обеспечивается передачей информационного блока связанных дисциплин для продолжения работы на следующем курсе. Важно отметить, что обеспечение междисциплинарного сотрудничества возможно только при наличии сплоченного творческого коллектива преподавателей, внедряющего новые формы и способы обучения, которые позволят обеспечить баланс между теоретическими знаниями и применением их на практике [3].

Такой подход к обучению позволяет пошагово закреплять знания и умения по работе в программных продуктах, обеспечивает комплексную подготовку будущего специалиста на этапах выполнения лабораторных, практических работ, курсового проектирования, и как итога, представление дипломного проекта с использованием технологий информационного моделирования по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», а также выполнение информационных моделей в рамках магистерских диссертаций для новой специальности 7-07-0732-03 «Строительство транспортных коммуникаций».

Работа с информационной моделью предусматривает создание основных проектных решений с требуемым уровнем детализации и, в последствии, формирование комплекта чертежей и необходимых

ведомостей объемов работ для возможности расчета стоимостей по возведению объекта, а также передачи информации на этап формирования проекта производства работ и проекта организации строительства с учетом поставленных сроков на реализацию и планируемых применяемых технологий строительства, машин и механизмов.

Очередным междисциплинарным взаимодействием, которое реализуется в 2023-2024 учебном году, становится разработка графика производства работ и формирование комплекта сметно-финансовой документации в рамках курсовой работы по дисциплине «Экономика производства» на основе ранее выполненной информационной модели проекта по дисциплине «САПР автомобильных дорог» в системе КРЕДО ДОРОГИ [4]. Разработка сметной документации будет производиться с помощью программного обеспечения «АРМ строителя», разработанного республиканским унитарным предприятием «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» (РУП «Белдорцентр»). РУП «Белдорцентр» является головным предприятием Министерства транспорта и коммуникаций по разработке и внедрению информационных технологий, анализу и прогнозированию экономических параметров, диагностике, инженерно-техническому сопровождению и внедрению современных технических систем управления функционированием дорожного хозяйства, ведущей научно-производственной организацией Республики Беларусь в области строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и мостов [5].

Изучение основ ценообразования, рассмотрение порядка формирования сметной стоимости строительства позволит установить взаимосвязь между теоретическими основами по преподаваемым дисциплинам и сформировать понимание оценки экономической целесообразности реализации проекта и успешного вложения государственных инвестиций.

В последующем информационные модели разрабатываемых объектов смогут послужить основой для передачи информации и использовании ее в дисциплинах «Строительство автомобильных дорог», «Организация и безопасность дорожного движения».

Важной составляющей подготовки специалистов является практическое использование опыта ведущих специалистов

дорожных предприятий по внедрению ТИМ; взаимодействие по оказанию кадровых и материально-технических возможностей в организации учебного процесса, проведению научно-исследовательских работ.

Для решения этих задач кафедрой «Автомобильные дороги» организован филиал с коммунальным проектно-изыскательским унитарным предприятием «МИНСКИНЖПРОЕКТ» [6].

Основными задачами филиала кафедры по подготовке специалистов являются:

- организация и проведение производственных и преддипломной практик;
- подготовка курсовых и дипломных проектов по тематике, предлагаемой УП «МИНСКИНЖПРОЕКТ»;
- преподавание закреплённых за филиалом курсов, проведение практических занятий по отдельным специальным курсам или их разделам по согласованию с кафедрой;
- организация научно-исследовательской работы магистрантов, аспирантов и соискателей.

Для повышения интереса к выбранной профессии студентам высшего образования I ступени по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и II ступени по специальности 1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений» филиалом кафедры при инициативе УП «МИНСКИНЖПРОЕКТ» решено провести конкурс творческих работ с использованием программного обеспечения Autodesk Civil 3D. Конкурс позволит студентам проявить знания, творческие способности и принимать самостоятельные решения.

Продолжая поддерживать традиции сотрудничества с отечественными организациями разработчиками программного обеспечения в сфере проектирования объектов транспортного строительства уже более двух десятков лет основным партнером кафедры «Автомобильные дороги» остается ведущий разработчик отечественного программного обеспечения в сфере автоматизированного проектирования и технологий информационного моделирования компания «КРЕДО-ДИАЛОГ». Сотрудничество с компанией позволяет своевременно внедрять новейшие технологии КРЕДО в образовательный процесс. Специалисты компании проводят обучение сотрудников кафедры,

участвуют в факультетских конференциях, проводят встречи с преподавателями и студентами старших курсов.

Налаженное взаимодействие и его расширение, а также принятые инновации позволят вывести учебный процесс на кардинально новый уровень и позволят осуществлять подготовку высококвалифицированных и востребованных специалистов для сферы строительства транспортных коммуникаций.

### Литература

1. ПОСТАНОВЛЕНИЕ СОВЕТА МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ от 2 февраля 2021 г. № 66 О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы
2. Шохалевич, Т. М. Опыт сотрудничества разработчика программного обеспечения и высшей школы при подготовке молодых кадров в дорожной отрасли/ Шохалевич, Т. М, И. Е. Рак, В. С. Каредин // Автомобильные дороги и мосты. – 2020. - №1(25). – С.136-142.
3. Потичук К. В. Внедрение *бim*-технологий в образовательный процесс специальности 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений: Белгород : ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2023. С. 40-44.
4. КРЕДО ДОРОГИ программа по проектированию автомобильных дорог в условиях нового строительства, реконструкции и ремонта с реализацией концепции информационного моделирования (ТИМ/*ВIM*). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : - <https://credo-dialogue.ru/tekhnologii/transport.html> – Дата доступа : 08.09.2023г.
5. «АРМ строителя» программа по формированию полного пакета сметной и исполнительной документации для работ по строительству и ремонту автомобильных дорог. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : - <https://beldor.centri.by/services/it/arm-stroitel/> – Дата доступа : 21.09.2023г.
6. Официальный сайт УП «МИНСКИНЖПРОЕКТ». – Режим доступа : - <https://www.mip.by/> – Дата доступа : 21.09.2023г.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОРОЖНО - ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ТУРКМЕНИСТАНА

**Эркаева Айман Тиркешовна, Озбеков Нарбай Мухаммедович**  
Туркменский государственный  
архитектурно-строительный институт  
ул. Б. Аннанова, 136, 744000, г. Ашхабад, Туркменистан  
maysagur2023@gmail.com

***Аннотация:** дана характеристика современного состояния дорожного строительства Туркменистана. Приходится к выводу, что строительство и реконструкция дорожной транспортной сети относятся к приоритетным направлениям развития отечественной экономики, являясь неотъемлемой частью международных транспортно-транзитных коридоров. Проведен анализ используемых инновационных методов по улучшению качества дорожного битума на предприятиях нашей страны. Указана целесообразность использования в производстве дорожных покрытий отходов резинотехнических изделий, в том числе и автомобильных шин, в целях улучшения их качественных характеристик. Исследования доказывают, что использование вторичного полипропилена и полиэтилена в качестве модификатора дорожного битума позволяют получать полимерно-битумную вязкую смесь, которая имея широкий температурный интервал, приводит к улучшению эластичных свойств.*

***Ключевые слова:** дорожное строительство; инновационные технологии; дорожные покрытия; битум; отходов резинотехнических изделий.*

Транспортная сфера независимого и нейтрального Туркменистана относится к одному из наиболее развитых сегментов национальной экономики, который вносит значительный вклад в реализацию Целей устойчивого развития. Одной из основных задач, указанных в государственных программах, разработанных непосредственно под руководством Уважаемого Президента Сердара Бердымухамедова,

относится и постепенная интеграция нашего государства в существующие международные транспортные системы с расширением и модернизацией соответствующей инфраструктуры. Необходимо отметить, что функционирование транснациональных транспортных коридоров способствует возрождению Великого Шёлкового пути и ускоренному экономическому сотрудничеству зарубежных государств. Поэтому дальнейшее строительство и реконструкция дорожной транспортной сети относятся к приоритетным направлениям развития отечественной экономики, являясь неотъемлемой частью международных транспортно-транзитных коридоров [1].

Строительство автомобильных дорог в стране ведётся согласно требованиям и международным стандартам специализированных транспортных организаций. В настоящее время на территории независимого и нейтрального Туркменистана сооружены и функционируют следующие автомобильные трассы, относящиеся к международным транспортным коридорам: Ашхабад–Дашогуз; Ашхабад– Гаудан; Туркменбаши–Ашхабад–Мары–Туркменабат–Фарап–граница с Узбекистаном; Кызыларбат– Гудриолум; Туркменбаши– Гарабогаз. Маршруты вышеуказанных транспортных магистралей проложены по территории всех пяти велаятов. Как отмечают специалисты, наблюдается их ускоренный рост как торгово-политического так и транспортного значения. Наблюдается резкое увеличение импорта средств производства из зарубежных стран, а так же заметный рост экспорта углеводородов и готовых изделий из Туркменистана. Учитывая данные показатели, было построено более 20 пропускных пунктов для упрощенного пересечения государственной границы.

Проектные данные показывают, что сеть автодорог нашей страны расположена радиально, центры которых находятся в городах и промышленных узлах. Необходимо отметить, что основные трассы государственного значения расположены параллельно железнодорожным трассам. Наиболее важную экономическую роль имеют автомагистрали, расходящиеся от столицы-города Ашхабада по всем направлениям к центрам всех пяти велаятов: Ашхабад– Туркменабат, Ашхабад– Туркменбаши, Ашхабад– Дашогуз и Ашхабад– Мары. Государственный концерн «Туркменавтоёллары» выполняет все работы, связанные со



строительством и реконструкцией автомобильных дорог, а также необходимым текущим их ремонтом. Данный концерн располагает современной дорожно-строительной техникой, из которой более 70 % составляет автомобильный транспорт. Кроме того, данная государственная организация контролирует заводы по производству асфальтобетона.

Необходимо отметить, что при строительстве автомагистралей используется местный строительный материал - нефтяной битум. Анализ химических параметров показывает, что он представляет собой достаточно вязкий продукт чёрного цвета, который отличается пониженной как электропроводностью, так и теплопроводностью. Также для данного химического продукта характерна водонепроницаемость и газонепроницаемость а также повышенная стойкость к некоторым химическим реагентам [2]. Вышеуказанные качественные характеристики по химическому составу приводят к выводу, что нефтяной битум относится к наиболее подходящим строительным материалам, используемых при строительстве автодорог. Поэтому для производства качественного дорожного битума в Сейдинском нефтеперерабатывающем заводе, расположенном в Лебапском веляйте, была введена в строй новейшая технологическая установка по производству местного дорожного битума. Данная инновационный метод получения дорожных битумов из добываемой на территории Туркменистана нефти соответствует международным стандартам. По химическому строению получаемая продукция разделяется как на жидкие так и вязкие виды, к основным функциям которых относится прочное скрепление используемых компонентов с целью создания достаточно прочного дорожного покрытия. Битум относится к очень устойчивым дисперсным системам. Также создается возможность регулирования его необходимых посредством изменения его структуры посредством специальных добавок. Разработанная методика подбора наилучшего соотношения битума и соответствующих добавок дает в результате улучшение одного или нескольких свойств готового битумного материала.

Одна из крупнейших битумных установок была введена в эксплуатацию в нашей стране Балканском веляйте на Туркменбашинском нефтеперерабатывающем заводе. Рекомендуется ввести здесь в эксплуатацию инновационную

технологии с использованием в качестве модификаторов местных отходов пропилена и полиэтилена. Данные полимеры для битума являются наилучшими химическими добавками, способными продлевать срок службы битума в результате придания им соответствующих свойств, которые содействуют образованию достаточно прочной химической связи между битумом и другими материалами [3].

Необходимо отметить, что в битумных композитных материалах применяются различные виды полимеров, которые увеличивают возможности их повторного использования. В настоящее время в нашей стране разработаны современные технологии по переработке и утилизации отходов вышедших из использования автомобильных шин. Так на факультете «Дорожное строительство» Туркменского государственного архитектурно-строительного института молодыми преподавателями ведутся комплексные исследовательские работы по использованию в производстве отходов резинотехнических изделий, в том числе и автомобильных шин, в целях улучшения качества местных автодорожных покрытий нашей страны. Основой данной технологической схемы является измельчение автомобильных шин, других изношенных резинотехнических изделий с целью получения резиновой крошки или порошка. Наиболее практичным явился метод механической переработки.

Вовлечение в хозяйственный оборот таких продуктов вторичной переработки шин, таких как резиновая крошка, существенно решит ряд задач в области улучшения качества строительства автодорог и производства инновационных высокоустойчивых материалов. Использование вторичного полипропилена и полиэтилена в качестве химического модификатора дорожного битума позволяет получить полимерно-битумную вяжущую смесь, которая будет иметь более широкий температурный интервал и обладать значительными эластичными свойствами.

### **Литература**

1. Бердиева А. и др. Современное состояние дорожной автомобильной сети Туркменистана / Символ науки, no. 3-2, 2023. С.15-17

2. Myradow Ý., Bezirgenow D. Awtomobil ýollarynyň gurluşygynyň ýokary hilli bolmagyny üpjün etmek / Türkmenistanyň gurluşygy we binagärligi, jemgüýetçilik-syýasy we ylmy žurnaly Aşgabat: №2, 2019, sah. 30-34 (на туркменском языке)
3. Котлярский Э.В. Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона М.: 2004. 240 с.

## ОЦЕНКА АДГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ ВЯЖУЩЕГО К КАМЕННОМУ МАТЕРИАЛУ НА ОСНОВЕ ВАКУУМНО-ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Яцевич П.П.**, заведующий ЦНИИ ДСГМ филиала  
БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,

***Аннотация:** Адгезия битума – это свойство образовывать прочное сцепление между вяжущим и минеральным материалом, что позволяет создавать стойкие и долговечные соединения внутри структуры асфальтобетона. Так как асфальтобетон — это композитный материал, способность его составных элементов надежно соединяться между собой напрямую влияет на прочность всей композиции в целом. Адгезионные свойства критичны при возникновении растягивающих напряжений [1], которые присутствуют при любых видах нагружения материала [2].*

***Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, адгезия, вакуумно-температурное воздействие, модифицированный битум, термопласты, эластопласты, термоэластопласты.*

Модификация битума, в частности различными видами термопластов, обычно, хоть незначительно, но положительно сказывается на адгезионных свойствах вяжущего [4]. Особенно это проявляется при длительном воздействии высоких положительных температур [3]. Как показано в исследованиях [5], если рассматривать битум, как систему, состоящую из асфальтенов, смол, ароматических углеводородов и насыщенных углеводородов, адгезия между асфальтенами и наполнителем является самой сильной, а связь между ароматическими соединениями и наполнителем – самой слабой. При этом следует учитывать, что при модификации битума СБС и СБР полимеры наиболее активно взаимодействуют именно с асфальтеновой фракцией битума.

В настоящее время основными методами определения адгезии битума к минеральной составляющей асфальтобетонных смесей являются визуальными такими, как «Метод определения сцепления

битума с мраморным песком» и «Метод определения сцепления битума с мраморным песком на сетке», и инструментальными такими, как «Метод определения водостойкости асфальтобетона (TSR)» и «Метод определения водостойкости при длительном водонасыщении». Визуальные методы являются субъективными, так как полностью зависят от визуального восприятия лаборантом контрольных образцов. В последнее время проводятся исследования [6] для усовершенствования этих методов и исключение человеческого фактора при обработке результатов испытания. На инструментальные методы косвенно влияют прочностные свойства испытуемого асфальтобетона, что может приводить к необъективности получаемых результатов. В работе [7] наглядно продемонстрировано расхождение результатов испытаний при выполнении экспериментов по различным методикам.

Предлагается оценивать адгезию модифицированного битума к минеральному наполнителю, путем выявления такого фактора, как проникновение воды под битумную пленку в асфальтобетоне при различных температурах при остаточном давлении 2000 Па. Преимущество этого метода состоит в том, что он приближает условия проведения испытаний к реальным условиям работы асфальтобетона в покрытии. Отличием от стандартизированного метода испытаний заключается в том, что сосуд с водой из вакуумной установки помещается в теплоизолированный водонепроницаемый короб, оснащенный функцией подогрева, и термостатируется в процессе всего испытания при заданных температурах. Это позволяет получить значения количества поглощаемой образцом воды при остаточном давлении 2000 Па и заданной температуре.

Исследования проводились на трех типах асфальтобетонных смесей, которые наиболее часто используются в верхнем слое дорожного покрытия – смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С и смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б. Выбор обусловлен тем, что именно верхний слой покрытия наиболее интенсивно подвергается воздействию климатических факторов и именно для него в наибольшей степени критична адгезия битума к минеральной части. Минеральные части асфальтобетонных смесей проектировались в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Республики Беларусь.

В качестве модифицирующих добавок применялись:

- В II – MF ГУ ВУ 690610504.001-2012;
- многокомпонентная модифицирующая полимерная добавка универсального применения (ММД2П);
- смесь полиэтиленов (агломерат стрейч-пленки);
- стирол-бутадиен-стирол;
- стирол-бутадиеновый каучук.

Все модификаторы вводились в состав асфальтобетонной смеси путем предварительной модификации битума при содержании модифицирующей добавки в количестве 4% по массе в пересчете на чистый полимер.

Сравнительный анализ значений показателей водонасыщения контрольного образца и асфальтобетонов, модифицированных термопластами и термоэластопластами, наглядно показывает, что применение модифицированного битума способствует снижению поглощаемой асфальтобетоном типа С воды при высоких положительных температурах, что характеризует улучшение адгезионных свойств и стабильности материала в целом. При этом наглядно видно (рисунок 1а), что применение термопластов отдельно от эластомеров или термоэластопластов, является малоэффективным с точки зрения адгезионных свойств модифицированного битума.

Аналогичные испытания проводились для асфальтобетонов типа Б. Картина изменения значений показателя водонасыщения была почти аналогична, за исключением того, что значительный рост отмечался уже при температуре 40°C (рисунок 1б), за исключением асфальтобетона, модифицированного смесью полиэтиленов. Еще одной особенностью было то, что разница в значениях при испытаниях при 20°C и при 50°C и 60°C не была столь значительной, как на примере асфальтобетона типа С.

При этом, мы наблюдаем, что расхождение значений показателя водонасыщения контрольного образца и асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном смесью полиэтиленов, значительно выше. Это объясняется тем, что в менее каркасных смесях жесткость вяжущего может играть более ощутимую роль из-за того, что в соотношении матрица-каркас, матрица начинает преобладать. Такая же картина наблюдается и на типе Б, что подтверждает предположения.

Таблица 1 – Результаты испытаний модифицированного щебеночного мелкозернистого асфальтобетона типа С

Вид испытани я	Температура определения показателя водонасыщения образца, °С.					
	10	20	30	40	50	60
Значение показателя водонасыщения образца, %.	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С, модифицированная В II – MF ТУ ВУ 690610504.001-2012					
	1,5	1,6	1,9	2,4	3,7	5,8
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С, модифицированная ММД2П					
	1,5	1,7	2,8	3,9	5,1	6,8
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С, модифицированная смесью полиэтиленов					
	1,8	2	3,4	4,9	6,6	8,1
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С, модифицированная СБС					
	1,7	1,6	1,8	2,1	3,2	5,0
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа С, модифицированная СБР					
	1,6	1,6	1,7	1,9	3,8	5,4

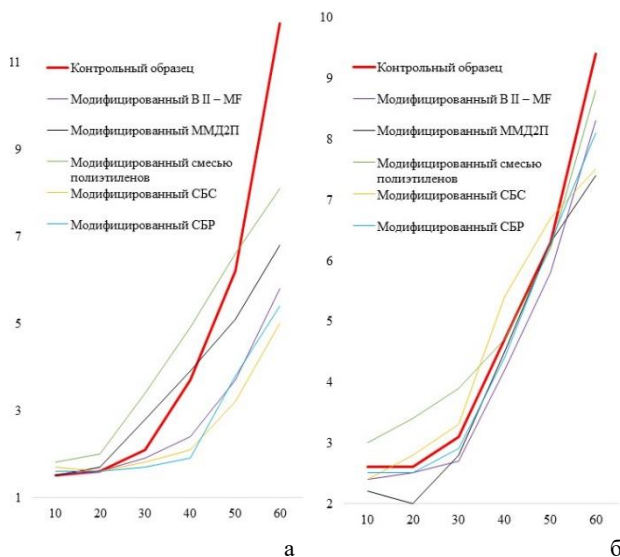


Рис. 1. Сводный график изменения значений показателя водонасыщения образцов модифицированных и контрольного асфальтобетона: а – для асфальтобетона типа С; б – для асфальтобетона типа Б

Таблица 2 – Результаты испытаний модифицированного щебеночного мелкозернистого асфальтобетона типа Б

Вид испытания	Температура определения показателя водонасыщения образца, °С.					
	10	20	30	40	50	60
Значение показателя водонасыщения образца, %.	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная В II – MF ТУ ВУ 690610504.001-2012					
	2,4	2,5	2,7	4,2	5,8	8,3
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная ММД2П					
	2,2	2,0	2,8	4,5	6,3	7,4
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная смесью полиэтиленов					
	3,0	3,4	3,9	4,7	6,2	8,8
	Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная СБС					
	2,4	2,8	3,3	5,4	6,7	7,5
Смесь щебеночная мелкозернистая горячая типа Б, модифицированная СБР						
2,5	2,5	2,9	4,4	6,3	8,1	

При анализе результатов измерения водонасыщения различных типов асфальтобетонов видно, что с ростом температуры на бескаркасных смесях (тип А и Б) относительная разница значений, получаемых при нормальных условиях испытаний и при высоких температурах становится меньше, чем на каркасных асфальтобетонах. Это объясняется не разницей в количестве каменного материала, а толщиной битумной пленки на его поверхности. Так в работе [8] показано, что процент когезионного расслоения значительно увеличивается с ростом толщины пленки битума и может достигать 65% когезионного отслоения, рассчитанного, как отношение площадей оставшихся молекул битума к общей поверхности раздела битум-каменный материал.

Так как отрыв происходит в слое вяжущего, то можно говорить о том, что в многощебенистых асфальтобетонах, характеризуемых большим количеством мастики в своем составе и высокой степенью ее структуризации, при условии разряжения и высоких температур, вода проникает не только под битумную пленку, но и в когезионный разрыв. При этом модифицированный битум эффективнее



противостоит когезионному разрыву за счет сформированной полимерами подсистемы, что наглядно демонстрирует проведенное исследование.

В случае, когда полимер благодаря сродству с битумом химически с ним соединяется, этот эффект усиливается, что так же подтверждается исследованиями [9], направленными на определение показателей межфазной энергии, коэффициента диффузии и относительной концентрации СБС-модифицированного битума методом моделирования молекулярной динамики.

### Литература

1. Baocun Shi. Analysis of the cohesion/adhesion proportion around bitumen-mineral failure interface under tensile loading [Electronic resource] / Baocun Shi, Quan Liu, Yangming Gao, Jiantao Wu, Jingya Chen // Construction and Building Materials. - 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132555>. - Date of access: 04.08.2023.
2. Mansheng Dong. Characterisation of temperature and loading rate dependent bond strength on the Bitumen-aggregate interface using direct shear test [Electronic resource] / Mansheng Dong, Benqin Sun, Nick Thom, Linglin Li // Construction and Building Materials. - 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132284>. - Date of access: 29.08.2023.
3. Henrique M. The influence of recycled plastics added via the dry process on the properties of bitumen and asphalt mixtures [Electronic resource] / Henrique M. Borges Miranda, Daniela Domingues, Maria João Rato // Transportation Engineering. - 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100197>. - Date of access: 12.07.2023.
4. Hend Ali Omar. Investigation of the relationship between fluidity and adhesion strength of unmodified and modified bitumens using the pull-off test method / Hend Ali Omar, Nur Izzi Md. Yusoff, Halil Ceylan, Zainuddin Sajuri, Fauzan Mohd Jakarni, Amiruddin Ismail // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 122. - P. 140-148.
5. Xiaoguang Yao. Interfacial adhesive behaviors between SBS modified bitumen and aggregate using molecular dynamics simulation [Electronic resource] / Xiaoguang Yao, Chixuan Li, Tao Xu // Surfaces and Interfaces. - 2022. – Mode of access:

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102245>. - Date of access: 14.12.2022.

6. Yi Peng. Interpretation of stripping at the bitumen–aggregate interface based on fluorescence tracing method / Yi Peng, Tianhao Zhao, Qilan Zeng, Liu Deng, Lingyun Kong, Tao Ma, Yu Zhao // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2023. – Volume 25. - P. 5767-5780.
7. Miglė Paliukaitė. Evaluation of Different Test Methods for Bitumen Adhesion Properties / Miglė Paliukaitė, Viktoras Vorobjovas, Matas Bulevičius, Vitalijus Andrejevas // *Transportation Research Procedia*. – 2016. – Volume 14. - P. 724-731.
8. Modeling percentages of cohesive and adhesive debonding in bitumen-aggregate interfaces using molecular dynamics approaches [Electronic resource] / P. Chen [et. al.] // *Applied Surface Science*. - 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151318>. - Date of access: 14.12.2022.
9. Yao X. Interfacial adhesive behaviors between SBS modified bitumen and aggregate using molecular dynamics simulation [Electronic resource] / X. Yao, Ch. Li, T. Xu // *Surfaces and Interfaces*. - 2022. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2022.102245>. - Date of access: 07.11.2022.

## ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО

**Яцевич П.П.**, заведующий, **Афанасенко А.А.**, научный сотрудник,  
**Корончик А.В.**, инженер. ЦНИИ ДСГМ филиала  
БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт»,  
**Лю Тинго, Ли Чжунъюй**; компания «Гаоюань», провинция  
Хэнань, КНР

***Аннотация:** Улично-дорожная инфраструктура неотъемлемая часть современной экономики, предполагающая непрерывное движение товаров и трудовых ресурсов. Большинство покрытий представлено такими конструкционными материалами, как асфальтобетон и цементобетон, которые в результате своего жизненного цикла являются не инертными, а активно выделяющими различные вещества в окружающую среду. В работе представлены исследования, связанные с испарениями летучих веществ из асфальтобетона в процессе приготовления асфальтобетонной смеси, устройства асфальтобетонного покрытия и его службы. Рассмотрено влияние эвапорации на организм человека.*

***Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, газовая хроматография, десублимация, пентан, гексан, этилацетат, толуол, этилбензол, гемопоэтическая токсичность.*

Неоспоримым является то, что в процессе своего существования логистическая составляющая современной экономики «дорога-транспорт» производит колоссальное количество вредных выбросов в атмосферу. И, если в последнее время мы наблюдаем устойчивый тренд к переходу к экологически чистому транспорту, то в плане оптимизации, с точки зрения экологии инфраструктуры, принимаются лишь робкие шаги. Применение вторичных каменных материалов, холодный и горячий ресайклинг асфальтобетонов, увеличение срока службы покрытий за счет применения

модифицирующих добавок – это хоть и движение вперед к решению проблемы, но, на наш взгляд, недостаточно смелое и кардинальное.

Беспрепятственное и оперативное движение товаров и рабочей силы вызывает необходимость в поддержание улично-дорожной среды в удовлетворительном состоянии и постоянном ремонте покрытия, что приводит к тому, что, в случае с асфальтобетонным покрытием, происходит его обновление в среднем один раз в пять лет. Подавляющее большинство улиц и дорог устроено с использованием асфальтобетона, который, если упростить, состоит из каркаса из каменных материалов и вяжущего, которое и скрепляет данный каркас. Наиболее пагубное влияние на окружающую среду оказывает именно вяжущее, которым традиционно является битум.

Поверхность любой автомобильной дороги или улицы является сама по себе испарителем. Десублимация легких фракций битума известный факт, который регламентирован рядом документов, например ГОСТ 18180, СБТ 1062, ASTM D 5976, EN 14023 и др., и допускается снижение массы вяжущего до 1%. Довольно сложной задачей остается понять, какое количество битума в асфальтобетонной смеси является наиболее активным испарителем вредных веществ в атмосферу. На наш взгляд, именно тонкий слой битума, находящийся на поверхности покрытия, наиболее активно взаимодействует с окружающей средой. Битум распределяется по поверхности минеральных зерен асфальтобетона тонкой пленкой, толщина которой сложно определима, но в соответствии с данными, полученными М. Дюрье и методиками Центральной лаборатории мостов и дорог Франции [1] и Королева И.В. [2] мы принимаем это значение равным 12 мкм. Таким образом, ориентировочная масса битума, распределенного в тонкой пленке по поверхности 1 м<sup>2</sup> покрытия, с учетом эмпирического коэффициента шероховатости и открытой пористости, равным 4,2, может быть определена следующим выражением:

$$m = S \times h \times \rho \times 1000 \times 4,2 \quad (1)$$

где  $S$  – площадь покрытия, м<sup>2</sup>, принимаемая равной 1 м<sup>2</sup>;

$h$  – толщина битумной пленки, м;

$\rho$  – плотность битума, кг/м<sup>3</sup>, принимаемая равной 901 кг/м<sup>3</sup>;

Проведя расчеты получаем, что 45,41 грамм битума распределено по поверхности в и открытой пористости одного метра квадратного верхнего слоя покрытия. Это, с учетом допустимого изменения массы после прогрева, позволяет утверждать о выделении в атмосферу около 500 миллиграмм летучих веществ с каждого метра квадратного покрытия.

Первые методики оценки рисков, связанные с парами битума, были разработаны ANSES (Французское агентство по гигиене и безопасности пищевых продуктов, окружающей среды и труда) по инициативе FNSC (Французской федерации строительных рабочих). ANSES определило, что воздействие испарений битума происходит респираторно (при вдыхании) и наочно (оседание остатков веществ на коже). Среди соединений, обнаруженных в битуме и его выбросах, некоторые были внесены в список Международного агентства по изучению рака (IARC) как канцерогенные и внесены в список Европейского союза как канцерогенные, мутагенные, токсичные для репродуктивной функции (CMR) и опасные, в дополнение к их канцерогенному потенциалу эпидемиологические исследования показали, что воздействие битумных испарений связано с респираторными заболеваниями (астма, хронический бронхит и т. д.), также подозреваются сердечно-сосудистые и иммунотоксические воздействия [3 – 15].

Применение вместо асфальтобетонных покрытий цементобетонных не решает проблему, а лишь ее заменяет на другую. В процессе эксплуатации цементобетонных покрытий, в результате воздействия колес транспортных средств, происходит его истирание, что приводит к отслоению пылеобразных частиц. В соответствии с DIN 52108 при испытании по методу Vöhme, допускается, что с 1 м<sup>2</sup> может быть потеряно до 700 грамм этой пыли, которая может находиться в качестве взвеси в воздухе и оседать в легких человека при ее вдыхании. Все это может вызывать заболевания, в том числе хронические, различной степени тяжести, вплоть до рака легких.

В соответствии с программой белорусско-китайского научно-технического сотрудничества “National Key R&D Program of China (2022YFE0123800) нами были проведены исследования по газовой хроматографии образцов битума. Суть эксперимента состоит в том, чтобы повторить и расширить исследования Джаффэр Брессана

Боринелли, которые он с коллегами провел в Антверпене в 2020 году. В известных нам исследованиях битума температура образца равномерно возрастала от 20°C до 160°C. Мы же считаем, что необходимо проанализировать испарения, смоделировав жизненный цикл покрытия из асфальтобетона. Поэтому предлагаем следующую модель эксперимента. Образец битума, запечатанный в герметичную колбу, нагревается до 160°C, а затем плавно охлаждается до 100°C в течении 3 часов. Из колбы отбирается проба газа и проводится хроматография с качественным и количественным определением веществ, находящихся в среде. Тем самым мы моделируем процесс производства, транспортировки и укладки асфальтобетонной смеси. Второй образец того же битума нагревается в запечатанной колбе до температуры 60°C, температура поддерживается в течении 8 часов, затем так же отбирается проба среды для газовой хроматографии. Этим мы моделируем процессы, происходящие на поверхности покрытия из асфальтобетона при нагревании слоя под действием ультрафиолетовых лучей днем в летнее время. При каждой схеме нагрева отбиралось по три пробы среды для расчета среднего показателя. Результаты сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Качественно-количественный анализ среды

Вещество	Среднее значение концентрации вещества в среде, мг/м <sup>3</sup> , при схеме нагрева.	
	Нагрев до 160°C с постепенным охлаждением до 100°C	Нагрев до 60°C и удержанием температуры 8 часов
Пентан	20,65	23,32
Гексан	59,94	97,04
Этилацетат	10,71	71,86
Бензол	5,14	18,05
Толуол	4,16	33,17
Этанол	1,84	6,29

Как мы видим, при второй схеме нагрева, которая моделировала десублимацию при кажущемся аморфном состоянии асфальтобетона, концентрация всех, определенных при качественном анализе пробы, веществ увеличилась, значительное увеличение произошло по бензолу и толуолу. Если интерполировать такое увеличение на результаты работы Боринелли, можно прийти к

выводу того, что значительно увеличивается риски, определяемые ANSES.

Стоит отметить, что значительное увеличение концентрации этих веществ весьма опасна из-за их токсичности. Так, например, бензол применяется в онкологических исследованиях, как возбудитель возникновения раковых клеток [16], а его накопление в организме может приводить к гемопэтической токсичности [17], т.е. нарушению формирования и функционирования кроветворных клеток в костном мозге [18], что приводит к анемии, тромбоцитопении и лейкопении.

Пары толуола негативно воздействуют на центральную нервную систему, приводя к хроническим неврологическим расстройствам, влияют на цветовое зрение, в частности на способность различать цвета в диапазоне синего и желтого. Так же обладают ототоксичностью, что приводит к нарушению слуха и вестибулярным расстройствам, и отрицательно влияет на репродуктивную функцию [19].

Подытоживая все вышесказанное, опираясь на свой опыт, свои исследования и работы коллег, мы можем утверждать, что на современном этапе развития инженерной науки моральные риски от применения в составе асфальтобетона битума начинают перевешивать положительные аспекты и выгоды логистической составляющей экономики. Выход из сложившейся ситуации мы видим в поиске, исследованиях и применении альтернативных вяжущих, которые по своим технологическим свойствам сравнимы с битумом или превосходят его.

### Литература

1. Huber G.A., Corte J.F., Laglois P. The effect of mix design technology on the rutting characteristics of asphalt pavements: Ninth International Conference on Asphalt Pavements, August 17-22, 2002. - Denmark, 2002.
2. Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. - М.: Транспорт, 1986.
3. Boffetta P, Burstyn I, Partanen T, Cancer mortality among European asphalt workers: an international epidemiological study. I. Results of the analysis based on job titles. Am J Ind Med. 2003; 43: 18-27.

4. Olsson A, Kromhout H, Agostini M, A case-control study of lung cancer nested in a cohort of European asphalt workers. *Environ Health Perspect.* 2010; 118: 1418-1424.
5. Hansen ES, Cancer incidence in an occupational cohort exposed to bitumen fumes. *Scand J Work Environ Health.* 1989; 15: 101-105.
6. Fuhst R, Creutzenberg O, Ernst H, Hansen T, 24 months inhalation carcinogenicity study of bitumen fumes in wistar (WU) rats. *J Occup Environ Hyg.* 2007; 4: 20-43.
7. Simmers MH, Cancers from air-refined and steam-refined asphalt. *Ind Med Surg.* 1965; 34: 255-261.
8. Clark CR, Burnett DM, Parker CM, Asphalt fume dermal carcinogenicity potential: I. dermal carcinogenicity evaluation of asphalt (bitumen) fume condensates. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2011; 61: 9-16.
9. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. International Agency for Research on Cancer, Lyon 2010.
10. De Meo M, Genevois C, Brandt H, Laget M, Bartsch H, Castegnaro M, of the genotoxic effects of bitumen and coal-tar fume condensates: comparison of data obtained by mutagenicity testing and DNA adduct analysis by <sup>32</sup>P-postlabelling. *Chem Biol Interact.* 1996; 101: 73-88.
11. Qian HW, Ong T, Nath J, Whong WZ, Induction of DNA adducts in vivo in rat lung cells by fume condensates of roofing asphalt. *Teratog Carcinog Mutagen.* 1998; 18: 131-140.
12. Wang JJ, Frazer DG, Stone S, Urinary benzo[a]pyrene and its metabolites as molecular biomarkers of asphalt fume exposure characterized by microflow LC coupled to mass spectrometry. *Anal Chem.* 2003; 75: 5953-5960.
13. Zhao HW, Yin XJ, Frazer D, Effects of paving asphalt fume exposure on genotoxic and mutagenic activities in the rat lung. *Mutat Res.* 2004; 557: 137-149.
14. Gate L, Langlais C, Micillino JC, Bitumen fume-induced gene expression profile in rat lung. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2006; 215: 83-92.
15. Pasquini R, Monarca S, Scassellati SG, Savino A, Bauleo FA, Angeli G, Urinary excretion of mutagens, thioethers and D-glucaric acid in workers exposed to bitumen fumes. *Int Arch Occup Environ Health.* 1989; 61: 335-340.
16. Adewale Adetutu, Abiodun Olusoji Owoade, Peter Ifeoluwa Adegbola. Inhibitory effects of ethyl acetate and butanol fractions from *Morinda lucida* benth on benzene-induced leukemia in mice. // *Arabian Journal of*



Chemistry – 2022. – Vol. 15, Issue 6.  
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103802>.

17. Lei Zhang, Huiwen Kang, Wei Zhang, JingYu Wang, Ziyang Liu, Jiaru Jing, Lin Han, Ai Gao. Probiotics ameliorate benzene-induced systemic inflammation and hematopoietic toxicity by inhibiting Bacteroidaceae-mediated ferroptosis. // *Science of The Total Environment* – 2023. – Vol. 899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165678>.
18. Yoko Hirabayashi, Tooru Inoue. Benzene-induced bone-marrow toxicity: A hematopoietic stem-cell-specific, aryl hydrocarbon receptor-mediated adverse effect // *Chemico-Biological Interactions* – 2010. – Vol. 184, Issues 1–2. P. 252-258.
19. Benil PB, Sreeja Rani, Young Ock Kim, Abdullah Ahmed Al-Ghamdi, Mohamed S. Elshikh, Monerah A. Al-Dosary, Ashraf A.. Prophylactic efficacy of *Boerhavia diffusa* L. aqueous extract in toluene induced toxicity in *Drosophila melanogaster* // *Journal of Infection and Public Health* – 2020. – Vol. 13, Issue 2. P. 177-185.

**NORMS ACCORDING TO THE INTERNATIONAL  
ROUGHNESS INDEX OF ROAD PAVEMENTS IN THE  
REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

c.t.s. assoc. prof. **A. Ablakulov**  
+998977713900  
Tashkent state transport university

***Annotation.** This scientific article presents an analysis of the norms of the roughness of road pavement in foreign country. Based on the results obtained from the experimental research work on measuring the international roughness index (IRI) of road pavements on many years of various highways by studying their experience, norms on the roughness of road pavements in the Republic of Uzbekistan are recommended.*

***Key words:** Automobile roads, road pavements, elements of the road pavement, road roughness index, road roughness measurements, asphalt, concrete, international roughness index (IRI).*

**Introduction.** Roughness is an important pavement characteristic because it affects not only ride quality but also vehicle delay costs, fuel consumption and maintenance costs. Roughness measurements are used for dividing the road section into statistically homogeneous units, establishing the preferences for maintenance and rehabilitation, and in other aspects of pavement surface characterization. Currently, one of the problems of the road industry is to increase the performance of pavements and increase their exploitation life. Road pavement is one of the most important components of the road. The cost of its devices in some cases reaches 50-70% of the total cost of construction. The condition of the pavement greatly affects the speed, safety and comfort of traffic. Road pavement is a complex structure consisting of successively laid layers of road building materials with different strength characteristics. These indicators must be carefully taken into account so that the road pavement can meet all the requirements for it and ensure the safe movement of cars at any time of the year at the calculated speed and convenience of car

traffic. It is known that the road structure consists of the following elements: pavement, bases, additional base layers and the active zone (working layer) of the subgrade.

**Methods.** In this paper, research is specialized to survey by using statistic analyzing and rewriting new recommendation by getting correlation. The designed and built pavement should not only be reliable and durable, but also even, as well as economical and should comply with environmental requirements. Roughness, strength and other indicators of pavement must be assigned on the basis of standards.

**Result and Discussion.** Currently, many countries have developed various standards for roughness, strength and other indicators of pavement. In most CIS countries and far abroad, standards have been developed to assess the roughness of the pavement surface. In the countries of the customs union (Russia, Belarus, Kazakhstan, etc.), standards for the equality of roads during the period of construction and overhaul (or reconstruction) on the IRI scale have been developed, which are shown in table 1 and the standards during the period of road operation are given in table 2.

Table 1.

№	Countries	Category and type of coverage	The number of the international index of equality IRI (m(km) with different estimates			
			Perfectly	Good	satisfactorily	unsatisfactory
1	Russia [1]	I - Category HAC and CC	Till 1,2	1,2-1,7	1,7-2,1	>2,1
		II - Category HAC and CC	Till 1,7	1,7-2,2	2,2-2,6	>2,6
		III- Category HAC and CC				
		III- Category CAC, black rubble and stone	Till 3,2	3,2-3,7	3,7-4,1	>4,1

		materials treated with binders				
2	Kazakhstan [2]	I - Category HAC and CC	Till 2,0	2,0-2,3	2,3-2,4	>2,4
		II- Category HAC and CC	Till 2,5	2,5-2,8	2,8-3	>3,0
		III- Category HAC				
		III- Category CAC, black rubble, and stone materials treated with binders	Till 3,5	3,5-3,8	3,8-4,2	>4,2
3	Belarus[3]	I- Category HAC and CC	-	-	-	>1,5(2,0) <sup>x</sup>
		II- Category HAC and CC	-	-	-	>2,0 <sup>x</sup>
		III- Category HAC and CC				
		III- Category CAC	-	-	-	>2 <sup>xx</sup>

Note to table 1: X - H norm 1.5 for new construction, norm 2.0 after reconstruction or repair; XX-norm only for cold asphalt concrete. HAC

hot asphalt concrete - hot asphalt concrete, CC - cement concrete ( cement concrete ) , CAC (CAC) - Cold asphalt concrete.

**Table 2.**

№	Countries	Category of road and type of coverage	Valid value IRI (m/km)
1	Russia [1]	I - Category HAC and CC	Till 3,4
		II- Category HAC and CC	Till 3,5
		III- Category HAC and CC	Till 4,2
		III- Category CAC	Till 4,9
2	Kazakhstan [2]	I- Category HAC and CC	Till 3,4
		II- Category HAC and CC	Till 3,8
		III- Category HAC and CC	Till 4,1
		III- Category CAC	Till 4,8
3	Belarus [3]	I- Category HAC and CC	Till 4,5
		II- Category HAC and CC	Till 5,5
		III- Category HAC and CC	Till 6,2
		III - Category CAC	Till 6.2

Note: HAC-hot asphalt concrete, CC- cement concrete , CAC-cold asphalt concrete.

Data from far abroad standards for equality in table 3 after construction and during the operation of roads are given in table 4.

**Table 3.**

No.	Countries	The value of the international indicator IRI (m / km) with the following quality characteristics of roughness				
		Great	Fine	satisfies eloquently	dissatisfied eloquently	Very bad
1	Finland[4]	Till 1.7	1.7-1.9	1.9-2.1	> 2.1	>4.2
2	Canada [5]	Till 1.0	1.0-2.0	2.0-3.5	3.5-5.0	> 5.0
3	Brazil The World Bank [6]	Till 1.3	-	-	>3.5	-
4	The IRI roughness Scale [7]	Till 1.3	-	-	>3.5	-

**Table 4.**

No.	Countries	Horn categories and coverage type	Allowable IRI value (m/km)
1	Belgium [8-9]	I- Category HAC and CC	Till 2.0
		II - Category HAC and CC	2.0-4.0
		III - Category HAC and CC	4.0-6.0
		III - Category CAC	Till 6.0
2	USA [10-11]	I - Category HAC and CC	Till 2.4
		II- Category HAC and CC	Till 3.2
		III-Category HAC and CC	Till 3.2
3	Sweden [12]	I - Category HAC and CC	Till 1.5
		II- Category	1.5/2.5
		III-Category	2.5/3.5
		III - Category CAC	3.5/4.5
4	Brazil, World Bank [6, 13]	I- Category HAC and CC	4.0
		II- Category	4.0/6.0
		III-Category	6.0/8.5
5	Germany ( FILTER PLARC ) [14]	I- Category HAC and CC	Till 1.5
		II- Category	Till 1.5
		III-Category	1.5-3.5

The table which given above, the international fluency index is IRI (International Roughness Index ) assessment is used in many countries. For this reason, using the equipment of the mobile "TRASSA" laboratory of the State unitary enterprise "Road Expertise" under the "Uzavtoyol" committee of the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan, on the basis of the cooperation with them, for many years, joint measurement of traffic flow was carried out on different categories of highways in the

Republic of Uzbekistan. International Roughness Index IRI( International Roughness index ) , represents the ratio of the total displacement of the unsprung mass of the car (this is its wheels) relative to the sprung mass (this is the body of the car) to the length of the road section ( m/km or mm/m). It is determined by calculation as a result of modeling the movement along the microprofile of  $\frac{1}{4}$  of the reference car at a speed of 50-80 km/h. When measuring with a profilometer, the calculation of the IRI index (m/km or mm / m) is carried out by using the software included in the measuring equipment. The evenness index IRI is determined by the following algorithm. The movement at a speed of 50-80 km/h of a two-mass model of  $\frac{1}{4}$  of a car part is considered. The well-known model for measurements with a profilometer used in the calculation of the IRI index is shown in fig. 1.

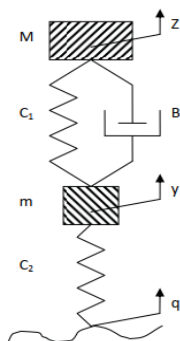


Fig. 1. Two-mass model adopted for the calculation of IRI:

- M - sprung mass, kg; m - unsprung mass, kg;
- C 1 - suspension stiffness, N / m;
- C 2 - tire stiffness, N / m;
- B is the coefficient of viscous friction of the suspension, N · s/m;
- z - vertical displacement of the sprung mass, m ;
- y - vertical displacements of the unsprung mass, m ;
- q – vertical disturbance from the surface of the carriageway (microprofile ), m .



**The equations of motion for the presented model have the form:**

$$\begin{cases} Mz + B(z - y) + C_1(z - y) = 0 \\ my - B(z - y) + C_1z + (C_1 + C_2) = C_2q \end{cases}$$

$C_1/M = 63.3 \text{ s}^{-2}$ ;  $C_2/M = 653 \text{ c}^{-2}$ ;  $B/M = 6 \text{ c}^{-1}$ ;  $m/M = 0,15$ .

In calculations, it is allowed to take  $M = 1$ .

**The IRI indicator is determined by the formula:**

$$\text{IRI} = 1/L \cdot \int_0^T |z - y| dt$$

Where: T is the travel time on the road section, s ;

L is the path ( km ) traveled in time T at a model speed of 50 - 80 km/h.

Using the mobile "TRASSA" laboratory shown in Fig. 2, the IRI of various types of car roads was determined.

The data collected on the international flow index IRI measured by the portable "TRASSA" laboratory for many years, of different categories and with different coatings were analyzed, and the evaluation values based on the international flow index IRI required by the importance, category and type of coating of highways in Uzbekistan are given in table 5



Fig. 2. A view of the TRASSA mobile laboratory with measuring instruments

Table 5. Requirements for assessing evenness according to the International IRI indicator depending on the functional value, road category and types of surface

No	The value of the road	Road category	Coating type	The value of the international evenness index IRI at its various estimates, (m / km)				
				Great	Very good	Fine	Satisfactory	Unsatisfactory
1	International	I (I a and I b )	Hot asphalt concrete	Till 2,1	2,1 – 2,5	2,5 – 3,1	3,1 – 3,9	Over 3,9
			Cement concrete					
2	State	II	Hot asphalt concrete	Till 2,8	2,8 – 3,3	3,3 – 4,0	4,0 – 4,9	Over 4,9
			Cement concrete					
		III	Hot asphalt concrete	Till 3,2	3,2 – 3,8	3,8 – 4,7	4,7 – 5,8	Over 5,8
			Cold asphalt concrete	Till 3,5	3,5 – 4,2	4,2 – 5,1	5,1 – 6,2	Over 6,2
3	Local	IV	Cold asphalt concrete	Till 4,4	4,4 – 4,9	4,9 – 5,6	5,6 – 6,5	Over 6,5
			Black rubble					
			Stone materials treated with binders	Till 4,7	4,7 – 5,3	5,3 – 6,1	6,1 – 7,2	Over 7,2
		V	black rubble					
			Stone materials treated with binders	Till 6,1	6,1 – 7,1	7,1 – 8,5	8,5 – 10,1	Over 10,1
			Crushed stone or gravel	Till 6,5	6,5 – 7,6	7,6 – 8,9	8,9 – 10,6	Over 10,6

**Conclusion.** The following conclusions can be made based on the results of the experiment surveyed through the years to determine the flow of traffic on the highways of the Republic of Uzbekistan:

1. The standard for assessing the roughness of newly constructed road surfaces has been developed and its results are recommended.

2. As a result of the assessment of the highways in operation based on the recommended norms, it allows to carry out capital repair works.

### References

1. ISO 8608:1995. Mechanical vibration – Road surface profile – Reporting measured data.
2. Gillespie L.S. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board// Transportation Research Board of the National Academies. Washington, DC 2007 No. 1990 PP.32-39.
3. World Bank Technical Paper. Number 45, International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and calibration standard for measurements, M.W. Sayers, T.D. Gillespie, W.D Peterson 1986, 87p.
4. World Bank Technical Paper. Number 45, The international Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and calibration standard for measurements, M.W. Sayers, T.D. Gillespie, C. Queiroz, 1986, 83p
5. World Bank Technical Report No. 46 ( World bank technical Paper , Number 46. Guidelines for Conducting and Calibration Road Roughness Measurements, M.W. Sayers , T.D. Gillespie , W.D. Paterson , 1987, 87p).
6. M.W. Sayers, T.D. Gillespie, W.D Peterson 1986, 87p GOST 33101-2014. Governmental standards for road pavement. Methods calculating roughness. Page-28. Moscow2015
7. Krasikov O.A.Otrebovaniya k rovnosti dorojnix pokrtiy v permod ekspluatatsi. Sbornik. FGUP. Rosdornii-m. 2014 –C122-136.
8. Benet C.R. Calibrating road roughness meters in developing countries/Transportation research record-1996-N1536-PP.73-81.
9. Mogilniy K.V. Trebovaniya k rovnost dorojnix osnovanie i pokritey. Metodi i sredstve izmereniy nerovnostey. Dorogi i mosti. Sbrnik St/FGUP, Rosdornii-M.2011-c.151-169
10. Mogilniy K.V, Mejdunarodniy indeks rovnost dorojnix pokrtiy I yevo ispolzavanie v stranax tomojenov soyuza. Dorogi i mosti. Sbrnik St/FGUP, Rosdornii-M.2013-c92-110.

11. RechmedinM. “Zagadki” rovnosti problema otsenki rovnosti dorojnovo pokritiya. Issiue-1, Stroitel'naya texnika I texnologii-2008-N5(57)-C.102-115.
12. Benet C.R. Calibrating road roughness meters in developing countries/Transportation research record-1996-N1536-PP.73-81
13. National cooperation highway research program. Project 1-31, Smoothness specifications for pavements. Final report. Transportation research board, 1997-567p.
14. Explanatory note to the national standard of the Russian Federation GOST, Till horns for automobiles. Requirements for roughness Till rough bases and coatings. >> Federal State Unitary Enterprise << Rosdorni>> , 2011

## **BIOMASS VALORIZATION TOWARD SUSTAINABLE ASPHALT PAVEMENTS**

**Liang He<sup>\*a</sup>, Mengzhe Tao<sup>a</sup>, Zhuang Liu<sup>a</sup>, Zhi Cao<sup>b</sup>,  
Jiqing Zhu<sup>c</sup>, Jie Gao<sup>d</sup>**

E-mail addresses: lianghe@cqjtu.edu.cn (L.He)

<sup>a</sup> National & Local Joint Engineering Research Centre of Transportation  
& Civil Engineering Materials, Chongqing Jiaotong University,  
Chongqing 400074, China

<sup>b</sup> Faculty of Applied Engineering, University of Antwerp, Antwerp  
G.Z.352, Belgium

<sup>c</sup> Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), SE-581  
95 Linköping, Sweden

<sup>d</sup> School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong  
University, Nanchang 330013, China

In recent years, global attention has intensified due to the energy crisis and environmental concerns, prompting efforts to promote sustainable development by understanding the relationship between technology and the environment. The road industry is no exception. Transport contributes to about 15% of worldwide greenhouse gas emissions and over 20% of energy-related CO<sub>2</sub> emissions, according to the International Road Federation. Notably, over 90% of pavements in many countries are asphalt-based, primarily derived from petroleum. However, with non-renewable oil reserves predicted to last only 46 years, addressing resource scarcity and environmental issues is crucial. In this context, this review summarizes the utilization of biomass materials in asphalt pavement. It categorizes biomass materials—bio-oil, bio-fiber, and bio-filler—exploring their definitions, preparation methods, performance, and applications. The study concludes by discussing the economic and environmental benefits of biomass-based pavements and outlining directions for future development.

Based on an analysis of existing literature, this paper initially classifies biomass materials with potential applications in pavement engineering according to their usage. Depending on their application forms, biomass materials with significant potential for practical use in pavements can be

categorized into three main groups: bio-oil, bio-fiber, and bio-filler. These materials primarily originate from agricultural and forestry by-products, livestock manure, and kitchen waste. The literature review indicates that bio-oil is currently predominantly employed as an asphalt binder modifier and rejuvenator. Bio-fiber serves mainly as an asphalt mixture stabilizer, while bio-filler acts as a substitute for conventional fillers in asphalt mixtures. Among the various methods for producing bio-oil from solid biomass materials, fast pyrolysis remains the most mature and reliable technique. Hydrothermal liquefaction, on the other hand, is suitable for converting biomass materials with a high liquid content into bio-oil. The processes for producing bio-fiber and bio-filler are relatively straightforward and vary based on the raw materials and specific requirements.

The effect of the addition of pavement biomass materials on the performance of asphalt and asphalt mixture is analyzed and summarized. Furthermore, an evaluation of the economic and environmental advantages of utilizing bio-asphalt binder is presented.

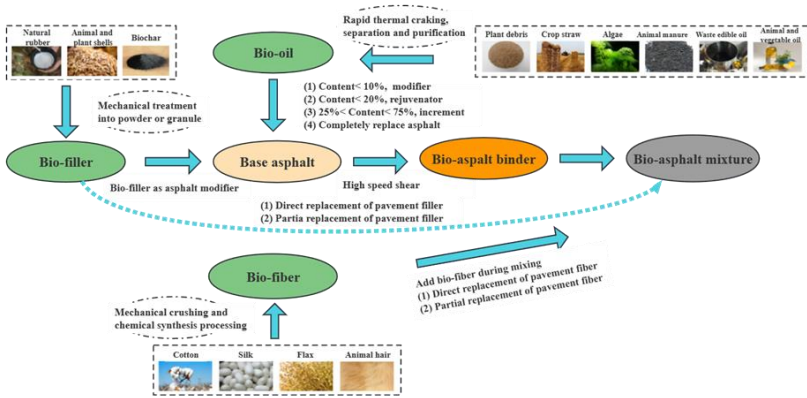


Fig. 1. Application method and classification of pavement biomass materials.

Most bio-oils demonstrate the capacity to enhance the low-temperature performance and fatigue resistance of asphalt binders. However, their effects on high-temperature performance and moisture resistance remain inconsistent. It is advisable to introduce materials such as SBS or other compounds (polymers or biomaterials) for enhanced modification, leading to bio-asphalt binders with superior performance. Functioning as a

rejuvenator, bio-oil supplements the lighter components within aged asphalt. This counteracts certain aging effects and reinstates the high and low-temperature performance of the aged asphalt. Among the various regenerated asphalt mixtures with varying RAP content, specific bio-oil rejuvenators exhibit the potential to significantly enhance fatigue resistance and moisture resistance, consequently improving overall pavement performance.

Bio-fibers possess the ability to absorb free binder within the asphalt mixture, creating an interconnected network structure. This substantial enhancement in mechanical strength results in improved high-temperature stability, resistance against low-temperature cracking, and heightened moisture resistance of the asphalt mixture. Notably, the renewable and degradable nature of bio-fibers offers an advantage in aligning with pavement's environmental protection demands.

Bio-filler serves as a valuable tool for modifying asphalt mixtures and substituting conventional fillers. Specific bio-fillers have demonstrated the capability to enhance pavement performance to a certain degree. The inclusion of biochar, for instance, exhibits the ability to slow down the asphalt aging process, consequently bolstering its anti-aging properties. Furthermore, biochar contributes to augmenting the water purification and carbon sequestration capabilities of pervious concrete. Currently, limited research has been conducted on bio-fillers apart from biochar. A comprehensive investigation in this area remains largely untapped, revealing a promising reservoir of potential waiting to be unveiled.

The calculations conducted in this study reveal a promising cost-performance ratio for bio-asphalt binder that has the potential to outperform that of traditional asphalt binders. Leveraging the environmental advantages of biomass materials, it is anticipated that bio-asphalt binder could emerge as a viable alternative to petroleum-derived asphalt binders sourced from non-renewable reserves in the future. Concurrently, this study offers valuable insights to relevant authorities, revealing the promising application prospects of biomass materials within the realm of pavements.

While significant progress has been made in the application of biomass materials in road construction, the complete replacement of petroleum-based asphalt binders on road surfaces still poses challenges. In light of this, the following recommendations are put forth: (1) Establish a synergistic formulation system for bio-oil and asphalt binders to control

the properties of bio-oil, thus enhancing the practicality of bio-asphalt binders;

(2) undertake in-depth research into the micro mechanisms of bio-asphalt modification, utilizing modern analytical testing techniques and numerical simulations to analyze interactions among various components; (3) The widespread adoption of bio-oil rejuvenators necessitates robust long-term empirical data from practical engineering applications; (4) The exploration of suitable composite modification materials, as well as relevant preparation and evaluation methods, is crucial. For instance, the pursuit of fossil-free alternatives to Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) in binders is of particular significance.



## METHOD OF SIMULATION OF INTERNAL TECHNICAL CAPABILITIES OF VEHICLES

**Bakhodir Mirzaakhmedov<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>Department of Research and Design of Automobile Roads, Faculty of Highway Engineering, Tashkent state transport university. Republic of Uzbekistan Tashkent city, Mirabadsky district, Adylkhodjaev street 1

**Abstract:** *The operational characteristics of a car on a highway depend on its traction and dynamic capabilities (TDC) and design and technical parameters, in other words, on their implementation. The tortuodynamic capabilities of a car depend primarily on the external or model (frequent) characteristics of its engine. The article presents the method of simulation of internal technical capabilities of vehicles. On the basis of experimental tests and analysis, an external or model characteristic of the engine is created. Based on this, the interpolation coefficient of equations is determined, corresponding to the number of revolutions of the crankshaft. In this case, the number of revolutions is determined. For the type of vehicle moving along the route, the correction factor, the control factor is the number of gears for transmission, the number of gears of the main transmitter, the transmission efficiency, the dynamic coefficient and the vehicle wheel rolling coefficient values are determined.*

**Key words:** *engine characteristic, internal technical capabilities, operational characteristics, simulation method, transmission efficiency.*

### **1 Introduction**

Growing concerns about environmental issues such as global warming and pollutant emissions, as well as projected depletion of oil reserves, have made energy efficiency and the reduction of pollutant emissions a major selling point for cars. As a result, the design of a vehicle's powertrain becomes more complex, as it must achieve additional goals without sacrificing other characteristics such as power, torque, or driving pleasure. In this context, due to the exponential growth of computing power, the ground transportation industry has recognized that fast,

efficient and cost-effective development of engines and vehicles requires the use of digital simulation at every stage of the design process [1].

The operational characteristics of a car on a highway depend on its traction and dynamic capabilities (TDC) and design and technical parameters, in other words, on their implementation.

The tortuodynamic capabilities of a car depend primarily on the external or model (frequent) characteristics of its engine. This characteristic is represented by the torque ( $Me$ ) of the engine crankshaft. The torque of the engine crankshaft ( $Me$ ) is formed depending on the degree of opening of the throttle valve of the carburetor at different values of the number of revolutions  $n$  of the shaft, i.e.  $Me(n) = f(\Delta Ty)$ , where  $\Delta Ty$  – is a percentage of the degree of throttle opening in  $y$  - gear.

For example, the crankshaft of the engine 3 with different  $n_1, n_2$  and  $n_3$  and the number of revolutions ( $n_1 < n_2 < n_3$ ) of its torque  $Me(n_1)$ ,  $Me(n_2)$  and  $Me(n_3)$  and the change in values depending on the throttle opening degree  $\Delta Ty$  is shown in Fig. 1.

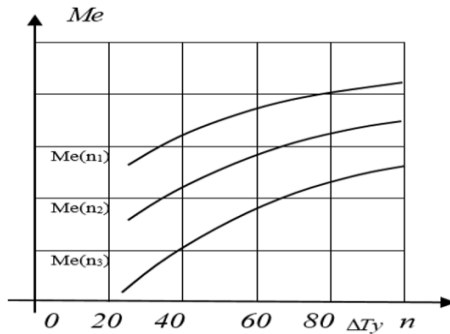


Fig. 1.  $Me(n) = f(\Delta Ty)$  relationship graphs ( $n_1 < n_2 < n_3$ )

Thus, the magnitude of the engine torque  $Me$  changes depending on the number of shaft revolutions  $n$ , but this change occurs depending on the degree of opening of the throttle valve  $\Delta Ty$  (Figure 2) [2].

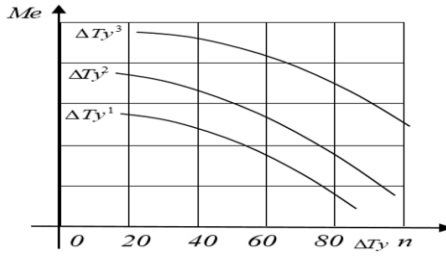


Fig. 2.  $Me = f(n)$  relationship graphs ( $\Delta Ty^1 < \Delta Ty^2 < \Delta Ty^3$ )

Shadrin and Ivanov [3] consider the main trends in the development of modern automotive industry. The possibilities of using automotive networks in relation to the exchange of data about vehicles in solving research problems, conducting road tests, developing a control system for autonomous vehicles, as well as in ITS applications (intelligent transport systems) are considered.

## 2 Literature review

The traffic safety rules introduced by the Civil Code are constantly introducing more and more stringent requirements for vehicles. These requirements relate to various aspects of the technical condition of vehicles, both determining traffic safety and affecting the impact of the vehicle on the environment. The law requires regular diagnostics of the technical condition of vehicles in operation. Diagnostic tests, whether in the form of on-road or factory tests, can identify signs of malfunction in the test vehicle without always clearly identifying the cause and location of the damage. The aim of Tucki et al. [4] - development of a simulation station for dynamic testing of vehicles weighing up to 3.5 tons using the simulation programs OpenModelica and SciLab. Achieved imitation of the stand to test the dynamics of vehicles in the form of a dyno.

In the works of Dobrzyński et al. [5] an analysis of the results of the implementation of driving parameters recorded in real operation conditions, mapped at a dynamometer station, is presented. For the analysis, a position was used that allows determining the properties of the vehicle, as well as modeling the user's behavior in the process of overcoming a given speed profile. The principle of their creation required the preparation of equipment that allows recording physical parameters when a car moves along public roads. Obtaining the value became possible

after creating driving conditions using a car equipped for this purpose with a compression ignition engine and a maximum permissible mass of not more than 3.5 tons. At the first stage of the work, the boundary conditions necessary for the simulation were determined. The accepted values made it possible to simulate the design parameters of the vehicle, the drive system and the course of the profile of the passed measuring section. At the next stage, we began to simulate the operation of the engine at a dynamometric station that performs the specified work in transient conditions. The analyzes carried out made it possible to realistically assess the possibility of using the process to create progressive development work.

Millo et al. [1] present two examples of numerical simulation applied to the transmission design; while the former focused on evaluating vehicle performance and engine behavior under transient conditions, the latter instead focused on evaluating the fuel saving potential of various hybrid electric vehicle architectures.

The initial data, which is the dependence of the torque ( $Me$ ) on the number of revolutions of the crankshaft  $n$ , that is, the external or general model characteristic of the engine, is determined empirically - by testing on a special stand. Based on the magnitude of the engine torque, the traction force applied to the wheel of the car is  $P_k$ .

And this force is formed in accordance with the number of gears ( $y$ ), the number of revolutions of the crankshaft  $n$  and the throttle opening degree  $\Delta T y$ , i.e.

$$P_k = f(y, n, \Delta T y) \quad (1)$$

The speed of the car  $V_a$  is formed depending on the number of revolutions of the crankshaft in the known  $y$  - gear  $n$ .

The main reason for modeling the speed of the vehicle depending on the number of revolutions and gears of the engine shaft is that the driver uses the fully open throttle position while driving. From statistical observations in the form of well-known experience - tests, it is known that the degree of opening of the throttle valve with a different number of gears ( $y$ ) is as follows (Figure 3) [6]:

when  $y = V$  gear  $\Delta T y = (50 \div 75) \%$  ;  $y = IV$  gear  $\Delta T y = (75 \div 85) \%$  ;  
 $y = III$  gear  $\Delta T y = (85 \div 100) \%$  ;  $y = I, II$  gear  $\Delta T y = (95 \div 100) \%$ .

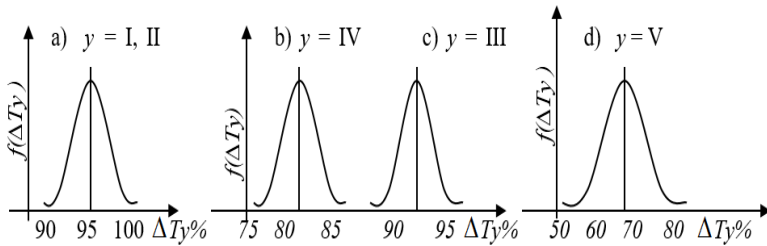


Fig. 3. Distribution of the degree of opening of the throttle valve  $\Delta T_y$  according to the number of different gears ( $y = \{I \div V\}$ ):

a)  $y = \{I, II\}$  - I and II, b)  $y = IV$ , c)  $y = III$  and d)  $y = V$  by the number of gears.

It is known that the relationship between the real torque ( $Me$ ) of the engine and the number of revolutions  $n$  can be expressed by the equation of a 3-phase curve of the 2nd order [7] (G.V. Zimelev), i.e.

$$Me = an^2 + bn + c \quad (2)$$

here  $a, b, c$  – relationship equation coefficients,  
 $n$  – crankshaft speed.

The study by Ahmed et al. [8] focuses on performance results obtained by comparing two variants of naturally aspirated gasoline engines with a hybrid electric booster gasoline engine using MATLAB Driveline. The comparative study analyzes the output power obtained from the simulation. The new era of hybrid electric technology can deliver comparable performance to naturally aspirated engines is the main focus of research.

### 3 Methodology

When the car is moving, bumps in the road cause it to vibrate. When this vibration reaches a certain limit, the driver experiences discomfort and fatigue, which affects the reliability and durability of the bearing system. The approach to design and implementation of a virtual vehicle vibration test system is based on virtual reality (VR) and consists of a VR subsystem, a model subsystem, and a virtual instrument subsystem. A system of vibration tests of virtual vehicles based on virtual reality has been created and the results of vibration tests of virtual vehicles have been presented. The data obtained show that the theoretical model of virtual test

(VT) technology refers to the creation of vehicle vibration systems based on VR VT systems. With the system, users can monitor vehicle vibration and its signals in three separate monitoring modes in the time and frequency domains [9].

The position of the connecting line  $Me = f(n)$  in the rectangular coordinate system depends on the degree of opening of the throttle valve  $\Delta Ty$ . The position of this line in the rectangular coordinate system is determined by its coefficients  $a$ ,  $b$  and  $c$ . Therefore, the values of these coefficients will be different for different values of  $\Delta Ty$ . Thus, equation  $Me = f(n)$  is expressed as follows depending on the degree of opening of the throttle valve  $\Delta Ty$  [10, 11]:

$$Me(n) = a(\Delta Ty)n^2 + b(\Delta Ty)n + c(\Delta Ty) \quad (3)$$

The coefficients  $a(\Delta Ty)$ ,  $b(\Delta Ty)$  and  $c(\Delta Ty)$  of the above equation can be determined based on the Lagrange interpolation formula, i.e.

$$Me(\Delta Ty) = Me_1(\Delta Ty) \cdot \frac{(n-n_2) \cdot (n-n_3)}{(n_1-n_2) \cdot (n_1-n_3)} + Me_2(\Delta Ty) \cdot \frac{(n-n_3) \cdot (n-n_1)}{(n_2-n_3) \cdot (n_1-n_2)} + Me_3(\Delta Ty) \cdot \frac{(n-n_1) \cdot (n-n_2)}{(n_1-n_3) \cdot (n_2-n_3)} \quad (4)$$

Here  $Me_1(\Delta Ty)$ ,  $Me_2(\Delta Ty)$ ,  $Me_3(\Delta Ty)$  are the ordinates of 3 points obtained from the external or model characteristics of the engine experimentally or by calculation, depending on  $\Delta Ty$ , respectively;

The coordinates  $Me_1, Me_2, Me_3$  are calculated with the following  $n_1, n_2$  and  $n_3$  engine crankshaft values:

- $n_1 = n_{max}$  - in the number of revolutions that give maximum torque;

- $n_3 = n_{max}$  - at the speed that gives the engine maximum power;

- $n_2 = \frac{n_1 + n_3}{2} = \frac{n_{max} Me + n_{max} Ne}{2} - n_2$  ba  $n_3$  in the number of

revolutions between values  $n_2$  and  $n_3$ .

After that, the experimental torque values of the engine  $Me(\Delta Ty)$  are determined in accordance with the corresponding values  $\Delta Ty$ , which

determine different degrees of throttle opening, and according to the number of revolutions  $n_1, n_2, n_3$ . Based on this, the torques for the number of revolutions  $n_1, n_2$  and  $n_3$  are  $Me_1(\Delta Ty)$ ,  $Me_2(\Delta Ty)$  and  $Me_3(\Delta Ty)$  coefficients interpolating  $\Delta Ty$  coupling equations, i.e.

$a_1, b_1$  and  $c_1$  coefficients of equation  $Me_1(\Delta Ty) = a_1 + b_1\Delta Ty + c_1(\Delta Ty)^2$ ,

$a_2, b_2$  and  $c_2$  coefficients of equation  $Me_2(\Delta Ty) = a_2 + b_2\Delta Ty + c_2(\Delta Ty)^2$ ,

$a_3, b_3$  and  $c_3$  coefficients of equation  $Me_3(\Delta Ty) = a_3 + b_3\Delta Ty + c_3(\Delta Ty)^2$  are determined.

#### 4 Results and discussion

From the expressions above, we can determine the  $Me = f(n)$  compound coefficients with a few simple modifications:

$$\left. \begin{aligned} a(\Delta Ty) &= \frac{Me_1(n_1 - n_3) - Me_2(n_2 - n_3) + Me_3(n_1 - n_2)}{(n_2 - n_3)(n_1 - n_3)(n_1 - n_2)} \\ b(\Delta Ty) &= \frac{n_1^2(Me_1 - Me_3) - n_2^2(Me_1 - Me_3) + n_3^2(Me_1 - Me_2)}{(n_2 - n_3)(n_1 - n_3)(n_1 - n_2)} \\ c(\Delta Ty) &= \frac{Me_1n_2n_3(n_2 - n_3) - Me_2n_1n_3(n_1 - n_3) - Me_3n_1n_2(n_1 - n_2)}{(n_2 - n_3)(n_1 - n_3)(n_1 - n_2)} \end{aligned} \right\}$$

It is known that  $Me(\Delta Ty)$  is a typical engine characteristic obtained at the stand. The characteristic of the engine installed directly in the car is somewhat different from the characteristic obtained during bench tests. Due to this, the torque  $M_d(\Delta Ty)$  for the engine running in the car is determined as follows:

$$M_d(\Delta Ty) = Me(\Delta Ty)K_M$$

where  $K_M$  is the correction factor,  $K_M=0,88$  for two-axle trucks,  $K_M=0,85$  for multi-axle trucks.

$P_k$  - vehicle traction force:

$$P_k = \frac{M_d(\Delta T y) \cdot C_y \cdot C_{ay}}{r_g} \cdot \eta = \frac{M_e(\Delta T y) \cdot K_M \cdot C_y \cdot C_{ay}}{r_g} \cdot \eta \quad (6)$$

here  $C_y$  -  $y$  - number of gears in a gear,

$C_{ay}$  - number of transmissions of the main transmitter,

$r_g$  - dynamic wheel radius,

$\eta$  - transmission efficiency ( $\eta = 0,88 \div 0,9$ ) for two-axle vehicles,  $\eta = 0,84$  for three-axle vehicles.

The dynamic coefficient of a car wheel can be equated to the static wheel coefficient of ( $r_{CT}$ ) in calculations with moderate accuracy. The value of the statistical coefficient is given in state standards. The dynamic radius of a wheel can also be found from its rolling radius. Wheel radius values are also specified in national standards.

If we substitute the moment  $M_e(\Delta T y)$  into formula (3), which converts the traction force of the car into the expression indicated in formula (6), we obtain the following formula:

$$P_k = a(\Delta T y) \cdot \frac{K_M \cdot C_y \cdot C_{ay}}{r_g} n^2 - b(\Delta T y) \cdot \frac{K_M \cdot C_y \cdot C_{ay}}{r_g} n + c(\Delta T y) \cdot \frac{K_M \cdot C_y \cdot C_{ay}}{r_g} \quad (7)$$

If we take into account the presence of the following quantitative relationship between the number of revolutions of the crankshaft of the engine  $n$  and the speed of the car  $V$ , i.e.  $n = V \cdot C_{ay} \cdot C_a / 0,377$  then the expression (4.7) after some adjustments takes the following form and changes:

$$P_k = A_y(\Delta T y) \varepsilon V^2 + B_y(\Delta T y) \varepsilon V + C_y(\Delta T y) \quad (8)$$

where  $A_y$ ,  $B_y$ ,  $C_y$  are the coefficients representing the equation of the traction force on the driving wheel of the vehicle, which are determined by the following formulas:

$$A_y(\Delta T y) = a(\Delta T y) \cdot K_M \cdot \frac{(C_a \cdot C_{ay})^3}{0,377^2 \cdot r_g \cdot r_F^2}$$



$$By(\Delta Ty) = b(\Delta Ty) \cdot K_M \cdot \frac{(Ca \cdot Cay)^2}{0,377 \cdot r_g \cdot r_F} \quad (9)$$

$$Cy(\Delta Ty) = c(\Delta Ty) \cdot K_M \cdot \frac{Ca \cdot Cay}{r_g}$$

## 5 Conclusions

Thus, the traction force modeling algorithm  $P_k$ , which characterizes its technical capabilities in terms of movement, includes the following blocks:

1. Determining the number of gears  $y$  used in the current  $t$  moment of movement.

- If  $y \in \{1,2\}$ , then  $\Delta Ty = \Delta Ty^{max}$  can be accepted.
- If  $y > 2$ , then the exact  $y$  values of the number of transmissions are determined  $\Delta Ty^{min}$  and  $\Delta Ty^{max}$  values for ( $y \in \{3 \div 5\}$ ) and a random value  $\Delta Ty$  is modeled, lying in this interval and obeying the normal distribution law.

2. On the basis of experimental tests and analysis, an external or model characteristic of the engine is created. Based on this, the interpolation coefficient of equations  $Me_1(\Delta Ty)$ ,  $Me_2(\Delta Ty)$  and  $Me_3(\Delta Ty)$  is determined, corresponding to the number of revolutions of the crankshaft  $n_1, n_2$  and  $n_3$  -  $a_1, b_1$  and  $c_1$ ;  $a_2, b_2$  and  $c_2$ ;  $a_3, b_3$  and  $c_3$ . In this case, the number of revolutions  $n_1, n_2$  and  $n_3$  is determined as follows:

- $n_1$  revolutions per minute for maximum engine torque up to  $n_{max}$ ,
- $n_3$  the number of revolutions that provide the engine with maximum power  $n_{max}$ ,
- $n_2$  is half the sum of  $n_1$  and  $n_3$  values, ie. it is equal to

$$n_2 = \frac{n_1 + n_3}{2} = \frac{n_{max} Me + n_{max} Ne}{2}.$$

3. Based on the found values of the coefficient  $a_1, b_1$  and  $c_1$ ,  $Me_1$  ordinates are determined,  $Me_2$  ordinates based on  $a_2, b_2$  and  $c_2$  and  $Me_3$  ordinates based on  $a_3, b_3$  and  $c_3$ .

4. The values of the coefficients  $a(\Delta Ty)$ ,  $b(\Delta Ty)$  and  $c(\Delta Ty)$ , interpolating the torque equation of the engine  $Me(n)$ , are calculated by formulas (1).

5. For the type of vehicle moving along the route, the correction factor  $K_M$ , the control factor  $C_y$  is the number of gears for transmission  $y$ , the number of gears of the main transmitter  $C_{ay}$ , the transmission efficiency is  $\eta$ , the dynamic coefficient and the vehicle wheel rolling coefficient  $r_g, r_F$  values are determined.

6. In the  $y$ -gear of the gearbox, the coefficients of the traction force equation of  $A_y(\Delta T_y)$ ,  $B_y(\Delta T_y)$  and  $C_y(\Delta T_y)$  values are calculated by expressions (9).

## References

1. MILLO F, ROLANDO L, ANDREATA M. Numerical simulation for vehicle powertrain development. In Numerical Analysis-Theory and Application 2011 Sep 9. IntechOpen.
2. BOTAEV SH.O., MIRZAAKHMEDOV B.M., JORAEV M.N., DORMONOV A.SH., BOKHODIROV B.B. Modeling and optimization of transport processes. Monograph "Fan" publishing house of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent 2009
3. SHADRIN SS, IVANOV AM. Technical aspects of external devices into vehicles' networks integration. International journal of applied engineering research. 2016;11(10):7003-6.
4. TUCKI K, WASIAK A, ORYNYCZ O, MRUK R. Computer Simulation as a Tool for Managing the Technical Development of Methods for Diagnosing the Technical Condition of a Vehicle. Energies. 2020 Jun 4;13(11):2869.
5. DOBRZYŃSKI M, LIJEWSKI P, ZIÓŁKOWSKI A, DASZKIEWICZ P. Analysis of driving simulation capabilities car vehicle on the engine brake stand. In AIP Conference Proceedings 2019 Mar 1 (Vol. 2078, No. 1, p. 020054). AIP Publishing LLC.
6. MIRZAAKHMEDOV B.M., BOTAEV SH.O. Influence of traffic flow conditions on mobility indicators // Materials of the Republican scientific-practical conference "Issues of development of the automobile and road complex of Uzbekistan", 2009.-B. 134-136.
7. ZIMILEV G.V. Car theory. M.: Mashgiz, 1959. - 312 p.
8. Ahmed A, Yelamali P, Udayakumar R. Modelling and simulation of hybrid technology in vehicles. Energy Reports. 2020 Feb 1;6:589-94.
9. HUO Z, LUO X, WANG Q, JAGOTA V, JAWARNEH M, SHARMA M. Design and simulation of vehicle vibration test based on virtual reality technology. Nonlinear Engineering. 2022 Jan 1;11(1):500-6.

10. KHAVKIN K.A., DASHEVSKY L.N. Designing a longitudinal profile of highways. M.: Transport, 1966. -240 p.
11. SATTAROV A.A. Methodology for assessing traffic safety on two-lane highways: Diss. of the cand. of tech. sc. - Tashkent: TADI, 1997. - 169 p.

**СЕКЦИЯ  
«ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ»**

**О РАБОТЕ XLV СЕССИИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО  
СОВЕТА ПО ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ, КАДАСТРУ И  
ДИСТАНЦИОННОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ЗЕМЛИ  
ГОСУДАРСТВ-УЧАСТНИКОВ СНГ**

**Подшивалов Владимир Павлович,**  
доктор технических наук, профессор,  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** Работа юбилейной сессии проходила в период с 4 по 6 октября 2023 года в городе Витебске. В работе сессии приняли участие руководители и представители органов государственного управления в области геодезии, картографии, кадастра и дистанционного зондирования Земли Республик Азербайджана, Армении, Беларуси, Казахстана, Кыргызии, Российской Федерации, Таджикистана и Узбекистана, а также представители Исполнительного комитета стран Содружества независимых государств.*

***Ключевые слова:** 45 сессия, совет по геодезии, геодезия СНГ.*

В работе сессии приняли участие представители вузов Республики Беларусь, ведущих подготовку специалистов по направлениям деятельности Межгосударственного совета, от Российской Федерации была делегация от Московского государственного университета геодезии и картографии во главе с ректором Камыниной Надеждой Ростиславовной.

Заседание юбилейной сессии открыл председатель Межгосударственного совета в 2023 году, Председатель Госкомимущества Республики Беларусь Дмитрий Феофанович Матусевич.

С приветственным словом выступил Джаксыбеков Алим Амангельдиевич – заместитель директора департамента по

сотрудничеству в сфере безопасности Исполнительного комитета СНГ.

В течение года работали рабочие группы и секретариат Межгосударственного совета, представляющие базовые организации всех стран-участниц. От Республики Беларусь в качестве таковой является Государственный комитет по имуществу, от Российской Федерации – Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр).

Работа сессии была очень насыщена, были рассмотрены отчеты о выполнении решений предыдущей сессии по самым различным направлениям совершенствования и координации деятельности в представленных областях стран-участниц. Был утвержден актуализированный план мероприятий до 2025 года. Подробный отчет о работе сессии приведен на сайте Межгосударственного совета.

Основными направлениями работы являются:

- совершенствование нормативных документов по созданию Геопортала ИПД СНГ;

- доработка паспорта проекта «Развитие гравиметрической сети государств – участников СНГ;

- продолжение работ по обследованию пунктов гравиметрических сетей в государствах – участниках СНГ;

- продолжение работ по актуализации информации Электронного бюллетеня изменений географических названий, а также по созданию и наполнению единой базы данных географических названий государств – участников СНГ;

- продолжение обмена опытом в области кадастра, регистрации прав и оценки недвижимости;

- продолжение работ по актуализации содержания Словаря терминов, применяемых в геодезии, картографии, геоинформационных систем, кадастра и дистанционного зондирования Земли.

Для нас, представляющих сферу образования и подготовки высококвалифицированных кадров, важно найти свое место и роль в реализации поставленных задач. Нам – представителям вузов было очень полезно участие в сессии. Для координации работы в области подготовки кадров в рамках Межгосударственного совета существует базовая организация государств – участников СНГ по

подготовке кадров в области геодезии, картографии, кадастра и дистанционного зондирования Земли. Это Московский государственный университет геодезии и картографии. С докладом об итогах работы этой организации на сессии выступила ректор МИИГАиК. Предложено совершенствовать образовательные технологии и сетевое партнерство в области подготовки кадров всех уровней высшего образования, а также программ дополнительного профессионального образования.

## МЕСТНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ КАК КООРДИНАТНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ГИС

**Рак Ирина Евгеньевна**, к.т.н, доцент, зав. кафедрой,  
**Кашура Валентина Николаевна**, старший преподаватель.  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** В статье изложены проблемы формирования ГИС связанные с распространением местных систем координат на территории Республики Беларусь.*

***Ключевые слова:** ГИС, местные системы координат, реконструкция местной системы координат, ключи пересчета.*

В начале 2000-х годов многие административные центры начали создавать свои региональные ГИС для ведения городского хозяйства, используя в качестве координатной основы свои местные системы координат.

Объединение таких ГИС и формирование единого равноточного пространства РБ - сложная задача из-за неравноточности сетей, их несогласованности друг с другом и т.д.

Согласно закону Республики Беларусь «О геодезической и картографической деятельности»: для решения научно-исследовательских, хозяйственных и иных задач на территории Республики Беларусь государственными органами могут применяться системы отсчета координат и системы отсчета высот, не являющиеся государственной системой отсчета координат и государственной системой отсчета высот или местными системами отсчета координат, при условии обеспечения их взаимосвязи соответственно с государственной системой отсчета координат и государственной системой отсчета высот и по согласованию с Государственным комитетом по имуществу [1].



На сегодняшний день из открытых источников можно увидеть, что в Республике Беларусь существует порядка 265 местных систем координат [3].

Ключи местных СК засекречены, услуги по выполнению пересчета оказывает Топографо-геодезическое республиканское унитарное предприятие «Белгеодезия».

Наличие такой разновидности сетей с одной стороны является неоспоримым благом, с другой стороны - постоянно порождаются конфликты различного рода:

- при выполнении изысканий вне городов приходится создавать изыскательские опорные сети, которые по плотности и методике создания существенно отличаются от ГГС и поэтому при стыковке с ГГС на административной границе города возникает конфликт: одноименные пункты имеют координаты, которые после учета взаимных смещений, разнятся на метровые величины;

- строительство площадных объектов приводило к необходимости создания разбивочных сетей в системе координат, обусловленной ориентацией осей возводимых объектов. Изыскания и строительство линейных сооружений вообще ведется в криволинейной системе пикетажа, а привязка к местным геодезическим сетям происходит при создании геодезической основы и при передаче готовых сооружений эксплуатацию;

- вступление в 2023 году нового Кодекса РБ «О земле», призванного урегулировать земельные отношения и разрешить земельные споры, привело к тому, что каждый владелец или пользователь конкретного участка земли должен быть обеспечен координатами углов поворота границ своего участка. Использовать для выполнения этого требования государственную систему координат по понятной причине невозможно.

Поэтому и встает вопрос о создании единой системы координат страны, которая бы учитывала особенности уже существующих систем и обеспечивала бы свободный доступ исполнителям, не противореча в то же время действующему законодательству о сведениях составляющих государственную тайну.

Намерение обеспечить высокую точность взаимного положения пунктов для решения различных задач для формирования единого равнооточного пространства РБ, в том числе и для объединения ГИС,

приводит к необходимости объединения (создании новых) и реконструкции существующих городских геодезических сетей.

Реконструкция местной системы координат, почти, безусловно, подразумевает качественные изменения координат пунктов геодезических сетей разного уровня, вслед за этим, влияние этих измерений может сказаться на топографических материалах. Можно предложить две принципиально разных схемы реконструкции местных систем координат:

1. Новая местная система координат создается с заведомым игнорированием существующих баз данных. При этом очевидны расходы по изменению всей системы существующих документов, но зато новую местную систему координат можно сделать многоцелевой и, в перспективе, получить существенную выгоду за счет унификации топографо-геодезической информации, упрощения создания и эксплуатации ГИС различного назначения. Этот путь представляется особенно привлекательным, если большая часть существующих документов хранится в электронном виде и переход в новую систему окажется, в основном, сопряжен с редуцированием метрической части баз данных.

2. Новая местная система координат подбирается таким образом, что негативные последствия, связанные с изменением существующих документов и баз данных, минимизируются. Для такого решения существует несколько механизмов адаптации новой местной системы координат к существующей обстановке:

- подбор новой поверхности относимости – эллипсоида, сферы и т.п.;

- подбор новой проекции;

- переход к плоским координатам;

- переход в общем случае на среднюю отметку территории, позволяющей урегулировать проблему несовпадения масштабов непосредственно измеренных величин и их же значений, но вычисленных по каталожным значениям координат.

При выборе адаптационного пути создания местных систем координат трудно надеяться на возможность подбора многоцелевого решения. Создание некоторого компромиссного варианта решения, которое вообще устраивало все или большую часть задач, в частности, не удовлетворяло ни одним техническим условиям, можно считать бессмысленным, так как при ужесточении какой-либо

задачи, все равно придется искать частное решение. В общем случае, нужно говорить о фрагментации общего решения на некоторое множество частных решений, при этом на одной и той же территории одновременно будут эксплуатироваться несколько местных систем координат, каждая из которых будет сориентирована на обслуживание конкретной задачи. При этом должны быть открытые ключи перехода, связывающие эти частные системы координат.

### Литература

1. О геодезической и картографической деятельности : Закон Респ. Беларусь : принят Палатой представителей Нац. собр. Респ. Беларусь 10 июня 2008 г. : одобрен Советом Респ. Нац. собр. Респ. Беларусь 20 июня 2008 г. – Минск, 2008. – 7 с.
2. Рак И. Е. Разработка и исследование методики создания ГИС-технологий в населенных пунктах Республики Беларусь : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук специальность 25.00.32 “Геодезия”. Москва : 2008. 24 с.
3. Перевычисление координат [Электронный ресурс] // Государственное предприятие «Белгеодезия» : [сайт]. [2010-2023]. URL: <https://geo.by/services/goskartgeofond/perevychislenie-koordinat-1> (дата обращения 02.10.2023)

## ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ МЕСТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

**Будо А.Ю.** старший преподаватель,

**Куприенко Н.О.** старший преподаватель.

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

***Аннотация:** В статье изложен практический пример выполнения калибровки параметров местной системы координат в программном обеспечении TRIMBLE ACCESS и LEICA CAPTIVATE, выполнен сравнительный анализ полученных результатов.*

***Ключевые слова:** местные системы координат, ГНСС-измерения, геодезическое программное обеспечение, параметры пересчета.*

Под калибровкой (локализацией) понимают процесс установления взаимосвязи двух систем координат (общеземной и местной) по набору опорных пунктов, координаты которых есть в обеих системах. Данный процесс выполняется, когда неизвестны параметры связи этих систем координат.

Исходными данными для калибровки являлись пункты, у которых координаты заданы в двух системах:

1. Общеземной системе координат ( $X, Y, Z$  или  $B, L, H$ ) – полученные из спутниковых (ГНСС) измерений (табл.1, колонки 2-4)
2. Локальной/местной системе координат ( $N, E, h$ ) – полученные из каталога координат и измерений на местности (табл.1, колонки 5-7).

Таблица 1.

Координаты пунктов в общеземной и местной системе координат

№	Широта, В°	Долгота, L°	Геодезическая высота, Н (м)	Север, N (м)	Восток, E (м)	Нормальная высота Нп (м)
1	2	3	4	5	6	7
1	55.3009033	37.2175413	223.836	-40724.461	- 17830.162	209.102
2	55.4476963	37.1759876	204.862	-24370.630	- 20393.158	190.258
3	55.4477118	37.1758047	204.867	-24368.844	- 20404.726	190.262
4	55.4512917	37.5387698	180.916	-24017.659	2563.157	166.482
5	55.4795935	37.2984843	199.661	-20848.842	- 12631.364	185.145
6	55.5616587	36.9940047	217.365	-11614.312	- 31816.296	202.796
7	55.5740523	37.6756788	163.734	-10337.213	11191.467	149.695
8	55.5814384	37.5827367	198.460	-9525.737	5328.006	184.329
9	55.6597205	37.4097710	188.690	-809.570	-5568.657	174.306
10	55.6646215	37.5802218	182.623	-264.803	5158.803	168.426
11	55.6760927	37.7211649	131.791	1031.505	14024.513	117.782
12	55.6778094	37.2550613	220.149	1227.975	- 15298.853	205.504
13	55.6811351	37.8939897	197.961	1640.986	24894.234	184.208
14	55.6892839	37.6527052	135.039	2488.601	9714.283	120.892
15	55.7271789	37.4260993	185.713	6699.725	-4532.880	171.075
16	55.7585948	37.7912575	168.785	10233.157	18395.765	154.628
17	55.7987007	37.6140163	178.979	14666.006	7261.156	164.294
18	55.8034338	37.3913796	220.654	15192.585	-6700.956	205.663
19	55.8621101	37.4138285	177.987	21723.498	-5285.018	162.835
20	55.8807865	37.6825342	160.939	23814.434	11534.345	146.086
21	55.8910951	37.3881506	203.209	24952.966	-6887.572	187.962
22	55.9736851	37.9158307	181.765	34220.599	26072.899	166.988

На рисунке 1 приведена схема расположения пунктов.

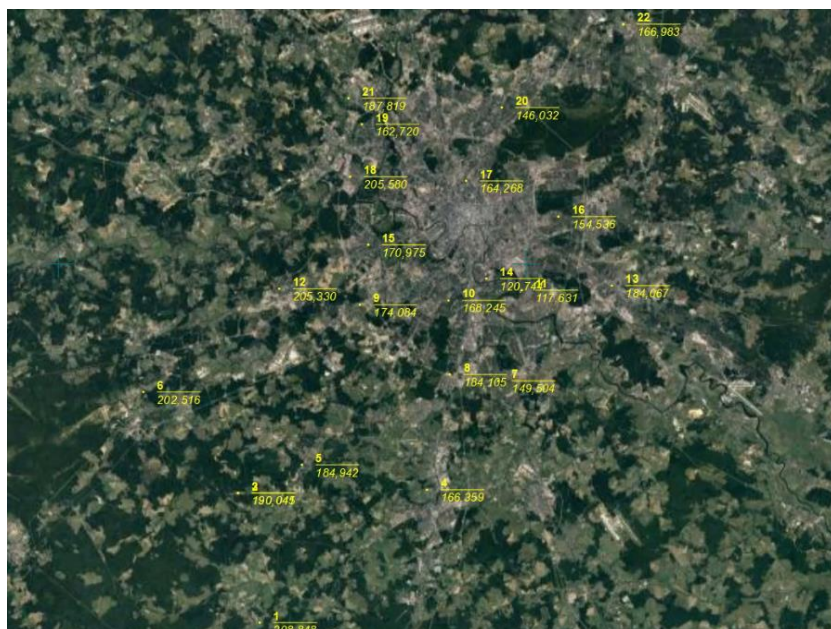


Рис. 1. Схема расположения пунктов

Для обучающей выборки были выбраны 11 пунктов с нечётными номерами, координаты которых загружались в ПО Trimble Access v.2017.00 (13001) контроллера Trimble TCS3.

В настройках ПО не задавались параметры датума и проекции. В автоматическом режиме Trimble Access установил **большую полуось эллипсоида**: 6378137.000 м; **сжатие** 298.2572229329; **тип преобразования ИГД**: три параметра и нулевые сдвиги по осям X, Y, Z; **проекцию**: поперечную Меркатора с параметрами, характеризующими положение первого пункта в выборке:

Условные сдвиг на север: -40724.461м

Условный сдвиг на восток: -17830.162м

Широта начала СК: 55°18'03.25209"С

Осевой меридиан: 37°13'03.14889"В

Масштаб на осевом меридиане: 1.0

Также в ПО Trimble Access были вычислены параметры **коррекции в плане и по высоте (рис.2)**:

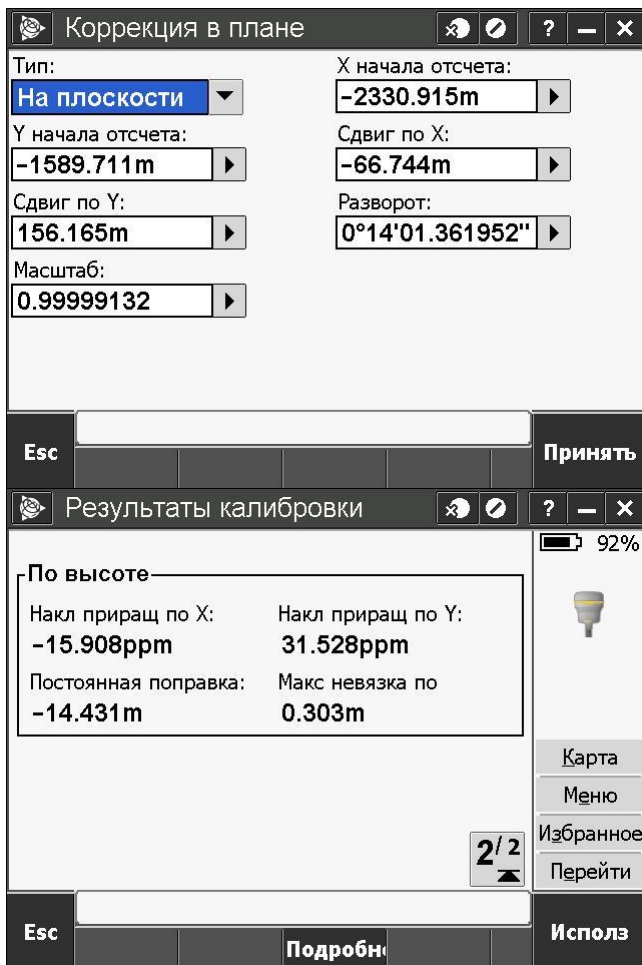


Рис. 2. Вычисленные параметры коррекции в плане и по высоте в Trimble Access

Далее в контроллер был выполнен импорт проверочной выборки, состоящий из пунктов и с чётными номерами и выполнен расчёт плоских координат. Результаты пересчёта представлены в таблице 2 (колонки 2-4). Разности вычисленных координат относительно исходных из таблице 1 (колонки 5-7) представлены в таблице 2 (колонки 5-7). Максимальные положительные и отрицательные погрешности показаны красным цветом.

Таблица 2.

Координаты пунктов и погрешности, вычисленные в Trimble Access

№	Координаты, вычисленные в Trimble Access			Погрешности		
	N (м)	E (м)	Hn (м)	$\Delta N$ (м)	$\Delta E$ (м)	$\Delta H_n$ (м)
1	2	3	4	5	6	7
2	-24370,554	-20393,120	190,090	-0,076	-0,038	0,168
4	-24017,761	2563,139	166,862	0,102	0,018	-0,380
6	-11614,299	-31816,08	202,03	-0,013	-0,216	0,766
8	-9525,801	5328,062	184,263	0,064	-0,056	0,066
10	-264,83	5158,854	168,273	0,027	-0,051	0,153
12	1227,888	-15298,789	205,13	0,087	-0,064	0,374
14	2488,602	9714,346	120,789	-0,001	-0,063	0,103
16	10233,265	18395,848	154,685	-0,108	-0,083	-0,057
18	15192,511	-6701,009	205,684	0,074	0,053	-0,021
20	23814,584	11534,24	146,407	-0,150	0,105	-0,321
22	34221,071	26072,771	167,526	-0,472	0,128	-0,538

Для сравнения координаты 11 пунктов с нечётными номерами из таблицы 1 были проимпортированы в симулятор ПО Leica Captivate v.4.50 (рис.3)

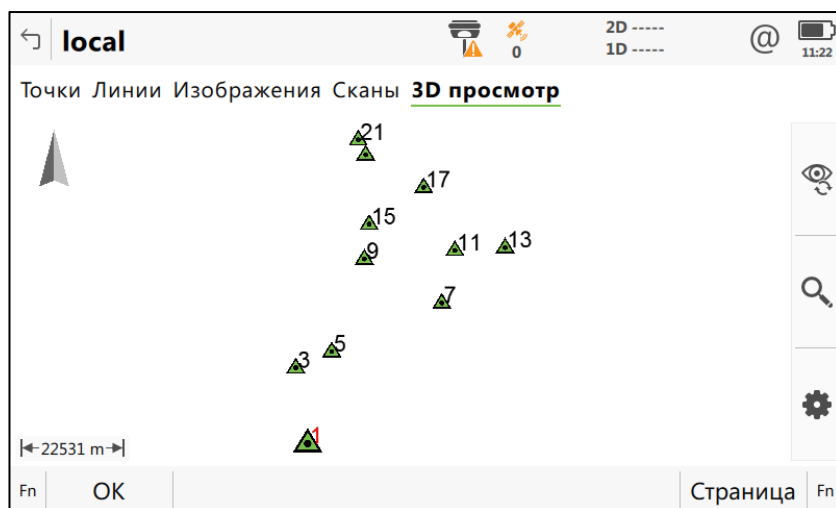


Рис. 3. Расположение пунктов обучающей выборки в ПО Leica Captivate



Далее были определены параметры местной СК методом «1 шаг». Результаты плановой и высотной калибровки представлены на рисунке 4

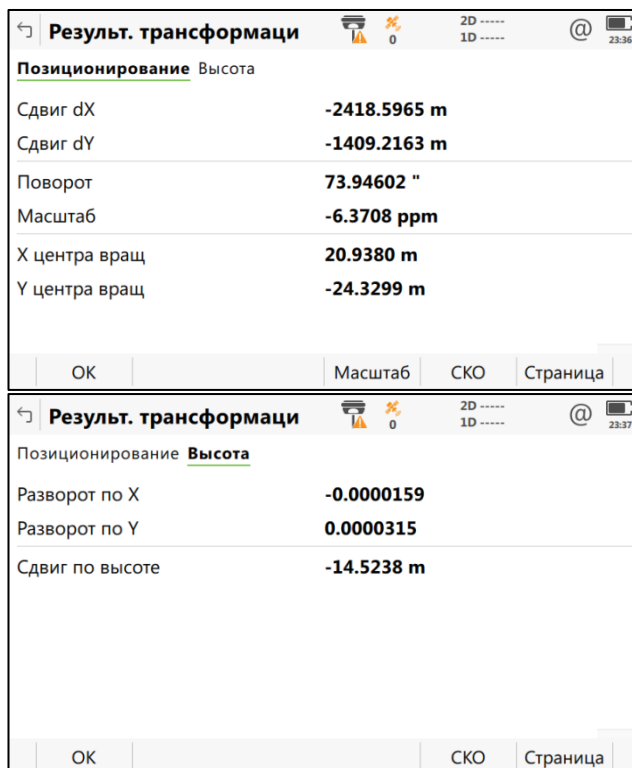


Рис. 4. Вычисленные параметры системы координат в Leica Captivate

Как и Trimble Access в качестве датума ПО Leica Captivate был выбран эллипсоид WGS84 с нулевыми параметрами вращения и сдвига по осям, но в качестве начальных параметров проекции для широты и долготы были вычислены средние арифметические значения из набора исходных широт и долгот соответственно.

Далее в Leica Captivate были введены геодезические координаты 11 точек, имеющих чётные номера, после чего были вычислены их координаты на плоскости в местной СК (табл.3, колонки 2-4). Разности вычисленных координат относительно исходных из

таблицы 1 (колонки 5-7) представлены в таблице 3 (колонки 5-7). Максимальные положительные и отрицательные погрешности показаны красным цветом.

Таблица 3.

Координаты пунктов и погрешности, вычисленные в Leica Captivate

№	Координаты, вычисленные в Leica Captivate			Погрешности		
	N (м)	E (м)	Hn (м)	$\Delta N$ (м)	$\Delta E$ (м)	$\Delta Hn$ (м)
1	2	3	4	5	6	7
2	-24370,626	-20393,151	190,090	-0,004	-0,007	0,168
4	-24017,670	2563,152	166,862	0,011	0,005	-0,380
6	-11614,311	-31816,272	202,030	-0,001	-0,024	0,766
8	-9525,743	5328,007	184,263	0,006	-0,001	0,066
10	-264,805	5158,805	168,273	0,002	-0,002	0,153
12	1227,970	-15298,844	205,130	0,005	-0,009	0,374
14	2488,600	9714,286	120,789	0,001	-0,003	0,103
16	10233,165	18395,766	154,685	-0,008	-0,001	-0,057
18	15192,583	-6700,958	205,684	0,002	0,002	-0,021
20	23814,447	11534,337	146,407	-0,013	0,008	-0,321
22	34220,636	26072,885	167,526	-0,037	0,014	-0,538

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Программное обеспечение геодезических контроллеров позволяет находить калибровку систем координат, выполняя похожие действия, но при этом используя разные алгоритмы поиска параметров.
2. Существующий софт для калибровки СК не идеален. Подход, используемый в ПО Leica Captivate, с расчётом средних арифметических значений широты и долготы для параметров новой создаваемой системы координат, привёл к меньшим значениям погрешностей плановых координат.
3. При использовании сетей референчных станций возникает и будет возникать в дальнейшем необходимость калибровать параметры местных и городских СК
4. Факт существенного расхождения вычисленных результатов в программном обеспечении различных производителей требует дальнейших исследований. Например, отдельно следует рассмотреть возможности предлагаемых

производителями геодезического оборудования методов калибровки в случае, когда параметры проекции и преобразования датума известны до начала работ.

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТА «СПОРТИВНО-ТУРИСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС В МИНСКОМ РАЙОНЕ»**

**Гармаза Ольга Евгеньевна**, старший преподаватель,  
**Мысливчик Екатерина Юрьевна**, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** Инженерно-геологические изыскания включают в себя изучение грунтов, как среды и основания сооружений, особенности гидро-геологического режима территории строительства, связанного с деятельностью подземных вод, физико-геологических процессов и явлений, представителями которых являются сели, оползни и обвалы, карстово-суффозионные процессы и подтопление территории.*

***Ключевые слова:** инженерно-геологические изыскания, инженерно-геологические условия, рекогносцировка.*

Задачи изысканий – изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки строительства, установление нормативных и расчетных значений физико-механических характеристик грунтов, а также определение коррозионных свойств грунтов и грунтовых вод.

Методика изысканий.

*Инженерно-геологическая рекогносцировка* проведена с целью оценки инженерно-геологических условий объекта с выявлением возможных неблагоприятных геологических процессов, уточнения возможности подъезда буровой установки к точкам исследований и безопасного ведения работ.

*Планово-высотная привязка выработок* выполнена в системе координат г. Минска и Балтийской системе высот. Все выработки расположены с учетом возможности подъезда буровой установки к

предполагаемому месту размещения проектируемых сооружений и безопасного ведения работ.

*Количество выработок и глубина исследования согласованы с проектной организацией и заказчиком.*

*Статическое зондирование* выполнено буровой установкой ПБУ-2-155 с применением тензометрического зонда. При статическом зондировании непрерывно по глубине интервалом через 0,1 м синхронно регистрировались характеристики грунтов.

*Бурение скважин* выполнялось механическим способом установкой ПБУ-2-155, а также малогабаритной буровой установкой. В процессе бурения отбирались образцы нарушенного сложения.

*Лабораторные исследования* выполнены геотехнической лабораторией, определены физические характеристики грунтов.

*Камеральные работы.* Результаты полевых и лабораторных исследований систематизированы. Выполнена статистическая обработка результатов полевых и лабораторных исследований. Составлен технический отчет и графические приложения к нему.

*Инженерно-геологические условия.*

Площадка изысканий расположена у д. Колодищи в Минском районе. В геоморфологическом отношении площадка изысканий приурочена к минской конечной моренной возвышенности. Имеется общий уклон в северо-западном направлении. Абсолютные высоты в целом по площадке изысканий 220,80-225,31 м. Поверхность полая, осложнена наличием ям, рытвин и западин. Вся площадка перекрыта древесно-кустарниковой растительностью. Почвенно-растительный слой в районе отбуренных скважин достигает мощности 0,05-0,1 м.

Условия поверхностного стока удовлетворительные, неблагоприятные геологические процессы не обнаружены.

В геологическом строении участвуют:

Проблематичные отложения поозерского горизонта вскрыты с поверхности. Представлены супесью коричневого, серо-коричневого цвета пластичной консистенции. Распространены в виде отдельных пятен поверх флювиогляциальных песков. Мощность данного типа отложений до 0,3 м в пределах площадки изысканий.

Флювиогляциальные отложения сожского горизонта вскрыты повсеместно. Представлены песками мелкими, средними, крупными

с включениями гравия, гальки. Пески желтые, желто-коричневые, коричневые и бурые. На полную мощность флювиогляциальные отложения не пройдены.

Оценка прочности грунтов выполнена по результатам статистического и динамического зондирования. Характер пространственной изменчивости основных показателей физико-механических характеристик грунтов незакономерный, значения коэффициентов вариации удовлетворяют требованиям.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА БЕЛОРУССКО-ПОЛЬСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЕ

**Гиря Михаил Григорьевич**, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** Представлены особенности картографо-геодезического обеспечения демаркации государственной границы на Республики Беларусь с Республикой Польша.*

***Ключевые слова:** делимитация; демаркация; проверка прохождения Государственной границы, ОГС.*

Наличие государственной территории и государственной границы остается одним из основных признаков государства.

Законом Республики Беларусь «О Государственной границе Республики Беларусь» в статье 15 особо выделяется проблема международно-правового оформления государственной границы: «Государственная граница устанавливается и изменяется в соответствии с международными договорами Республики Беларусь. Установление государственной границы, если иное не предусмотрено международными договорами Республики Беларусь, включает в себя делимитацию и демаркацию Государственной границы. Не установленные с сопредельными государствами участки Государственной границы подлежат закреплению международными договорами Республики Беларусь».

Используемое в законе о государственной границе определение термина «демаркация государственной границы Республики Беларусь» как «обозначение на местности прохождения государственной границы между Республикой Беларусь и сопредельными государствами пограничными знаками с составлением демаркационных документов» [1, ст.1]. Указанные этапы в силу различных обстоятельств могут быть названы по-

другому. Например, этап делимитации государственной границы может называться картографическое оформление (определение) прохождения границы, а этап демаркации государственной границы – обозначение на местности границ землепользований [2].

Проверка прохождения Государственной границы Республики Беларусь (далее – граница) осуществляется на основании международных договоров Республики Беларусь с сопредельными государствами и законодательных актов Республики Беларусь.

Документы об изменениях, уточнениях прохождения границы на местности, произведенных в порядке проверки Государственной границы на основании международных договоров Республики Беларусь, вводятся в действие в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Основной целью проверки прохождения государственной границы является подтверждение стабильного и неизменного положения границы на местности, определенного в ходе ее демаркации, или же выявление участков границы, на которых произошло изменение ее положения на местности в связи с изменением естественных граничных рубежей, определявших в ходе проведения делимитации и демаркации линию границы, или утраты (уничтожения) пограничных знаков в результате природных явлений или деятельности человека.

Основанием для проведения работ по проверке прохождения границы служит соответствующее поручение со стороны республиканского органа государственного управления, в компетенцию которого входит обеспечение выполнения обязательств, вытекающих из международных договоров Республики Беларусь по вопросам режима границы.

Геодезические и картографические работы при проведении проверки прохождения границы (далее – геодезические и картографические работы) должны обеспечить:

- подтверждение соответствия прохождения границы на местности документам демаркации;
- достоверное и однозначное установление участков границы, на которых произошли изменения в ее положении на местности в силу каких-либо причин;
- восстановление на местности утраченных пограничных знаков;



– подготовку геодезических и картографических материалов и данных для принятия необходимых решений по результатам проверки.

В состав геодезических и картографических работ входят:

- подготовительные работы;
- полевые и камеральные геодезические и картографические работы;
- подготовка итоговых документов.

Весной 2012 года специалистами Государственного пограничного комитета Республики Беларусь совместно с польскими коллегами выполнены работы по проверке состояния центровых столбиков на белорусско-польской государственной границе, разработана документация по процессам и этапам выполнения работ и т.д. В дальнейшем выполнена перезакладка старых центровых столбиков на новые (практически 99%), специалистами РУП «Белгеодезия» (в своей зоне ответственности) определены координаты пограничных знаков, центровых столбиков и т.д.

Предварительно специалистами РУП «Белгеодезия» и польскими коллегами совместно выполнены спутниковые геодезические измерения на пунктах общей геодезической сети (далее – ОГС), расположенных на территории Республики Беларусь и Республики Польша.

В ОГС было включено:

- на территории Республики Беларусь 18 пунктов государственной геодезической сети и 2 постоянно действующих пункта (ПДП ССТП) – Брест и Гродно;
- на территории Республика Польша 18 пунктов и 5 постоянно действующих пунктов: Suwalki, Sokolka, Hajnowka, Biala Podlaska, Wlodawa.

Спутниковые геодезические измерения на пунктах ОГС производились с использованием технологии GPS/ГЛОНАСС в статическом режиме, одним сеансом продолжительностью 4 часа. В измерении участвовало не менее 6 GPS/ГЛОНАСС-приемников. В первой расстановке наблюдалось 6 пунктов, во второй и последующих расстановках (для связи разносуточных наблюдений) в измерения включалось два пункта предыдущей расстановки. Аналогичную методику расстановки GPS/ГЛОНАСС-приемников

выполняла и польская сторона на пунктах ОГС, расположенных на территории своего государства.

По договоренности белорусской и польской сторон измерения проводились одновременно, т.е. начинались и заканчивались по согласованному графику, как на белорусской территории, так и польской территории специалистами соответствующих сторон. График наблюдений в основном был выполнен.

Средние расхождения пространственных прямоугольных координат пунктов ОГС в системах ITRF 2005 (эпоха 2008,31) и ETRF 2000 (эпоха 2011,00), полученными белорусской и польской сторонами, составляют 0,011 м.

Данные расхождения говорят о том, что созданная ОГС однородна и может использоваться для дальнейших геодезических определений.

В 2013 году специалистами РУП «Белгеодезия» и польскими коллегами совместно выполнены спутниковые геодезические измерения от пунктов ОГС пограничных знаков и центровых столбиков.

Перевычисления координат выполнены в 5 системах координат: СК-42 (материалы предыдущей проверки границы 1979-1981 г.г.), система координат СК-95, геоцентрической общеземной системы отсчета ITRS в реализации ITRF2005 на эпоху 23.04.2008, европейской EPN 2000 (на эпоху 2011) и международной UTM34.

Процесс вычислений включал следующие этапы:

– уравнивание 43 пунктов ОГС в системе СК-42 по спутниковым геодезическим измерениям;

– уравнивание необходимо для правильной проверки координат предыдущей проверки государственной границы 1979-1981 г.г.

Координаты ранее получены теодолитными ходами от пунктов ГГС;

– вычисление параметров преобразования по координатам 43 пунктов ОГС из СК-42 в европейскую систему EPN2000 (эпоха 2011) программным обеспечением Pinnacle;

– общая погрешность полученных параметров преобразования координат в плановом положении (x, y)  $\approx 0,33$  м.

При анализе расхождений координат на 2 пунктах ОГС в системе координат СК-42 имеются небольшие выбросы координат по абсциссам при общей протяженности государственной границы

почти 399 км. Эти пункты расположены в глухих лесах Беловежской Пуши.

Можно смело аплодировать тем геодезистам, которые очень хорошо выполнили триангуляцию несколько десятков лет назад.

В дальнейшем по параметрам преобразования, полученным по 43 пунктам ОГС, для дополнительного контроля вычислены координаты 636 пограничных знаков.

Расхождения координат 636 пограничных знаков, составили:

по абсциссам от + 0,04 м до + 0,34 м,

по ординатам от – 0,03 м до + 0,06 м.

Координаты ПЗ и центровых столбиков вычислены с точностью: по BL – до пятого знака после запятой, Н – до четвертого знака после запятой, XYZ – до четвертого знака после запятой.

В дальнейшем выполнена независимая сверка обеими сторонами полученных координат в программном обеспечении Excel (BL – до пятого знака после запятой, Н – до четвертого знака после запятой, XYZ – до четвертого знака после запятой).

Работа была слишком объемной, кропотливой и очень ответственной.

Общее количество пограничных знаков и центровых столбиков при перевычислениях составило около 1800 штук.

Особо приятно отметить, что при выполнении работ по перезакладке старых центровых столбиков на новые процессом руководил Курилов Сергей, молодой выпускник БНТУ.

### Литература

1. Конституция Республики Беларусь // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 1999. – № 1, 1/0.
2. О государственной границе Республики Беларусь : Закон Республики Беларусь от 21 июля 2008 г. № 419-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г. – № 184, 2/1516.
3. Декларация о государственном суверенитете Республики Беларусь // Вѣдамасці Вярховнага Савета Рэспублікі Беларусь. – 1991. – № 31.
4. Архипов, А.И. Картографо-геодезическое обеспечение установления государственной границы Республики Беларусь /

- А.И. Архипов, В.С. Хомич // Земля Беларуси. – 2007. – № 1. – С. 4–5.
5. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь, утв. Указом Президента Республики Беларусь, 9 ноября 2010 г., № 575.
  6. Архипов А.И. Международно-правовое оформление государственной границы: особенности понятийно-терминологического аппарата // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 1. Том 9, №2, 2017.
  7. Архипов А.И. Установление и содержание государственной границы Республики Беларусь. Орша, 2011. 147 с.

## ОПЫТ УЧАСТИЯ В ЧЕМПИОНАТАХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МАСТЕРСТВА СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ГЕОДЕЗИЯ»

**Кабачкий Александр Викторович**, старший преподаватель  
**Вахнер Илона Васильевна**, преподаватель-стажёр  
Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** 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 и учащихся средних учебных заведений Республики Беларусь с целью популяризации в целом инженерно-технических профессий и в частности формирования у будущих абитуриентов мотивации для поступления в Белорусский национальный технический университет для изучения специальности «Геодезия»*

***Ключевые слова:** Геодезия, Республиканский конкурс профессионального мастерства 2023, Чемпионат высоких технологий.*

13–16 мая 2023 г. в Футбольном манеже состоялся V Республиканский конкурс профессионального мастерства «Profskills Belarus 2023», в котором приняли участие около 350 учащихся учреждений образования, реализующих образовательные программы профессионально-технического и среднего специального образования, а также студенты вузов и молодые рабочие со всех регионов страны. Оценивали их профессиональные навыки около 350 экспертов.

В рамках конкурсной программы прошли соревнования по 49 профессиональным компетенциям в таких областях, как строительство и строительные технологии, информационные и коммуникационные технологии, творческие профессии и мода,

производство и инженерные технологии, транспорт и логистика, социальные и персональные услуги и многим другим. В компетенции «Геодезия» принимали участие студенты 4 курса факультета транспортных коммуникаций Жуковский Сергей и Грищенко Кирилл.

Конкурсное задание состояло из 4 модулей: «Камеральные работы при выполнении проекта вертикальной планировки», «Полевые геодезические работы при выполнении проекта вертикальной планировки», «Расчет объемов земляных работ в системе КРЕДО ОБЪЕМЫ», «Обработка материалов инженерно-геодезических изысканий (в офисном программном обеспечении КРЕДО ТОПОГРАФ)», в которых участникам продемонстрировать навыки работы с графической информацией в геоинформационных системах (ГИС), выполнить автоматизированную съемку с использованием электронных тахеометров, выполнить работы по проектированию инженерных сооружений по цифровой математической модели в программном комплексе КРЕДО (рис.1).



Рис. 1. Выполнение полевых работ

По результатам соревнований команда БНТУ заняла 4 место. Студентам были вручены дипломы участников и памятные призы.

С 18 по 21 сентября 2023 года в Российской Федерации в городе Великий Новгород проходил финал Чемпионата высоких технологий.

Чемпионат высоких технологий – соревновательные мероприятия, по компетенциям, перечень которых сформирован на основании наиболее динамично развивающихся и перспективных направлений, востребованных в условиях высокотехнологичного производства, цифровой экономики и импортозамещения. Такими компетенциями являлись «Биопротезирование», «Биохимические технологии и моделирование процессов», «Геопространственная цифровая инженерия», «Изготовление индивидуальных имплантатов», «Летающая робототехника», «Нейросети и большие данные», «Организация и управление ЭОГ- проектами (ESG-проектами)», «Технологии развития городов и территорий».

Республику Беларусь представляла команда студентов 4 курса факультета транспортных коммуникаций Тунчик Дмитрий, Лоза Максим и Савич Матвей в компетенции «Геопространственная цифровая инженерия» Подготовкой ребят в качестве эксперта-наставник занимался старший преподаватель кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» Кабацкий Александр Викторович.

Геопространственная цифровая инженерия — это быстро развивающаяся инженерная дисциплина, которая фокусируется на пространственной информации, включая в себя аспекты компьютерной инженерии, геодезии и картографии. Специалисты данной области проектируют, разрабатывают и эксплуатируют системы для сбора и анализа пространственной информации о суше, океанах, природных ресурсах, антропогенных объектах и объединяют ряд актуальных профессий, таких как геодезист, картограф, оператор наземных средств управления беспилотным летательным аппаратом.

Задание состояло из модулей «Подготовка геодезического оборудования к работе, выполнение комплекса наземных инструментальных измерений для целей инженерного проектирования», «Подготовка разрешительных документов на выполнение полетов беспилотных воздушных судов и полетного задания», «Техническая и летная эксплуатация беспилотных авиационных систем», «Разработка тематической карты по материалам аэрофотосъемки в ГИС», в которых участникам

необходимо было продемонстрировать навыки работы с геодезическим оборудованием, выполнить сборку и разборку беспилотных летательных аппаратов, а также создать тематическую карту в ГИС «АКСИОМА».

По результатам соревнований команда заняла 2 место в международном зачёте (рис. 2).



Рис.2. Церемония награждения победителей

Участие в вышеперечисленных соревнованиях помогло провести профориентационную работу среди одаренных учащихся учреждений образования, реализующих образовательные программы профессионально-технического и среднего специального образования, интегрировать задачи соревнований в учебный процесс, а также приобрести опыт участия в соревнованиях международного уровня.



## РОЛЬ ГЕОДЕЗИИ В ХОЗЯЙСТВЕННОМ РАЗВИТИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Вахнер Илона Васильвена**, преподаватель-стажёр,  
**Колосёнок Валерия Анатольевна**, ассистент,  
Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** В данной статье представлена информация о влиянии геодезии на государствообразующие отрасли Республики Беларусь. Повествуется о роли геодезии и картографии в обеспечении экономической безопасности страны. Применении различных данных и методик топографо-геодезических, картографических работ в таких областях как землеустройство и сельское хозяйство, транспорт и логистика, градостроительство, охрана окружающей среды, геоинформационные системы, туризм и региональное развитие, безопасность и гражданская оборона, геология и добыча полезных ископаемых. Описано как используются результаты геодезических работ в экономике Беларуси.*

***Ключевые слова:** геодезия, картография, экономика, геодезические данные, развитие технологий.*

Геодезия одна из древнейших наук измерения и изучения Земли, её форм и размеров, положения объектов на ней. Эта наука оказывает влияние на многие аспекты экономики, инфраструктуры и окружающей среды стран. Доклад будет рассматривать роль геодезии в развитии Республики Беларусь.

Принимая во внимание важную роль геодезии и картографии в обеспечении экономической и стратегической безопасности и растущий спрос на топографо-геодезическую продукцию, ведущие страны мира уделяют особое внимание развитию геодезии и картографии и оказывают ей значительную инвестиционную поддержку [1].

Результаты геодезических работ пользуются стабильным спросом и востребованы во многих отраслях экономики, которые оказывают непосредственное влияние на эффективное развитие государства и его хозяйственной деятельности. Национальное значение работ в области геодезии и картографии возрастает по мере экономического развития территории, решения пограничных вопросов, поддержки топографии, геодезии и картографии.

Области применения геодезии:

- землеустройство и сельское хозяйство;
- транспорт и логистика;
- градостроительство;
- экология и охрана окружающей среды;
- геоинформационные системы;
- туризм и региональное развитие;
- безопасность и гражданская оборона;
- геология и добыча полезных ископаемых.

При этом используются всевозможные данные, такие как: данные ГИС; цифровые и бумажные карты и планы; исполнительные съемки; координаты и высоты пунктов ГГС; спутниковые данные.

Использование результатов геодезических работ в экономике Беларуси имеет большое значение для различных отраслей национальной экономики.

Землеустройство и сельское хозяйство. Геодезические данные помогают в определении границ земельных участков и создании карт и планов, учете земельных ресурсов и планировании их использования. Точные геодезические данные помогают оптимизировать использование земли (планировать посевы, системы орошения и дренажа), улучшить сельскохозяйственное производство и бороться с проблемами, такими как эрозия почвы [2].

Транспорт и логистика. Геодезические измерения и картографические данные необходимы для планирования, модернизации и контроля транспортными маршрутами, строительством автомобильных и железных дорог, аэропортов. Это содействует улучшению транспортной инфраструктуры и повышению эффективности перевозок.

Градостроительство. Геодезические работы помогают определить оптимальное размещение городской инфраструктуры, включая

водоснабжение, канализацию, электроснабжение и газоснабжение. Это способствует развитию городов и обеспечению комфортных условий для жизни граждан. Точные геодезические измерения позволяют обеспечить точность и надежность проектируемых объектов.

Экология и охрана окружающей среды. Геодезические данные необходимы для мониторинга окружающей среды и управления природными ресурсами. Они помогают в выявлении изменений в ландшафтах, водных ресурсах, лесах, а также в прогнозировании и предотвращении природных катастроф.

Геоинформационные системы. Сбор и анализ геоданных способствует созданию геоинформационных систем, которые улучшают принятие решений в различных отраслях экономики, включая городское планирование, экологию и охрану окружающей среды, ресурсное управление и геополитику. Геоданные обеспечивают информацию для геопространственного анализа, помогают правительству и бизнес-сектору лучше понимать территориальные аспекты развития страны.

Туризм и региональное развитие. Геодезические данные способствуют развитию туризма, обеспечивая информацию о географических особенностях регионов и их достопримечательностях. Это способствует экономическому развитию городов и разнообразию региональных экономик.

Безопасность и гражданская оборона. Геодезические технологии используются для обеспечения безопасности страны, включая контроль за границами государства, а также для управления и оперативного принятия решений в случае чрезвычайных ситуаций.

Геология и добыча полезных ископаемых. Геодезические данные важны для исследования геологической структуры земель, поиска месторождений полезных ископаемых и планирования их разработки.

Итак, результаты геодезических работ являются неотъемлемой частью экономики Беларуси, помогая оптимизировать использование земельных ресурсов, улучшить инфраструктуру, обеспечить устойчивое развитие и повысить эффективность различных отраслей экономики. С учетом этих аспектов, геодезия продолжает играть важную роль в хозяйственном развитии Беларуси, и дальнейшее развитие геодезических технологий и

инфраструктуры будет способствовать улучшению экономической стабильности и качества жизни граждан страны.

### **Литература**

1. Рязанцева, М.В. Стратегическое управление геодезической организацией в условиях реформирования отрасли. Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества / М.В. Рязанцеват – Москва: Научно-информационное издательство центр «Институт стратегических исследований», 2012. – 192 с.
2. Вервейко, А.П. Землеустройство с основами геодезии / А.П. Вервейко – Москва: Недра, 1988. – 262 с.

## ОСОБЕННОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАСТОЛЬНОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**Прудников Максим Константинович**, ассистент,  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** В статье описаны причины отказа от десктопных приложений в пользу веб-приложений. Описана возможность выполнения портирования создаваемых приложений в аналогичное веб-приложение.*

***Ключевые слова:** геодезическое программное обеспечение, портирование десктопных приложений, портирование в веб-приложение.*

Современная геодезия является одной из важнейших фундаментальных наук, которую изучало человечество. Она достигла глобальных высот и, не останавливаясь, продолжает расти в своём совершенствовании.

Наряду с традиционной геодезией, развиваются и технологии, позволяющие обрабатывать геодезические данные посредством вычислительных машин. В настоящее время камеральные работы выполняются с помощью компьютеров, а потому потребность в современном геодезическом программном обеспечении все возрастает.

Наиболее распространенным программным обеспечением, используемым геодезистами на данный момент, являются продукты компании Trimble business center, CREDO Dialogue, Leica Geo office, Topcon Tools.

Все они являются настольными, что означает, что использование их возможно только с помощью запуска приложения на персональном компьютере, однако такой подход имеет ряд отрицательных последствий:

### **1. Сложность в установке и версионировании.**

Пользователю необходимо правильно установить продукт, а также следить за актуальностью используемого программного обеспечения и постоянно его обновлять вручную. Несмотря на то, что чаще всего процесс автоматизирован – все равно это занимает время пользователей и ресурсы устройств. Более того, для каждого компьютера этот процесс нужно повторять отдельно. В компании, где много рабочих мест, это может занять достаточно много времени.

### **2. Зависимость от операционной системы.**

Десктопное приложение зависит от операционной системы, процессора, видеокарты, ряда других параметров. Разработчику приходится учитывать нюансы каждой среды, писать код с учетом возможных вариантов, а пользователь рискует не иметь возможности пользоваться продуктом из-за отсутствия нужной операционной системы.

### **3. Необходимость учета работы на слабых компьютерах.**

Последний основной недостаток разработки десктопных приложений в том, что программа использует ресурсы компьютера для работы. Этих ресурсов часто может попросту не хватать для корректной работы программы, что заставляет разработчика большое время тратить не на улучшение качества продукта, а на оптимизацию его для слабых компьютеров.

Все вышеперечисленные недостатки в современном мире решают веб-приложения.

Под веб-приложением подразумевается клиент-серверное приложение, в котором клиент взаимодействует с веб-сервером при помощи браузера.

Приложение устанавливается единожды на удаленный сервер, взаимодействие с которым выполняется пользователем через браузер.

Веб-приложение не требует установки, все обновления происходят на сервере, доставляются пользователям сразу – достаточно просто перезагрузить страницу. Приложение публикуется на локальном или облачном сервере, там же происходит процесс обновления. Так как продукт находится удаленно на сервере, он доступен из любой точки мира, с любого устройства. Главное преимущество веб-приложения в том, что вся вычислительная

нагрузка приходится на сервер и работа приложения не зависит от ресурсов пользовательского компьютера.

Несмотря на вышеперечисленное, остается проблема портирования. Портирование означает адаптацию некоторой программы или её части, проводимую с целью, чтобы программа работала в другой, отличающейся от той среды, под которую она была изначально разработана с максимальным сохранением её пользовательских свойств.

Наиболее распространенным инструментом для разработки настольных геодезических приложений является Qt Creator. Он позволяет создавать настольные приложения на языке C++.

Однако браузер понимает только один язык – JavaScript, поэтому для того, чтобы разместить созданное приложение в интернет, придется полностью переписать приложение на этот язык, что является очень трудоемкой работой и даже не всегда возможной.

Одной из новейших возможностей Qt Creator стала возможность сборки проекта в Web Assembly.

WebAssembly – язык программирования низкого уровня, спроектированный как портативная цель компиляции для высокоуровневых языков, одним из которых является и C++.

Браузер способен воспроизводить WebAssembly а также использовать его как ресурс, что означает фактическую возможность портирования приложения, созданного в Qt Creator в веб.

Emscripten – это компилятор LLVM в JavaScript с открытым исходным кодом.

В результате выполнения данной команды, в директории выполнения можно будет найти четыре необходимых файла:

- а) Maps.html – файл, содержащий разметку;
- б) Maps.js – набор сервисных инструкций;
- в) qtLoader.js – набор инструкций для компиляции из Qt;
- г) Maps.wasm – файл, содержащий wasm байт-код.

Также в директории содержится необязательный файл загрузки qtlogo.html. Он будет использоваться, пока сайт будет загружаться в кеш компьютера.

На данном этапе портирование приложения закончено, полученные файлы можно размещать в качестве веб ресурса и использовать по назначению.

## ПОСТРОЕНИЕ ПЛОТНОГО ОБЛАКА ТОЧЕК ПО ДАННЫМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ПРОИЗВОЛЬНОГО МАСШТАБА

**Мацевич Ксения Александровна**, ст. преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** В 2021 году Борисовским райисполком было принято решение о реконструкции объекта историко-культурного наследия Республики Беларусь – водонапорной башни гиперболической формы, построенной по проекту выдающегося советского инженера В. Г. Шухова. Так как состояние башни требовало полного капитального ремонта, для разработки проекта реконструкции потребовалось создание подробной трёхмерной цифровой модели водонапорной башни и близлежащей к ней местности. Для получения цифровой модели были выбраны два наиболее подходящих метода съёмки ситуации: наземное лазерное сканирование и фотограмметрическая съёмка. При обработке полученных облаков точек в специализированном программном продукте возникла проблема с масштабированием фотограмметрической модели в случае нестабильного соединения GPS-системы со спутниками на используемом для фотограмметрической съёмки оборудовании. В данной статье описан способ приведения фотограмметрической модели произвольного масштаба к единому с наземным лазерным сканированием масштабу для дальнейшего построения общего плотного облака точек, пригодного для проектировочных работ.*

***Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование; облако точек; фотограмметрическая съёмка; фотограмметрическая модель.*

На правом берегу города Борисова в Минской области, в далёком 1927 году была возведена водонапорная башня гиперболоидной формы, получившая название “Шуховская башня” (рис.1). Водонапорная башня была построена по проекту известного



российского инженера Владимира Шухова. Таких уникальных гиперболоидных построек из двухсот возведённых во всём мире осталось всего одиннадцать, две из которых сохранились на территории Беларуси до наших дней. Ещё одна башня находится недалеко от железнодорожной станции “Коханово”, в деревне Звеньячи Толочинского района Витебской области.



Рис. 1. Общий вид Шуховской башни в г. Борисов, Минская область

Основной задачей Шуховской башни было снабжение водой проходящих через город Борисов паровозов. Довоенным составам требовалось достаточно много воды, поэтому подобные башни строились по всему пути следования. Возводить кирпичные вышки было долго и дорого, и тогда выдающийся советский инженер и изобретатель Владимир Шухов нашёл решение: заменить их гиперболоидными металлическими конструкциями. Оригинальность мысли заключалась в том, что криволинейная фигура выполнялась

исключительно из скреплённых заклёпками прямолинейных металлических деталей, что позволяло экономить строительный материал, не теряя прочности всей конструкции [1, с.42–43].

В 2011 году водонапорная башня в Борисове была взята под охрану и включена в государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь. Так как Шуховская башня требовала капитального ремонта всех её частей, начиная от подвального помещения и фундамента, заканчивая деревянным куполом со смотровой площадкой, в 2021 году Борисовским райисполкомом было принято решение о создании проекта её реконструкции. В качестве исполнителя предпроектных инженерно-изыскательских работ выступила компания ЧТУП “Главтелеком”, специализирующаяся на внедрении BIM-технологий в строительство. Для выполнения поставленной перед подрядчиком задачи – создании трёхмерной модели для подробной визуализации водонепроницаемой башни и близлежащей к ней территории, – были выбраны два наиболее подходящих метода съёмки ситуации: наземное лазерное сканирование (НЛС) и фотограмметрическая съёмка.

При выполнении НЛС применялся наземный лазерный сканер Faro Focus s70. Радиус действия данного прибора – 70 метров, скорость сканирования – один миллион точек в секунду, максимальное разрешение – 40960x17068 точек, точность сканирования – до 1 мм на весь радиус действия. Фотограмметрические работы выполнялись с использованием дрона DJI Mavic Air. На дроне установлена камера модели FC2103 с разрешением 4056x2280 пикселей на дюйм.

Сканирование объекта производилось в цветном режиме, с расстоянием до 30 метров от объекта, с заданным разрешением 10240x4267 точек. Так как вблизи объекта много различной геометрии и заказчик не требовал привязку модели к определенной системе координат, было достаточно сканирования без применения дополнительных средств – шахматок и сфер. Точки стояния прибора располагались на небольших расстояниях друг от друга, так как из-за соображения безопасности сканирование внутри объекта не производилось, но было необходимо тщательно отсканировать все внутренние элементы несущей конструкции. Обычно на объектах таких размеров и форм выполняют до 5–8 сканов. В общей

сложности при сканировании Шуховской башни было получено 16 сканов, но даже такое их количество не позволило с достаточной плотностью отсканировать её куполообразную крышу из-за высоты.

Для съёмки крыши применили фотограмметрический способ. Так как объект небольших размеров и требовалась только внутренняя сходимость, было принято решение не использовать опорные пункты, а сделать большое количество фотографий с разных ракурсов. Съёмка велась с высоты менее 50 метров и на расстоянии 10 метров от крыши башни. Всего было получено 85 фотографий. Все фотографии были успешно импортированы в Agisoft Metashape Professional. После импорта фотографий выполнялось выравнивание фотографий и создание разреженного облака точек (ОТ), а затем плотного облака точек (рис.2, а). Полученное ОТ экспортировалось в формат \*.las для дальнейшего импорта в программу Faro Scene и объединения с ОТ, полученного путём сшивки сканов наземного лазерного сканирования.

Сшивка сканов НЛС производилась в программе Faro Scene. Все сканы после импорта прошли процедуру процессинга, во время которой со сканов удаляются некоторые шумы и чёрные точки, а также восстанавливается цвет всех имеющихся точек. Благодаря большому количеству различной геометрии на объекте такой, как дома и заборы, а также сама Шуховская башня, сшивка проходила полностью в автоматическом режиме. Средняя погрешность сшивки получилась менее 4 мм. После сшивки запускался модуль очистки двигающихся объектов, чтобы убрать прошедших мимо людей и проезжавшие машины. Затем выполнялось прореживание дублирующихся точек и создание облака точек проекта (рис.2, б).



Рис. 2. Результат создания облаков точек  
 а) – фотограмметрическое облако точек,  
 б) – облако точек наземного лазерного сканирования

После этого всё было готово к объединению НЛС с фотограмметрией. Для этого в Scene создали два кластера. В один поместили ОТ со сканера, в другой - фотограмметрию. На облаках точек в каждом кластере назначались шесть одинаковых точек, пять из которых назывались одинаково ( $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ ) в обоих кластерах, а шестые по-разному – для проверки качества сшивки. По результатам объединения двух ОТ стало понятно, что фотограмметрическая модель получилась произвольного масштаба. По повторному анализу исходных данных в Agisoft Metashape стало понятно, что во время съёмки с дрона связь GPS (Global Positioning System) со спутниками прерывалась, что повлияло на масштаб модели.

Для приведения фотограмметрической модели к единому с НЛС масштабу измерили расстояние между двумя противоположными сторонами купола башни на обоих облаках точек, нашли отношение расстояний друг к другу и вывели коэффициент масштаба. Затем с помощью инструмента масштабирования в Agisoft Metashape отредактировали масштаб полученного ранее фотограмметрического облака точек, умножив на полученный в предыдущем этапе коэффициент.

Затем вновь экспортировали в Scene и повторили процедуру с шестью точками. На сей раз совпадение фотограмметрической модели с НЛС было достаточно велико, чтобы считать полученное общее плотное облако точек (рис.3) готовым к передаче заказчику и разработке проекта реконструкции Шуховской башни.



Рис.3. Общее плотное облако точек Шуховской водонапорной башни г. Борисова

### Литература

1. Металлические конструкции академика В. Г. Шухова / отв. Ред. В. П. Мишин; АН СССР, Ин-т истории естествознания и техники, Комис. по увековечиванию памяти В. Г. Шухова. – М.: Наука, 1990. – 106 с.

**СЕКЦИЯ  
«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

## ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЯДОВ ФУРЬЕ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

**Акимов Валерий Алексеевич**, к.ф.-м.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь  
vm3\_ftk@bntu.by

**Аннотация:** *Создание соответствующих третьему тысячелетию технологий невозможно без привлечения более современных идей и новейших математических достижений. В этой связи очевидна актуальность предлагаемого ниже нового математического метода разложения кусочно-гладких функций в ряд Фурье. Этот метод основан на применении специально разработанного класса дифференциальных операторов бесконечно высокого порядка.*

**Ключевые слова:** *ряды Фурье; операторный метод; операторный метод определения коэффициентов рядов Фурье.*

Аппроксимация функций тригонометрическими полиномами имеет большое научное и прикладное значение. Этой тематикой в XIX и XX столетиях занимались многие известные ученые всего мира. А сама тема, названная рядами Фурье, вошла в курс высшей математики и изучается студентами естественных факультетов высших учебных заведений. Вкратце напомним основные положения классической теории [1,2]

Периодичную функцию  $f(x)$  с периодом  $T = 2l$ , удовлетворяющую условиям Дирихле, можно разложить в ряд Фурье на отрезке  $[-l, l]$ :

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x), \text{ где } \delta_n = \frac{\pi n}{l},$$

$$a_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos(\delta_n x) dx, \quad n = 0, 1, 2, \dots; \\ b_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \delta_n x dx, \quad n = 1, 2, \dots; \quad (1)$$

Числа  $a_n, b_n$ , определяемые по формулам (1) называются коэффициентами Фурье функции  $f(x)$ , а тригонометрический ряд, коэффициентами которого являются эти числа, называется рядом Фурье этой функции. Частные случаи:

если  $f(x)$  – четная функция, то  $b_n = 0; a_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos(\delta_n x) dx$ ,  
 $n = 0, 1, 2, \dots$ ;

если  $f(x)$  – нечетная функция, то  $a_n = 0, b_n = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \sin \delta_n x dx$ ,  
 $n = 0, 1, 2, \dots$ .

Фактически представляется возможным разложить только по косинусам или синусам функцию, заданную на отрезке  $[0, l]$  и продолженную четным или нечетным способом на отрезок  $[-l, 0]$ . В точке разрыва первого рода ряд Фурье функции сходится к значению  $f(x) = 0,5[f(x+0) + f(x-0)]$ .

Рассмотрим оператор  $T_l = \frac{f(x+l) + f(x-l)}{2}$ .

Используя альтернативную запись формулы Тейлора  $f(x+l) = e^{ld_x} f(x)$ , где  $d_x = \frac{d}{dx}$  можно  $T_l$  представить в виде символического оператора дифференцирования бесконечного высокого порядка  $T_l = sh(ld_x)$ , (2)

имеющим геометрический смысл сдвига числовой оси на величину  $l$ .



Установим два необходимых для дальнейших выкладок свойства оператора  $T_l$  по отношению к основному  $\{\sin \delta_n x, \cos \delta_n x\}_{n=0}^{\infty}$  и производному  $\{x \sin \delta_n x, x \cos \delta_n x\}_{n=0}^{\infty}$  классам функций, где  $\delta_n = \frac{\pi n}{l}$ . (3)

Используя известные тригонометрические формулы  $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$   
 $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ , а также формулу сдвига числовой оси  $e^{ldx} f(x) = f(x+l)$ , определяем:

$$T_l[\sin \delta_n x] = \frac{1}{2}[\sin \delta_n(x+l) - \sin \delta_n(x-l)] = \cos \delta_n x \sin \pi n = 0,$$

$$T_l[\cos \delta_n x] = \frac{1}{2}[\cos \delta_n(x+il) - \cos \delta_n(x-il)] = \sin \delta_n x \sin \pi n = 0 \quad (4)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} T_l[x \sin \delta_n x] &= \frac{1}{2}[(x+l) \sin \delta_n x - (x-l) \sin \delta_n(x-l)] = \\ &= x \sin \pi n \cos \delta_n x + l \cos \pi n \sin \delta_n x = (-1)^n l \sin \delta_n x \\ T_l[x \cos \delta_n x] &= (-1)^n l \cos \delta_n x \end{aligned} \quad (5)$$

Кроме  $T_l$  введем оператор  $V_n[f(x)] = \frac{f(x)}{1+d_x^2/\delta_n^2}$  (6)

Общее решение операторного уравнения (3.6) можно представить в виде суммы, соответственно, частного и однородного решений

$$V_n[f(x)] = g_1(x) + g_2(x).$$

На основании [3] имеем:

$$g_1(x) = \frac{1}{\delta_n} \sin \delta_n x \int f(x) \cos \delta_n x dx - \frac{1}{\delta_n} \cos \delta_n x \int f(x) \sin \delta_n x dx,$$

$$g_2(x) = c_1 \sin \delta_n x + c_2 \cos \delta_n x, \quad (7)$$

$$\text{причем} \quad V_n^{-1}[g_1(x)] = f(x), \quad V_n^{-1}[g_2(x)] = 0. \quad (8)$$

Если функция  $f(x)$  принадлежит классу (3.3), то решение частного уравнения проще искать в виде  $g_1(x) = A \sin \delta_m x + B \cos \delta_m x$   $g_1(x)$ , когда  $m = n$ .

Исходя из представления  $V_n^{-1} = 1 + d_x^2 / \delta_n^2$ , после подстановки  $g_1(x)$  в (8) и приравнявая коэффициентов при одинаковых тригонометрических функциях справа и слева, получим:

$$V_n[\sin \delta_m x] = \begin{cases} -\frac{\delta_n \cos \delta_n x}{2} & , \text{ при } m=n \\ \frac{\sin \delta_m x}{1 - \delta_m^2 / \delta_n^2} & , \text{ при } m \neq n \end{cases}$$

$$V_n[\cos \delta_m x] = \begin{cases} -\frac{\delta_n \cos \delta_n x}{2} & , \text{ при } m=n \\ \frac{\sin \delta_m x}{1 - \delta_m^2 / \delta_n^2} & , \text{ при } m \neq n \end{cases} \quad (9)$$

Теперь введем операторы  $D_0 = \frac{T_l}{ld_x} = \frac{sh(ld_x)}{ldx}$ ,

$$D_1 = T_l V_n = \frac{sh(ld_x)}{1 + d_x^2 / \delta_n^2}, \quad D_2 = ld_x D_1 = \frac{ld_x sh(ld_x)}{1 + d_x^2 / \delta_n^2}, \quad \text{где} \quad d_x = \frac{d}{dx},$$

$$\delta_n = \frac{\pi n}{l}, \quad l - \text{половина длины отрезка } [-l, l].$$

Используя дополнительные соотношения

$$\frac{\cos \delta_n x}{ld_x} = \frac{\sin \delta_n x}{l \delta_n} + const \quad \frac{\sin \delta_n x}{ld_x} = \frac{\cos \delta_n x}{l \delta_n} + const, \quad (10)$$

а также учитывая выражения (4), (5) и (9), на основе принципа суперпозиций устанавливаем свойства этих операторов в классе функций  $\{\sin \delta_n x; \cos \delta_n x\}_{n=0}^{\infty}$ .

$$1. D_0 = \frac{shld_x}{ld_x}; D_0[\sin \delta_m x] = 0, D_0[\cos \delta_m x] = 0, D_0[C] = C \quad (11)$$

$$2. D_1 = \frac{shld_x}{1 + d_x^2 / \delta_n^2}; D_1[C] = 0.$$

$$D_1[\sin \delta_m x] = \begin{cases} \frac{(-1)^{n+1} l \delta_n}{2} \cos \delta_n x & \text{при } m \neq n \\ 0 & \text{при } m = n \end{cases} \quad (12)$$

$$D_1[\cos \delta_m x] = \begin{cases} \frac{(-1)^n l \delta_n}{2} \sin \delta_n x & \text{при } m \neq n \\ 0 & \text{при } m = n \end{cases}$$

$$3. D_2 = \frac{ld_x shld_x}{1 + d_x^2 / \delta_n^2}; D_2[C] = 0.$$

$$D_1[\sin \delta_m x] = \begin{cases} \frac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2} \sin \delta_n x & \text{при } m \neq n \\ 0 & \text{при } m = n \end{cases} \quad (13)$$

$$D_2[\cos \delta_m x] = \begin{cases} \frac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2} \cos \delta_n x & \text{при } m \neq n \\ 0 & \text{при } m = n \end{cases}$$

Выше  $C$  – произвольная постоянная, а  $m, n=0,1,2,3$  – числа натурального ряда.

Рассмотрим конкретные примеры нахождения коэффициентов рядов Фурье операторным методом.

1. Пусть  $x^{2r+1} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \delta_n x$ ,  $r=1,1,2, \dots$ ,  $\delta_n = \frac{\pi n}{l}$ .

Произведем над обеими частями записанного ряда операцию  $D_1$ . Непосредственно устанавливаем:

$$V_n [x^{2r+1}] = \left(1 - \frac{d_x^2}{\delta_n^2} + \frac{d_x^4}{\delta_n^4} - \frac{d_x^6}{\delta_n^6} + \dots\right) [x^{2r+1}] = x^{2r+1} - \frac{(2r+1)2rx^{2r-1}}{\delta_n^2} +$$

$$+ \frac{(2r+1)2r(2r-1)(2r-2)}{\delta_n^4} x^{2r-3} + \dots + (-1)^r \frac{(2r+1)!}{\delta_n^{2r}} x,$$

где  $V_n = \frac{1}{1 + d_x^2 / \delta_n^2}$ .

Кроме того  $sh(ld_x) = ld + \frac{l^3 d_x^3}{3!} + \dots + \frac{l^{2r+1} d_x^{2r+1}}{(2r+1)!} + \dots$

В результате получим:

$$D_1 [x^{2r+1}] = l^{2r+1} - \frac{(2r+1)2r}{\delta_n^2} l^{2r-1} + \frac{(2r+1)2r(2r-1)(2r-2)}{\delta_n^4} l^{2r-3} +$$

$$+ \dots + (-1)^r \frac{(2r+1)!}{\delta_n^{2r}} l \quad (14)$$

Выражение в правой части, на основании (4) принимает вид:

$$D_1 \left[ \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \delta_n x \right] \Big|_{x=0} = b_n \frac{(-1)^{n+1} l \delta_n}{2} \quad (15)$$

Приравнявая (8) и (7) между собой, окончательно находим:

$$x^{2r+1} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left[ \frac{l^{2r}}{\delta_n} - \frac{(2r+1)2r}{\delta_n^3} l^{2(r-1)} + \dots + (-1)^r \frac{(2r+1)!}{\delta_n^{2r+1}} \right] \sin \delta_n x \quad (16)$$

Полагая в (8) для определенности  $r=1$  и  $l=\pi$ , получим известную в теории рядов Фурье формулу /1,2/.

$$x^3 = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{(-1)^{n-1} \pi^2}{n} + \frac{(-1)^n 6}{n^3} \right] \sin nx.$$

2. Пусть  $x^{2r} = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \delta_n x$ ,  $r = 0, 1, 2, \dots$ .

По аналогии с примером 1, предварительно определяем:

$$D_0 \left[ x^{2r} \right] \Big|_{x=0} = \frac{l^{2r}}{2r+1}, \quad D_0 \left[ \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \delta_n x \right] = a_0,$$

$$D_2 \left[ x^{2r} \right] \Big|_{x=0} = 2rl^{2r} + \dots + (-1)^{r-1} \frac{(2r)! l^2}{\delta_n^{2r-2}},$$

$$D_2 \left[ \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \delta_n x \right] \Big|_{x=0} = a_n \frac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2}.$$

Окончательно получим:

$$x^{2r} = \frac{l^{2r}}{2r+1} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left[ \frac{2rl^{2r-2}}{\delta_n^2} + \dots + (-1)^{r-1} \frac{(2r)!}{\delta_n^{2r}} \right] \cos \delta_n x \quad (17)$$

Выражение (9) после подстановки в него значений  $r=2$  и  $l=\pi$  принимает вид

$$x^4 = \frac{\pi^4}{5} + 8 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{(-1)^n \pi^2}{n^2} + \frac{(-1)^{n-1} 6}{n^4} \right] \cos nx,$$

что также является хорошо известным результатом. Таким образом, подставляя в (9) и (10) всевозможные значения  $r$  и  $l$ , приходим к разложению четных и нечетных степенных функций в ряды Фурье. Сравнивая полученные результаты с известными можно убедиться в их полном совпадении.

Как известно, любую функцию можно представить в виде суммы ее четной и нечетной составляющих. Поэтому, разложив отдельно четную составляющую исходной функции в ряд Фурье по косинусам, а нечетную - в ряд по синусам, после суммирования получим ее разложение в полный ряд Фурье. Однако, конструкция полученных формул (4), (5) и (6) такова, что их применение позволяет (как и в классическом случае) получить требуемый результат непосредственно без выделения четной и нечетной составляющих функции. Убедимся в справедливости данного высказывания на конкретном примере.

$$3. \exp(ax) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x)$$

Как и в приведенных выше примерах, выпишем последовательно результат операций  $D_0$ ,  $D_1$  и  $D_2$  над правой и левой частями при  $x=0$ . В соответствии с формулами (4), (5) и (6), находим:

$$D_0 [\exp(ax)] \Big|_{x=0} = \frac{shla}{la} \exp(ax) \Big|_{x=0} = \frac{shla}{la},$$

$$D_0 \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x) \right] \Big|_{x=0} = \frac{a_0}{2},$$

$$D_1 [\exp(ax)] \Big|_{x=0} = \frac{shla}{1 + a^2/\delta_n^2} \exp(ax) \Big|_{x=0} = \frac{shla}{1 + a^2/\delta_n^2},$$

$$\begin{aligned}
& D_1 \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x) \right] \Big|_{x=0} = \\
& = \left[ a_n \frac{(-1)^n l \delta_n}{2} \sin \delta_n x + b_n \frac{(-1)^n l \delta_n}{2} \cos \delta_n x \right] \Big|_{x=0} = b_n \frac{(-1)^n l \delta_n}{2}, \\
& D_2 [\exp(ax)] \Big|_{x=0} = \frac{lashla}{1 + a^2 / \delta_n^2},
\end{aligned}$$

$$D_2 \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x) \right] \Big|_{x=0} = a_n \frac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2},$$

Приравнявая выражения слева и справа для каждого оператора, мы в итоге получим:

$$\begin{aligned}
\frac{a_0}{2} &= \frac{shla}{la}, & b_n &= \frac{(-1)^n 2 \delta_n shla}{l(a^2 + \delta_n^2)}, \\
a_n &= \frac{(-1)^n 2ashla}{l(a^2 + \delta_n^2)}.
\end{aligned}$$

Т.е.,

$$\exp(ax) = \frac{shla}{la} + \frac{2shla}{l} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left( \frac{a}{a^2 + \delta_n^2} \cos \delta_n x + \frac{\delta_n}{a^2 + \delta_n^2} \sin \delta_n x \right),$$

что совпадает с классическим разложением, полученным интегральным методом.

При нахождении коэффициентов представления функций  $\sin ax$ ,  $\cos ax$  их тригонометрическим рядом Фурье используются не все три оператора одновременно (как в 3-м примере), а соответственно  $D_1$  или  $D_0$  и  $D_2$  в зависимости от четности или нечетности исходной функции (как показано в 1-м и 2-м примерах). Число примеров, при необходимости, может быть легко продолжено, и во всех случаях мы получим совпадение результатов операторного и классического метода разложения функций в ряд Фурье. В случае удовлетворения

функции условиям Дирихле полученный ряд сходится к ней равномерно на всем отрезке  $[-l, l]$  /1,2/.

Так как в силу выражений (11), (12) и (13) правая часть известна заранее, то для нахождения коэффициентов достаточно найти оператор от функции в левой части при  $x = 0$ , что в некоторых случаях сделать проще, чем вычислить соответствующий интеграл, привлекая математический аппарат теории вычетов функции комплексной переменной.

### Литература

1. Бари Н.К. Тригонометрические ряды. //М.: Физматгиз, – 1961 – 936 с.
2. Зигмунд А. Тригонометрические ряды. // М.: Мир – 1965 – Т1. – 615 с.; Т2. – 537 с.
3. Смирнов В.И. Курс высшей математики. //Т.2 Издание 21-е стереотипное. – М., 1974. – 656 с.



## ОПЕРАТОРНЫЙ СПОСОБ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИЙ В НЕОРТОГОНАЛЬНЫЕ РЯДЫ

**Акимов В.А.**, к.ф.-м.н., доцент

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости 65, г. Минск, Республика Беларусь  
vm3\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** В некоторых случаях решение краевых задач математической физики можно разыскивать в виде разложения в ряд по собственным функциям дифференциального оператора, соответствующего рассматриваемой краевой задаче. Для нахождения коэффициентов этого разложения по системе собственных функций будем использовать операторный метод, который с единых позиций осуществляет требуемое разложение как в ортогональные, так и неортогональные ряды. Для проверки правильности полученного результата привлечем математический аппарат теории вычетов функции комплексной переменной.*

***Ключевые слова:** неортогональные ряды; операторный метод; теория функций комплексной переменной.*

Пусть  $F(a_mx)$  – собственная функция оператора  $d_x^2$ , т.е.

$$d_x^2 [F(a_mx)] = a_m^2 F(a_mx) \quad \text{или} \quad \left(1 - \frac{d_x^2}{a_m^2}\right) F(a_mx) = 0.$$

Тогда

$$\left(1 - \frac{d_x^2}{a_k^2}\right) F(a_mx) = \begin{cases} \left(1 - \frac{a_m^2}{a_k^2}\right) F(a_mx) & \text{если } m \neq k \\ 0 & \text{если } m = k \end{cases}$$

Применим к ряду

$$F(\mu x) = A_0 + \sum_{k=0}^{\infty} A_k F(a_k x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ A_k^u F_u(a_k x) + A_k^h F_h(a_k x) \right]$$

последовательно операции

$$D_0 = \prod_{m=1}^{\infty} \left( 1 - \frac{d_x^2}{a_k^2} \right) = \frac{\varphi(d_x)}{d_x}, \quad D_1 = \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{\infty} \left( 1 - \frac{d_x^2}{a_m^2} \right) = \frac{\varphi(d_x)}{1 - d_x^2/a_k^2},$$

и  $D_2 = d_x D_1$ .

Причем здесь введены обозначения:

$$F_u(a_k x) = \frac{F(a_k x) + F(-a_k x)}{2} - \text{четная часть функции}$$

$$F_h(a_k x) = \frac{F(a_k x) - F(-a_k x)}{2} - \text{нечетная}$$

часть функции

$$\varphi(\mu) = \mu \prod_{m=1}^{\infty} \left( 1 - \frac{\mu^2}{a_k^2} \right).$$

При  $x = 0$  получим:

$$\frac{\varphi(\mu)}{\mu} F(\mu x) \Big|_{x=0} = A_0 \Rightarrow A_0 = \frac{\varphi(\mu) F(0)}{\mu}.$$

С учетом

$$\begin{aligned} \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{\infty} \left( 1 - \frac{d_x^2}{a_m^2} \right) [F(a_k x)] &= \prod_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{\infty} \left( 1 - \frac{a_k^2}{a_m^2} \right) F(a_k x) = \\ &= \left[ \frac{d}{d\mu} \cdot \frac{\varphi(\mu)}{\mu} \right] \Big|_{\mu=a_k} \cdot \left( -\frac{a_k}{2} \right) F(a_k x) = -\frac{1}{2} \varphi'(a_k) F(a_k x), \end{aligned}$$

устанавливаем

$$D_1 \left[ \sum_{k=1}^{\infty} A_k^h F_h(a_k x) \right] = -A_k^h \frac{a_k}{2} \varphi'(a_k) F_u(a_k x)$$

$$D_1[F(\mu x)] = \frac{\varphi(\mu)}{1 - \mu^2/a_k^2} F_q(\mu x).$$

Приравнявая эти выражения при  $x = 0$  и замечая, что

$$\left\{ D_1 \left[ \sum_{k=1}^{\infty} A_k^n F_q(a_k x) \right] \right\} \Big|_{x=0} = 0 \quad \text{находим} \quad \frac{\varphi(\mu)}{1 - \mu^2/a_k^2} = -A_k^n \frac{a_k}{2} \varphi'(a_k)$$

Откуда следует 
$$A_k^n = -\frac{2}{a_k \varphi'(a_k)} \cdot \frac{\varphi(\mu)}{1 - \mu^2/a_k^2}.$$

Аналогично, при помощи оператора  $D_2$  мы определим

$$A_k^q = -\frac{2\mu}{a_k^2 \varphi'(a_k)} \cdot \frac{\varphi(\mu)}{1 - \mu^2/a_k^2}, \quad \text{и в результате получим:}$$

$$F(\mu x) = F(0) \frac{\varphi(\mu)}{\mu} + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\varphi'(a_k)} \frac{\varphi(\mu)}{\mu^2 - a_k^2} \cdot [\mu F_q(a_k x) + a_k F(a_k x)] \quad (1)$$

Полученный результат можно легко проверить. Для этого применим к интегралу  $I_n = \frac{1}{2\pi i} \int_{C_n} \frac{F(xz) dz}{(z - \mu)\varphi(z)}$  обычные правила

теории вычетов в комплексной плоскости, соединяя вместе вычеты, относящиеся к  $\pm a_k$ . Здесь  $\mu$  – некоторое комплексное число, отличное от всех  $a_k$ , а  $x$  – некий вещественный параметр,  $C_n$  – описанный с начала координат плоскости комплексного переменного круг радиуса  $R_n$ , причем  $R_n > |\mu|$  и  $|a_n| < R_n < |a_{n+1}|$ . В результате находим:

$$I_n = \frac{F(\mu x)}{\varphi(\mu)} - 2 \sum_{k=1}^{k=n} \frac{1}{\varphi'(a_k)(\mu^2 - a_k^2)} [\mu F_q(a_k x) + a_k F(a_k x)] - \frac{F(0)}{\mu}.$$

Если при некотором  $x$  имеем в пределе независимо от взятого частного значения  $|\mu| \leq \alpha$ ,  $\lim_{n \rightarrow \infty} I_n = 0$ , что будет, например, всегда

тогда, когда отношение  $\frac{F(xz)}{\varphi(z)}$  при  $|z| \rightarrow \infty$  стремится к нулю

равномерно во всех точках  $C_n$ , то при этом значении  $x$  имеет место равномерно сходящееся (по отношению  $\mu$ ) разложение в ряд (1).

Разложение имеет место и тогда, когда отношение  $\frac{F(xz)}{\varphi(z)}$  стремится в конечном числе точек круга  $C_n$  не к нулю, а к конечному пределу.

Полученный ряд (3.20) можно дифференцировать произвольное число раз по  $\mu$ . Дифференцируя  $m$  раз и полагая  $\mu=0$ , в результате получим:

$$F^{(m)}(0)x^m = F(0) \left[ \frac{d^m \varphi(\mu)}{d\mu^m \mu} \right]_{\mu=0} + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\varphi'(a_k)} \left\{ \left[ \frac{d^m \mu \varphi(\mu)}{d\mu^m \mu^2 - a_k^2} \right]_{\mu=0} \cdot F_q(a_k x) + \right. \\ \left. + a_k \left[ \frac{d^m \varphi(\mu)}{d\mu^m \mu} \right]_{\mu=0} \cdot F(a_k x) \right\} \quad (2)$$

Полагая  $F^{(m)}(0) \neq 0$ , получим разложение  $x^m$  в ряд требуемого вида. Пользуясь очевидным соотношением

$$\frac{1}{m!} \left( \frac{d^m \mu \varphi(\mu)}{d\mu^m \mu^2 - a_k^2} \right)_{\mu=0} = \frac{1}{(m-1)!} \left( \frac{d^{m-1} \varphi(\mu)}{d\mu^{m-1} \mu^2 - a_k^2} \right)_{\mu=0}$$

и тем, что все четные производные от  $\frac{\varphi(\mu)}{\mu^2 - a_k^2}$  равны нулю при  $\mu=0$ , найдем из (2):

$$x^{2r} = \alpha_0 \frac{U_{2r+1}}{\alpha_{2r}} - \frac{2}{\alpha_{2r}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{F_u(a_k x)}{a_k^2 \varphi'(a_k)} \gamma^{(r-1)} \quad (3)$$

$$x^{2r+1} = -\frac{2}{\alpha_{2r+1}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{F_u(a_k x)}{a_k^2 \varphi'(a_k)} \gamma_k^{(r)} \quad (4)$$

Причем введено обозначение  $\gamma_k^{(r)} = \frac{1}{(2r+1)!} \left[ \frac{d^{2r+1}}{d\mu^{2r+1}} \frac{\varphi(\mu)}{1 - \mu^2/a_k^2} \right]_{\mu=0}$

Нетрудно убедиться в том, что заменив разлагаемую в ряд функцию  $F(\mu x)$  на функцию  $x^m$  и используя введенные выше операторы  $D_0$ ,  $D_1$  и  $D_2$ , можно непосредственно получить формулы (3) и (4) операторным методом. Отметим также, что ряды для четных степеней  $x^{2r}$  содержат только четные функции  $F_u$ , а для нечетных – только нечетные  $F_n$ .

## Литература

1. Акимов В.А. Операторный метод решения задач теории упругости: //Монография/–Мн.: УП «Технопринт», 2003.–101 с.

## НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕТОНА В ОКРЕСТНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПУСТОТЫ, ПОДВЕРГНУТОЙ ВНУТРЕННЕМУ ДАВЛЕНИЮ

**Вербицкая Ольга Леонидовна**, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

***Аннотация:** Рассмотрена задача определения напряженного состояния теплоизоляционного материала в окрестности цилиндрической пустоты с внутренним давлением. Построена модель, содержащая вложенные друг в друга два цилиндра, один из которых моделирует ячейку с избыточным давлением, а второй – теплоизоляционный материал, окружающий эту ячейку. Получены выражения для радиального и тангенциального напряжений в цилиндрическом теле. Эквивалентное напряжение определяется согласно теории прочности Максвелла-Мора. Рассмотрен пример и определены эквивалентные напряжения в окрестности цилиндрической пустоты при различных ее диаметрах.*

***Ключевые слова:** напряженное состояние, цилиндрическая пустота, пора, эквивалентное напряжение*

Рассматривается задача определения напряженного состояния материала в окрестности цилиндрической пустоты с внутренним давлением. Такие пустоты имеются в большинстве теплоизоляционных материалах – керамзит, пустотный кирпич, пенобетон и др. Эта задача имеет практическое значение и появляется в случае замерзания воды, заполняющей пору. При понижении температуры ниже нуля вода внутри пустот замерзает и, образованный при этом лед, расширяется, оказывая внутреннее давление на материал, окружающий стенку такой пустоты. При определенных условиях это может привести к разрушению теплоизоляционного материала.

Для определения напряженного состояния теплоизоляционного материала в окрестности цилиндрической пустоты с внутренним

давлением выделим элементарный объем материала, содержащий одну ячейку круглой цилиндрической формы. Для расчета построим модель, содержащую вложенные друг в друга два цилиндра (рис. 1). Внутренний цилиндр моделирует ячейку с избыточным давлением, а внешний – теплоизоляционный материал, окружающий эту ячейку.

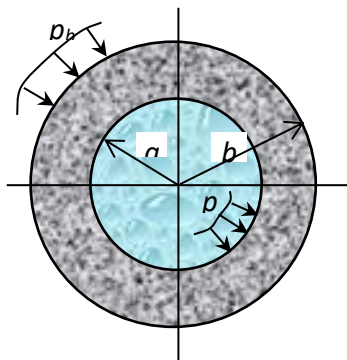


Рис. 1 – Моделирование ячейки с избыточным давлением

Для определения напряженного состояния полого цилиндра, испытывающего равномерное давление на внутреннюю  $p_a$  и на внешнюю  $p_b$  поверхности, использовано дифференциальное уравнение [1].

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0, \quad (1)$$

где  $u$  – радиальное перемещение точек полого цилиндра;

$r$  – радиальная координата текущей точки.

Общий интеграл дифференциального уравнения (1) имеет вид [2]

$$u = Ar + \frac{B}{r}. \quad (2)$$

Коэффициенты  $A$  и  $B$  вычисляются выражениями (3) и (4), полученными из условий на поверхности полого цилиндра

$$A = \frac{p_a a^2 - p_b b^2}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1 - \nu}{E}; \quad (3)$$

$$B = \frac{(p_a - p_b) a^2 b^2}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1 + \nu}{E}. \quad (4)$$

Используя физические уравнения и коэффициенты  $A$  и  $B$ , в теории упругости получены выражения для радиального и тангенциального напряжений (5) и (6) в цилиндрическом теле [1], [2].

$$\sigma_\theta = \frac{p_a a^2 - p_b b^2}{b^2 - a^2} + \frac{(p_a - p_b) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2}; \quad (5)$$

$$\sigma_r = \frac{p_a a^2 - p_b b^2}{b^2 - a^2} - \frac{(p_a - p_b) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2}. \quad (6)$$

где  $p_a$  – равномерное давление на внутреннюю поверхность цилиндра;

$a$  – радиус внутренней поверхности цилиндра, то есть пустоты;

$p_b$  – равномерное давление на наружную поверхность цилиндра;

$b$  – радиус внешней поверхности цилиндра.

Учитывая, что в материале, окружающем ячейку, появляются только радиальные и тангенциальные нормальные напряжения, а касательные напряжения и нормальные напряжения в перпендикулярном к плоскости среза направлении отсутствуют, эквивалентное напряжение в этом случае определяется согласно теории прочности Максвелла-Мора выражением (7).

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - K \sigma_3 \leq \sigma_{red}, \quad (7)$$

где  $\sigma_1, \sigma_3$  – главные напряжения, соответственно, равные

$\sigma_1 = \sigma_\theta$  и  $\sigma_3 = \sigma_r$ ;  $K = \frac{\sigma_{op}}{\sigma_{oc}}$  – коэффициент, равный отношению



опасного напряжения на растяжение  $\sigma_{op}$  к опасному напряжению на сжатие  $\sigma_{oc}; \sigma_{red}$  – предельное напряжение для материала. Эквивалентное напряжение (7) является скаляром и не зависит от направления. Поэтому здесь справедлив принцип суперпозиций, то есть можно суммировать эквивалентные напряжения, вызванные давлением в различных ячейках, учитывая только их удаленность от расчетной точки.

**Рассмотрим пример.** Исследуем напряженное состояние материала в окрестности цилиндрической пустоты, испытывающей внутреннее давление  $P_a = 45$  МПа и внешнее давление  $P_b = 0$ . Принимаем радиусе активной области, окружающей ячейку  $b = 1000$  мм и отношение пределов прочности на растяжение и на сжатие  $K = 0,3$  В таблице 1 приведены значения эквивалентных напряжений в окрестности цилиндрической пустоты при разных ее размерах.

Таблица 1. Эквивалентные напряжения в окрестности цилиндрической пустоты при различных ее диаметрах

r, см	Эквивалентные напряжения, $\sigma_{eq}$ , МПа		
	D=2, см	D=4, см	D=6, см
1	58,50	–	–
2	14,63	58,50	–
3	6,50	26,00	58,50
4	3,66	14,66	32,91
5	2,34	9,36	21,06
6	1,63	6,50	14,63
7	1,19	4,78	10,75
8	0,91	3,66	8,23

## Выводы

При увеличении диаметра пустоты эквивалентные напряжения на ее границе превышают предельное значение напряжения и не изменяются по мере увеличения диаметра поры. С увеличением расстояния от поры до расчетной точки эквивалентное напряжение быстро уменьшается. При большом диаметре поры эквивалентное напряжение затухает гораздо медленнее, чем при малом диаметре.

## Литература

1. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – М.: Высшая школа. – 1961. – 539 с.
2. Биргер, И.А. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах. Т.1 / И.А. Биргер, Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение. – 1968. – 832 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗЕМНОЙ КОРЕ С УЧЕТОМ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА

**Воронова Н.П.**, доцент, к.т.н., профессор

Герасименко П.В., магистрант

Белорусский национальный технический университет

пр-т Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

***Аннотация:** Решены две краевые задачи для уравнения теплопроводности с граничными условиями первого и второго рода для исследования изменения температур в недрах Земли при наличии водоносных пластов. Получены данные для реального водоносного горизонта, залегающего от 400 м до 450 м. Проанализирован удельный тепловой поток при заданной фильтрации по высоте водоносного горизонта. Для решения поставленной задачи применен аналитический метод решения, позволяющий с достаточной степенью точности применять полученные результаты на практике, в частности при исследовании пород в недрах Земли для проведения горных работ.*

***Ключевые слова:** тепломассоперенос, водоносные пласты, краевые задачи, теплопроводность, тепловой поток.*

Решение многих практических задач горного производства связано с изучением процессов тепломассопереноса в недрах Земли, особенно при наличии водоносных пластов [1]. Исследуем изменение температуры  $T(K)$  по толщине слоя почвы от  $h_1(м)$  до  $h_2(м)$  при наличии водоносного пласта. Можно пренебречь теплообменом в горизонтальной плоскости и считать температуру жидкости равной температуре породы в водоносном пласте. Тогда процесс с учетом конвекции описывается краевой задачей для уравнения теплопроводности вида [2]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{v}{a} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

$$T = T_1 \text{ при } x = h_1, \quad (2)$$

$$q = \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \text{ при } x = h_2, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость фильтрации воды по оси  $x$ ,  $м/с$ ;  $a$  – температуропроводность породы,  $м^2/с$ ;  $q$  – удельный тепловой поток,  $Вт/м^2$ ;  $\lambda$  – теплопроводность породы,  $Вт/(м \cdot К)$ .

Решение уравнения (1) при граничных условиях (2)–(3) имеет вид [3]:

$$T = A + B e^{\frac{v}{a} x}, \quad (4)$$

где постоянные  $A$  и  $B$  определяются по формулам

$$A = T - \frac{q \cdot a}{\lambda \cdot v} \cdot e^{\frac{v}{a}(h_1 - h_2)}, \quad (5)$$

$$B = \frac{q \cdot a}{\lambda \cdot v} \cdot e^{-\frac{v}{a} h_2}. \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в формулу (4), получим

$$T = T_1 + \frac{q \cdot a}{\lambda \cdot v} \cdot \left( e^{\frac{v}{a}(x - h_2)} - e^{\frac{v}{a}(h_1 - h_2)} \right). \quad (7)$$

Если водоносный пласт располагается от  $h_1 = 400 м$  до  $h_2 = 450 м$ , скорость фильтрации в вертикальном направлении  $v = 10^{-3} м/с$ , теплопроводность пород и удельная теплоемкость соответственно равны  $\lambda = 2 Вт/(м \cdot К)$  и  $c = 0,5 \cdot 10^3 Дж/(кг \cdot К)$ , плотность водонасыщенных пород  $\rho = 2 \cdot 10^3 кг/м^3$ , температура на глубине  $h_1$

равна  $T_1 = 200$  К, геотермический удельный поток на глубине  $h_2$  равен  $q = 4 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>, определим изменение температуры в диапазоне толщины водоносного пласта.

Для этого вычислим значения температуры в точках  $x_1 = 410$  м,  $x_2 = 420$  м,  $x_3 = 430$  м,  $x_4 = 440$  м,  $x_5 = 450$  м по формуле (7).

Коэффициент температуропроводности

$$a = \frac{\lambda}{c\rho} = \frac{2}{0,5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2/\text{с)}.$$

$$T_{410} = 200 + \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{10^{-3}}{e^{2 \cdot 10^{-6}(410-450)}} - \frac{10^{-3}}{e^{2 \cdot 10^{-6}(400-450)}} \right) \approx 200 \text{ К}.$$

$$T_{420} \approx T_{430} \approx T_{440} \approx T_{450} \approx 200 \text{ К}.$$

При такой постановке задачи изменения температуры по толщине водоносного пласта незначительные. Если изменить граничные условия в виде граничных условий первого рода [4]:

$$T|_{x=h_1} = T_1, \quad T|_{x=h_2} = T_2, \quad (8)$$

То подставляя (8) в общее решение уравнения (1) получим

$$T = T_1 - \frac{(T_2 - T_1) \left( e^{\frac{v}{a} h_1} - e^{\frac{v}{a} x} \right)}{e^{\frac{v}{a} h_2} - e^{\frac{v}{a} h_1}}. \quad (9)$$

Удельный тепловой поток при фильтрации по высоте водоносного горизонта можно вычислить по формуле

$$q = \frac{\lambda \nu (T_2 - T_1) e^{\frac{\nu}{a} x}}{a \left( e^{\frac{\nu}{a} h_2} - e^{\frac{\nu}{a} h_1} \right)}. \quad (10)$$

В результате при заданной постановке задачи и  $T_2 = 202 \text{ K}$  температура при  $x = 425 \text{ м}$  по формуле (9) равна

$$T_{425} = 200 - \frac{(202 - 200) \left( e^{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 400} - e^{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 425} \right)}{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 450 - e^{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 400}} \approx 200,29 \text{ (K)}.$$

Величина теплового потока вычисляется по формуле (10)

$$q = \frac{2 \cdot 10^{-3} e^{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 425} (202 - 200)}{2 \cdot 10^{-6} \left( e^{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 450} - e^{\frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 400} \right)} \approx 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ (Вт/м}^2\text{)}.$$

### Литература

1. Шувалов Ю.В., Гендлер С.Т. Моделирование тепловых процессов. – Л.: ЛГИ, 1981.
2. Воронова, Н.П. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств: монография / Н.П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2009 – 260 с.
3. Воронова, Н.П. Математическое моделирование энергосберегающих технологий нагрева, сушки и термообработки: монография / Н.П. Воронова. – Мн.: БНТУ, 2006. – 86 с.
4. Воронова, Н.П. Выбор определяющих критериев при моделировании процессов тепломассопереноса / Н.П. Воронова, Н.И. Березовский // Прикладные задачи математики и механики: материалы XIII Международной конференции – Севастополь, 2005. – С. 168-170.

## МЕТОД АССОЦИАЦИЙ. ПРИМЕРЫ ТИПОВ АССОЦИАЦИЙ В ШКОЛЬНОЙ И ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКЕ

Гундина Мария Анатольевна<sup>1)</sup>, Юхновская Ольга Витальевна<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> кандидат физ.-мат. наук, доцент, Белорусский государственный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, [vm3\\_ftk@bntu.by](mailto:vm3_ftk@bntu.by)

<sup>2)</sup> старший преподаватель, Белорусский государственный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются особенности организации учебного занятия со студентами и школьниками с применением метода ассоциаций при изучении дисциплины «Математика». Рассмотрены основные сферы применения данного метода и виды ассоциаций (по сходству, по контрасту, по смежности во времени или пространстве, по смыслу, причинно-следственные ассоциации) с приведенными по каждому пункту примерами, что способствует более наглядному восприятию информации. На основании утверждения, что применение ассоциаций в рамках практических занятий способствует развитию творческого мышления у учащихся, и способствует пониманию тех разделов математики, где студентами допускается наибольшее количество ошибок, можно сделать вывод, что применение метода ассоциаций позволяет повышать интерес у обучающихся к учебному процессу.*

***Ключевые слова:** метод ассоциаций, примеры типов ассоциаций, школьная и высшая математика, математическое понятие, графическое представление.*

С помощью техники ассоциаций устанавливается связь новых знаний, которые обучающийся хочет получить, со старыми знаниями, которые он уже имеет. Данный подход широко применяется к разным возрастным группам учащихся: от детей

дошкольного возраста при изучении иностранных языков до студентов при изучении высшей математики.

Метод ассоциаций имеет широкое применение в преподавании самых разных дисциплин (иностранные языки, физика, химия, математика и многие другие) [1–2].

Традиционно выделяют следующие виды ассоциаций:

- ассоциации по сходству. Предметы внешне похожи друг на друга. При изучении темы «Виды точек разрыва» графическое представление окрестности точки устранимого разрыва можно сравнить с графиком изменения затрат человека в предновогоднее время, когда затраты возрастают непосредственно в канун нового года и затем возвращаются к постоянным величинам. Так ситуацию для разрыва первого рода можно сравнить с графиком изменения дохода при устройстве на дополнительную работу. А ситуацию разрыва второго рода с «идеальной» ситуацией, когда желаемые значения дохода стремятся к бесконечности (рис. 1).

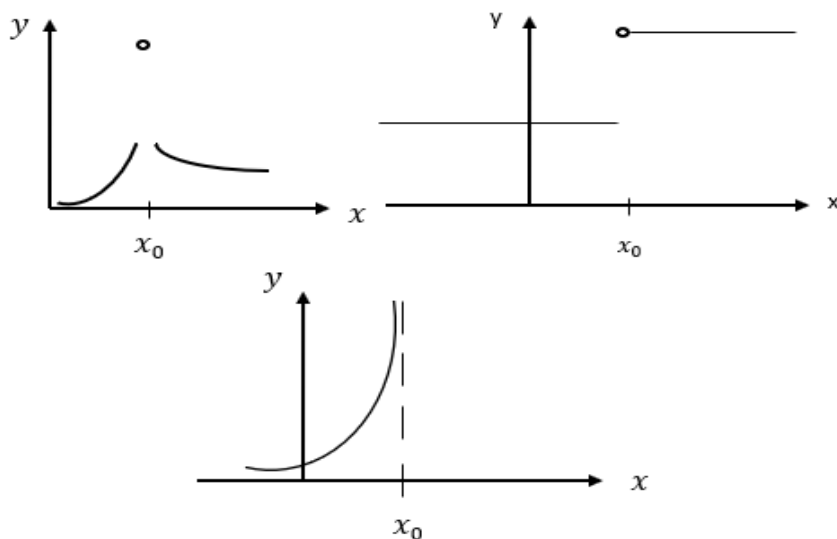


Рис. 1. Ассоциации по сходству

- ассоциации по контрасту. В этом случае предметы имеют противоположные признаки. Этот случай может быть описан в



ситуации объяснения школьникам сравнения двух дробей с одинаковым числителем, но разными знаменателями.

Для определённости можно рассматривать дроби с числителем равным 1. Для сравнения двух дробей  $\frac{1}{n}$  и  $\frac{1}{m}$  рассмотрим случай деления одного яблока на  $n$  и на  $m$  человек, чем больше человек, тем меньше часть яблока, которая достанется каждому.

- ассоциации по смежности во времени или пространстве. В этом случае оба изучаемых предмета расположены близко друг к другу в пространстве или времени.

Тема «Производная сложной функции» традиционно проходит в декабре первого года обучения студентов технических специальностей. За окном студенческой аудитории зима, часто уже выпал снег. У многих предновогодняя пора ассоциируется с новогодним снеговиком. При изучении темы «Дифференцирование сложной функции» можно построить снеговика для функции, он представлен на рис. 2 для функции  $y = e^{\sin(7x)}$  и дифференцирование такой функции происходит также поэтапно.

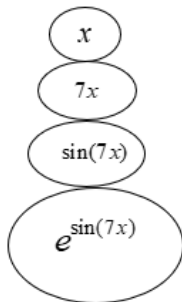


Рис. 2. Ассоциация по смежности во времени или пространстве

$$y = e^{\sin(7x)}, y' = e^{\sin(7x)} \cdot (\sin(7x))' = e^{\sin(7x)} \cdot \cos(7x) \cdot (7x)' = e^{\sin(7x)} \cdot \cos(7x) \cdot 7.$$

Такой подход позволяет запомнить поэтапность процесса дифференцирования сложной функции одной переменной.

- причинно-следственные ассоциации. Предметы здесь являются причиной и следствием друг друга. Такой подход может быть проиллюстрирован случаем сходимости числовых рядов.



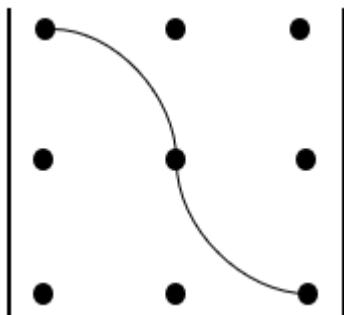


Рис. 4. Главная диагональ

Затем фиксируем взгляд на оставшихся свободных вершинах воображаемого квадрата. И соединяем эту вершину с ближайшими двумя точками, которые расположены на другом берегу реки (рис. 5).

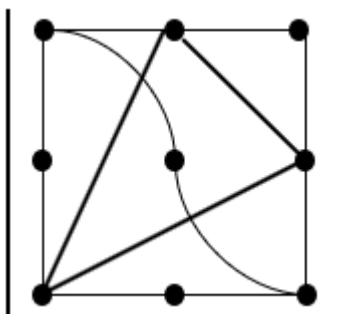


Рис. 5. Соединение вершины воображаемого квадрата с ближайшими точками

На основании утверждения, что применение ассоциаций в рамках практических занятий способствует развитию творческого мышления у учащихся, и способствует пониманию тех разделов математики, где студентами допускается наибольшее количество ошибок, можно сделать вывод, что применение метода ассоциаций позволяет повышать интерес к учебному процессу.

Творчество так же важно, как и развитие умственных способностей. Поэтому необходимо направить ум ученика к деятельности. Способность к творчеству является естественной функцией и проявляется у всех обучающихся.

Метод ассоциаций позволяет сделать структурным процесс запоминания. У студентов повышается уровень концентрации и переключаемости внимания. Ассоциативное восприятие и мышление учащегося приводят к тому, что появление простого для восприятия элемента, вызывает образ более сложного, связанного с ним элемента. Также использование ассоциативного метода в обучении позволяет освоить учебную программу студентам, у которых существуют проблемы с запоминанием материала.

### Литература

1. Pennington, M. How to Memorize Using the Association Technique [Electronic resource]. – Mode of access: [https://blog.penningtonpublishing.com/spelling\\_vocabulary/how-to-memorize-using-the-association-technique](https://blog.penningtonpublishing.com/spelling_vocabulary/how-to-memorize-using-the-association-technique). – Date of access: 20.02.2023.
2. Гундина, М.А. Метод ассоциаций при изучении математики / М.А. Гундина, Н.А. Кондратьева // Организация, технологии и методологии непрерывного ориентированного образования в области математики и естественных наук на современном этапе : сборник докладов III Международной научно-практической конференции, Могилев, 28-29 июня 2022 года / редкол.: Б. В. Задворный [и др.]. – Могилев : МГОИРО, 2022. – С. 127–128.

## ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УПРУГО-ВЯЗКО-РЕЛАКСИРУЮЩЕГО СТЕРЖНЯ

Корзюк Виктор Иванович<sup>1)</sup>, Рудько Ян Вячеславович<sup>2)</sup>,  
Колячко Владислав Владимирович<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь,  
korzyuk@bsu.by

<sup>2)</sup> Институт математики Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Сурганова, 11, 220012, г. Минск, Беларусь, janucz@yahoo.com

<sup>3)</sup> Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь,  
vlad.kolyachko@yandex.ru

***Аннотация:** В настоящей работе исследуется одномерная гиперболическая система уравнений в частных производных, описывающая продольные колебания упруго-вязко-релаксирующего стержня постоянного поперечного сечения. Обосновывается корректность по Адамару задачи Коши и обсуждаются некоторые качественные свойства системы и ее решений: закон сохранения модифицированной «энергии», конечная скорость распространения колебаний, дисперсия и диссипация решений.*

***Ключевые слова:** продольные колебания; вязкоупругость; модель стандартного линейного твердого тела; 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.

Рассмотрим одномерный вязкоупругий по модели стандартного линейного твердого тела стержень постоянного поперечного

сечения, свойства материала которого не зависят от времени и координаты. Для него верно уравнение движения [1]

$$\rho \partial_t^2 u = \partial_x \sigma + f, \quad (1)$$

где  $f$  – внешняя объемная сила,  $\rho$  – плотность материала стержня,  $u$  – дилатации (смещения) стержня,  $\sigma$  – напряжения стержня. А связь между деформацией  $\varepsilon$  и напряжением  $\sigma$  подчиняется закону [2]

$$\sigma + \tau_\varepsilon \partial_t \sigma = E_0 (\varepsilon + \tau_\sigma \partial_t \varepsilon), \quad (2)$$

где  $E_0$  – релаксированный (длительный) модуль упругости,  $E_\infty = E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1}$  – нерелаксированный (мгновенный) модуль упругости,  $\tau_\varepsilon$  – время релаксации,  $\tau_\sigma$  – время запаздывания.

Значит, с учетом определения деформации  $\varepsilon = \partial_x u$ , для решения задачи о продольных колебаниях стержня, требуется определить функции  $u = u(t, x)$  и  $\sigma = \sigma(t, x)$ , которые удовлетворяют системе уравнений

$$\rho \partial_t^2 u = \partial_x \sigma + f, \quad \sigma + \tau_\varepsilon \partial_t \sigma = E_0 (\partial_x u + \tau_\sigma \partial_t \partial_x u) \quad (3)$$

и некоторым граничным условиями. В качестве таких условий можно взять следующие начальные условия

$$u|_{t=0} = u_0, \quad \partial_t u|_{t=0} = v_0, \quad \sigma|_{t=0} = \sigma_0. \quad (4)$$

Таким образом, задача Коши (3), (4) представляет собой задачу об определении продольных колебаний по известным начальным данным. Из физических соображений, коэффициенты уравнения (3) удовлетворяют неравенствам  $\rho > 0$ ,  $\tau_\varepsilon > 0$ ,  $E_0 > 0$ ,  $\tau_\sigma > 0$ .

**Законы сохранения.** Простейшее обобщение модифицированной «энергии» из [3, 4] на однородную систему (3) при  $f \equiv 0$  приводит к функционалу

$$E_1(t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \rho (\partial_t u)^2 + \frac{\tau_\varepsilon}{E_0 \tau_\sigma} \sigma^2 \right) (t, x) dx + \frac{1}{E_0 \tau_\sigma} \int_0^{+\infty} d\tau \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma (\sigma - E_0 \partial_x u) (\tau, x) dx, \quad (4)$$

который не является положительно-определенным. Однако, справедливо утверждение о законе сохранения величины  $E_1$ .

**Теорема 1.** Пусть пара функций  $u$ ,  $\sigma$  есть классическое решение системы (3) при  $f \equiv 0$  и функции  $u(t, \cdot)$  и  $\sigma(t, \cdot)$  имеют компактный носитель в пространстве для любого  $t$ . Тогда функция  $t \mapsto E_1(t)$  есть константа.

**Доказательство** проводится аналогично доказательству теоремы 2 из работы [3].

**Корректность задачи Коши.** Оказывается, что при выполнении условия  $E_0\tau_\sigma\tau_\varepsilon^{-1}\rho^{-1} > 0$  система уравнений (3) является гиперболической [5–7]. Это значит, что задача Коши для нее корректно поставлена в классе достаточно гладких функций. Однако, нахождение решения задачи Коши (3), (4) в явном аналитическом затруднительно, в отличие от случая  $E_0 = 0$  и  $\tau_\sigma E_0 \neq 0$ , разобранный в [3]. Поэтому в настоящем докладе ограничимся общими теоремами существования и единственности.

**Теорема 2.** Пусть выполнены условия гладкости  $u_0 \in C^1(\mathbb{R})$ ,  $v_0 \in C^1(\mathbb{R})$ ,  $\sigma_0 \in C^1(\mathbb{R})$  и  $f \in C^1([0, \infty) \times \mathbb{R})$ . Тогда классическое решение  $u : [0, \infty) \times \mathbb{R} \ni (t, x) \mapsto u(t, x) \in \mathbb{R}$ ,  $v : [0, \infty) \times \mathbb{R} \ni (t, x) \mapsto v(t, x) \in \mathbb{R}$  задачи Коши (3), (4) существует, единственно и непрерывно зависит от исходных данных.

**Доказательство** проводится с помощью метода характеристик [6] и теоремы о равенстве смешанных производных [7, с. 235–236].

**Замечание 1.** Решение  $u$ ,  $v$ , построенное в теореме 2 является непрерывным вместе со всеми частными производными, входящими в уравнение (3), но при этом  $u$  не является дважды непрерывно-дифференцируемой функцией.

**Качественные свойства решения задачи Коши.** Метод характеристик также позволяет получить ряд утверждений о свойствах решения задачи Коши (3), (4).

Для фиксированных  $x_0 \in \mathbb{R}$  и  $t_0 > 0$  рассмотрим конус прошлого с вершиной  $(t_0, x_0)$

$$K(t_0, x_0) := \left\{ (t, x) \mid 0 \leq t \leq t_0 \wedge |x - x_0| \leq \sqrt{E_0\tau_\sigma\tau_\varepsilon^{-1}\rho^{-1}}|t - t_0| \right\}.$$

**Утверждение 1** (Принцип причинности). Пусть пара функций  $u$ ,  $\sigma$  есть глобальное классическое решение задачи Коши (3), (4) при  $f \equiv 0$ . Значения  $u(t_0, x_0)$  и  $\sigma(t_0, x_0)$ , где  $(t_0, x_0) \in (0, \infty) \times \mathbb{R}$ , зависят только от значений функций  $u_0$ ,  $v_0$  и  $\sigma_0$  на отрезке  $[x_0 - t_0\sqrt{E_0\tau_\sigma\tau_\varepsilon^{-1}\rho^{-1}}, x_0 + t_0\sqrt{E_0\tau_\sigma\tau_\varepsilon^{-1}\rho^{-1}}]$ .

Приведенное выше утверждение 1 показывает, что  $u(t_0, x_0)$  и  $\sigma(t_0, x_0)$  зависят исключительно от начальных данных на основании характеристического треугольника. Другими словами, начальные данные  $u_0$ ,  $v_0$  и  $\sigma_0$  в точке  $x_0$  могут влиять на решение только в

области, которая называется конусом будущего с вершиной  $(t_0, x_0)$  и определяется выражением

$$\{(t, x) \mid 0 \leq t \leq t_0 \wedge x - \sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}} t \leq x_0 \leq x + \sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}} t\}.$$

**Утверждение 2** (Область зависимости). Пусть пара функций  $u, \sigma$  есть классическое решение системы (3) при  $f \equiv 0$ . Если  $u \equiv \partial_t u \equiv \sigma \equiv 0$  на множестве

$$\{(t, x) \mid t = 0 \wedge x \in [x_0 - t_0 \sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}}, x_0 + t_0 \sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}}]\},$$

то  $u \equiv \sigma \equiv 0$  внутри конуса  $K(t_0, x_0)$ .

**Доказательство** утверждений 1 и 2 проводится методом характеристик [8, с. 47–49].

Из утверждения 2 следует, что любое возмущение начальных данных, заданное вне отрезка  $[x_0 - t_0 \sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}}, x_0 + t_0 \sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}}]$ , не влияет на решение внутри  $K(t_0, x_0)$ . Следовательно, эффекты ненулевых начальных данных распространяются со скоростью, не превышающей  $\sqrt{E_0 \tau_\sigma \tau_\varepsilon^{-1} \rho^{-1}}$ .

Также из утверждения 2 следует, что при каждом фиксированном  $t$  носитель решения  $u(\cdot, t)$  и  $\sigma(\cdot, t)$  является компактным, если  $f \equiv 0$  и начальные данные  $u_0, v_0$  и  $\sigma_0$  являются функциями с компактным носителем.

**Волновые решения.** Аналогично [3], можно показать, что уравнение (3) допускает решение в виде плоских волн, т. е.

$$u(t, x) = U(kx - \omega t - \phi), \quad \sigma(t, x) = S(kx - \omega t - \phi),$$

где  $k$  – волновое число,  $\omega$  – циклическая частота,  $\phi$  – фаза.

Как известно [9, с. 176–178], при изучении линейных уравнений в частных производных особенно полезно рассматривать комплекснозначные решения в виде экспоненциальных волн, т. е.

$$u(t, x) = U_0 \exp(i(kx - \omega t)), \quad \sigma(t, x) = S_0 \exp(i(kx - \omega t)) \quad (5)$$

где  $U_0 \in \mathbb{C}$  и  $S_0 \in \mathbb{C}$  – комплексные амплитуды,  $k \in \mathbb{R}$  – волновое число,  $\omega \in \mathbb{C}$  – частота. Подставляя пробные решения вида (5) в систему (3) получим соотношения

$$U_0 = -\frac{ikS_0}{\rho\omega^2}, \quad i\rho\omega^3\tau_\varepsilon - \rho\omega^2 - iE_0k^2\omega\tau_\sigma + E_0k^2 = 0, \quad (6)$$

Анализируя корни  $\omega(k)$  кубического уравнения (6) заключаем, что волны различной частоты распространяются с разными



скоростями: уравнение (3) создает дисперсию. Рассуждая аналогично [3], приходим к выводу, что решения уравнения (3) обладают свойством рассеяния или затухания.

**Заключение.** В данной работе показано, что задача Коши для одномерной системы уравнений в частных производных, описывающей продольные колебания упруго-вязко-релаксирующего стержня, является корректной. Также указаны некоторые качественные свойства решений.

### Литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – 5-е изд., стереот. – М.: Физматлит, 2003. – Т. VII: Теория упругости. – 264 с.
2. Shitikova, M. V. Fractional Operator Viscoelastic Models in Dynamic Problems of Mechanics of Solids: A Review / M. V. Shitikova // *Mechanics of Solids*. – 2022. – Vol. 57, № 1. – P. 1–33.
3. Корзюк, В. И. Задача о продольных колебаниях вязкоупругого по модели Максвелла стержня / В. И. Корзюк, Я. В. Рудько, В. В. Колячко // *Прикладная математика и механика*. – 2023. – Т. 87, № 3. – С. 489–498.
4. Корзюк, В. И. Продольные колебания упруго-релаксирующего стержня: корректность задачи Коши и качественные свойства решений / В. И. Корзюк, Я. В. Рудько, В. В. Колячко // *Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., 27–28 октября 2022 года, Минск / БНТУ*; сост.: С. Н. Соболевская, Е. М. Жуковский. – Минск, 2022. – С. 374–377.
5. 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.
6. Courant, R. *Methods of Mathematical Physics: (2 vols.)*. / R. Courant, D. Hilbert. – New York: John Wiley & Sons, 1989. – V. II: Partial Differential Equations. – 830 p.
7. Rudin, W. *Principles of Mathematical Analysis* / W. Rudin. – 3rd ed. – New York: McGraw Hill, 1976. – 342 p.
8. Roždestvenskii, B. L. *Systems of Quasilinear Equations and Their Applications to Gas Dynamics* / B. L. Roždestvenskii, N. N. Janenko. – Providence: American Mathematical Society, 1983. – 676 p.
9. Evans, L. C. *Partial Differential Equations* / L. C. Evans. – 2nd ed. – Providence: American Mathematical Society, 2010. – 749 p.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ»

**Хотомцева Марина Альбертовна**

Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220000, г. Минск, Беларусь,  
vm3\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** Рассмотрены и проанализированы рабочие программы и содержание дисциплины «Теория вероятностей» для инженерных специальностей европейских и американских университетов с целью изучения опыта преподавания и использования современного программного обеспечения. Учтён трёхлетний опыт чтения лекций по дисциплине на английском языке в рамках проекта «Associated International Project in Engineering».*

***Ключевые слова:** вероятность, байесовская вероятность, данные, гипотезы, законы распределения.*

Разработка учебной программы дисциплины «Теория вероятностей» и наполнение её содержанием на английском языке потребовала исследования опыта преподавания этой дисциплины в других университетах и изучения большого количества литературы на английском языке.

Сравнение рабочих программ при существенном расхождении количества часов лекционной и практической работы показало, что структура курса существенно не отличается от университета к университету. Все авторы начинают с понятия эксперимента, случайного события как результата эксперимента и понятия вероятностного пространства. Рассматриваются более сложные, чем изучались в колледжах, комбинаторные задачи. Затем переходят к условной вероятности и независимости событий, рассматривают теорему о «полной вероятности» и теорему Байеса. [1]. Затем изучают случайные величины: дискретные и непрерывные и проводят «Midterm exam» (экзамен середины семестра). Далее рассматривают функции от случайных переменных, совместные

распределения: дискретные и непрерывные, их математическое ожидание, дисперсию, ковариацию и корреляцию. Изучают сходимость по вероятности, слабую сходимость, закон больших чисел. В некоторых университетах рассматривают пуассоновские процессы и цепи Маркова.

Рассмотрим различие в методике изложения материала.

Обсуждая понятие вероятности, авторы программ и учебных пособий рассматривают классическое или «наивное» определение вероятности события, геометрическое определение, статистическое и аксиоматическое [2].

Здесь же авторы акцентируют внимание на том, что последующий материал будет изложен с позиции байесовской вероятности. Этот термин стал использоваться сравнительно недавно (термин «байесовские сети» был придуман Иудеей Перл в 1985) и подчёркивает три аспекта:

- субъективный характер входной информации;
- использование теоремы Байеса для определения степени уверенности в истинности суждения при получении новой информации;
- различие между причинно-следственными и доказательственными способами рассуждения.

Байесовская вероятность противопоставляется частотной, в которой вероятность определяется относительной частотой появления случайного события при достаточно длительных наблюдениях.

Поэтому в англоязычной литературе употребляются два термина «Probability» и «Likelihood», которые на русский язык переводят одним «Вероятность». «Probability» соответствует нахождению степени возможности того или иного события при выборочном распределении данных. «Likelihood» относится нахождению наилучшего распределения данных при определенном значении какого-либо признака или какой-либо возможной ситуации в данных.

Говоря короче, термин «Probability» используется для возможных результатов, «Likelihood» — для гипотез.

В связи с этими различиями большое внимание уделяется условной вероятности и независимости событий.

Для объяснения материала часто используют графовую структуру, называемую «деревом решений». На рис.1 показано применение дерева решений для теоремы о полной вероятности.

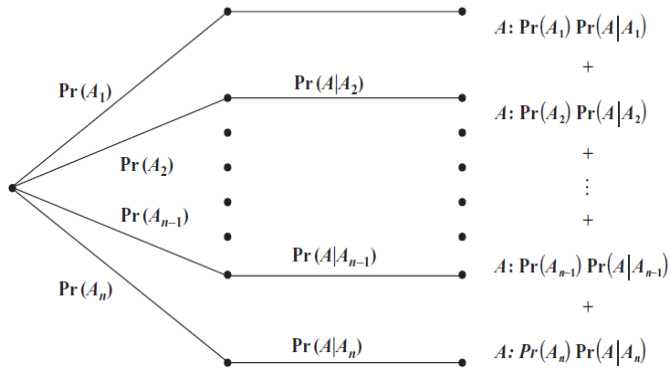


Рис. 1. Дерево решений

Формула Бернулли, локальная и интегральная теоремы Муавра-Лапласа не рассматриваются отдельно, а в связи с соответствующими распределениями.

При рассмотрении законов распределения случайных величин обязательно приводится пример распределения, выписываются его свойства, выводятся числовые характеристики и возможность вычисления свойств и характеристик с помощью программных средств Wolfram Mathematica или WolframAlpha [3].

Для тех же целей используют **R** — это бесплатное программное обеспечение для статистических вычислений и графики, в котором пользователь может программировать, используя встроенные вероятностные функции.

Обязательно подчёркивается связь между распределениями, проиллюстрированная диаграммой с той или иной степенью подробности (рис.2).

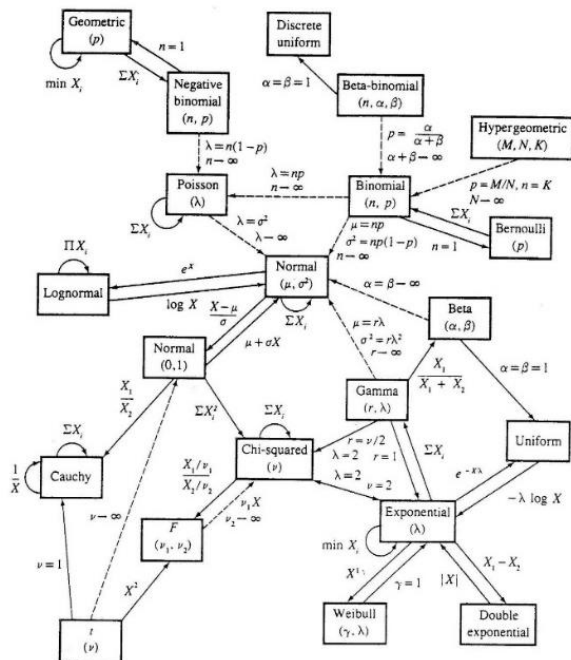


Рис. 2. Диаграмма связи законов распределения

Практические задания связаны с реальной жизнью.

Типы таких заданий

1. Классическое определение вероятности: задача о пассажирах в лифте, задача о дне рождения, задача о рассадке людей за круглым столом, карточные игры, задача об коробках

2. Условная вероятность, формула полной вероятности, формула Байеса; задача о фильтрации спама, задача о выборе инвесторов, задача о выборах, задачи о диагностике болезней,

3. Законы распределения: спортивные соревнования, покупка билетов на транспорт, задача о выборах, задача об интервью, при устройстве на работу.

Изучение и анализ методик преподавания «Теории вероятностей» в различных университетах позволяет улучшить качество преподавания этой дисциплины в БНТУ и поддерживать его в соответствии с современными требованиями.

## Литература

1. Nyberg, S. O. The Bayesian way: introductory statistics for economists and engineers/ S. O. Nyberg. – 1st ed. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2018. – 512 p.
2. Holicky, M. Introduction to Probability and Statistics for Engineers / M. Holicky. – Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2019. – 191 p.
3. Blitzstein, J. K. Introduction to Probability / J. K. Blitzstein, J. Hwang. – 2nd Ed. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2019. – 634 p.

**СЕКЦИЯ  
«МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА»**

## ТЕХНОЛОГИИ ЭСТЕТИКИ В ЛИФТАХ

**Антоневич Андрей Иванович**, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
ftkcdm@bntu.by

***Аннотация:** Одной из важнейшей характеристик современных лифтов является комфортабельность. Привлекательность зданий и сооружений во многом определяется их дизайном, в том числе лифтов и подъемников. Интерьер лифтов определяется дизайнером, используемым им материалов и световой техникой. Дизайн включает следующие элементы лифта: лифтовой холл, кабина и шахта. Мировой рынок лифтов представлен следующими фирмами: «Отис» (США); KONE (Финляндия); «Шиндлер» (Швейцария); Shenyang Brilliant Elevator Co., Etd (Китай); «Тисен» (Германия) и др. Отечественное лифтостроение представлено в основном ОАО "Могилёвлифтмаш", который производит пассажирские и грузовые лифты различной грузоподъёмностью, скоростями движения и различным дизайном. Немаловажным элементом дальнейшего повышения конкурентоспособности белорусских лифтов является повышение уровня дизайна.*

***Ключевые слова:** интерьер, дизайн, шахта, кабина, лифтовой холл, декор.*

Одним из важных условий комфортного проживания жильцов в многоквартирном доме и присутствия работников и посетителей в административных является наличие лифта. Лифтовые системы упрощают жизнь людям, имеющим квартиры/офисы на высоких этажах. Комфортабельность лифта определяется рядом характеристик, важнейшие из которых - безопасность и внешний вид (рис. 1).





Рис. 1. Интерьер лифтового холла

Благодаря применению новых технологий уровень шума и вибраций значительно снизился, а плавность хода лифтов улучшалась. Следует отметить, что во многих зданиях установлены лифты, имеющие зачастую устаревший дизайн и привлекательность этих сооружений от этого страдает. Используя современные технологии, можно обновить интерьер кабин, лифтовых холлов и шахт и тем самым повысить комфортабельность лифта и всего здания в целом. Чем выше класс дома, тем более внимательно

застройщик подходит к выбору лифтового оборудования и не только с точки зрения производителя и технических характеристик, но и с точки зрения его оформления — внутренняя отделка, дизайн, наличие звукового и музыкального сопровождения. Интерес представляет опыт ведущих зарубежных производителей таких как «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]. Рассмотрим существующий дизайн лифтов, который касается кабин, лифтовых шахт и холлов [3, 4, 5].

### **Отделка кабин лифтов.**

На практике получило распространение: а) *оклейка кабины лифта плёнкой*

- самым быстрым и недорогим способом обновить интерьер кабины лифта является оклейка лифта плёнкой. Современные декоративные виниловые плёнки идеально подходят для применения в кабинах лифтов благодаря своей практичности, износостойкости, хорошей адгезии. Плёнка не утяжеляет лифт и позволяет, в частности, обновить створки кабины лифта без их снятия. Облицованные плёнкой створки имеют те же габаритные размеры и зазоры по створкам не уменьшаются. Благодаря множеству вариантов расцветок и текстур плёнки в лифте можно создать свой уникальный антураж. В случае повреждения имеется возможность проведения местного ремонта. При аккуратном пользовании лифтом, облицованные поверхности будут годами выглядеть как новые. Царапины на приказном устройстве могут быть так же устранены оклейкой плёнкой. При этом, приказное устройство подвергается полной разборке. Все вмятины и царапины устраняются перед оклейкой плёнкой шпатлеванием.



Рис. 2. Материалы и инструмент



Рис. 3. Кабины после оклейки

### **б) отделка по индивидуальному дизайну**

по выбору заказчика применяются следующие материалы: стены - натуральный шпон, полированные профили "под золото", зеркала с факетом, вставки и плинтуса из нержавеющей стали "под золото" - суперзеркало, полосы из чёрного стекла. Пол - керамогранит с интересным зеркальным рисунком. Для освещения в кабине реализуются различные оригинальные решения. Корпус потолочной конструкции может быть обтянут бежевой виниловой

защитной плёнкой "кожа бизона". Корпус приказного устройства из обычной нержавеющей стали может быть заменён на новый из нержавеющей стали "под золото" - суперзеркало.



Рис. 4. Интерьер кабины, выполненный фирмой Лифтпро

***отделка с классическим дизайном Classic:***

классический дизайн кабины лифта с большими плоскостями, горизонтальным металлическим поясом, стильным поручнем и зеркалом во весь рост. Основные панели могут быть изготовлены как из HPL, так и из тонкого керамогранита. Декоративные элементы -

шлифованная нержавеющая сталь. Потолок - зеркальная нержавеющая сталь, пол - керамогранит, либо ПВХ-плитка.  
*Пояснение: HPL-панели (High Pressure Laminate, Декоративный бумажно-слоистый пластик высокого давления) – это материал в виде листа, который имеет в составе слои целлюлозы (крафт-бумаги), пропитанные синтетическими терморезистивными связующими, а также специально установленный слой для размещения декоративной бумаги.*



Рис. 5. Отделка Classic

***отделка Lift PRO:***

***оригинальная идея дизайна кабины лифта - горизонтальная сегментация стеновых панелей. Гармоничное сочетание фактурных HPL-панелей и полос из нержавеющей стали придаёт кабине лифта свой неповторимый шарм. Такое оригинальное решение не только делает дизайн кабины лифта интереснее, но и позволяет более рационально использовать материал стеновых панелей. Стеновые панели - HPL. Декоративные элементы - шлифованная***

*либо декоративная нержавеющая сталь. Потолок - зеркальная нержавеющая сталь, пол - керамогранит, либо ПВХ-плитка.*  
**отделка Elit:**

для отделки стен применяются такие материалы как итальянский керамогранит с металлической вставкой в виде логотипа "под золото", потолок - нержавеющая сталь "под золото", пол - натуральный камень, поручень - черное дерево с кронштейнами "под золото", профили из нержавеющей стали "под золото". Возможны вариации в цветовом решении. Дорогой стиль, максимальная износостойкость.

**отделка Elit:**

для отделки стен применяются такие материалы как итальянский керамогранит с металлической вставкой в виде логотипа "под золото", потолок - нержавеющая сталь "под золото", пол - натуральный камень, поручень - черное дерево с кронштейнами "под золото", профили из нержавеющей стали "под золото". Возможны вариации в цветовом решении. Дорогой стиль, максимальная износостойкость.



Рис. 6. Отделка Elit

### *отделка кабины лифта Lightroom:*

Премиум отделка кабины лифта Lightroom от ЛИФТПРО. Эффект объёмного освещения, строгий стиль, максимальная износостойкость, КМ-0.

Отделка Lightroom оптимальна для лифтов с высоким пассажиропотоком и грузоподъемностью от 1000 кг. Материалы: керамогранит, нержавеющая сталь, закалённое стекло.

Пояснение: *Негорючие краски класса пожарной опасности КМ-0 это лакокрасочные материалы, сертифицированные для использования на путях эвакуации в случае пожара и в местах массового скопления людей.*

### **Отделка лифтовых холлов**



Рис. 7. Интерьер лифтовых холлов



## Отделка шахт



Рис. 8. Интерьер шахт

Анализ, проведенный в статьях [3,4,5,6] показывает, что дизайн лифтов является неотъемлемой частью общего дизайна здания.

### Заключение

- современные технологии позволяют воплотить практически любую идею дизайна;
- цветовой декор: подбирая необычное сочетание цветов или соответствующее дизайну помещения можно добиться гармонии подъемника и интерьера дома или офиса, что является самым бюджетным вариантом модернизации;
- оклейка кабины пленкой является достаточно бюджетным вариантом модернизации ее интерьера;
- декор кабины обычными и 3D наклейками. Выбор таких наклеек на современном рынке позволяет создать любой дизайн: начиная от гигантского аквариума и заканчивая средневековым тронным залом.
- декор с помощью пластиковых панелей, которые имитируют отделку под камень, дерево, плитку. Это одновременно практичный и бюджетный вариант, оставляющий простор для фантазии;
- декор с помощью осветительных приборов. К примеру, можно использовать точечные светильники, имитируя звездное небо, кованые светильники, чтобы создать интерьер кабины «под старину», или хрустальные люстры, чтобы подчеркнуть роскошь



кабины в частности и здания в целом. Светильники должны гармонировать с основным дизайном кабины;

- декор кабины натуральными материалами: деревом, мрамором, гранитом. Умело подбирая цвета, можно добиться потрясающего эффекта;

- декор металлом или стеклом поможет вам создать интерьер кабины в стиле «хай-тек», дополняющий оформление офиса или дома. Впрочем, умело применяя эти элементы, можно создать дизайн кабины, подходящий практически к любому интерьеру;

- декор в стиле «ампир» и «барокко»: если нужен дизайн кабины в таком стиле, используйте тканевые драпировки, позолоту, кованные вставки.

### 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: 10.10.2023).
4. Технологии эстетики в лифтах [Электронный ресурс] <http://liftpro.ru/otdelka-kabin.html> (дата обращения: 10.10.2023).
5. Как выбрать дизайн лифта? [Электронный ресурс] <https://lift.kiev.ua/ru/kak-vybrat-dizajn-lifta/> (дата обращения: 10.10.2023).
6. Идеи дизайнерской отделки лифтов. [Электронный ресурс] <http://energy-lift.ru/articles/dizaynerskaya-otdelka-liftov/> (дата обращения: 10.10.2023).

## К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА RT140A

**Шавель Анатолий Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» Белорусский национальный технический университет, г. Минск, shavel.aa@bntu.by

**Бежик Александр Александрович**, старший преподаватель кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» Белорусский национальный технический университет, г. Минск, bejik@bntu.by

**Мазанович Дмитрий Вячеславович**, заместитель начальника конструкторского отдела ЗАО «Амкодор-Пинск», г. Пинск, dm-pro@tut.by

***Аннотация.** В статье описываются расчетные схемы катка, вибраторов осцилляционного и направленной вибрации при уплотнении асфальтобетонной смеси вибрационным.*

***Ключевые слова.** Дорожный каток, расчетные схемы, вибрационный валец, осцилляция, система направленной вибрации, уплотнение асфальтобетонной смеси.*

### **Введение**

В настоящее время на заводе ЗАО «Амкодор-Пинск» разработаны и изготовлены опытные образцы катков АМКОDОР RT140A и АМКОDОР RT160A, которые оснащены вибрационным вальцом с направленной вибрацией и задним осцилляционным вальцом [1, 2, 5, 6, 7].

### **Расчетные схемы**

Для обоснована параметров основных элементов катков, исследования нагруженности элементов вибраторов с обоснованием их параметров разработаны расчетные схемы и системы уравнений их описывающих.

На рисунке 1 представлена схема силового взаимодействия двухвальцового катка с уплотняемым материалом [3, 4].

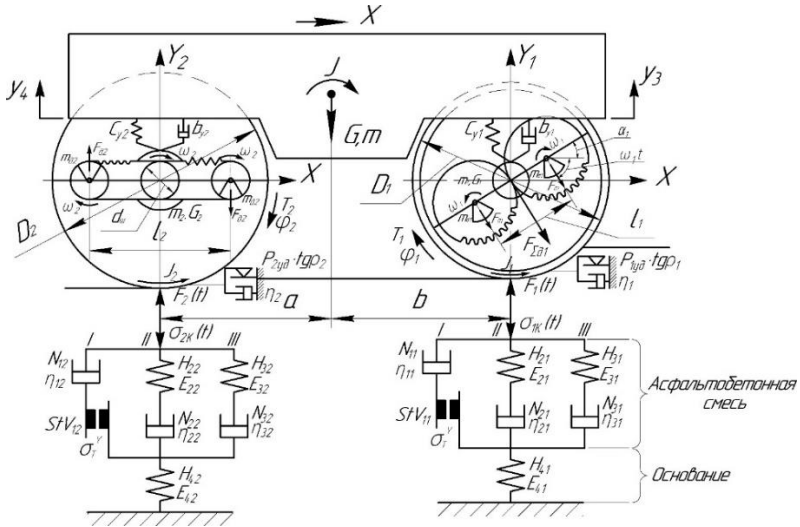


Рис. 1. Расчетная схема силового взаимодействия двухвальцового катка с уплотняемым материалом:

$J_1, J_2$  – моменты инерции вибрационных валцов;  $J$  – момент инерции остова катка относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести;  $m, m_1, m_2$  – массы соответственно остова катка и вибрационных валцов;  $G, G_i$  – веса соответственно остова катка, вибрационных валцов и остова катка, приходящиеся на соответствующий валец,  $i = 1 \dots 4$ ;  $T_1, T_2$  – крутящие моменты, приложенные извне к валцам;  $F_{д1}, F_{д2}$  – амплитуда вынуждающей силы соответствующих дебалансов;  $m_{д1}, m_{д2}$  – массы дебалансов соответствующих валцов;  $C_{y1}, C_{y2}$  – коэффициенты линейной жесткости резиновых амортизаторов;  $b_{y1}, b_{y2}$  – коэффициенты вязкого трения резиновых амортизаторов;  $\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости вращения валов вибровозбудителей;  $x$  – продольное перемещение катка;  $y_i$  – вертикальное перемещение соответствующих масс катка,  $i = 1 \dots 4$ ;  $\varphi_1, \varphi_2$  – угловые перемещения соответствующих валцов;  $a, b, D_i$  – геометрические параметры катка;  $l_1, l_2$  – расстояние между осями вращения дебалансов;  $\alpha$  – угол наклона вибратора к горизонту;  $d_{ш}$  – диаметр шкивов зубчато-ременной передачи;  $N$  – модель Ньютона;  $\eta$  – вязкость модели Ньютона;  $H$  – модель Гука;  $E$  – модуль упругости модели Гука;  $StV$  – модель Сен-Венана;  $\sigma_{y_i}$  – предел текучести модели Сен-Венана;  $tgr_i$  – коэффициент трения,  $i = 1, 2$ ;  $P_{iyд}$  – давление вальца катка на уплотняемый материал,  $i = 1, 2$ ;  $F_i(t)$  – реакция на валец со стороны уплотняемого материал,  $i = 1, 2$ ;  $\sigma_{ik}(t)$  – контактное давление вальца на уплотняемый материал,  $i = 1, 2$

На рисунке 2 приведена схема вибратора с механизмом изменения направления вибрации.

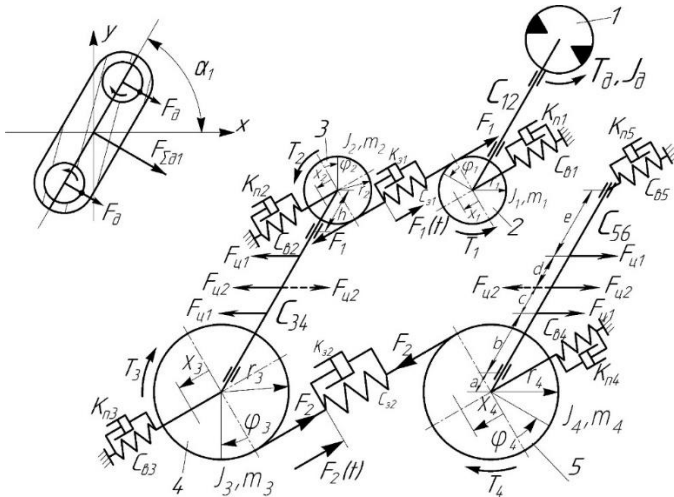


Рисунок 2. Расчётная схема вибратора с механизмом изменения направления вибрации:

$m_i, J_i$  – массы и моменты инерции сопряженных зубчатых колёс,  $i = 1 \dots 4$ ;  
 $r_i$  – радиусы основных окружностей,  $i = 1 \dots 4$ ;  $a, b, c, d, e, h$  – геометрические параметры;  $T_1, T_3$  и  $T_2, T_4$  – статические крутящие моменты, действующие на входе и на выходе передач,  $T_i = F_i \cdot r_i$ , где  $i = 1 \dots 4$ ;  $c_{si}$  – жёсткости зубчатых зацеплений,  $i = 1, 2$ ;  $c_{vi}$  – жёсткости валов,  $i = 1 \dots 5$ ;  $K_{zi}$  – коэффициенты демпфирования в зубчатых зацеплениях,  $i = 1, 2$ ;  $K_{pi}$  – коэффициенты демпфирования в подшипниковых узлах,  $i = 1 \dots 5$ ;  $c_{i,i+1}$  – жёсткости соответствующих валов,  $i = 1 \dots 5$ ;  
 $\varphi_i$  – обобщённые координаты зубчатых колёс,  $i = 1 \dots 4$ ;  $X_i$  – поперечные колебания зубчатых колёс,  $i = 1 \dots 4$ ;  $F_i(t)$  – функция силового возбуждения колебаний в зубчатых зацеплениях,  $i = 1, 2$ ;  $F_i$  – окружное усилие в зацеплении,  $i = 1, 2$ ;  $F_{ui}$  – центробежная сила развиваемая дебалансом,  $i = 1, 2$ ;  $F_d$  – возмущающая сила дебалансов,  $i = 1, 2$ ;  $\alpha_1$  – угол наклона вибратора к горизонту

На рисунке 3 изображена схема вибратора осциллирующего вальца.

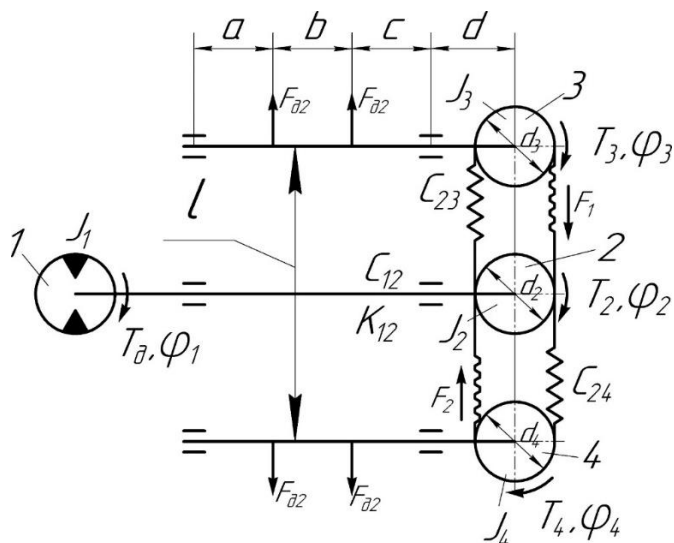


Рисунок 3. Расчётная схема вибратора осциллирующего вальца:  
 $J_i$  – моменты инерции гидромотора и шкивов,  $i = 1 \dots 4$ ;  $d_i$  – диаметры делительных окружностей шкивов,  $i = 1 \dots 3$ ;  $a, b, c, d, l$  – геометрические параметры;  
 $\varphi_i$  – обобщённые координаты вращающихся тел,  $i = 1 \dots 4$ ;  $c_{12}, K_{12}$  – жёсткость и коэффициент демпфирования приводного вала;  $c_{12}, c_{24}$  – жёсткость ремней;  
 $F_1, F_2$  – динамические усилия в ведущих ветвях ременных передач;  $T_d, T_i$  – крутящий момент двигателя и на соответствующих шкивах ременных передач,  $i = 1 \dots 3$ .

## Заключение

Решая системы уравнений, описывающих указанные расчетные схемы, можно найти частоты собственных колебаний, амплитуды резонансных колебаний, можно определить нагруженность передач, валов, подшипников вибраторов и т.п., провести теоретические исследования влияния технических характеристик катка и параметров движения вальцов на эффективность уплотнения материала катком.

## Литература

1. Мазанович, Д.В. Применение осцилляционной вибрации для уплотнения асфальтобетонной смеси / Д.В. Мазанович // Журнал "Изобретатель" [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://izobretatel.by/nauchnye-publikacii/primenenie->

- ostsillyatsionnoy-vibratsii-dlya-uplotnenii-asfaltobetonnoy-smesi/. – Дата доступа: 01.11.2023.
2. К созданию дорожного вибрационного катка / А.В. Вавилов [и др.]; – Автомобильный дороги и мосты №1 (21), 2018 – С. 93-100.
  3. Функциональные достоинства и недостатки виброкатков для уплотнения асфальтобетона. / Костельов М.П. – Дорожная техника. – 2009. – № 1. – С. 74-84.
  4. Модель процесса уплотнения асфальтобетонной смеси дорожным катком с осцилляцией / Клиндух О.А., научный руководитель канд. техн. наук Прокопьев А.П. – Сибирский федеральный университет.
  5. Преимущества дорожных катков с осцилляцией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/20446-preimushchestva-dorojnyh-katkov-s-ostsillyatsiey>. – Дата доступа: 01.11.2023.
  6. Новый дорожный каток «Амкодор RT140A» удивил дизайном и техническими инновациями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.abw.by/novosti/commercial/220698>. – Дата доступа: 01.11.2023.
  7. «Амкодор» презентовал новые модели катков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.infobaza.by/transport/12502>. – Дата доступа: 01.11.2023.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**Вавилов Антон Владимирович**, доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой «Механизация и автоматизация  
дорожно-строительного комплекса»

**Гарост Митрофан Митрофанович**, кандидат технических наук,  
доцент, доцент кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-  
строительного комплекса»

Белорусский национальный технический университет  
ftkcdm@bntu.by

***Аннотация:** Применение многофункциональных машин в дорожной отрасли перспективно, поскольку одно базовое шасси может иметь не один десяток сменных рабочих органов различного функционального назначения, что резко уменьшает в машинном парке количество дорогих базовых шасси, а значит снижает затраты на механизированные работы. В статье отмечено, что при создании многофункциональных дорожно-строительных машин должно уделяться внимание ряду факторов, в том числе экономии металла, особенно проката черных металлов. В статье раскрыт наиболее результативный инструмент, позволяющий одновременно решить задачи экономии металла, повышения качества и конкурентоспособности дорожно-строительных машин, которым является функционально-стоимостной анализ.*

***Ключевые слова:** многофункциональность, дорожно-строительные машины, эффективность, функционально-стоимостной анализ.*

Крупнейшим потребителем материальных ресурсов, в частности конструкционных материалов, является машиностроение. В структуре потребления машиностроением конструкционных материалов по массе (весу) 98% составляют металлы, в том числе 50% - прокат черных металлов [1]. Поэтому первоочередное

внимание при создании многофункциональных машин должно уделяться экономии металла, особенно проката черных металлов.

Одним из основных направлений ресурсосбережения при разработке многофункциональной машины является совершенствование ее конструкции, проектирование и выпуск новых моделей таких машин со сниженной удельной массой и металлоемкостью на единицу потребительского эффекта. Совершенствование конструирования и конструкторских разработок обеспечивает улучшение качества изделий, повышение их производительности, энергетической экономичности, облегчение условий труда при их эксплуатации, увеличение надежности и долговечности выпускаемой продукции, улучшение ее ремонтпригодности [1].

Одним из наиболее результативных организационно – экономических инструментов, позволяющих одновременно решать задачи экономии ресурсов, прогрессивности создаваемых машин, повышения качества и конкурентоспособности изделий является функционально-стоимостной анализ (ФСА) [2]. ФСА ориентирован на функциональный подход, позволяющий представить анализируемый объект не в конкретном конструктивном виде, а как комплекс выполняемых функций [2]. Под функцией понимается способность изделия обеспечивать какое-то потребительское свойство. Задача ФСА – достижение функциональности объекта минимальными затратами в интересах как производителя, так и потребителя. Резервом снижения себестоимости машиностроительной продукции являются излишние затраты, связанные с несовершенством конструкций изделий, технологии их изготовления, недостаточной эффективностью используемых материалов.

Основными принципами ФСА являются [2]:

- функциональный принцип – рассмотрение объекта как комплекса абстрактных функций;
- соответствие величины затрат способности выполнения функций и важности этих функций для изделия;
- обеспечение общественно необходимого качества изделия при рациональных затратах на всех этапах его жизненного цикла.

Наибольший эффект ФСА дает при использовании в сфере проектирования новых изделий, так как препятствует



возникновению излишних затрат при их производстве и эксплуатации. ФСА является средством безаналогового проектирования, что позволяет получать неожиданные результаты. Устранить одну ошибку на стадии НИОКР в 10 раз дешевле, чем устранить ее в сфере производства, и в 100 раз дешевле, чем устранить ее в сфере эксплуатации [2].

Наиболее эффективным инструментом ФСА может служить модель себестоимости изделия в производстве и эксплуатации на единицу потребительского эффекта, способного создавать это изделие. В аналитическом виде такая модель может быть представлена в следующем виде [3]:

$$\frac{C_{\text{п}}+C_{\text{э}}}{W} \rightarrow \min,$$

где  $C_{\text{п}}$  – себестоимость производства изделия, руб.;

$C_{\text{э}}$  – затраты в эксплуатации изделия, руб.;

$W$  – показатель, наиболее полно характеризующий потребительские качества изделия.

Затраты в эксплуатации складываются из стоимости запасных частей и ремонтов. Они отражают надежность изделия: чем выше надежность, тем меньше нужно запасных частей на замену вышедших деталей, ниже надежность – больше расходов на запасные части и, соответственно, ремонт.

Основные направления обеспечения экономии материальных ресурсов в машиностроении приведены на рисунке 1.1.

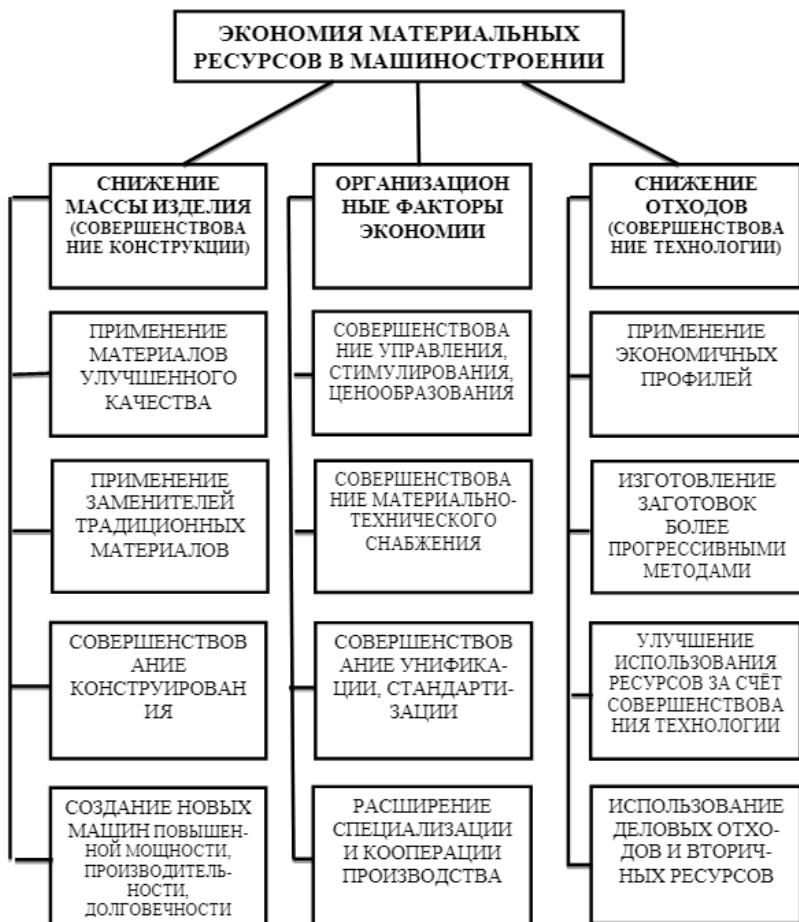


Рис. 1. Основные направления экономии материальных ресурсов в машиностроении [1]

В результате экономии материальных ресурсов получается экономия топливно-энергетических ресурсов. Так, на каждую тонну проката черных металлов расходуется 1,5-2 тонны условного топлива. В машиностроении на снятие 1 кг стружки расходуется 1,5 кВт-ч электроэнергии. Экономия материальных ресурсов способствует уменьшению их обработки, что позволяет снизить

относительную потребность в оборудовании и улучшение использования производственных мощностей [1].

На изготовление металлоконструкций многофункциональных машин расходуется значительное количество металла. Общими предпосылками выбора материала металлоконструкций является эксплуатационная надежность, технологичность и экономичность. От свойств металлоконструкции зависит долговечность и надежность механизмов и машины в целом. Снижение металлоемкости многофункциональных машин все в большей мере становится в зависимость от расширения применения для изготовления несущих металлоконструкций проката из высокопрочных сталей [3].

Для создания высокопроизводительных многофункциональных машин мировых образцов, требуется проведение широкого комплекса работ в смежных отраслях промышленности по освоению и организации производства новых и улучшенного качества материалов. В частности предприятия черной металлургии Республики Беларусь должны поставлять в необходимых количествах экономичные профили проката, высокопрочные низколегированные и экономно легированные стали, обладающие хорошей свариваемостью, высококачественные коррозионностойкие и износостойкие стали.

Многофункциональные дорожные машины – это сложные и дорогостоящие технические системы. Фирмы – производители в своем стремлении привлечь покупателя ищут различные пути повышения их эффективности. В частности на строительных и дорожных машинах устанавливаются накопители энергии, они оснащаются гибридным приводом.

### **Заключение**

В статье сделан вывод, что при создании многофункциональных дорожно-строительных машин необходимо уделять внимание экономии металла, особенно проката черных металлов. В статье раскрыт наиболее результативный инструмент, позволяющий одновременно решить задачи экономии металла, повышения качества и конкурентоспособности машин, которым является функционально-стоимостной анализ.

## Литература

1. Шумаев В.А. Теория и практика ресурсосбережения: монография / В.А. Шумаев. — М.: РУСАЙНС, 2016. — 236 с.
2. Шумаев В.А. Функционально-стоимостной анализ как эффективный метод ресурсосбережения: методика, инструменты, мероприятия // Механизация строительства, 2015, №12, с.51-60.
3. Гехт А.Х. О применении высокопрочных сталей для краностроения // Строительные и дорожные машины, 2014, №4, с.23-26.

## К СОЗДАНИЮ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РУБЕРОИДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА

**Дадацкий Анатолий Сергеевич**, магистрант кафедры МАДСК  
**Болтуцкий Владислав Витальевич**, инженер  
(Научный руководитель – Вавилов А.В., док. техн. наук, профессор)  
Белорусский национальный технический университет  
ftkcdm@bntu.by

***Аннотация:** 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 импортируемых ресурсов. Возможно использование отработанного асфальтобетона для получения рубероида путем измельчения его в асфальтогранулят с дальнейшим его разогревом и нанесением 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 [1-3].

Первичное измельчение отработанного асфальтобетона осуществляется с помощью шредера.

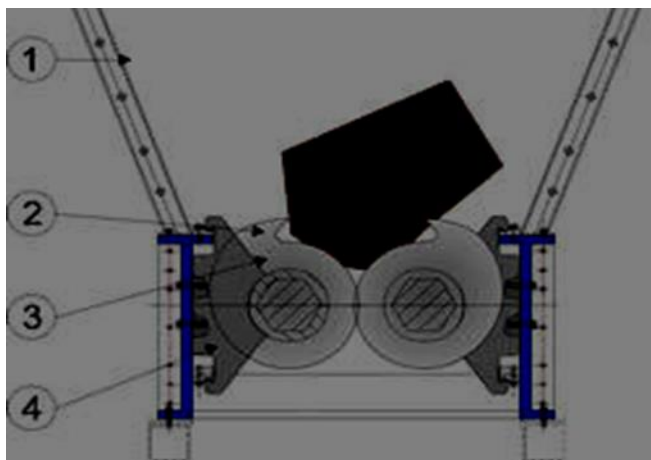


Рис. 1. Устройство двухвального shreddera

Шредер устроен и работает следующим образом (рис. 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 (рис. 2).

Таблица 1. Техническая характеристика shreddera

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 шредере

Таблица 2 - Техническая характеристика 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 следующей технической характеристикой (таблица 2).

Далее рубероид производится путем приемки мелкоизмельченного 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.3): 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 [4].

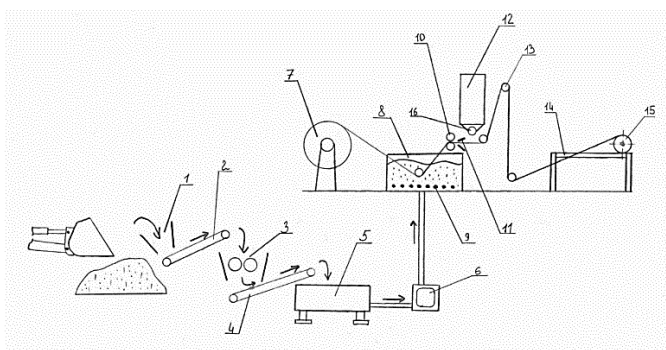


Рис. 3. Комплект оборудования для производства рубероида с использованием асфальтогранулята

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.

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.

### **Заключение**

1. В статье предлагается отработанные куски асфальтобетона использовать для получения рубероида путем измельчения его в асфальтогранулят мелкой фракции с дальнейшим его разогревом и нанесением на стекловолоконный холст.

2. Предложена технологическая схема получения рубероида из асфальтогранулята.

3. Предложенная разработка позволяет использовать отходы для получения полезного продукта, при этом экономия импортируемый битум и сохраняя экономическое равновесие.

### 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. // Минск, Автомобильные дороги и мосты. N1. 2022. С. 117-123.
2. Вавилов, А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов / А.В. Вавилов // монография – Минск: Жилкомиздат. 2018. 176 с.
3. Микульский В.Г. Строительные материалы /В.Г. Микульский, Г.Н. Горчаков и др//М.1996, С.365-369.
4. [Электрон. ресурс]: — Режим доступа: <https://delo1.com/rubero.php/> (19окт.2022).

## **ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

**Руднев Александр Михайлович**, доцент, канд. техн. наук,  
Белорусский национальный технический университет

На протяжении многих десятилетий диагностика крановых металлоконструкций строилась на понятиях и критериях «наличия-отсутствия» дефектов, их размеров и количества, т.е. в основу работоспособного состояния оборудования закладывались «дефектоскопические критерии» без оценки напряжённо-деформированного состояния металлоконструкции и определения причин предельного состояния объекта. Представляет интерес проводить анализ дефектов не после нормативного срока службы кранов, а видеть процесс накопления дефектов в структуре металла металлоконструкции в течение жизни крана. Механизмы крана в этом процессе не рассматриваются тк это навесное оборудование и это дело механиков следить за ним. Получается абсурд: приходит эксперт на кран и в дефектной ведомости отмечает что тормозные обкладки в неудовлетворительном состоянии или дефекты каната. В этом случае есть две причины: 1-увеличение сметной стоимости диагностирования. 2- на производстве не удовлетворительная организация службы механика и технического надзора. Собственно до 1991 года процесс диагностирования назывался «Обследование металлоконструкций кранов». Оборудование крана всегда было на совести механослужбы.

Оценка напряжённо-деформированного состояния сварных металлоконструкций в процессе проведения технической диагностики грузоподъемных кранов становится актуальнее, т.к. темпы старения парка кранов значительно опережают темпы технического перевооружения. Особенно эта тенденция просматривается на примере мостовых кранов .

В качестве одного из направлений решения этой проблемы получила распространение практика магнитной диагностики металлоконструкций подъёмных сооружений на основе измерения

магнитной характеристики металла - коэрцитивной силы ( $H_c$ ). ( $H_c$ ) [1], [2], [3]. В основу данного метода неразрушающего контроля положены корреляционные зависимости между механическими свойствами металла и одним из основных физических параметров петли магнитного гистерезиса – коэрцитивной силой,  $H_c$  (А/см), как наиболее чувствительной к изменению плотности дислокаций структуры стали [4].

Результаты работ исследователей и практика применения магнитной структуроскопии при оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкций при малоцикловой усталости позволила установить усреднённые изменения скорости роста  $\Delta H/\Delta T$  (А/см\*год) при различных режимах нагружения .

Полученные значения  $H_c$  фактически не дают ответа на вопрос: на каком этапе жизненного цикла подъёмного сооружения и за счёт каких факторов деградации металла элементы конструкции достигли напряжённо-деформированного состояния. Высокие значения коэрцитивной силы – это тревожный сигнал для экспертов, задача которых и состоит в том, чтобы определить причины «бедственного состояния» металлоконструкции.

Поэтому российскими коллегами ещё в 2002г. было высказано мнение: при изготовлении крановых металлоконструкций необходимо измерять первоначальные значения коэрцитивной силы, чтобы в дальнейшем следить за изменением значений  $H_c$  для своевременного предотвращения аварийных ситуаций. Эта идея в дальнейшем была трансформирована в паспорт магнитного контроля [3], форма которого утверждена Госгортехнадзором России, и на протяжении нескольких лет Харьковский завод подъёмно-транспортного оборудования при поставках в Россию комплектовал сопроводительную документацию паспортами магнитного контроля на краны специальные весьма тяжёлого и тяжёлого режимов работы.

Паспорт магнитного контроля является подтверждением гарантий завода-изготовителя качества металлоконструкций в том смысле, что первоначальное состояние сварной конструкции отвечает требованиям надёжной эксплуатации (по ИСО 4301) [5], с точки зрения сварочных напряжений. Соответственно на предприятии

должен проводиться мониторинг значений  $H_c$  для своевременного предотвращения аварийных ситуаций. Необходимо наличие специальной лаборатории. Очевидно, что без базовых знаний по ПТМ в практической работе по оценке напряжённо-деформированного состояния металлоконструкции крана нельзя добиться положительных результатов.

Прогнозирование остаточного ресурса грузоподъемной машины зависит от комплексного подхода к оценке напряженно-деформированного состояния ее металлоконструкций при наличии в экспертной организации современного диагностического оборудования и приборов, а также готовности персонала применять прогрессивные технологии при проведении работ в процессе экспертного обследования и анализе полученных результатов.

### **Выводы**

1. Необходима серьёзная подготовка специалистов по магнитному контролю. Для анализа полученных данных и принятия решений по результатам магнитной структуроскопии необходима подготовка специалиста с базовыми знаниями конструкций ПТМ, металловедению и механике разрушения – технического эксперта в самом высоком смысле этого слова.

2. Высокие значения коэрцитивной силы – это тревожный сигнал для экспертов, задача которых и состоит в том, чтобы определить причины «бедственного состояния» металлоконструкции.

3. Прогнозирование остаточного ресурса грузоподъемной машины зависит от комплексного подхода к оценке напряженно-деформированного состояния ее металлоконструкций при наличии в экспертной организации современного диагностического оборудования и приборов, а также готовности персонала применять прогрессивные технологии при проведении работ в процессе экспертного обследования и анализе полученных результатов.

### **Литература**

1. Котельников В.С., Попов Б.Е., Левин Е.А., Зарудный В.В., Безлюдько Г.Я., «Практика магнитной диагностики подъёмных сооружений при проведении экспертизы промышленной

- безопасности», Подъёмные сооружения. Специальная техника, № 6-7, 2003г.
2. Попов В.А., «Исследования и практика применения магнитной структуроскопии», Подъёмные сооружения. Специальная техника, № 9, 2004г.
  3. Котельников В.С., Янов Л.И., Попов В.А., Попов Б.Е. и др. «Паспорт магнитного контроля», Безопасность труда в промышленности (Россия), № 6, 2004г.
  4. М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов «Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля». – М.: Наука, 1993г.
  5. Международный стандарт ИСО 4301, часть 1...5.

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЕ КАНАТНЫХ СИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Игнатович Никита Сергеевич, Шавель Анатолий Андреевич**

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

***Аннотация:** С развитием современных технологий и увеличением масштабов городской жизни возникают все новые вызовы для инженеров и дорожных строителей. Необходимость обеспечить эффективное и удобное движение граждан и транспорта привела к разработке новых и инновационных решений в дорожном строительстве. Одним из таких решений являются канатные дороги, которые обладают рядом преимуществ, делая их идеальным средством передвижения в условиях современных мегаполисов. Данная статья рассматривает преимущества канатных дорог как одного из наиболее эффективных и экономически выгодных видов транспорта. Основными аспектами, подчеркиваемыми в статье, являются низкая стоимость по сравнению с другими видами транспорта, высокая пропускная способность, низкие эксплуатационные затраты и способность способствовать развитию экономики и туризма. Автор также обращает внимание на роль канатных дорог в развитии инфраструктуры в горных и удаленных районах.*

***Ключевые слова:** канатные дороги, транспорт, экономическая выгода, пропускная способность, эксплуатационные затраты, развитие экономики, туризм, удаленные районы.*

В настоящее время ни один из существующих традиционных видов транспорта (железнодорожный и автомобильный, авиация, троллейбус и др.) не удовлетворяет современным требованиям. Внедрение в транспортную систему урбанизированной среды канатных дорог позволяет создать совершенно новый вид социально

ориентированного, дешевого при строительстве и эксплуатации транспорта. [1]

К канатным транспортным установкам принято относить различные транспортирующие устройства с канатной тягой. Среди них получили распространение: концевая канатная откатка; подвесные канатные дороги и скреперные установки.

Подвесные канатные дороги (ПКД) – это транспортирующие машины, тяговым и грузонесущим элементом которых является канат, подвешенный на опорах над поверхностью земли.

Такие дороги часто используются в горных районах, где они позволяют преодолевать крутые и неровные поверхности, а также перебрасывать людей и грузы через долины и ущелья. Они также применяются в городах для облегчения транспортировки на гору или на высотные точки города.

Канатные дороги имеют множество преимуществ. Они обеспечивают быстрое и удобное перемещение между точками, особенно в условиях, когда иные виды транспорта неэффективны или невозможны. Они также могут служить туристической достопримечательностью, предоставляя панорамные виды на окружающий ландшафт.

Однако канатные дороги требуют постоянного технического обслуживания и безопасности, чтобы гарантировать безопасность пассажиров и эффективность работы системы. Также важно учитывать климатические условия, особенно в горных районах, где снег, ветер и другие факторы могут повлиять на работу канатной дороги.

Канатные дороги являются одним из самых эффективных средств транспорта в мире, особенно с экономической точки зрения. Они предоставляют возможность перевозить большое количество пассажиров и грузов между различными точками с минимальными затратами на инфраструктуру и эксплуатацию.

Первый и, возможно, самый главный аспект экономической выгоды канатных дорог – это их низкая стоимость по сравнению с другими видами транспорта, такими как автомобильные или железнодорожные системы. Строительство и эксплуатация канатных дорог требует меньше земельных участков и материалов, что значительно снижает затраты на проект. Кроме того, канатные дороги могут осуществляться в труднодоступных местах, таких как



горные районы или водные пути, где другие виды транспорта могут быть непрактичными или невозможными.

Как отмечается в статье [2] в республике созданы предпосылки для более широкого применения канатно-блочных систем. Причиной этому является существенный экономический эффект от применения канатных установок по сравнению с традиционными средствами транспортирования [2]. На графике (рис. 1) наглядно видно преимущество финансовым затратам при перевозке грузов канатной установкой по сравнению с автоперевозкой.

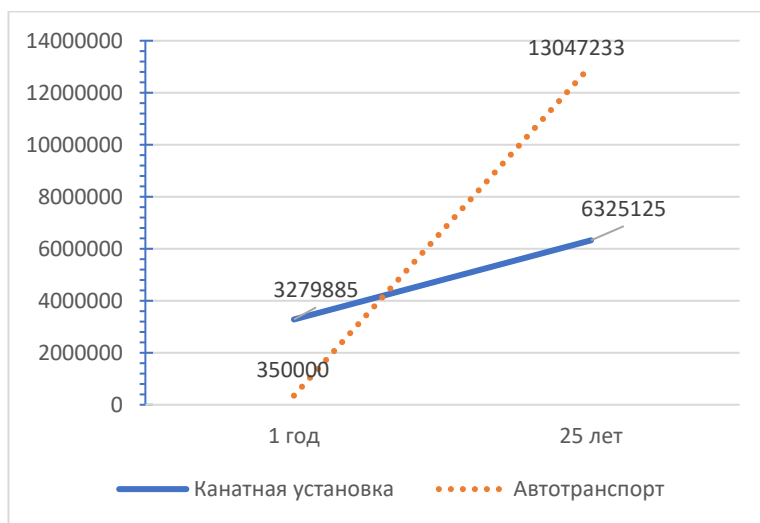


Рис. 1. Экономическое сравнение совокупной стоимости автоперевозки груза и канатной установкой

По ординате графика показаны параметры, которые входят в итоговую стоимость -это капитальные и операционные затраты. По абсциссе – время эксплуатации средств транспортирования.

Принятыми исходными данными были:

- расстояние транспортировки:
  - 25 км – для канатной установки;
  - 35 км – для автотранспорта (поскольку отсутствует прямолинейность перемещения по автодороге);
- годовой объем перевозок – 3,6 млн т.

Время, которое требуется на установку канатной дороги, также намного меньше, чем на строительство традиционных дорог или железных дорог. Это позволяет быстро начать использование канатной дороги и получить экономическую выгоду от ее использования.

Вторым важным экономическим преимуществом канатных дорог является их способность обеспечивать высокую пропускную способность пассажиров и грузов. Одна канатная дорога может перевозить несколько сотен человек в час, что делает их идеальным средством транспорта для мест, где необходима быстрая и эффективная перевозка большого количества пассажиров, например, в туристических районах или на горнолыжных курортах.

Третье экономическое преимущество канатных дорог – это их низкие эксплуатационные затраты. Канатные дороги обычно имеют меньшее количество персонала в сравнении с другими формами транспорта, что снижает расходы на оплату труда. Кроме того, они работают на электричестве, что делает стоимость энергии намного ниже, чем у транспортных средств, работающих на бензине или дизеле.

Учитывая такие преимущества, предлагается создать канатную дорогу для вывоза в больших объемах твердых коммунальных отходов из городов на место их захоронения или переработки в востребованные продукты. Применяемые сегодня машины (автотранспорт) для вывоза ТКО малопроизводительны [3, 4]. Поскольку удаленность мест захоронения или переработки ТКО от города постоянно возрастает, транспортная составляющая при использовании традиционного автотранспорта существенно увеличивается, а применение канатной дороги приведет к экономически оправданным эксплуатационным затратам (рис. 2).

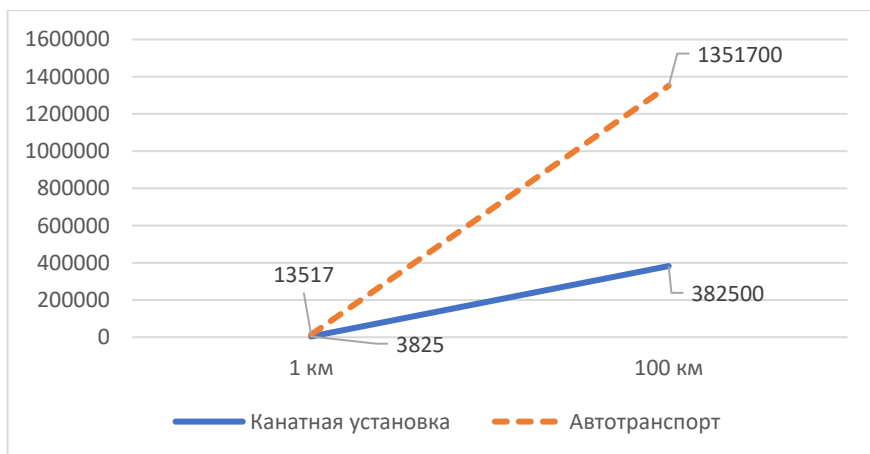


Рис. 2. Зависимости затрат на транспортную составляющую от удаленности объекта захоронения или переработки ТКО от города

Канатные дороги также способствуют развитию экономики и туризма в регионах, где они находятся. Они привлекают больше пассажиров и туристов, что в свою очередь увеличивает денежные потоки и спрос на услуги в местных предприятиях, включая отели, рестораны и магазины. Кроме того, канатные дороги могут быть ключевым фактором привлечения новых инвестиций и развития инфраструктуры в регионах, где они расположены.

Наконец, канатные дороги могут принести значительную экономическую выгоду для горных сообществ и удаленных районов, где инфраструктура, такая как автомобильные дороги или железные дороги, может быть сложной в реализации из-за географических особенностей. Это дает таким областям возможность развиваться и привлекать новые возможности для туризма и бизнеса. [5]

В заключение можно сказать, что канатные дороги являются экономически эффективным средством транспорта. Они предоставляют быструю и эффективную перевозку большого количества пассажиров и грузов с минимальными инвестициями и затратами на обслуживание. Кроме того, они способствуют развитию экономики и туризма в регионах, где они находятся, и создают новые возможности для развития инфраструктуры в горных и удаленных районах.

## 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. А. В. Вавилов, Н. И. Березовский, А. А. Шавель, Н. С. Игнатович. «О целесообразности применения канатно-блочных систем при создании средств транспортирования». Горная механика и машиностроение. №1 (28.02.2023). – С. 82-87.
3. Вавилов А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: по-лучение востребованных продуктов. – Минск: Жилкомиздат, 2018. – 171 с.
4. Щемелев А.М., Вавилов А.В., Пилипенко В.М. Машины для коммунального хозяй-ства. – Минск: Стринко, 2003. – 375 с.
5. Концепция инновационной системы городского транспорта «КАНАТНОЕ МЕТРО ГОРОДА БРЯНСКА». А.В. Лагерев, И.А. Лагерев, А.А. Короткий, А.В. Панфилов.

## МАШИНА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ ГРАВИЙНЫХ ДОРОГ

**Лазницкий Михаил Олегович**

Белорусский национальный технический университет,  
Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, ftkcdm@bntu.by

***Аннотация:** Сегодня в Беларуси насчитываются десятки тысяч километров грунтовых дорог. Под воздействием колес автомобилей, погодных условий на таких дорогах образуются колеи, выбоины, что приводит в первую очередь к снижению проходимости по ним. Поэтому сегодня актуально проведение мероприятий по упрочнению дорожного полотна. Одним из таких решений является машина для устройства твердых покрытий, которая обладают рядом преимуществ. Данная статья рассматривает преимущества машины для устройства твердых покрытий как одно из наиболее эффективных и экономически выгодных способов упрочнения дорожного полотна. Основными аспектами, подчеркиваемыми в статье, являются низкая стоимость по сравнению с применяемой в настоящее время группой машин для упрочнения дорожного полотна, высокая производительность, низкие эксплуатационные затраты.*

***Ключевые слова:** гравийные дороги, транспорт, асфальтоукладчик, экономическая выгода, высокая производительность, эксплуатационные затраты, ГЭС.*

О протяженности автомобильных дорог Республики Беларусь составляет 71076 километров, из которых 27086 километров составляют гравийные и щебеночные покрытия, а это около 40% от общей протяженности автомобильных дорог. Исходя из этих данных делаем вывод о том что устройство твердых покрытий гравийных дорог является актуальным и крайне востребованным на сегодняшний день.

Состав группы машин для упрочнения включает несколько единиц техник, что приводит к повышению себестоимости на

проведение работ и дополнительным затратам на обслуживание и ремонт, поэтому необходимо снижение при проведении упрочнения гравийных дорог.

Комплект машин для упрочнения грунтовых дорог состоит из пяти единиц техники выполняющие следующие функции:

1. Распределение цемента;
2. Подача водной суспензии;
3. Фрезерование рециклером и получение однородной смеси;
4. Профилирование обработанного материала;
5. Уплотнение готовой смеси.

Данный комплект машин, применяемый в настоящее время, является крайне затратным а значит стоит вопрос о необходимости заменить его более экономичной техникой.

Для снижения затрат на проведение мероприятий по упрочнению дорожного полотна, будет использована машина для устройства твердого покрытия гравийных дорог на базе асфальтоукладчика. Машина для устройства твердых покрытий гравийных дорог состоит из бункера для приема готовой смеси, конвейера для ее подачи, двух съемных распределительных шнеков, механизма уплотнения укладываемой смеси.

При вращении двух съемных распределительных шнеков резцы и дисковые фрезы начинают создавать бороздки на полотне дороги, в которые два съемных распределительных шнеки вначале подают стабилизирующую смесь, а затем ее равным слоем распределяют по всей ширине захвата полотна дороги. Механизм уплотнения уплотняет образованный слой стабилизирующего материала. Благодаря работе резцов и дисковых фрез, только что привезенный материал от двух съемных распределительных шнеков сразу же проникает в бороздки и надежно обеспечивает стабилизацию фунтов и сдвигустойчивость.

В качестве стабилизирующей смеси предлагается использовать гравийно-эмульсионные смеси (ГЭС). ГЭС- представляет собой смесь гравия или щебня, песка, битумной катионной эмульсии воды приготовленную в установке, отдозированных в определенных пропорциях.

Применение технологии позволяет:

1. Снизить общую стоимость работ на 20% за счет уменьшения технологических энергозатрат и удешевления конструкции дорожной одежды;
2. Повысить экологическую безопасность в зоне приготовления и укладки смеси;
3. Снизить зависимость от погодных-климатических факторов при проведении дорожных работ, за счет возможности хранения смеси в штабелях.

Технология с применением данной машины позволяет применить меньшее количество техники, чем при холодном ресайклинге, что позволит снизить затраты и себестоимость выполнения работ по упрочнению покрытий. Машина обладает простотой конструкции, имеет достаточную производительность, и высокую ремонтпригодность.

### Литература

1. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев, Г. В. Кустарев. – М.: Транспорт, 2001.-354с.
2. А. В. Вавилов [и др.]; под ред. А. В. Вавилова. Машины по содержанию и ремонту автомобильных дорог и аэродромов: учебное пособие. - Минск: БНТУ, 2003. - 408 с.
3. Баловнев В.И., Беляев М.А. и др. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Учебное пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины». – 2-е изд., дополн. и перераб. – Москва – Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с
4. Бабаскин, Ю. Г. Технология строительства дорог: учеб. пособие / Ю. Г. Бабаскин, И. И. Леонович. -Мн.: БНТУ, 2010. – 362 с.
5. Леонович, И. И. Инновации в области содержания и текущего ремонта автомобильных дорог / И. И. Леонович // Наука - образованию, производству, экономике: материалы Десятой международной научно-технической конференции: в 4 т. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2012. – Т. 3. – С. 106.

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ДОРОГ**

**Смоляк Анна Николаевна**

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

***Аннотация:** Предложено новое техническое решение оборудования для ямочного ремонта асфальтобетонных дорог, реализующее технологию укладки горячей асфальтобетонной смеси внутри автоматизированного гидравлически управляемого термокорпуса с подогревом, обеспечивающего всесезонную (независимо от температуры окружающей среды и присутствия осадков в виде дождя или снега) работу с высокой производительностью при необходимых прочностных характеристиках ремонтируемого дорожного покрытия.*

*В конструкцию термокорпуса встроены энергоэффективные элементы оборудования: электрогидроударный насос с подвижной форсункой для подачи под высоким давлением равномерно по всей площади поверхности образовавшейся ямки разогретого битума; подвижный лоток, связанный гибким терморукавом с термобункером для подачи горячей асфальтобетонной смеси в зону укладки; электрогидроударная виброплита для уплотнения укладываемого материала с равномерным распределением напряжений по всему объему укладываемого слоя.*

***Ключевые слова:** термокорпус; электрогидроударная виброплита; электрогидроударный насос; ямочный ремонт; асфальтобетонное покрытие.*

Рост интенсивности и грузонапряженности автомобильного движения приводит к ускоренному процессу разрушения асфальтобетонных покрытий, основным видом которого являются выбоины. Указанное разрушение покрытий возникает практически



круглогодично, но особенно интенсивно – в переходные периоды года [1].

Ремонт дорог выполняется в условиях движения городских транспортных потоков. Перекрытие полос движения приводит к организации пропуска городского транспорта свободной от ремонта проезжей частью. Исследования показывают, что сужение ширины проезжей части на 10- 50% увеличивает уровень загрузки дороги в зоне ее ремонта до 95-100%, снижает скорости проезжающего транспорта в 2,5-3 раза, увеличивает себестоимость транспортных перевозок до 60% и вероятность ДТП до 25%. Чрезмерные транспортные затраты на участках ремонта автодорог требуют максимального сокращения сроков выполнения работ.

Выбор современных технических средств и методов для ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия дороги должен отвечать определенным требованиям и критериям: высокому уровню качества отремонтированного участка дороги, определяемому требуемыми показателями прочности, надежности и безопасности дорожного покрытия в процессе эксплуатации; экономическим и экологическим характеристикам, а также длительному сроку службы после ремонта.

Для соблюдения технологического процесса ремонта дорожного покрытия необходимо наличие или доступность требуемых материалов, машин и установок. На выбор метода ремонта влияют погодные условия. И, конечно, ремонтные работы должны быть экономически эффективными. Но главным критерием остается фактор оперативности для своевременного открытия дорожного движения.

Самым распространенным методом качественного ямочного ремонта асфальтобетонного дорожного покрытия является ремонт горячей асфальтобетонной смесью на основе вязких битумов [2]. К основным недостаткам способов ремонта с помощью горячей асфальтобетонной смеси относится зависимость от погодных условий. В соответствии с СП 78.13330.2012 «Автомобильные дороги» горячие технологии ремонта можно применять в сухую погоду весной и летом при температуре не ниже 5°C, осенью - при температуре не ниже 10°C.

В случае применения холодных технологий на основе разжиженных битумов и битумных эмульсий зависимость от погодных условий сказывается в меньшей степени. В странах

западной Европы известно применение холодных асфальтобетонов на битумных эмульсиях, изготовленных на основе разжиженного легкими растворителями битума с добавками минерального заполнителя и водных растворов поверхностно активных веществ. Недостатки такого применения заключаются в том, что холодный асфальтобетон на битумных эмульсиях формируется только после испарения воды, что ограничивает ремонт в осенне-зимних условиях, так как замерзшая вода будет разрушать структуру асфальтобетона. Для снижения температуры замерзания воды в составе эмульсии используют хлористый кальций, в результате эмульсионная смесь используется для зимнего ямочного ремонта дорог. Однако, применение вязких асфальтобетонных смесей не позволяет получить высокие прочностные показатели после затвердевания, поскольку впоследствии материал под действием температуры и нагрузок со стороны движущегося транспорта приобретает подвижность, в результате чего происходит его смещение и перераспределение по поверхности дороги, образуются складки, колеи и другие пластические деформации покрытия, создающие опасные препятствия движущемуся потоку машин.

При соблюдении определенных технологических требований применение горячих асфальтобетонных смесей для ямочного ремонта обеспечивает хорошие прочностные качества дороги, является экономичным и достаточно производительным способом восстановления дорожного покрытия [3].

Анализ применяемых технологий с использованием горячих асфальтобетонных смесей показал, что низкому качеству работ способствуют несоблюдение температурных режимов при укладке и уплотнении применяемых горячих асфальтобетонных смесей, условий производства работ и недостаточное их уплотнение.

При укладке горячей асфальтобетонной смеси в выбоину дорожного покрытия с применением известного ранее оборудования в зоне контакта горячей смеси в выбоине и дорожного покрытия возникает зона асфальтобетона с пониженной температурой смеси по отношению к центральной части выбоины, даже при положительной температуре воздуха, что отрицательно влияет на эксплуатационные показатели уплотняемого асфальтобетона. Образование зоны с пониженной температурой смеси, ниже допустимой, способствует получению при уплотнении низкого

коэффициента уплотнения и высокого водонасыщения, что в процессе эксплуатации приводит к разрушению материала в выбоине.

Достижение эксплуатационных параметров асфальтобетона зависит не только от температурных режимов горячей смеси при укладке, но также и от метода уплотнения, времени действия уплотняющей нагрузки на материал.

С целью уточнения влияния уплотняющих машин на качество уплотнения горячей смеси при ремонте асфальтобетонного покрытия были проведены исследования [4]. Зависимости коэффициента уплотнения  $K_y$  от числа проходов по одному следу  $n$  для различных технологий ямочного ремонта при участии дорожных вибрационных катков, комбинированных катков статического действия и вибрационных плит представлены на рисунке 1.

Из представленных данных видно, что применение вибрационных плит для уплотнения горячих асфальтобетонных смесей позволяет обеспечить более высокие показатели уплотнения. При уплотнении вибрационной плитой рост коэффициента уплотнения происходит интенсивнее, чем при уплотнении дорожными катками. Достигаемая величина коэффициента уплотнения выше, чем при работе звена дорожных катков. Полученный эффект при уплотнении горячего асфальтобетона вибрационной плитой объясняется тем, что остаточная деформация уплотняемого материала зависит не только от силового воздействия рабочего органа на материал, но и времени его действия. Эффективность уплотняющих машин зависит от соответствия их параметров прочностным характеристикам материала. Статистический анализ конструктивных параметров вибрационных плит показал, что между ними имеется определенная связь.

Для известных применяемых в производстве конструкций виброплит установлено, что во время их работы при уплотнении смеси контактные напряжения распределяются равномерно по ширине плиты. По длине плиты максимальное значение контактных напряжений соответствует точке приложения действия сил на плиту, что влияет на качество уплотнения материала.

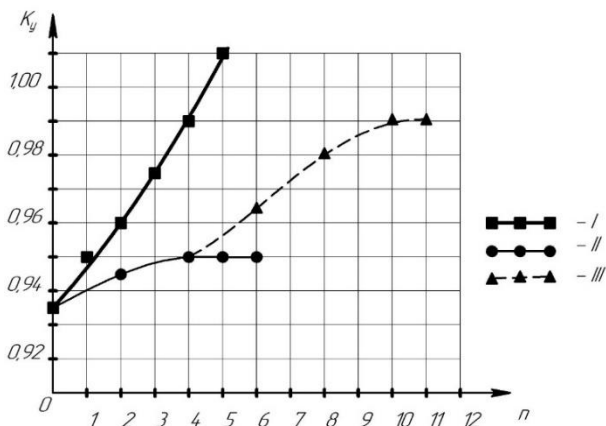


Рис.1. Зависимость коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси  $K_y$  от количества проходов по одному участку  $n$ :  
 I – вибрационная плита; II – вибрационный каток;  
 III – комбинированный каток статического действия.

При укладке горячей смеси в выбоину, за счет разницы температуры горячей смеси и дорожного покрытия, в зоне соприкосновения образуется некоторый объем материала с пониженной температурой по отношению к общему объему уложенной смеси, который характеризуется шириной зоны, что приводит к пониженным эксплуатационным показателям асфальтобетона.

При производстве ремонтных работ на темп охлаждения горячей смеси оказывает влияние скорость ветра. Допустимая скорость ветра при производстве ремонтных работ зависит от типа смеси и марки битума. Так применение смеси типа А на битуме марки 40/60 допустимо при минимальной температуре воздуха - 5 °С и нулевой скорости ветра. Применение битумов марок 60/90 и 90/130 допускает производство работ при температуре воздуха -10 °С и скорости ветра соответственно 0 и 2 м/с. Использование смесей типа Б и В позволяет выполнять ремонтные работы при температуре воздуха -10°С и скорости ветра от 2 до 6 м/с. Приведенные данные обосновывают необходимость прогрева поверхности выбоины по всему объему для обеспечения требуемых эксплуатационных параметров асфальтобетона, что, в свою очередь, усложняет трудоемкость

технологического процесса и увеличивает общее время на производство ремонтных работ.

С целью увеличения производительности и повышения качества ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий предлагается новое техническое решение рабочего оборудования дорожно-ремонтной машины.

Конструктивная схема предлагаемого оборудования для ямочного ремонта представлена на рисунке 2.

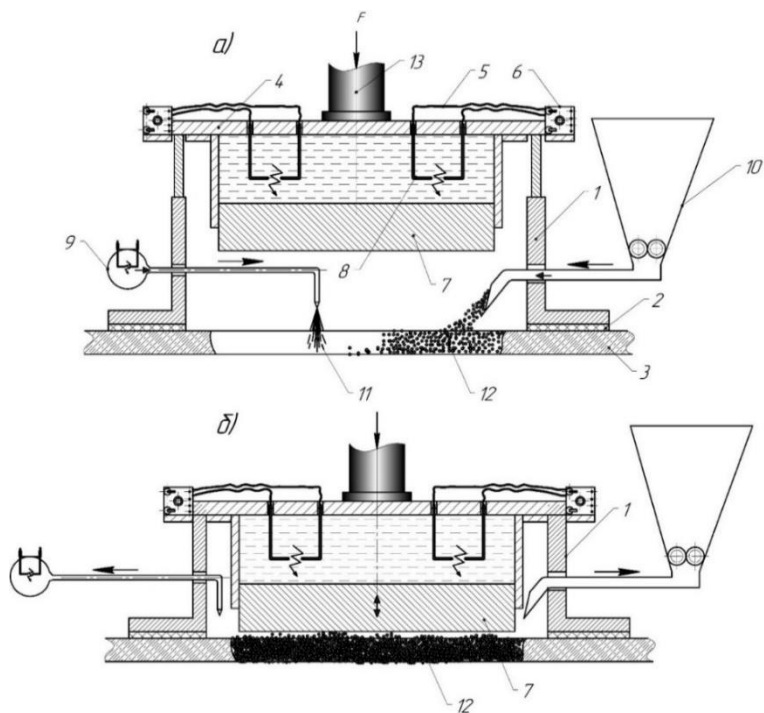


Рис. 2. Электрогидроударное оборудование для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий дорог:

- а) процесс заливки битума и жидкого асфальтобетона в обрабатываемую ямку при поднятой виброплите;
- б) процесс уплотнения асфальтобетонной смеси виброплитой, опущенной до уровня рабочего положения.

Оборудование представляет собой термокорпус 1, устанавливаемый через резиновую уплотнительную прокладку 2 на

асфальтобетонное покрытие 3 в зоне предварительно подготовленного ремонтируемого участка. В верхней части корпуса располагается подвижная крышка 4, перемещаемая телескопически с помощью силового гидроцилиндра 13. К внутренней поверхности крышки крепится электрогидроударная вибрационная плита 7, управляемая электрогидроударным приводом, который состоит из двух пар разнополюсных электродов 8, размещенных в жидкости, залитой во внутреннюю полость крышки. В процессе работы на электроды поочередно подается высокое напряжение по проводам 5 от блоков управления 6, в результате чего между каждой парой электродов возникает электрическая дуга, синтезирующая гидроударную волну в жидкости, которая воздействует на смачиваемую поверхность виброплиты и приводит ее в движение с определенным усилием, частотой и амплитудой. Перемещение виброплиты из нижнего положения в верхнее в процессе уплотнения происходит под действием силы вакуума, которая возникает благодаря схлопыванию кавитационных пустот в объеме жидкости, образованных в процессе движения гидроударной волны [5].

В транспортном положении виброплита удерживается от выпадения при помощи рычажной системы (на рисунке 2 не показано).

Крышка 1 перемещается относительно стенок термобункера телескопически и имеет два основных положения: а) – верхнее положение крышки, необходимое для увеличения внутреннего объема рабочей камеры под виброплитой для выполнения процесса заливки битума в обрабатываемую ямку посредством электрогидроударного насоса 9 через подвижную форсунку 11 и компонентов асфальтобетонной смеси из термобункера 10 с принудительной подачей по гибкому терморучаву и подвижному лотку в зону укладки 12; б) – нижнее, рабочее положение вибрационной плиты, при котором происходит уплотнение асфальтобетонной смеси. С целью обеспечения пространства в нижней части термобункера для беспрепятственного движения виброплиты в процессе уплотнения форсунка 11 и лоток термобункера 10 передвигаются из рабочей зоны на периферию ближе к стенкам бункера (показано стрелками на рисунке 2,б). Вся конструкция в процессе работы оборудования прижимается к асфальтобетонному основанию при помощи гидроцилиндра 13

(расположенного в центральной части крышки с наружной стороны) с усилием  $F$ . В стенках термкорпуса выполнены каналы, по которым непрерывно движется жидкость системы подогрева.

Преимуществом предлагаемого оборудования по сравнению с известными аналогами является возможность всесезонного его применения: весь технологический процесс заполнения выбоины горячей асфальтобетонной смесью и уплотнение выполняется внутри непрерывно подогреваемого термкорпуса под крышкой, благодаря которым длительное время сохраняется высокая температура разливаемого битума и укладываемой асфальтобетонной смеси в рабочей камере.

Разогретый битум подается в зону выбоины под высоким давлением, создаваемым электрогидроударным насосом, по рукаву высокого давления через подвижную гидравлически управляемую форсунку, способную передвигаться над всей площадью выбоины. Подача горячего битума под высоким давлением позволяет эффективно проникать материалу во все трещины и лунки ремонтируемой выбоины, что существенно повышает прочность асфальтобетонного покрытия.

Уплотнение асфальтобетонной смеси производится непосредственно сразу после заполнения ямки практически без потерь тепла благодаря конструкции термкорпуса и телескопически перемещаемой в нем крышки с виброплитой.

Напряжения в слоях уплотняемой асфальтобетонной смеси распределены равномерно по всей поверхности выбоины благодаря конструктивным особенностям электрогидроударного вибратора с вынуждающей силой, возникающей от гидроударной волны, равномерно распределяющейся по поверхности виброплиты.

Электрогидроударная установка работает от аккумуляторной батареи автономно без участия двигателей внутреннего сгорания, что обеспечивает ей высокую производительность и экономичность в процессе эксплуатации (отсутствуют затраты на топливо, другие горючесмазочные материалы).

Отсутствие двигателей внутреннего сгорания обеспечивает высокую экологичность установки, так как при этом зона проведения работ не загрязняется выхлопными газами, пагубно действующими на окружающую среду.

Конструктивные особенности предлагаемой установки позволяют обеспечить высокий уровень автоматизации управления ее главными параметрами, что существенно расширяет область ее применения: при различных погодных условиях и при широком выборе вариантов технологий ремонта.

Электрогидроударный принцип работы установки позволяет создавать модульные типоразмерные ряды термодорпусов с возможностью выбора их для различных размеров выбоин.

Электрогидроударная установка обеспечивает высокую производительность выполнения ремонтных дорожных работ при весьма хорошем качестве ремонта дороги.

### **Выводы**

1. Высокое качество ремонтных работ по устранению выбоин на асфальтобетонных покрытиях дорог с соблюдением температурных режимов горячей смеси при укладке и уплотнении, а также соответствием уплотняющей нагрузки требуемым параметрам прочности горячего асфальтобетона возможно достичь благодаря применению нового энергоэффективного оборудования для ямочного ремонта.

2. Предлагаемое новое энергоэффективное оборудование для ямочного ремонта возможно использовать все сезонно благодаря наличию в нем термодорпуса, изолирующего ремонтируемый участок дорожного покрытия с ямкой от воздействия температуры окружающей среды, осадков (дождя, снега) и ветра. В процессе работы внутри рабочей камеры термодорпуса соблюдаются температурные режимы горячей смеси в течение всего технологического процесса, включающего операции заполнения ямки горячей асфальтобетонной смесью и уплотнения, что особенно эффективно при низких температурах окружающего воздуха в осенне-зимний период.

3. В предлагаемом новом оборудовании все операции технологического процесса ямочного ремонта выполняются внутри термодорпуса в автоматическом режиме последовательно и непрерывно со строгим соблюдением всех необходимых требований и с допустимой продолжительностью ремонтных работ, что существенно повышает производительность и качество укладываемого асфальтобетона.



4. Все параметры для укладки в зависимости от марки битума и типа асфальтобетонной смеси для выполнения в автоматическом режиме настраиваются с помощью пульта перед началом проведения работ, что позволяет применять оборудование для различных видов технологий ремонта дорог.

5. Оборудование может монтироваться в качестве навесного к энергетическому модулю мобильной дорожной машины, либо использоваться автономно. Источником энергии могут служить аккумуляторные батареи или двигатели, которыми оборудован мобильный энергетический модуль дорожной машины.

6. Операции по установке оборудования в зоне ремонтируемой ямки, по передвижению подвижных звеньев (подвижной форсунки, лотка для подачи горячей асфальтобетонной смеси, подъема и опускания электрогидроударной виброплиты в зону уплотнения осуществляются средствами объемного гидропривода, элементы которого закреплены на наружных участках термобортуса.

#### Литература

1. Кравченко, С. Е Содержание и ремонт автомобильных дорог: пособие мастеру по ремонту и содержанию автомобильных дорог / С. Е. Кравченко, Ж. В. Реут, С. Н. Соболевская. – Минск : БНТУ, 2015. – 402 с
2. Александров, А.С. Инновационные технологии реконструкции и ремонта автомобильных дорог: технологии ремонта и усиления дорожных одежд; учебное пособие / А.С. Александров, Н.П. Александрова, Г.В. Долгих. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – 350 с.
3. Ярмолинский А.И. Анализ целесообразности работ по ремонту покрытий автомобильных дорог современными материалами / А.И. Ярмолинский, А.В. Каменчуков, Т.Е. Кондрат // Вестник ТОГУ / Тихоокеанский гос. ун-т. - 2016. - №2(41). - С. 49-55.
4. Евсеев, Е.Ю. Влияние технологии работ на эксплуатационные показатели асфальтобетонного покрытия/ Е.Ю. Евсеев, Р.В. Куприянов, А.Ф. Зубков // Механизация строительства. - 2011. - № 1(799). - С. 25 - 26.
5. Смоляк, А.Н. Электрогидроударная дробилка для получения вторичных материалов, применяемых при строительстве и ремонте автомобильных дорог/ А.Н. Смоляк// Автомобильные дороги и мосты. – 2022. - №1(29). – С. 125-130.

## ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА НА КОМБИНИРОВАННОМ ХОДУ

**Дмитрий Игоревич Бочкарёв**, канд. техн. наук, доцент,  
декан строительного факультета,  
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель,  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, +375447895028,  
bochk\_dmitr@mail.ru

***Аннотация:** Рассмотрено современное состояние и перспективы развития многофункциональной техники на комбинированном рельсо-колесном ходу. Проанализированы конструкции и дана классификация механизмов комбинированного хода. Показана возможность создания мобильных энергонасыщенных носителей оборудования по содержанию и ремонту автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также локомотивов для маневровых и поездных работ на шасси ОАО «МАЗ» и ОАО «МТЗ». Рассмотрены общие процессы взаимодействия в системе «пневматическое колесо – рельс» транспортного средства на комбинированном ходу.*

***Ключевые слова:** комбинированный ход, железнодорожный путь, локомотив, многофункциональное оборудование, пневматическое колесо, рельс, пятно контакта, тяговое усилие.*

Комбинированный пневмоколесно-рельсовый тип механизма передвижения в качестве ходового оборудования позволяет значительно расширить технологические возможности различных машин, т.к. обеспечивает возможность движения как по автомобильным дорогам, так и железнодорожным путям, выполнения различных операций по содержанию и ремонту автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также использование машин в качестве локомотивов для маневровых и поездных работ.

Из всего разнообразия вариантов комбинированного хода наибольшее распространение нашли следующие основные конструктивные исполнения:

1) Пневмоколеса машины при установке на рельсовую колею заменяют металлическими ребордчатыми колесами. Недостатками данной схемы являются значительные затраты времени для перевода машины на рельсовую колею, а также невысокое тяговое усилие при движении по ней.

2) На машину устанавливают дополнительные направляющие катки, представляющие собой ребордчатые металлические колеса на пружинной подвеске. Тяговое и тормозное усилия при этом реализуются за счет сцепления ведущих пневматических колес с рельсами и зависят от сцепной силы тяжести, состояния рельсов (влажность, загрязненность) и типа протектора пневмоколес, определяемых коэффициентом сцепления, который для пары «пневматическое колесо – рельс» выше, чем для пары «металлическое колесо – рельс» и составляет 0,68 – 0,85 для сухих и 0,35 – 0,45 для мокрых рельсов против 0,22 – 0,24 и 0,15 – 0,20 соответственно. Кроме того, дополнительные железнодорожные колеса могут быть приводными как от гидромоторов или механических передач, использующих мощность силовой установки базовой машины, так и от ее пневмоколес посредством опорно-приводных барабанов. При движении по автомобильным дорогам дополнительные железнодорожные колесные пары поднимаются до положения, при котором в контакте с дорогой находятся только ведущие задние и ведомые передние пневматические колеса.

В то же время для реализации схемы, в которой железнодорожные колеса являются направляющими, необходимо, чтобы колея ведущих колес машины совпадала с колеей железнодорожного пути или была несколько меньше ее.

3) На ведущую ось с пневмоколесами дополнительно устанавливают металлические ребордчатые колеса, посредством которых машина движется по рельсам. Диаметр металлических колес выбирают несколько меньше диаметра пневмоколес, что позволяет машине двигаться по грунту без их демонтажа.

В то же время при движении по рельсам может быть затруднен проезд стрелочных переводов и переездов.

4) На пневмоколеса надевают металлический ребордчатый бандаж или ленту с ребордами. Достоинство данной схемы заключается в том, что не требуется замена пневмоколес, полностью используется сцепной вес и амортизирующая способность пневмоколес и их подвески. Однако монтаж бандажей на пневмоколеса требует значительного времени и точности.

5) Изготавливают специальные шасси с двумя видами движителей – пневмоколесным и железнодорожным. Они имеют два основных конструктивных исполнения – с использованием балансирных тележек с железнодорожными колесами и с применением перпендикулярно расположенных осей.

В первом случае при опускании на рельсы железнодорожных колес балансирных тележек происходит подъем машины до полного исключения касания пневмоколесами элементов верхнего строения пути. Движение производится посредством железнодорожных колес, приводимых от гидромоторов или механических передач.

Во втором случае при заезде на рельсы поперек пути пневмоколеса поднимаются, а машина опускается на ребордчатые металлические колеса, которые имеют независимый привод. Установка машины на путь занимает небольшое время, однако компоновка машины требует, чтобы база пневмоколес была близка к ширине рельсовой колеи.

Наибольшее распространение в отечественной и зарубежной практике получили машины, комбинированный ход которых выполнен по второму варианту. В частности, транспортное средство на комбинированном ходу на базе шасси МАЗ-630308, МАЗ-6312 (рисунок 1) для круглогодичного содержания дорог, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, благоустройства территорий, обслуживания мостовых и тоннельных сооружений на автомобильных и железнодорожных коммуникациях, а также ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций различного характера и машина комбинированная железнодорожная МКЖ-416 на базе шасси Ш-406 «Беларус» (рисунок 2), разработанные кафедрой «Транспортно-технологические машины и оборудование» Белорусского государственного университета транспорта по заказу Департамента транспортных войск Министерства обороны Республики Беларусь в рамках программы Союзного государства

«Создание единой системы технического прикрытия железных дорог региона», имеют описанную выше конструкцию.

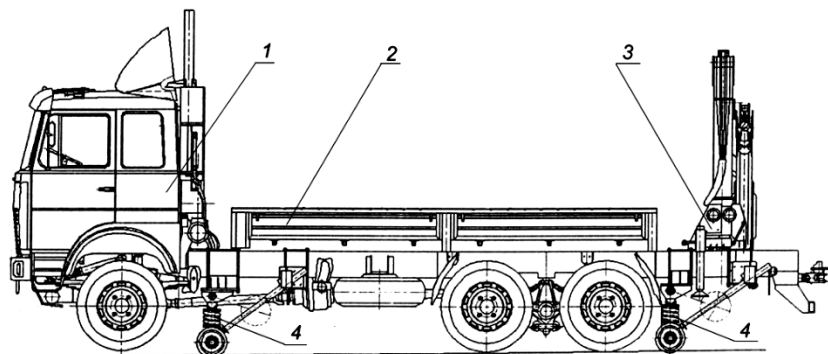


Рис. 1. Машина на комбинированном ходу на базе шасси МАЗ-630308:  
1 – шасси МАЗ-630308; 2 – грузовая платформа; 3 – гидроманипулятор;  
4 – комбинированный ход

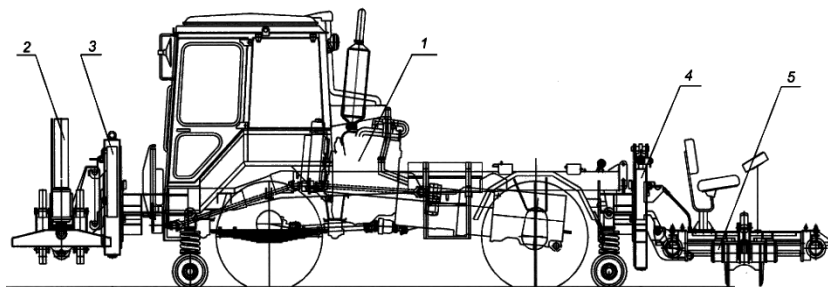


Рис. 2. Машина комбинированная железнодорожная МКЖ-416  
на базе шасси Ш-406 «Беларус»:

1 – шасси «Беларус» Ш-406; 2 – подъемно-рихтовочный блок;  
3 – передняя навеска; 4 – задняя навеска; 5 – блок для установки шпал  
по меткам и разгонки стыковых зазоров

Самую многочисленную группу машин на комбинированном ходу представляют гидравлические одноковшовые экскаваторы с пневмоколесным ходовым устройством, которые помимо обычных ковшей для выемки грунта можно оснащать таким сменным оборудованием, как траверсы для подъема и перемещения рельсов, захваты для укладки рельсов, струги и щетки для перемещения балластного материала и формирования балластной призмы, поворотные устройства для удаления растительности с пути,

приспособления для замены шпал, а также подъемные площадки для доставки персонала непосредственно к конкретному объекту обслуживания или ремонта (рисунок 3).



Рис. 3. Гидравлический одноковшовый экскаватор на комбинированном ходу

Гусеничные машины имеют три основные схемы приспособления для работы на рельсовой колее:

1) На машину устанавливают гусеницы со специальным профилем башмаков, имеющие реборду и площадку для опирания на головку рельса, что обеспечивает удержание машины на рельсовой колее и сохранение проходимости при движении по различным покрытиям (рисунок 4).

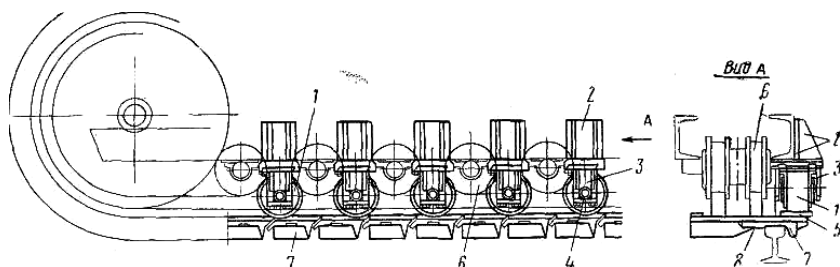


Рис. 4. Ходовая часть гусеничной машины на комбинированном ходу:

1 – дополнительные опорные катки; 2 – опорные площадки кронштейнов дополнительных катков; 3 – кронштейны дополнительных катков; 4 – оси; 5 – пластины на башмаках для перекачивания дополнительных катков; 6 – основные опорные катки; 7 – направляющие гребни (реборды) башмаков; 8 – опорные площадки

2) На машину устанавливают дополнительные подъемные катки, которые могут быть как неприводными и служить только для направления движения, так и приводными посредством гидромоторов или механической передачи.

3) Машину для движения по рельсам устанавливают на специальную низкорамную платформу (трейлер), привод железнодорожных колес которой осуществляется от гусениц или трансмиссии машины.

Среди отечественных гусеничных машин наибольшее распространение получила первая схема, которая реализована в машинах различного назначения, базирующихся на гусеничном шасси (рисунок 5).

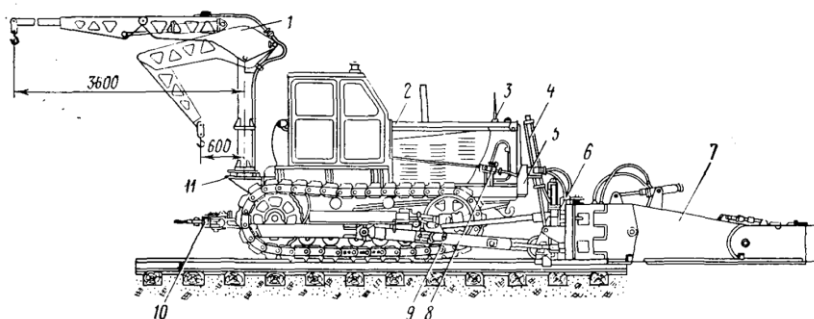


Рис. 5. Тракторный дозировщик балласта ТДГ-1:

1 – гидроманипулятор; 2 – трактор; 3 – визир; 4 – гидроцилиндр подъема лобового щита; 5 – рама подвески гидроцилиндра; 6 – лобовой щит; 7 – боковые крылья; 8 – гидрораспределитель; 9 – толкающая рама; 10 – поворотно-прицепное устройство; 11 – кронштейн гидроманипулятора

На основании результатов испытаний транспортного средства на комбинированном ходу на шасси МАЗ-6303 и математического моделирования основных динамических параметров системы «пневматическое колесо – рельс» для данной машины получены зависимости коэффициента сопротивления качению в покое и движении от нагрузки на колесо и скорости движения, а также реальной площади пятна контакта от нагрузки на колесо. Анализ данных зависимостей показывает, что сопротивление качению при всех режимах движения на железнодорожном пути выше, чем на

асфальтированной дороге, что необходимо учитывать при выполнении тяговых и тормозных расчетов машин на комбинированном ходу. Расчетным путем получены значения основных динамических параметров системы «пневматическое колесо – рельс» для различных шин, выпускаемых ОАО «Белшина».

### **Заключение**

Таким образом, разработка на базе энергонасыщенных отечественных колесных машин специализированной техники для круглогодичного содержания дорог, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, благоустройства территорий, обслуживания мостовых и тоннельных сооружений, как на автомобильных, так и железнодорожных коммуникациях, а также ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций различного характера возможна посредством установки комбинированного рельсоколесного хода и различного специализированного технологического оборудования. Конструкторская проработка, сопровождаемая тяговыми и тормозными расчетами при движении как по автодорогам, так и по железнодорожному пути, прочностными расчетами элементов конструкции, а также расчетами систем и агрегатов показывает, что при соответствующей модернизации силовой установки, трансмиссии, гидравлической и пневматической систем и дополнительного оснащения оригинальным комбинированным рельсоколесным ходом различные шасси производства ОАО «МТЗ» и ОАО «МАЗ» имеют потенциал, выражающийся в способности транспортирования по рельсовой колее железнодорожного подвижного состава и возможности агрегатирования с широкой номенклатурой дополнительного гидрофицированного сменного рабочего оборудования, а также соответствуют требованиям действующих нормативных документов в области безопасности движения и производства работ.

### **Литература**

1. Бардышев, О.А. Машины на комбинированном ходу / О.А. Бардышев, О.А. Кудряшов, В.И. Тэттэр. – М.: Транспорт, 1975. – 135 с.



2. Довгяло, В.А. Современное состояние и перспективы оснащения транспортных войск Республики Беларусь многофункциональными техническими средствами / В.А. Довгяло, Д.И. Бочкарев, Л.Б. Полянский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2007. – № 1. – С. 33 – 37.
3. Лопай, С.Д. Восстановление железнодорожного пути и сооружений / С.Д. Лопай, Н.А. Зензинов, В.А. Шушков, Е.Е. Овчинников. – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
4. Путевые машины / С.А. Соломонов [и др.]; под общ. ред. С.А. Соломонова. – М: Желдориздат, 2000. – 756 с.
5. Энергоресурсосберегающие технические средства и их комплексы для строительства / А.В. Вавилов [и др.]; под общ. ред. А.В. Вавилова. – Минск: Стринко, 2003. – 328 с.
6. Гребенюк, П.Т. Тяговые расчеты: Справочник / П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова. – М.: Транспорт, 1987.– 272 с.
7. Довгяло, В.А. Взаимодействие в системе «пневматическое колесо – рельс» транспортного средства на комбинированном ходу / В.А. Довгяло, Д.И. Бочкарев, Д.А. Черноус, С.Б. Анфиногенов // Трение и износ. – 2008. – Т. 29, № 6. – С. 604 – 612.
8. Левин, М.А. Теория качения деформируемого колеса / М.А. Левин, Н.А. Фуфаев. – М.: Наука, 1989. – 272 с.

**СЕКЦИЯ  
«МОСТЫ И ТОННЕЛИ»**

## АКТИВНЫЙ И ПАССИВНЫЙ МЕТОД ПРИ ПРОВЕРКЕ СООТВЕТСТВИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Яковлев А.А.

Белорусский национальный технический университет

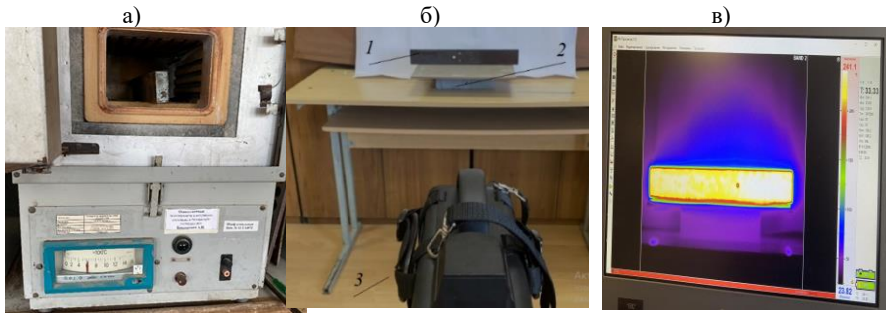
**Активный метод.** Нагрев образцов производился в муфельной печи. Далее образец укладывался на теплоизолирующую подставку и в режиме естественного охлаждения выполнялось термофильмирование исследуемой поверхности.

Вид образца на этой стадии исследования показан на рисунке 1. На рисунках 2, 3 приведены данные температурных полей обеих сторон исследуемых образцов. На рисунке 2 отображено поле температур образца со стороны засверленных отверстий, а на рисунке 3 – с обратной стороны. Из рисунка 2 видно, что радиационные температуры зависят от диаметра засверливания. Из графиков рисунка 3б видно, что температура на не засверленной стороне образца понижается напротив отверстий.

При более высокой начальной температуре металла образца в интервале 100 °С-250 °С можно выбрать интервал с более высокой контрастностью в зонах температурных аномалий.

С учетом рисунков 4, 5 и по данным термограмм рисунков 3 – 5 можно рассчитать градиенты характерных аномалий температурного поля исследуемых поверхностей образцов.

Графики зависимости градиентов температурного поля (при активном методе) в зонах аномалий от  $h$ ,  $d$  приведены на рисунках 5, 6. Из сопоставления графиков с соответствующими термограммами вытекает, что при активном методе исследования уверенно выявлять дефекты в металле можно при  $h \leq 5$  мм или при  $d \geq 4$  мм. При большей величине  $h$  (или меньшей –  $d$ ) измеряемые величины  $\Delta t$  сопоставимы с внешними помехами.



1 – образец; 2 – теплоизолирующая подставка; 3 – ИРТИС-2000СН

Рис. 1. Нагрев контрольного образца в муфельной печи: (а) его термофильмирование в режиме охлаждения (б) и фото текущего термокадра на экране (в)

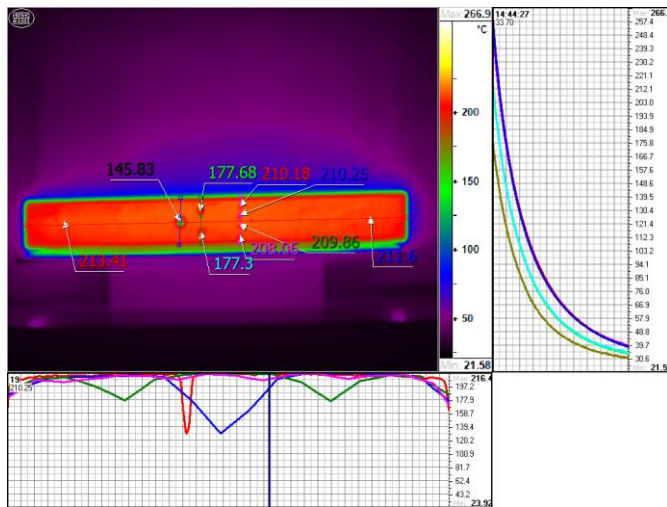


Рис. 2. Термограмма (кадр 1) температурного поля (а) образца 3 со стороны отверстий и графики изменения температур поверхности по выделенным линиям (б) и точкам за время испытания образца (в)

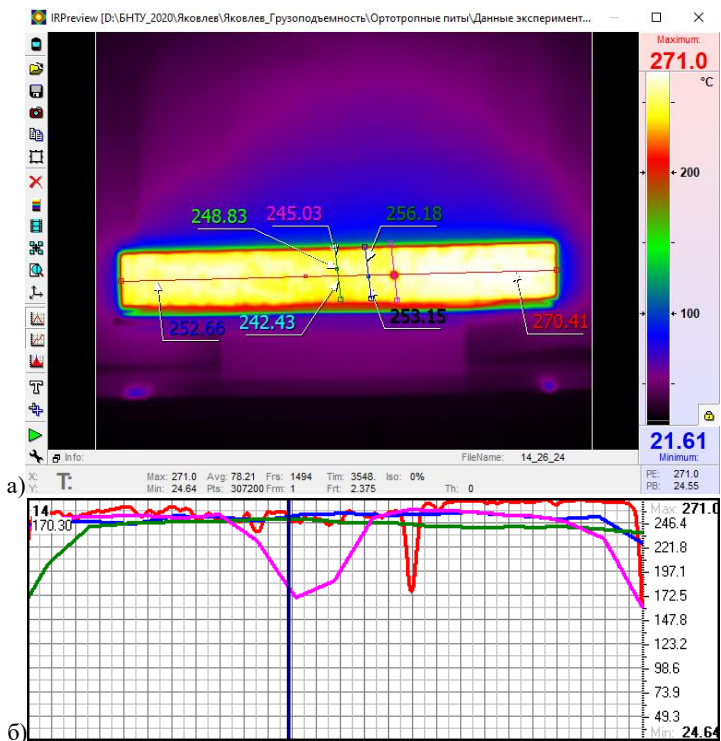


Рис. 3. Термограмма (кадр 1) температурного поля (а) образца 3 на не засверленной стороне и графики изменения температур поверхности по выделенным линиям (б)

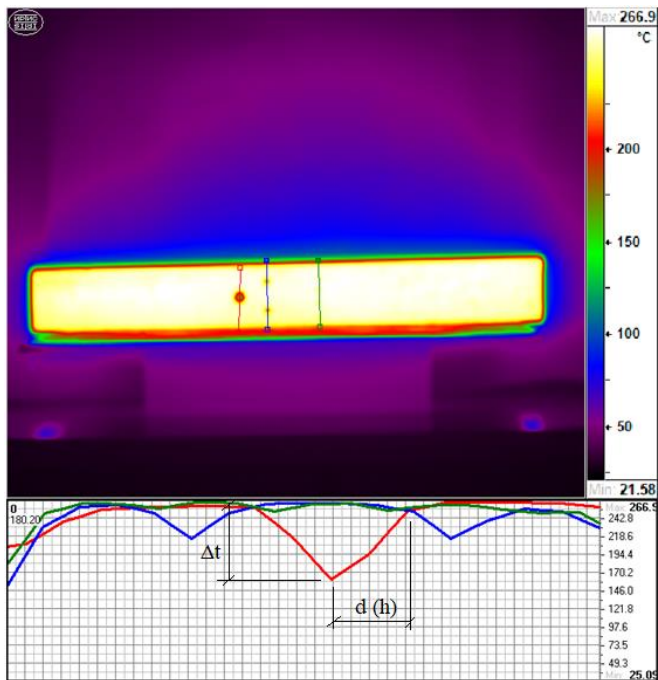


Рис. 4. Градиент температур

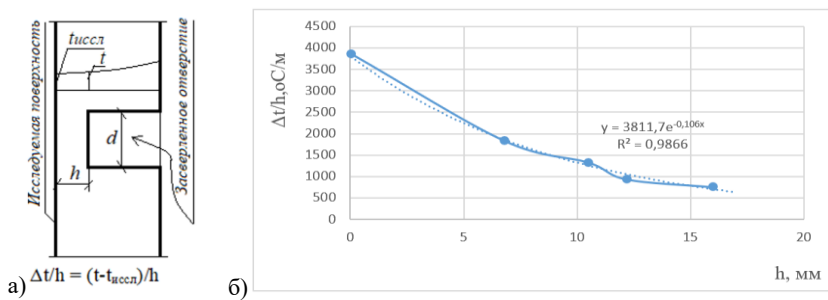


Рис. 5. Изменение перепада температур  $\Delta t/h$  при остывании образца с ростом  $h$

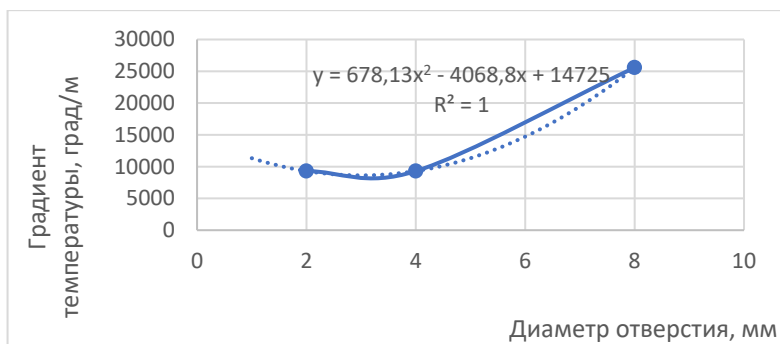


Рис. 6. Изменение градиента температуры в зависимости от диаметра отверстия

**Пассивный метод.** Пассивное теплообразование контрольного образца происходило за счет деформационного нагрева в процессе растяжения образца. Вид такого образца после разрушения показан на рисунке 7.



Рис. 7. Вид контрольного образца после разрушения

Образцы испытывались при двух уровнях начальных температур стали: при «комнатной» и охлажденными до минус 40 °С. Поверхность охлажденного образца при установке в машину покрывалась инеем, который частично подтаявшим сохранялся и после разрушения (рисунок 8). При этом таяние инея выделяло контуры поверхностей с положительными температурами.

Из графика температур по выделенной линии (рисунок 9) и графика градиентов (рисунок 10) следует, что в образце при пассивном тепловом методе исследования можно уверенно выявлять

внутренние дефекты диаметром более 6 – 8 мм, расположенные от исследуемой поверхности на расстоянии  $h \leq 6$  мм.



Рис. 8. Вид охлажденного образца до начала испытаний

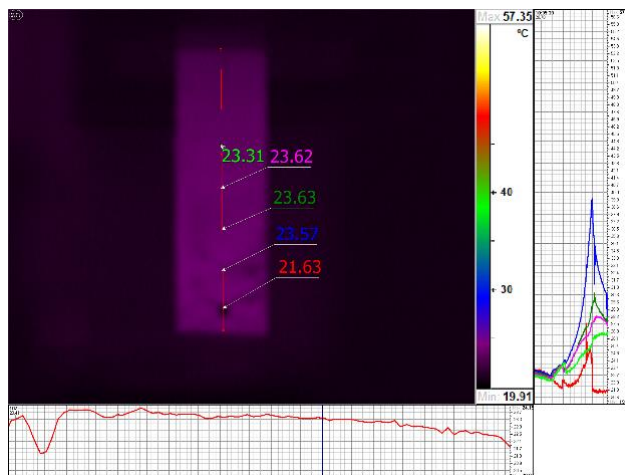


Рис. 9. Термограмма образца 5 (кадр 134) и распределение температур вдоль выделенной линии (график снизу) и выделенных точек (график справа)



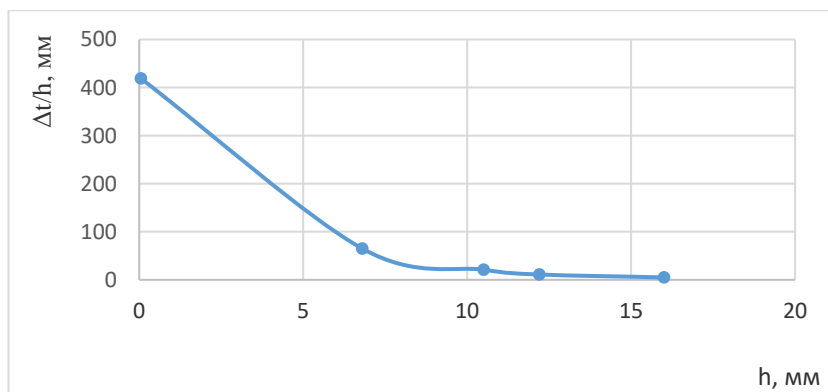


Рис. 10. Изменение  $\Delta t/h$  при растяжении образца 1 с увеличением  $h$

### Выводы

Рассмотрены конструкции стандартных образцов для тепловых пассивных исследований. Численно проанализировано их напряженно-деформированное состояние и выявлены форма и размеры области материала у основания искусственных дефектов в образцах, которая является сосредоточенным деформационным источником тепла.

Выполнен анализ изменения температуры диагностируемой поверхности образцов при использовании активного и пассивного тепловых методов.

Установлено, что при активном тепловом исследовании образцов можно выявлять искусственные дефекты (засверленные отверстия) и их параметры приборами инфракрасной термографии. При использовании деформационного тепла в образце при пассивном тепловом методе исследования можно уверенно выявлять внутренние дефекты диаметром более 6–8 мм, расположенные от исследуемой поверхности на расстоянии  $h \leq 6$  мм. При активном методе исследования уверенно выявлять дефекты в металле можно при  $h \leq 5$  мм или при  $d \geq 4$  мм. При большей величине  $h$  (или меньшей  $d$ ) измеряемые величины  $\Delta t$  сопоставимы с внешними помехами.

## **ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОВАТЫ**

**Ляхевич Г.Д., Гречухин В.А., Савина Е.Н., Кулан А.В.**  
Белорусский национальный технический университет

Актуальность предлагаемой работы заключается в необходимости вовлечения в производство строительных материалов отходов производства волокнистых теплоизоляционных материалов, однако они токсичны и вызывают угрозу онкологических заболеваний. Токсичность пыли волокнистых теплоизоляционных отходов (ВТО) производства стекловаты указывалась в нормативных документах, а также в наших работах и в публикациях других исследователей. Основную опасность представляет токсичная пыль, что и послужило причиной поиска вариантов снижения пылеобразования.

Разработка технологии обеспыливания ВТО преследует несколько целей:

– обеспечить проведение экспериментальных работ, при которых запыленность воздуха рабочей зоны не превышает ПДК;

– обеспечить внедрение ВТО на дорожно-мостовых предприятиях с обеспечением запыленности рабочей зоны, не превышающей ПДК;

– обеспечить эффективную технологию приготовления бетонных смесей, а также высокие физико-механические параметры высокопрочных бетонов;

– обеспечить экологическую безопасность технологии путем применения замкнутого цикла водообеспечения;

– обеспечить использование загрязненного водного раствора суперпластификатора для приготовления бетонных смесей.

Волокна ВТО длиной 15–50 мм и толщиной 3–20 мкм располагаются параллельно друг другу, что придает изделиям прочность и упругость. Удельная прочность стекловолокна превышает аналогичный показатель стальной проволоки. ВТО не стареет; не вызывает коррозию металлов; сохраняет механические свойства; характеризуется морозостойкостью.

Подбор реагентов для обеспыливания ВТО должен учитывать, прежде всего, их токсичность, а также перспективу их использования в строительстве, а точнее для получения сверхпрочных бетонов для мостовых и тоннельных конструкций.

Учитывая перспективу использования обеспыленных ВТО, в качестве реагентов выбраны суперпластификаторы марок С-3 и СП-1. Они не дорогие и промышленно производятся в РФ и РБ.

Суперпластификаторы С-3 и СП-1 являются веществами умеренно опасными и относятся к III классу опасности по ГОСТ 12.1.007. При хранении не выделяют вредных веществ или паров. Введение добавки в бетонную смесь не изменяет токсиколого-гигиенических характеристик бетона. Жидкая добавка согласно ГОСТ 12.1.044 относится к негорючим жидкостям. При работе необходимо соблюдать санитарно-гигиенические требования.

Применение добавки не вызывает коррозию арматуры в бетоне и не вызывает образование высолов на поверхности бетона.

Таким образом, выбор суперпластификаторов С-3 и СП-1 в качестве реагентов для обеспыливания ВТО является обоснованным, что чрезвычайно важно при изготовлении высокопрочных бетонов для мостовых и тоннельных конструкций.

Технологическая схема экспериментальной установки для обеспыливания волокнистых отходов производства стекловаты представлена на рисунке 1.

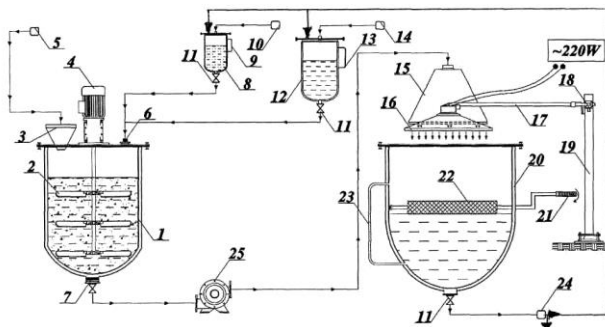


Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки для обеспыливания НВТО производства стекловаты

**Состав установки:** 1 – смеситель; 2 – лопастная мешалка; 3 – воронка для ввода порошкового суперпластификатора; 4 –

электромотор; 5 – ввод порошкового суперпластификатора в смеситель; 6 – штуцер для ввода воды и концентрата суперпластификатора; 7 – штуцер для вывода раствора суперпластификатора; 8 – емкость концентрата суперпластификатора; 9 – уровень концентрата суперпластификатора; 10 – ввод концентрата суперпластификатора; 11 – вентиль; 12 – емкость воды; 13 – уровень воды; 14 – ввод воды в емкость 12; 15 – устройство для распыления воды или раствора; 16 – инфракрасный излучатель; 17 – штанга; 18 – поворотное устройство; 19 – стойка; 20 – емкость для обработки ВТО; 21 – устройство для вращения валика с ВТО; 22 – валик с ВТО; 23 – уровень емкости; 24 – отвод отработанного раствора С-3 (СП-1); 25 – насос для подачи раствора С-3 (СП-1) в устройство 15.

На установке были приготовлены растворы 15% и 25% концентрации, которые использовались для обработки ВТО.

Технология обеспыливания: обработка растворами суперпластификатора С-3 (СП-1) осуществляется на установке, представленной на рисунке.

Обработка ВТО осуществлялась в емкости 20. Расход растворов С-3 (СП-1) на обработку ВТО составил 0,5-3 массовых частей на одну массовую часть ВТО, продолжительность обработки 0,4-5 минут.

Использование суперпластификаторов с высокой полярностью обеспечивает высокий эффект обработки ВТО: хорошую смачиваемость волокон, относительно низкий расход растворов С-3, (СП-1), непродолжительное время обработки, составляющее 0,4-5 минут.

## **Выводы**

1. Проблема утилизации волокнистых теплоизоляционных отходов, включая волокнистые теплоизоляционные отходы производства стекловаты чрезвычайно сложная. Главная причина её заключается в том, что эти отходы являются токсичными. Более того пыль стекловолокна сорбирует выделяющиеся в процессе ее образования токсичные компоненты замазливателей, и она становится еще более опасной. Токсичность пыли не уменьшается при хранении волокнистых теплоизоляционных отходов, а также при

транспортировании, выполнении экспериментальных работ и в перспективе при внедрении ВТО на строительных объектах.

2. Изучена характеристика волокнистых теплоизоляционных отходов. Показано, что волокна ВТО располагаются параллельно друг другу и характеризуются: длиной – от 15 мм до 50 мм, толщиной – от 3 до 20 мкм. Значение удельной прочности стекловолокон превышает аналогичный показатель стальной проволоки.

3. Подобраны реагенты для обеспыливания ВТО и обосновано их применение. В качестве таковых используются суперпластификаторы С-3, СП-1 на основе продукта конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида с соотношением фракций с различной средней молекулярной массой. По классификации ГОСТ 24211 С-3(СП-1) относится к пластифицирующе-водоредуцирующему виду – суперпластификаторам.

4. Установлено, что, пластификаторы С-3 (СП-1) используют: для повышения формуетности бетонных смесей без снижения прочности и показателей долговечности бетона (при более низком водоцементном отношении), повышения физико-механических показателей и строительно-технических свойств бетона, для повышения удобоукладываемости бетонных смесей и строительно-технических свойств, для сокращения расхода цемента без снижения удобоукладываемости бетонной смеси.

5. Обработку ВТО растворами суперпластификатора С-3, (СП-1) осуществляется на экспериментальной установке с замкнутым циклом водообеспечения по безотходной технологии;

6. Обработку волокнистых теплоизоляционных отходов производства стекловаты осуществлялась с параметрами: расход растворов С-3, (СП-1) на обработку ВТО составил 0,5-3 массовых частей на одну массовую часть ВТО. Использование суперпластификаторов с высокой полярностью обеспечивает высокую эффективность обработки ВТО: хорошую смачиваемость волокон, относительно низкий расход С-3, (СП-1), непродолжительное время обработки. Самым важным является тот факт, что суперпластификатором С-3, (СП-1) обрабатываются ВТО, которые будут использоваться в бетонных смесях для обеспечения их высокой удобоукладываемости, а также для получения свехпрочных бетонов для мостовых и тоннельных конструкций.

7. Как показали предварительные исследования бетонных смесей, удобоукладываемость их, а также физико-механические свойства выше у бетонов, в которых использовались неутрализованные волокнистые отходы, обработанных растворами суперпластификаторов С-3 и СП-1 с большей концентрацией. Использование обработанных растворов суперпластификаторов С-3 и СП-1, в которых содержатся мельчайшие частички волокон, для затворения бетонных смесей, обеспечило более высокие физико-механические свойства бетонов.

8. В этой связи необходимо продолжить начатые исследования, а именно: разработать составы и технологию приготовления бетонных смесей, содержащих ВТО производства стекловаты, установить зависимости прочности бетона на сжатие и растяжение от количества и размера ВТО, разработать конструкцию дорожной одежды, содержащей ВТО производства стекловаты; передать результаты исследования дорожно-мостовым предприятиям и доработать технологию использования ВТО производства стекловаты на этом дорожно-мостовом предприятии.

9. Благодаря разработанной установке и технологии обеспыливания:

–обеспечено проведение экспериментальных работ, при которых запыленность воздуха рабочей зоны не превышает ПДК;

–внедрение ВТО на дорожно-мостовых предприятиях будет осуществляться с обеспечением запыленности рабочей зоны, не превышающей ПДК;

–обеспыливание ВТО будет обеспечивать эффективную технологию приготовления бетонных смесей, а также высокие физико-механические параметры высокопрочных бетонов;

–разработанная экспериментальная установка и технология обеспыливания ВТО является безотходной, с замкнутым циклом водообеспечения, загрязненная вода полностью используется для приготовления растворов суперпластификаторов и бетонных смесей.

## **О ПОВЫШЕНИИ НАДЁЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

**Шевченко С.В.**

Белорусский национальный технический университет,

***Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы о повышении надежности и долговечности деформационных швов малых и средних автодорожных мостов, о недостатках существующих швов, о повышении качества строительно-монтажных работ при сооружении швов и при их содержании и ремонте. Приведены рекомендации по усовершенствованию применяемых швов и по устройству надежных переходных зон у деформационных швов.*

***Ключевые слова:** Деформационные швы, мосты.*

Деформационные швы (далее – ДШ) являются одним из наиболее уязвимыми элементами мостов. Используемые на малых и средних мостах отечественные ДШ до последнего времени не отличаются долговечностью. Срок их службы обычно не превышает 5 – 10 лет.

Неисправные ДШ при их дальнейшей эксплуатации могут привести к повышению динамической нагрузки на несущие элементы моста, к разрушению проезжей части и других элементов на мосту и подходах.

Вода (часто с солью в зимний период) через повреждённые ДШ попадает на нижележащие конструкции, на конуса подходов, что приводит к их повреждению или полному разрушению.

Может развиваться коррозия торцов пролётных строений, опорных частей, подферменников, ригелей, стоек опор и фундаментов.

При несвоевременных и некачественных работах по обследованию и ремонту мостов эксплуатация таких сооружений опасна и может привести к авариям и обрушениям.

Одним из путей повышения надёжности мостов является уменьшение количества ДШ. Необходимо применять вместо

разрезных систем неразрезные или температурно-неразрезные пролётные строения при проектировании новых сооружений. А при ремонте существующих разрезных балочных железобетонных мостов использовать монолитную железобетонную накладную неразрезную плиту поверх балок пролётных строений. Крайние ДШ можно вынести за пределы моста, на подходы.

Возможен вариант сооружения накладной плиты или переходных участков перед ДШ из сталефибробетона. Прочность такого материала на сжатие почти на 50% выше обычного бетона, а на растяжение – более чем в 2 раза. Такой материал отличается высокими характеристиками по истираемости и водонепроницаемости.

При температурных перемещениях до 20 - 30 мм широко применяются щебне-мастичные деформационные швы (далее – ЩМДШ). Но они обладают целым рядом существенных недостатков: появление колеяности мостового полотна при высоких температурах окружающего воздуха; трещинообразование при низких температурах; низкая водонепроницаемость; плохое качество применяемых мастик.

При ремонтах таких ДШ часто трещины заделываются асфальтобетоном сверху. В зимний период трещины и протечки в ДШ появляются вновь. Пример – мост через реку Свислочь по пр. Независимости в районе пл. Победы в г. Минске. Под ДШ там видны протечки в дождливую погоду и при таянии снега на проезжей части.

Битумизированные материалы, применяемые в отечественных ЩМДШ не обладают достаточной долговечностью и эластичностью. В США в таких ДШ используют в последнее время полиуретановые мастики. В Германии – двухкомпонентную мастику на основе полисульфидного каучука. Для заполнения зазора в ДШ используется неопрен. Для предотвращения разрушения кромок деформационного зазора целесообразно устройство переходных участков из полимербетона или из сталефибробетона.

Переходные зоны (приливы) в современных ДШ типа ВЕJ компании Universal Seaiants изготавливают из полимерной смолы Britflex с инертным наполнителем («гибкий бетон»), позволяющие поглощать энергию удара колеса автомобиля.

В последнее время в Республике Беларусь начали применять ДШ с несущими резиновыми ленточными профилями для малых и



средних мостов. Такие ДШ типа Maurer применялись для путепроводов Западного обхода в г. Бресте в 2019 году, при капитальном ремонте путепровода у железнодорожного вокзала в г. Барановичи, при строительстве моста через реку Припять в г. Калинковичи в 2021 г. (см. рис. 1) и др.

При эксплуатации таких ДШ отмечены отдельные случаи механических повреждений резиновых компенсаторов при несвоевременной очистке ДШ от камней, грязи, льда и т.п. Для предотвращения протечек в местах повреждений предлагается устройство дополнительных желобов под ДШ с уклоном не менее 5%, с отводом воды в ливневую канализацию. Желательно и наличие греющих кабелей в желобах и водосточных трубах. При эксплуатации переходных зон, изготовленных из высокопрочного бетона В40 на ряде объектов обнаружены трещины и сколы бетона, что говорит о недопустимости применения таких материалов в ДШ и необходимости дальнейших исследований в этом направлении.

ДШ с упругими резинометаллическими компенсаторами типа КРМ применялись в г. Минске при капитальном ремонте моста через реку Свислочь на пр. Машерова в районе Комсомольского озера. Существенным недостатком таких ДШ является ненадежность болтовых креплений. Под действием динамических нагрузок от автотранспорта болты и анкерные крепления часто выходят из строя. Нарушается герметичность ДШ. Создаются опасные условия для дорожного движения.

После года эксплуатации моста появились разрушение креплений и значительные протечки под ДШ, что говорит о несовершенстве таких конструкций.

Таким образом, ДШ с резиновыми профилями типа Maurer являются на сегодняшний день наиболее надёжными и долговечными в условиях Республики Беларусь для малых и средних мостов при температурных перемещениях до 80 мм при усовершенствовании системы водоотвода под ДШ и при устройстве переходных зон из полимербетона или фибробетона и при усовершенствовании их конструкции.

## СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СТЕКЛОВОЛОКНА

Ляхевич Г.Д., Гречухин В.А., Савина Е.Н., Кулан А.В.  
Белорусский национальный технический университет

**Введение.** В настоящее время на заводах по производству стекловолкна остро стоит проблема по переработке образующихся волокнистых теплоизоляционных отходов. Несмотря на складирование в специальных штабелях, **отбракованные рулоны стекловаты** занимают полезную площадь и создают дополнительную финансовую нагрузку на инфраструктуру предприятий, а также негативно влияют на окружающую среду в районе их складирования (рисунок).

Применяемые сегодня способы по их утилизации требуют дополнительного вложения средств и позволяют лишь переместить отходы с территории предприятий на полигон по сбору отходов, не снижая их негативное действие на окружающую среду. При этом предприятия несут затраты на погрузку, транспортировку и утилизацию.

Вариантом разгрузки мест складирования является реализация некондиционных рулонов населению.



Рис. 1. Складирование ВТО

**Экспериментальное исследование.** При производстве и переработке стекловолокна выделяются пыль стекловолокна, неорганическая пыль, пары и аэрозоли компонентов замазливателей, серной кислоты и химических составов, дымовых газов от стекловаренных печей, сушильных камер, печей для термохимической обработки. В воздух поступают эпихлоргидрин, формальдегид, этановая кислота, гидрохлорид, аэрозоль минерального нефтяного масла. Указанные вредные вещества оказывают на организм человека комбинированное воздействие однонаправленного действия с эффектом суммации. Вредные вещества, входящие в состав замазливателей, в сочетании с пылью стекловолокна на фоне микротравматизации повышают риск развития профессиональных новообразований кожи, делая пыль ВТО еще более опасной. В связи с вышеизложенным, для безопасного получения новых строительных материалов обеспыливание ВТО с замкнутым циклом водообеспечения является чрезвычайно актуальной проблемой.

Объект исследования. Волокнистые теплоизоляционные отходы.

Предмет исследования. Пылеобразование волокнистых теплоизоляционных отходов, обработанных поверхностно-активными веществами.

Целью исследования является снижение пылеобразования волокнистых теплоизоляционных отходов и вовлечение их в производство строительных материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– исследовать эффективность, применяемых способов утилизации ВТО;

– разработать способ обеспыливания ВТО;

– снизить запыленность воздуха рабочей зоны до значений не превышающих ПДК;

– разработать безотходную технологию обеспыливания ВТО с замкнутым циклом водообеспечения.

Проблема использования волокнистых теплоизоляционных отходов, включая волокнистые теплоизоляционные отходы производства, чрезвычайно сложная, потому что, согласно дополнению № 7 к ГН 2.2.5.1313-03 «Гигиенические нормативы»

ГН 2.2.5-10 (1802, силикатсодержащие пыли, силикаты, алюмосиликаты) эти отходы являются токсичными.

Последующая переработка ВТО осложняется наличием мелких твёрдых частиц таких как:

- пыль хризотилсодержащая, которая действует на организм в виде аэрозоли преимущественно фиброгенного действия и канцерогенов;

- искусственные минеральные и кремнийсодержащие волокна и др., которые действуют в виде аэрозоли преимущественно фиброгенного действия;

- пыль стекла и неволокнистых стеклянных строительных материалов.

Вышеперечисленные мелкие твёрдые частицы имеют две нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: 6 мг/м<sup>3</sup> – максимальная разовая и 2 мг/м<sup>3</sup> – среднесменная, которая действуют в виде аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Класс опасности пыли волокнистых теплоизоляционных отходов – 3, что в соответствии с классификацией и общими требованиями безопасности по ГОСТ 12.1.007 относится к умеренно опасным.

Пыль стекловолокна сорбирует выделяющиеся в процессе её получения токсичные компоненты замазливателей, например, мышьяк, серную кислоту и становится еще более опасной.

Токсичность пыли не снижается при хранении волокнистых теплоизоляционных отходов (ВТО), а также при транспортировании, выполнении экспериментальных работ и в перспективе при внедрении на строительных объектах. Это подтверждается гигиеническими нормативами ГН 2.2.5-10.

В дополнение к этим утверждениям необходимо отметить, что отходы производства стекловолокна подлежат обезвреживанию, утилизации или размещению на полигонах с учетом класса их опасности.

В связи с тем, что волокнистые теплоизоляционные отходы (ВТО) исследовались с целью введения в бетонные смеси для получения сверхпрочных бетонов, их обрабатывали водными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ), суперпластификаторами С-3, СП-1 разной концентрации. При приготовлении бетонных

смесей такая обработка обеспечила получение бетонов с высокими физико-механическими показателями. Полярность суперпластификаторов С-3, СП-1 обеспечила эффективную смачиваемость ВТО.

Для приготовления водных растворов суперпластификаторов С-3, СП-1 разной концентрации применяли водопроводную воду, соответствующую требованиям СТБ 1114.

Разработанный и запатентованный авторами способ обеспыливания волокнистых теплоизоляционных отходов преследует несколько целей:

- обеспечить проведение экспериментальных работ, при которых запыленность воздуха рабочей зоны не превышает ПДК;
- обеспечить внедрение ВТО на дорожно-мостовых предприятиях с обеспечением запыленности рабочей зоны, не превышающей ПДК;
- обеспечить эффективную технологию приготовления бетонных смесей, а также высокие физико-механические параметры высокопрочных бетонов;
- обеспечить экологическую безопасность с замкнутым циклом водообеспечения, загрязненная вода полностью используется для приготовления бетонных смесей.

**Выводы.** Благодаря разработанной технологии обеспыливания волокнистых теплоизоляционных отходов:

- обеспечены условия проведения экспериментальных работ, при которых запыленность воздуха рабочей зоны не превышает ПДК;
- внедрение ВТО на дорожно-мостовых предприятиях будет осуществляться с обеспечением запыленности рабочей зоны, не превышающей ПДК;
- обеспечена безопасная и эффективная технология приготовления бетонных смесей, с введением в нее обеспыленных волокнистых теплоизоляционных отходов, а также высокие физико-механические параметры высокопрочных бетонов;
- разработана безотходная технология обеспыливания ВТО с замкнутым циклом водообеспечения;
- загрязненная вода, применяемая в процессе обеспыливания, полностью используется для приготовления растворов суперпластификаторов и бетонных смесей.

## СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА

**Прибыльская Н.М.**

ст. преподаватель кафедры «Мосты и тоннели» ФТК БНТУ,  
зам. директора ООО «Тоннельновация и К»

***Аннотация.** В наше время более выигрышным способом сооружения подземных транспортных коммуникаций является закрытый способ строительства объектов тоннельного типа. Данный способ строительства минимально влияет на работу транспортной отрасли, потому что не требует прекращения движения по существующим железным дорогам и автомагистралям, строительно-монтажные работы не оказывают нежелательного воздействия на городскую инфраструктуру.*

*Вышеизложенное говорит о том, что закрытый способ строительства с применением металлических защитных экранов практичен и экономически выгоден. В данной статье были рассмотрены применяемые и новые виды защитных экранов. Была проведена расчетная оценка методов сооружения защитных экранов.*

***Ключевые слова:** подземные транспортные коммуникации, защитные экраны, продавливание, нарушение структуры вышележащих слоев грунта, деформации и просадка поверхности несущего слоя.*

Для строительства подземных транспортных коммуникаций бестраншейным способом применяют различные технические решения, в том числе различные конструкции металлических защитных экранов.

Для сравнения был взят способ сооружения защитного экрана, используемый ООО "Анкерные технологии-М" Российская Федерация. Защитный экран включает ряд соединенных между собой труб или секций, состоящих из двух и более труб, в каждой из

которых выполнен продольный вырез для вхождения в него примыкающей трубы и окна для размещения поперечной арматуры, вдоль продольных вырезов установлены ребра жесткости, а стенки продольных вырезов сопряжены с замково-направляющим устройством, при этом защитный экран выполнен с лидерной трубой, которая имеет два продольных выреза для вхождения в них и фиксации посредством замково-направляющего устройства труб, примыкающих к лидерной трубе, и соответственно два ряда ребер жесткости, расположенных вдоль этих вырезов.

В статье рассматриваются новые способы сооружения защитных экранов. При сооружении первого предложенного металлического защитного экрана используются направляющие трубы и базовые элементы, содержащие секции из сваренных между собой полуторуб. Данный вид защитного экрана показан на рисунке 1.

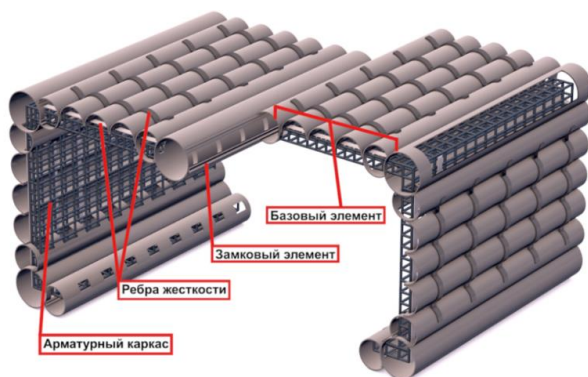


Рис. 1. Металлический защитный экран из направляющих труб и базовых элементов, состоящих из секций из полуторуб

При сооружении второго предложенного металлического защитного экрана в грунт продавливаются направляющие трубы и однотипные элементы металлического защитного экрана, представляющие собой плоский прокатный лист, к которому вдоль направления продавливания приварены прокатные уголки, как показано на рисунке 2.

Способы сооружения защитных экранов из направляющих труб, базовых и однотипных элементов отличаются от используемого ООО "Анкерные технологии-М" тем, что при их сооружении в грунт

сначала продавливаются направляющие трубы, а затем между ними вставляется базовый или однотипный элемент. При продавливании трубы могут отклоняться от намеченного направления, этот факт мы должны учитывать при конструировании замкового соединения. Основными элементами замкового соединения являются уголки, поэтому подбирая размер полки уголка и место его расположения мы учитываем допуск на отклонение при продавливании труб.

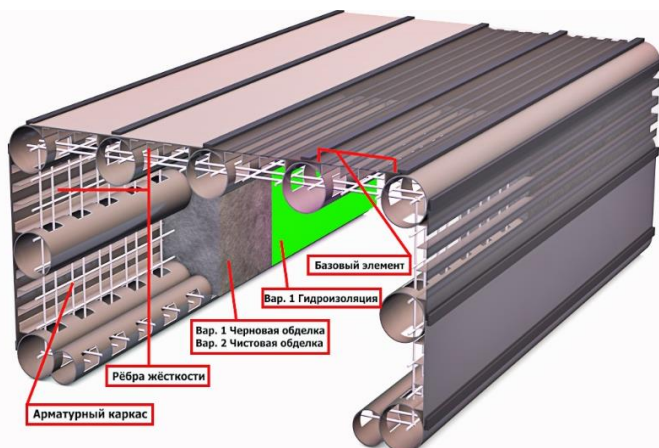


Рис. 2. Схема металлического защитного экрана, состоящего из однотипных элементов на основе листового проката.

Метод "Анкерных технологий-М" не требует учета допуска на отклонение при продавливании, но недостатком данного варианта является работа человека в трубе, заключающаяся в удалении из нее породы, вырезку сектора трубы и осуществление сварочных работ. 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. Применение при строительстве подземных коммуникаций металлических защитных экранов с использованием базовых элементов, состоящих из секций из полутруб и однотипных элементов на основе листового проката, позволяет существенно снизить металлоемкость, улучшить условия труда и снизить затраты на сооружение экрана.



## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКАНЕРА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ «STRESSVISION» МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ

**Берестевич М.Л.**

Государственное предприятие «Гордорстрой»

«STRESSVISION» предназначен для определения и визуализации напряженного состояния конструкций и сварных швов, выявления опасных и зарождающихся дефектов (создающих концентрацию механических напряжений) в изделиях из конструкционных и специальных сталей с ферритной фазой. Для проведения контроля не требуется зачистка поверхности, остановка технологического процесса, дополнительное нагружение или разгрузка.

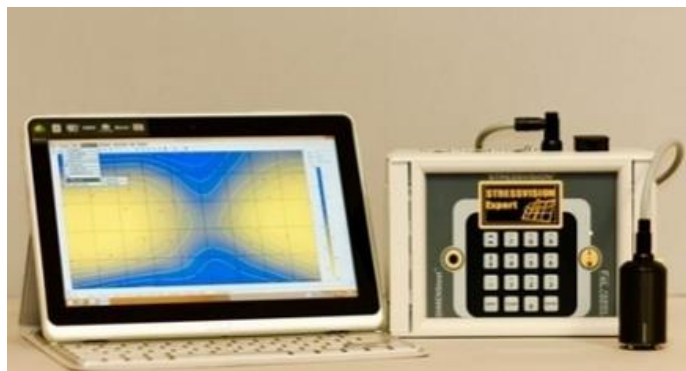


Рис. 1. Сканиер механических напряжений STRESSVISION производства ООО «Ферологика», г.Санкт-Петербург, Россия

На подготовительном этапе были подготовлены металлические элементы в виде пластин как без дефектов (рисунок 2) для демонстрации отсутствия напряжения (рисунки 3-6), так и со скрытыми дефектами, такими как с различными несплошностями, концентраторами напряжений, непроварами сварных швов и т.п. (рисунки 3-4).

Результаты сканирования для лучшей визуализации рассматриваются в двух проекциях: поверхностный слой (рисунок 5) и глубокий слой (рисунок 6). Для глубинного слоя рассматривается глубина сканирования в металле 6 - 9 мм.



Рис. 2. Металлическая пластина без дефектов



Рис. 3. Металлическая пластина с концентратором



Рис. 4. Металлические пластины с непроваренным сварным швом

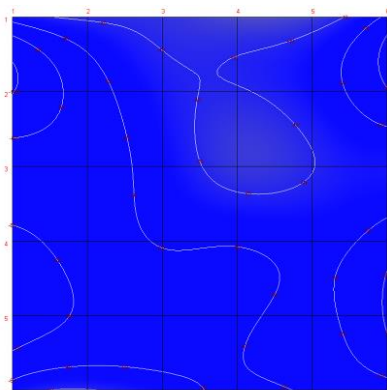


Рис. 5. Результаты сканирования (картограмма).  
Металлическая пластина без дефектов. Поверхностный слой

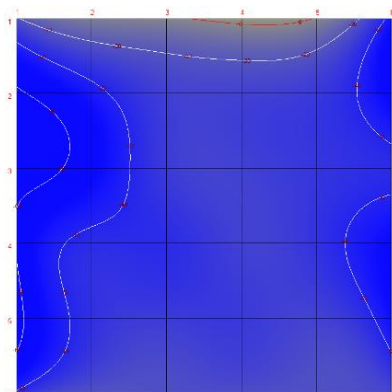


Рис. 6. Результаты сканирования (картограмма).  
Металлическая пластина без дефектов. Глубинный слой

### **Определение скрытых дефектов в металлоконструкциях на основе подготовленного образца**

*Образец с локальным концентратором.* Объектом исследований являлась пластина, изготовленная из Стали 3 (Ст3), с геометрическими размерами в плане 140x100x5 мм с локальным концентратором (рисунок 7), созданного сваркой и визуально наблюдаемый с внутренней стороны пластины.



Рис. 7. Фотография объекта контроля. Наружная и внутренняя сторона пластины

Исследования проводились по двум зонам контроля: на наружной и внутренней стороне пластины (рисунок 7). Область контроля в обоих случаях составляла 100х60 мм.

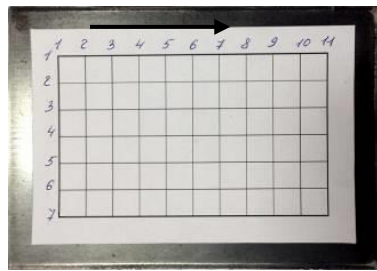
Зона контроля №1 – наружная сторона пластины, на которой отсутствует концентратор.

Зона контроля №2 – внутренняя сторона пластины, на которой можно наблюдать локальный концентратор.

Шаг контроля: 10 мм по оси X и по Y. По оси X - 11 точек, по Y – 7 строчек. Всего 77 точек для каждой зоны контроля. Ориентировочное время контроля: 4 минуты на одну зону контроля. Позиционирование преобразователя расположено вдоль оси X, согласно направлению проката.



Зона контроля №1.  
Концентратор отсутствует



Зона контроля №2.  
Концентратор присутствует

Рис. 8. Фото объекта контроля с нанесенной координатной сеткой и позиционированием главной риски преобразователя

Результаты контроля представлены в виде послойных картограмм разности главных механических напряжений (РГМН)

(рисунки 10-11) и таблицы со статистическими параметрами РГМН (максимум, минимум, среднее арифметическое, среднее квадратичное отклонение) в области проведения контроля.

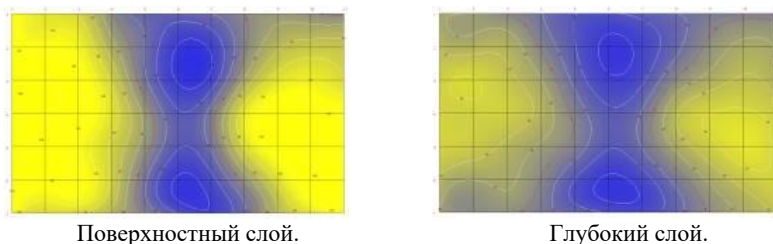


Рис. 9. Картограмма РГМН для зоны контроля №1

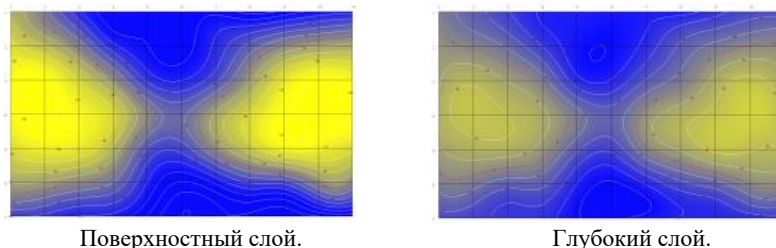


Рис. 10. Картограмма РГМН для зоны контроля №2

Таблица 1. Статистические параметры картограмм РГМН

№ зоны, слой	Максимум	Минимум	Среднее арифметическое	Среднее квадратичное отклонение
Зона №1, поверхностный слой	204	-109	65	89
Зона №1, глубокий слой	109	-99	12	57
Зона №2, поверхностный слой	171	-241	-10	111
Зона №2, глубокий слой	87	-171	-31	70

### **Выводы:**

– локальный концентратор не является дефектом, так как он не образует несплошности материала, однако его наличие искажает поле механических напряжений во всех зонах контроля: как с внутренней, так и с наружной стороны пластины, где визуально концентратор отсутствовал;

– на картограммах РГМН источник неоднородности механических напряжений совпадает с наличием локального концентратора в координате (6;4);

– послойный анализ характеризует снижение неоднородности остаточных напряжений по глубине для обеих зон контроля;

– наибольшая неоднородность поля РГМН наблюдается в поверхностном слое зоны контроля №2, с внутренней стороны пластины, где и был заложен концентратор.

### **Образец с не проваренным сварным швом**

Объектом исследований являлась пластина с непроваренным сварным швом с одной из сторон (рисунки 11-12).

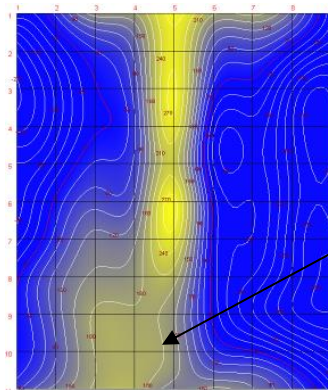


Рис. 11. Металлические пластины с непроваренным сварным швом.  
Лицевая сторона



Рис. 12. Металлические пластины с неповаренным сварным швом.  
Вид с обратной стороны

Результаты контроля представлены в виде послойных картограмм разности главных механических напряжений (РГМН) (рисунки 13-14).



Область не  
проваренного шва

Рис. 13. Картограмма разности главных механических напряжений  
для зоны контроля с лицевой стороны

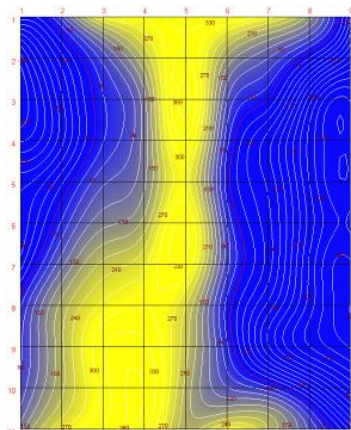


Рис. 14. Картограмма разности главных механических напряжений для зоны контроля с обратной стороны

**Вывод:**

- на картограммах РГМН источник неоднородности механических напряжений совпадает с наличием непроваренного сварного шва;
- последний анализ характеризует снижение неоднородности остаточных напряжений по глубине для обеих зон контроля.



## **МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ И ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

**Потребя В.Г.**

Белорусский национальный технический университет

Одна из основных задач при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений заключается в обеспечении их надежности, чтобы минимизировать риски возникновения аварий.

Свойство, определяющее надежность зданий и инженерных сооружений - безотказность их работы, т.е. способность сохранять свою исправность в течение определенного срока службы. Если состояние конструкции становится неудовлетворительным, возникает риск потери ее надежности, что затрудняет дальнейшую эксплуатацию из-за образования различных повреждений: недопустимых деформаций, трещин, колебаний и т. п. Однако при своевременном проведении ремонта и усилении конструкций могут быть предотвращены аварии сооружений.

При проектировании сооружения учитываются требования стандартов и норм на проектирование, и за счет ремонта поддерживают на заданном уровне в период эксплуатации. С течением времени надежность сооружений снижается и может быть ниже нормативного значения. В таком случае необходим ремонт, с помощью которого практически неограниченно можно продлевать работу конструкции.

По этой причине основной задачей строительства является повышение надежности строительных конструкций. Современные технологии, такие как датчики и системы мониторинга, позволяют постоянно отслеживать состояние сооружения. Это помогает раннему выявлению потенциальных проблем и предотвращению серьезных повреждений. Такой подход способствует увеличению безопасности и долговечности сооружений, а также снижает затраты на их эксплуатацию.



Рис. 1. Вид на установленные на железобетонной балке LVDT-датчики

Важно обеспечить правильное техническое обслуживание и регулярные проверки. Это позволяет выявлять и устранять возможные неисправности на ранних стадиях. Кроме того, использование надежных и качественных материалов при проектировании и строительстве сооружения также влияет на его надежность.

В целом, надежность объекта является важным аспектом его функционирования. Она влияет на эффективность его работы и безопасность эксплуатации. Поэтому постоянное внимание к надежности объекта и принятие соответствующих мер для ее повышения являются неотъемлемой частью процесса эксплуатации.

В процессе эксплуатации объекта могут возникать различные факторы, которые временно препятствуют его нормальному функционированию. Это может быть вызвано различными причинами, такими как технический отказ, проведение ремонтных работ или другие обстоятельства.

Агрессивными факторами, подвергающими строительные конструкции негативному воздействию в процессе эксплуатации, являются:

1. Загрязненный атмосферный воздух, который представляет собой смесь воздуха, водяных паров, различных газов, паров летучих веществ. Вредные вещества, содержащиеся в воздухе, могут оседать

на наружной поверхности конструкции, что приводит к ее загрязнению и повреждению.

2. Пыль, загрязняющая атмосферу, и оседающие сыпучие и кусковые технические продукты грунтов и асфальтовых покрытий.

3. Атмосферные осадки, кислотные дожди, которые содержат вредные вещества и оказывают разрушительное воздействие на строительные конструкции. Также технологические растворы, агрессивные природные или загрязненные грунтовые воды, вызывающие коррозию.

### **Пути повышения надежности**

Износ и старение строительных конструкций приводят к изменению их функциональных параметров, которые определяют их техническое состояние. Параметров может насчитываться несколько десятков, поэтому на практике используют укрупненные показатели, по которым можно судить о состоянии объекта. Для оценки технического состояния конструкций и инженерного оборудования используют различные методы.

Наиболее распространенными из них являются:

- Визуальный осмотр – позволяет выявить видимые дефекты и неисправности.

- Измерения приборами – позволяют определить количественные характеристики состояния конструкций.

- Аналитический расчет – позволяет оценить состояние конструкций на основе теоретических и экспериментальных данных.

Одним из наиболее распространенных показателей технического состояния является физический износ. Он определяется как отношение фактического срока службы объекта к его нормативному сроку службы.

Оценка технического состояния на основании физического износа имеет следующие преимущества: простота и наглядность (для определения физического износа не требуется сложных расчетов и измерений), широкое применение (используется для оценки различных объектов от зданий и сооружений до оборудования и машин). Однако оценка технического состояния на основании физического износа имеет ряд недостатков: недостаточная точность (физический износ не всегда отражает фактическое состояние объекта), затрудненный прогноз (сложно спрогнозировать дальнейшее изменение состояния объекта).

Наиболее точной оценкой технического состояния является оценка, основанная на соответствии объекта предъявляемым к нему требованиям. Такая оценка позволяет определить, насколько объект соответствует требованиям по надежности, безопасности, эксплуатационной пригодности и т.д. Преимуществами такой оценки является более высокая точность, возможность прогнозирования. В ее основе лежит теория надежности. Основная идея теории надежности заключается в том, что замена и восстановление конструктивных элементов и инженерного оборудования позволяет продлить срок службы. Однако, с течением времени, элементы конструкций подвергаются воздействию внешних факторов, что увеличивает вероятность достижения предельного состояния и возникновения отказа. Поэтому важно уметь прогнозировать изменение свойств конструкций во времени, исходя из текущего состояния, условий эксплуатации и момента наступления предельного состояния.

Таким образом, в связи с созданием достаточно сложных строительных конструкций проблема надежности встала особо остро. Отсюда появилась необходимость с помощью математического, статического расчета и логики повысить вероятность исправной работы конструкции в течение требуемого времени в определенных условиях эксплуатации, что позволяет заблаговременно принять меры.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНА**

**Устинович А.В.**

Завод ЖБИ УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ»

Метрополитен является самым распространённым и популярным видом городского транспорта. Он помогает снизить пассажирскую нагрузку на наземные виды транспорта (автобусы, троллейбусы и др.) и обеспечить более комфортное и быстрое перемещение жителям города. Поэтому причинами в Минске не прекращается строительство и ввод в действие новых линий и станций метрополитена.

В современных реалиях к метрополитену предъявляются повышенные требования как при строительстве, так и в процессе его эксплуатации: более короткие сроки строительства, эстетический вид станций, комфорт перемещения и жизни возле метро и т.д. Для удовлетворения предъявляемых требований необходимо использовать перспективные и современные технологии и изделия при строительстве объектов метрополитена.

Часто станции метро возводятся в плотной жилой и офисной застройке и стеснённые условия накладывают свои требования к применяемым способам строительства. Одним из возможных вариантов решения может являться возведение ограждающих конструкций подземной части объекта по технологии «Белая ванна».

Белая ванна – железобетонная монолитная конструкция принимает на себя несущую функцию и функцию гидроизоляции от грунтовых вод и не требует использования дополнительных гидроизоляционных материалов [1]. При её использовании необходимо учитывать факторы, влияющие на качество самой конструкции:

1. Проработка конструкции здания и отдельных узлов;
2. Качество бетонной смеси и правильность подобранного и проработанного состава. Подбор всех компонентов бетонной смеси;
3. Учёт агрессивных свойств окружающей среды;

4. Укладка бетонной смеси на объекте с соблюдением технологии укладки и режимов бетонирования с учётом погодных условий;

5. Уход за бетоном в соответствии с предписанными рекомендациями;

6. Качество опалубочных систем и их сборки;

7. Правильность подбора материалов для устройства конструкции (гидрошпонки, набухающие профили, конструкционные швы, контролируемые трещины, инъекционные шланги, узлы прохода коммуникаций и др.)

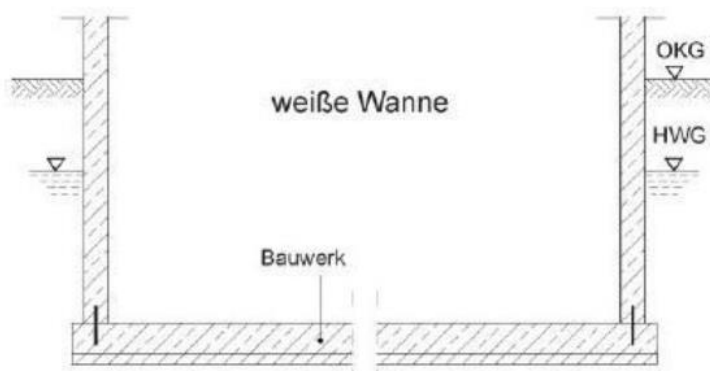


Рис. 1. «Белая ванна»

Ещё одним из основных направлений постоянного совершенствования применяемых технологий является снижение уровня вибрации, создаваемой подвижным составом метрополитена. В настоящий момент на третьей линии Минского метрополитена проблема воздействия вибрации на расположенные рядом здания и сооружения решается за счёт использования виброизоляционных блоков упругого крепления рельсового пути БВ2-М. Но прогнозируется, что на продлении третьей ветки в сторону Зелёного луга это решение не позволит получить необходимый результат, ввиду большой плотности жилой застройки.

В данной ситуации устройство верхнего строения пути с использованием конструкции масса-пружина может позволить получить требуемый уровень снижения вибрации. Ожидаемый

эффект достигается за счёт использования специальных виброизоляционных матов, укладываемых на жёсткое основание тоннеля метрополитена (рисунок 2) по верх которых потом заливается путевой бетон.

Фактически вся конструкция пути располагается на виброизоляционной подушке и не соприкасается с ограждающими конструкциями перегонных тоннелей и станционного комплекса.



Рис. 2. Схема конструкции масса-пружина (сайт [www.getzner.com](http://www.getzner.com))

Применяемый при производстве виброизоляционных матов как сам материал, так и маты должны обладать следующими свойствами:

- Надёжные, однородные и долговременные упругие свойства;
- Устойчивость к кратковременной экстремальной перегрузке;
- Простота применения в условиях строительных допусков;
- Адаптируемость к любым областям применения путем варьирования плотности материала, толщины и площади упругой опоры.

Также необходимо помнить, что требуется большой период времени для переноса коммуникаций места устройства котлованов, в которых в последствии будет вестись строительство объектов метрополитена открытым способом.

На этом этапе использование современных сборных железобетонных конструкций заводского изготовления вместо монолитных (рисунок 3) для возведения колодцев позволит значительно сократить срок строительства на данной стадии.

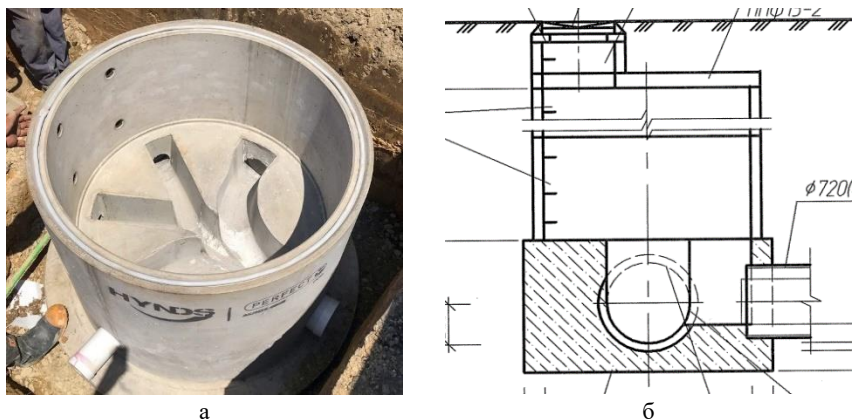


Рис. 3. Кольцо стеновое с дном (а) и монолитный метод устройства (б)

К достоинствам сборной железобетонной конструкции можно отнести:

- Заводское изготовление;
- Точность расположения входных/выходных отверстий и их геометрии;
- Увеличение скорости строительства;
- Простота монтажа.

Ещё одним решением позволяющим ускорить устройство новых коммуникаций может быть использование железобетонных безнапорных труб с интегрированными уплотнителями (рисунок 4).



Рис. 4. Безнапорный трубопровод



Использование данных изделий позволяет снизить затраты на устройство стыковых соединений трубопроводов за счёт отсутствия операции установки резинового уплотнения в стыковое соединение.

В настоящее время наибольшее распространение имеют трубы железобетонные при производстве которых на современных установках используется арматурный каркас. Но проведённые исследования в Республике Беларусь показывают, что при производстве методом радиального прессования, исключение из конструкции арматурного каркаса не влияет на несущую способность труб диаметром до 600 мм включительно и 3-й группы по несущей способности. А отсутствие арматурного каркаса позволяет снизить затраты на производство изделий (стоимость материалов, трудозатрат на производство каркаса, амортизации оборудования) и как следствие на устройство трубопроводов.

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ В МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Гречухин В.А., Савина Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность получения и применения дисперсно-армированных конструкций в настоящее время имеет особое значение. Одной из причин является то, что арматурная сталь, применяемая в процессе строительства сооружений, является причиной масштабных выбросов  $CO^2$  в атмосферу. Бетонные конструкции с дисперсным армированием значительно экологичнее и уже занимают свою нишу при строительстве мостов. К их преимуществам неоспоримо относится возможность воплотить в бетоне любые формы, подчеркивающие архитектурную выразительность сооружения. В настоящее время в ряде стран уже построены пешеходные мосты, которые успешно эксплуатируются и представлены на рисунках 1–4.



Рис. 1. Мост в пригороде Шанхая Баошань (КНР)



Рис. 2. Мост в Амстердаме (Нидерланды)



Рис. 3. Мост Алькобендас, Мадрид (Испания)



Рис. 4. Арочный мост Стриатус в Венеции (Италия)

И хотя пролеты этих мостов не превышают 10–12 метров у них есть неоспоримое преимущество. Они строятся строго в соответствии с данными проекта и без участия человека в строительном-монтажных работах.

Метод дисперсного армирования был изобретен Х. Альфсеном во Франции в 1918 году. Он предложил производить армирование при помощи стальных волокон.

Исследования, проводимые учеными разных стран, показали, что дисперсное армирование улучшает физико-механические характеристики бетонов, такие как: прочность при сжатии и растяжении, трещиностойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и др.

Эффективность применения фибры зависит от ее адгезии к цементному тесту и долговечности в щелочной среде цементного камня. Наиболее перспективным направлением является применение полипропиленовой и аналогичной фибры.

К основным параметрам фибры, влияющим на эффективность ее применения, можно отнести ее геометрию, прочность и свойства поверхности. Наибольшее распространение получила фибра,

имеющая следующие размеры: длина 6–18 мм, а в поперечном сечении 0,2–0,5 мм.

На рисунках 5–7 приведены диаграммы некоторых физико-механических показателей фибры, построенные по усредненным значениям.

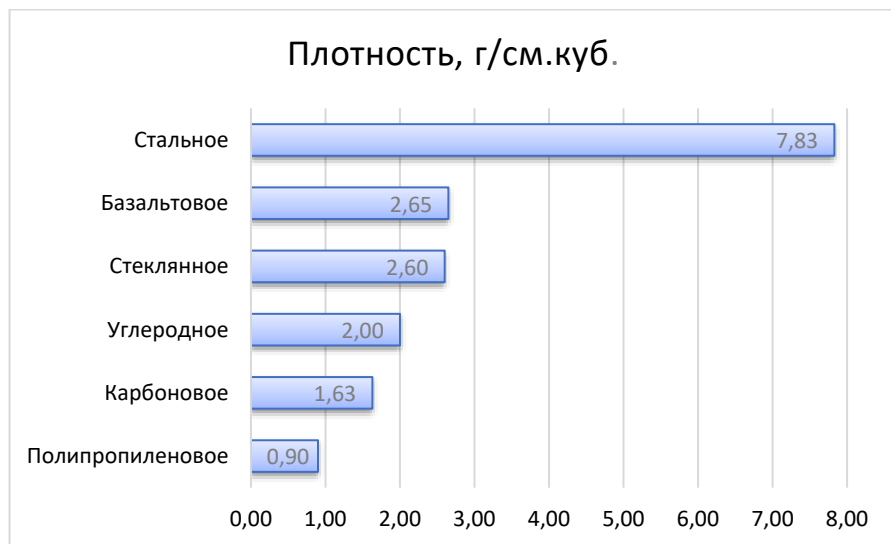


Рис. 5. Плотность

Из диаграммы мы видим, что максимальной плотностью обладает стальная фибра ( $7,8 \text{ г/см}^3$ ). Значительно более низкая плотность характерна для базальтового ( $2,65 \text{ г/см}^3$ ) и стеклоного ( $2,6 \text{ г/см}^3$ ) волокон. Минимальная плотность характерна для полипропиленового ( $0,9 \text{ г/см}^3$ ) волокна.

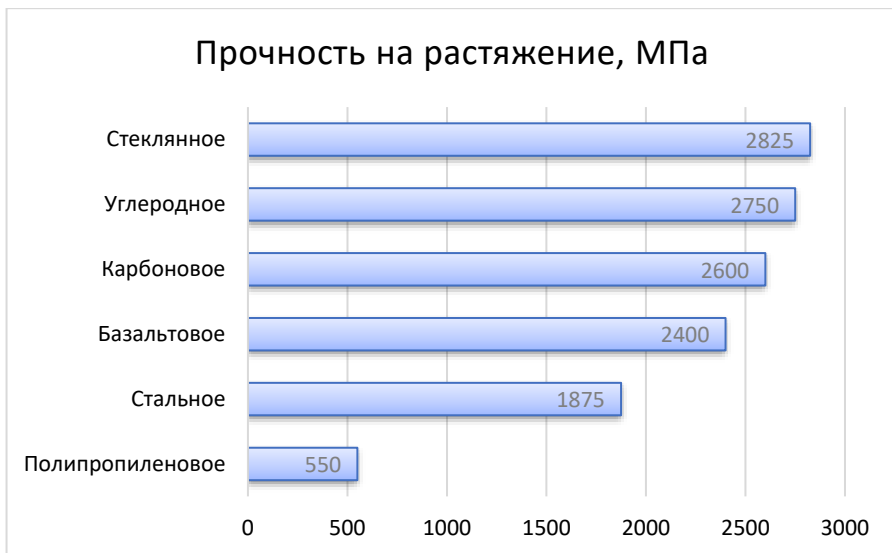


Рис. 6. Прочность на растяжение

Максимальные значения по прочности на растяжение имеют, МПа: стеклоное волокно – 2825, углеродное – 2750, карбоновое – 2600 и базальтовое – 2400.



Рис. 7. Модуль упругости

Существенное влияние на эксплуатационные характеристики бетонных конструкций оказывает прочность на растяжение. Можно наблюдать несколько наиболее характерных интервалов, полученных на основании справочных данных.

Выводы.

Применение фибробетонов позволяет разнообразить архитектуру конструктивных элементов мостовых сооружений.

Введение фибры повышает прочность при сжатии – на 25%, на растяжение при изгибе на 200%, а трещиностойкость бетона в 2 раза. Волокна фибры устойчивы к химическим веществам и щелочам, что повышает устойчивость к химической активности и агрессии. Бетон, армированный фиброволокном, содержит меньшее количество капилляров и, чем обычный бетон, что повышает морозостойкость. Применение фибробетона позволяет уменьшить толщину и массу конструкции.



## **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

**Берестевич М.Л.**

Государственное предприятие «Гордорстрой»

Для проведения исследования по оценке изменения напряженно-деформированного состояния использовалась металлическая пластина, выполненная из стали 10ХСНД с геометрическими размерами в плане  $b=100$  мм;  $L=420$  мм и толщиной  $h=5$  мм. В качестве прилагаемой нагрузки использовался 3-х точечный статический изгиб.

Для контроля напряженно-деформированного состояния использовался метод конечных элементов (МКЭ), выполненный с помощью программного обеспечения и метод магнитной анизотропии, выполненный с помощью сканера механических напряжений «StressVision Expert».

### **Контроль напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ)**

При построении конечно-элементарной модели при заданных геометрических параметрах образца создавался 3-х точечный изгиб с помощью программного добавления «SolidWorks Simulation» с функцией статического анализа.

К построенной модели с двух сторон была применена зафиксированная геометрия, являющаяся боковыми точками опоры, а в центральной части образца применена внешняя нагрузка, создающая изгиб и деформацию (рисунок 17).

Расчёт механических напряжений осуществлялся для образца, в котором не учитывается неоднородность остаточных напряжений, вызванная технологическими процессами при изготовлении.

Для последующего контроля напряженно-деформированного состояния построенной модели отмечены координатные точки. На эскизе образца (рисунок 64) отмечена область контроля, которая составляет  $200 \times 60$  мм. Расстояние между координатами составляет



20 мм по оси X и 15 мм по Y. По оси X – 9 точек, по Y – 5 строчек. Всего 45 точек на каждом шаге нагрузки от 1 мм до 5 мм.

Расчёт НДС построенной конечно-элементарной модели осуществлялся при нагрузке с заданным прогибом в центральной части образца. Прогиб создается с шагом 1 мм, для которого характерна нагрузка в 1326 Н. Максимальный прогиб составляет 5 мм при нагрузке 6630 Н, что соответствует области упругих деформаций 0,8..0,9 ст.

Расчёт механических напряжений, действующих в области проведения контроля НДС, представлен для главной компоненты тензора напряжения и выполняется на поверхности образца со стороны действующих растягивающих напряжений.

Результат расчёта механических напряжений, для образца при статическом изгибе со срезом действующих напряжений вдоль центральной области образца по оси X, представлен в таблице 2.

*Параметры контроля НДС с помощью сканера механических напряжений «StressVison Expert»*

1. Устройство для статической нагрузки имеет тип вид 4-х точечного изгиба, однако из-за малого расстояния между внутренними точками данный механизм рассмотрен в качестве устройства для 3-х точечного изгиба.

2. Образец (рисунок 25), нагруженный в гибочное устройство, в случае приложенной к его центральной части нагрузки с помощью вращательно-поступательного механизма, начинает упираться с двух краев в верхние боковые опоры и изгибаться.

3. В комплексе с гибочным устройством для измерения фактического прогиба при нагружении образца используется прогибомер.

4. На образец наносится координатная сетка с областью контроля 200x60 мм. Расстояние между узлами сетки соответствует: 20 мм по оси X, 15 мм по Y. По оси X – 9 точек, по Y 5 строчек. Всего 45 точек на каждом шаге нагрузки от 0 мм до 5 мм. Расположение точек совпадает с точками контроля при построении конечно-элементарной модели.

5. Оценка механических напряжений осуществляется на каждом шаге нагрузки. Шаг нагрузки соответствует прогибу образца на 1 мм. Максимальный прогиб, как и при контроле с помощью МКЭ, составляет 5 мм.

6. Образец, для которого осуществляется измерение НДС, имеет неоднородность остаточных напряжений, не учтённую при задании начальных условий для конечно-элементарной модели.

7. Измерение напряжений осуществляется в поверхностном слое с усреднением значений по глубине условно от 0 до 3 мм.

8. Результат измерений представлен в виде картограмм разности главных механических напряжений (РГМН) и численной информацией в каждой точке контроля в у.е., включая статистические параметры.

9. Позиционирование датчика прибора «StressVision» направлено вдоль образца по оси X в направлении действия главного тензора напряжений.

10. Результаты измерений при статическом изгибе по аналогии с расчётами представлены в таблице 14 в виде картограмм РГМН со срезом напряжений вдоль центральной области образца по оси X.

11. Настройки картограмм для таблицы 4: Режим фильтрации, шаг между уровнями 10, ожидаемый минимум 90, ожидаемый максимум 130.

12. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных осуществляется по результатам контроля и расчётов механических напряжений в области проведения измерений и в центральной части рассматриваемого образца в точке максимального прогиба.

В таблице 1 представлены сводные данные посчитанных и экспериментально полученных результатов измерения механических напряжений с поправкой на калибровочный коэффициент.

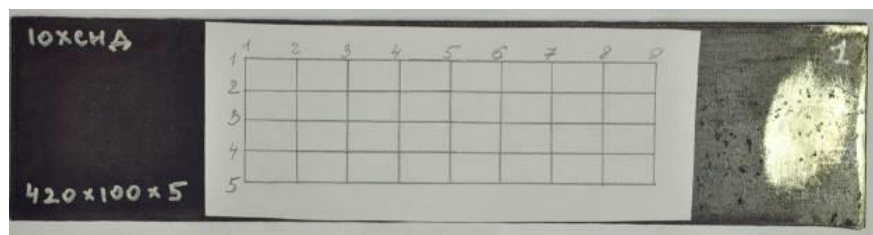


Рис. 1. Фото исследуемого образца с нанесенной координатной сеткой

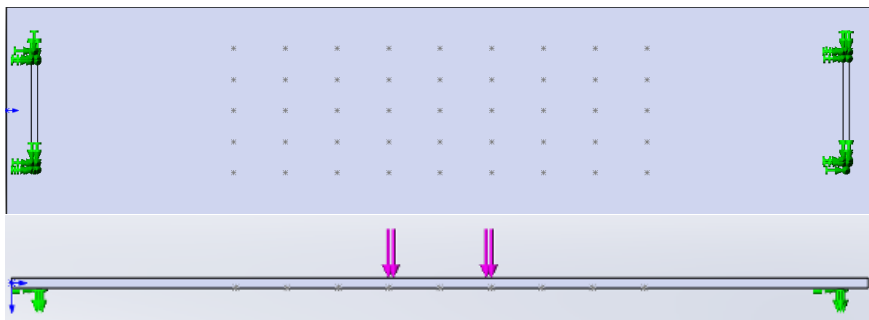


Рис. 2. Конечно-элементарная модель образца с приложенными нагрузками и зафиксированной геометрией

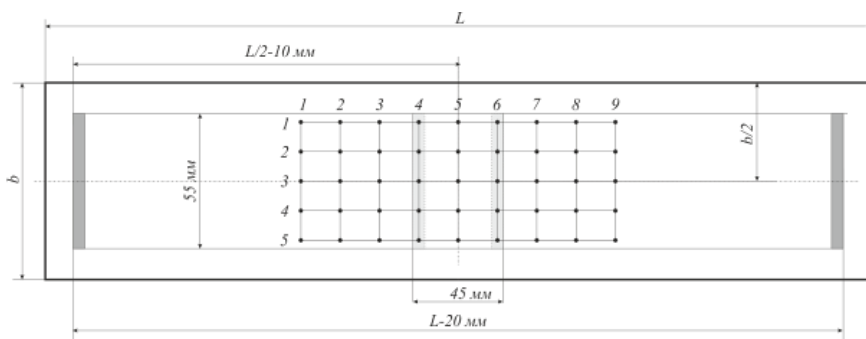


Рис. 3. Эскиз образца



Рис. 4. Устройство для 3-х точечного изгиба с прогибомером и загруженным в устройство образцом

## 2.4 Сопоставление результатов контроля

Сопоставление результатов контроля приведено в табличном виде в таблице 1. Условные обозначения примененные в таблице:

$\gamma$  – максимальный прогиб

$\langle \sigma \rangle$  – среднее арифметическое значение механических напряжений по всей области контроля.

$\sigma_{(5;3)}$  – значение механических напряжений в точке с координатой (5;3).

$\Delta\sigma_{(5;3)}$  – приращение механических напряжений за вычетом остаточных напряжений в отсутствие деформаций при прогибе 0 мм ( $\sigma_i - \sigma_0$ , где  $i$  – величина прогиба).

$k$  – калибровочный коэффициент.

Таблица 1. Сопоставление результатов контроля

$\gamma$ , мм	Нагрузка, Н	МКЭ. $\langle \sigma \rangle$ , МПа	РГМН. $\langle \sigma \rangle$ , у.е	МКЭ. $\sigma_{(5;3)}$ , МПа	РГМН. $\sigma_{(5;3)}$ , у.е.	РГМН. $\Delta\sigma_{(5;3)}$ , у.е.	$k$	РГМН. $\Delta\sigma_{(5;3)}$ , МПа
0	0	0	62	0	67	0	4,4	0
1	1326	33	69	59	77	10		44
2	2652	66	76	119	94	27		119
3	3978	100	90	179	115	48		211
4	5304	133	101	239	122	55		242
5	6630	166	114	299	136	69		304

**Выводы:** По результатам оценки механических напряжений при статическом изгибе образца, изготовленного из марки стали 10ХСНД получена высокая корреляция при сопоставлении теоретических и экспериментальных данных в области проведения контроля. В случае оценки механических напряжений в точке максимального прогиба удалось установить калибровочную зависимость и построить линейную аппроксимацию. Однако данный калибровочный коэффициент характерен исключительно для пересчёта у.е. в МПа в условиях статического изгиба, так как извлечение полезного сигнала происходит с усреднением по глубине до 3 мм, где растягивающие напряжения имеют неоднородный характер по глубине.

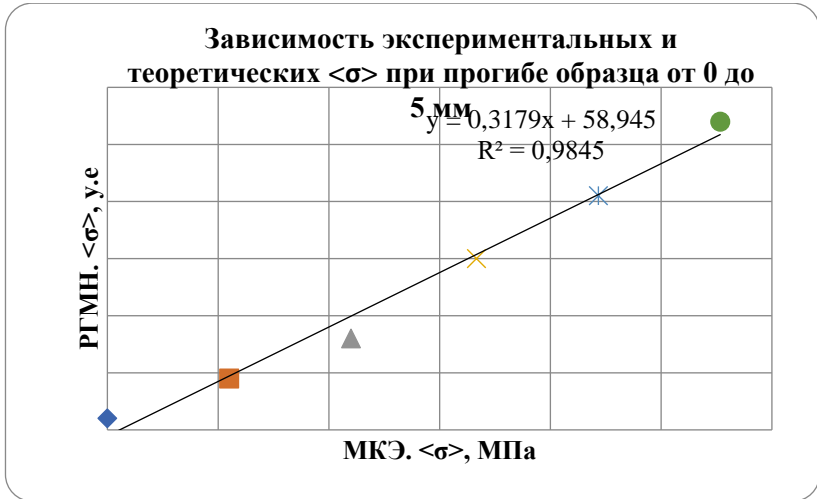


Рис. 5. График зависимости экспериментальных и теоретических напряжений при прогибе образца до 5 мм

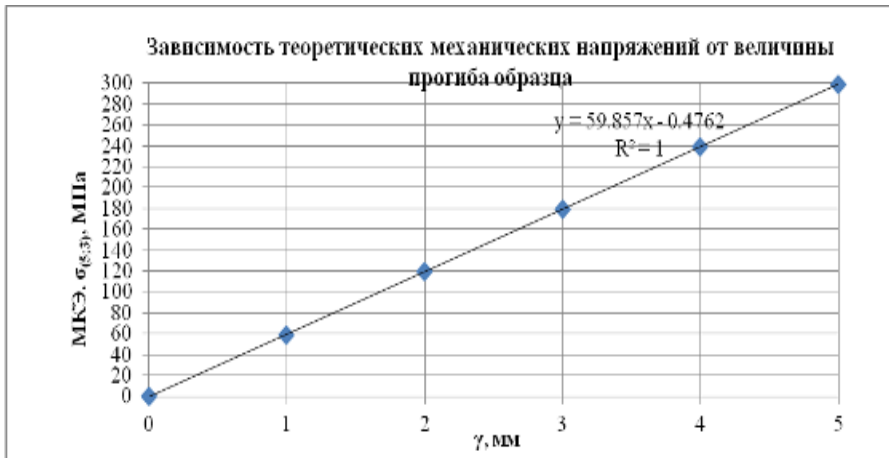


Рис. 6. График зависимости напряжений от величины прогиба образца

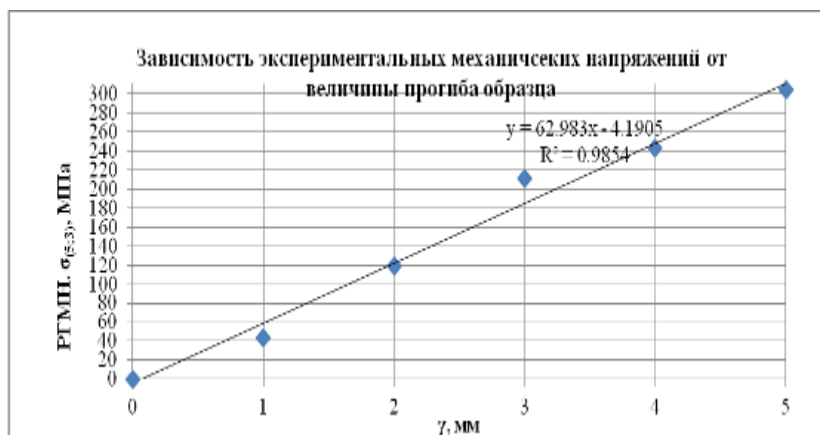


Рис. 7. График зависимости напряжений от величины прогиба образца с учетом калибровочного коэффициента

## **НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ ДЛЯ РАДИАЛЬНО-ПРЕССОВАННОГО БЕТОНА**

**Устинович А.В.**

Завод ЖБИ УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ»

Радиальное прессование – это метод формования бетонных и железобетонных конструкций с поперечным кольцевым сечением, при котором ось вращения изделия в процессе производства располагается вертикально [1]. Как уже известно данный метод уплотнения бетонной смеси оказывает значительное влияние на прочностные характеристики бетона в готовой конструкции [2, 3] и его прочностные характеристики значительно отличаются от значений полученных при испытании стандартных образцов-призм, отформованных из этого же бетона в лабораторных условиях [4, 5].

Поэтому на предприятия занимающихся производством бетонных безнапорных труб необходимо перед началом массового производства проводить работы по определению переходного коэффициента от прочности бетона на осевое растяжение, определённого при испытании стандартных образцов-призм к прочности бетона в конструкции. Это позволит в дальнейшем использовать при формовании изделий оптимальный и экономически выгодный состав бетонной смеси.

Аналогичные работы по определению переходного коэффициента были проведены на заводе ЖБИ УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ». На первоначальном этапе в лабораторных условиях были изготовлены серии образцов-призм размером 10x10x40 см из различных по составу бетонных смесей, отучающихся между собой расходом цемента (от 335 кг до 420 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси). Формование образцов производилось на лабораторной виброплощадке с использованием пригрузки. Значения прочности бетона на осевое растяжение, полученные при испытании образцов, после обработки приведены в графическом виде (рисунке 1). Как видно из приведённого графика, значение прочности бетона на осевое растяжение увеличивается при увеличении расхода цемента.

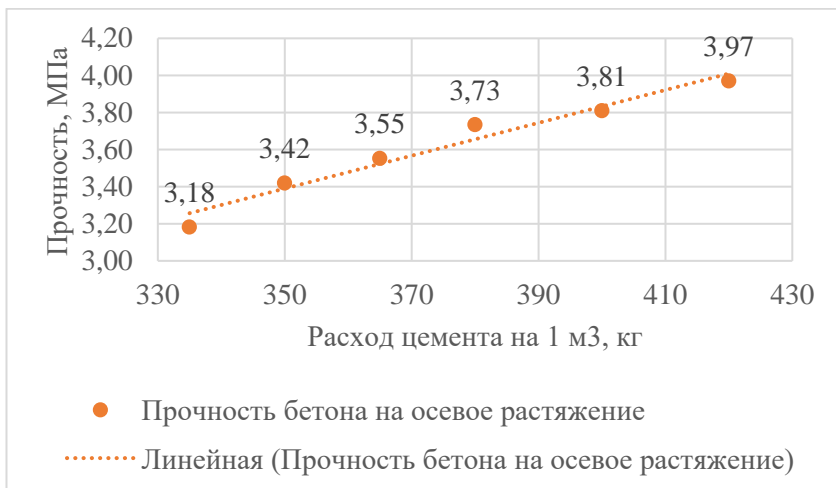


Рис. 1. Зависимость прочности бетона на осевое растяжение от расхода цемента

На втором этапе исследования на Заводе ЖБИ УП «МИНСКМЕТРОСТРОЙ» были отформованы методом радиального прессования образцы бетонных безнапорных труб диаметрами 300 мм, 500 мм и 600 мм с использованием ранее подобранных составов бетонных смесей. В процессе приготовления бетонной смеси на автоматизированной линии из смесителей производился отбор её проб, из которых в лаборатории были отформованных образцы-призмы 10х10х40 см.

Далее после набора прочности из бетонных труб каждого диаметра производился отбор фрагментов кольцевого сечения длиной 1000 мм для последующего их испытания на нагрузку в соответствии с требованиями действующих стандартов [6] с целью определения несущей способности конструкции и расчёта прочности радиально-прессованного бетона.

Испытание фрагментов труб производилось на специальном стенде, спроектированном и изготовленном заводом ЖБИ. Нагрузку бетонной конструкции производилось по трёхлинейной схеме при помощи гидравлического домкрата и ручного насоса (рисунок 3). Значение создаваемого усилия определялось с использованием электронного динамометра, установленного между домкратом и поперечной балкой стенда, действительные показатели



выводились на дисплей. Нагружение производилось ступенями равными 10% от ожидаемого усилия разрушения. Полученные результаты приведены в таблице 1.



Рис. 2. Отбор фрагментов труб

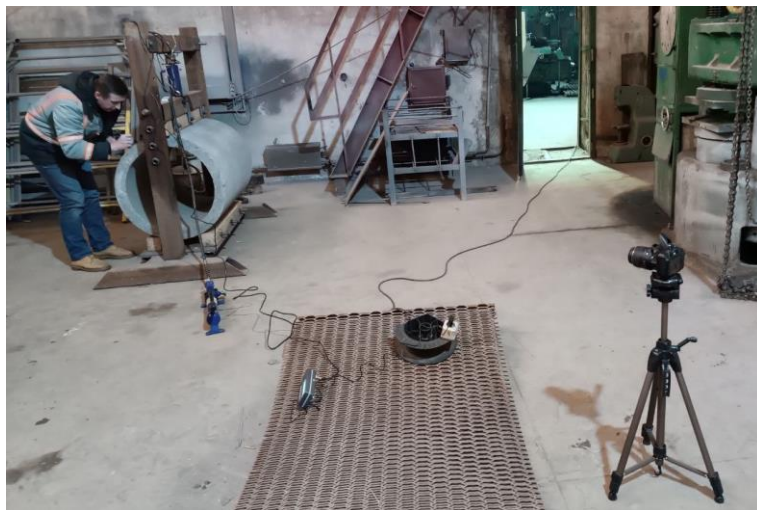


Рис. 3. Процесс испытания фрагмента бетонной трубы

Таблица 1. Значения разрушающей нагрузки

Диаметр трубы, мм	Разрушающая нагрузка, кН	Группа по несущей способности
300	102,2	Соответствует 3-й группе
	107,1	Соответствует 3-й группе
500	71,6	Соответствует 3-й группе
	72,4	Соответствует 3-й группе
600	87,5	Соответствует 3-й группе
	81,5	Соответствует 3-й группе

Далее из полученных кусков бетона, образовавшихся при разрушении фрагментов труб отбирались образцы-призмы длиной 300 мм, шириной 60 мм и высотой равной толщине стенки трубы в месте отбора, которые предназначались для определения прочности радиально-прессованного бетона на осевое растяжение. Также в лаборатории были испытаны стандартные образцы-призмы, отформованные совместно с бетонными трубами. Полученные результаты исследования прочностных характеристик бетона представлены в виде графиков и показаны на рисунке 4.

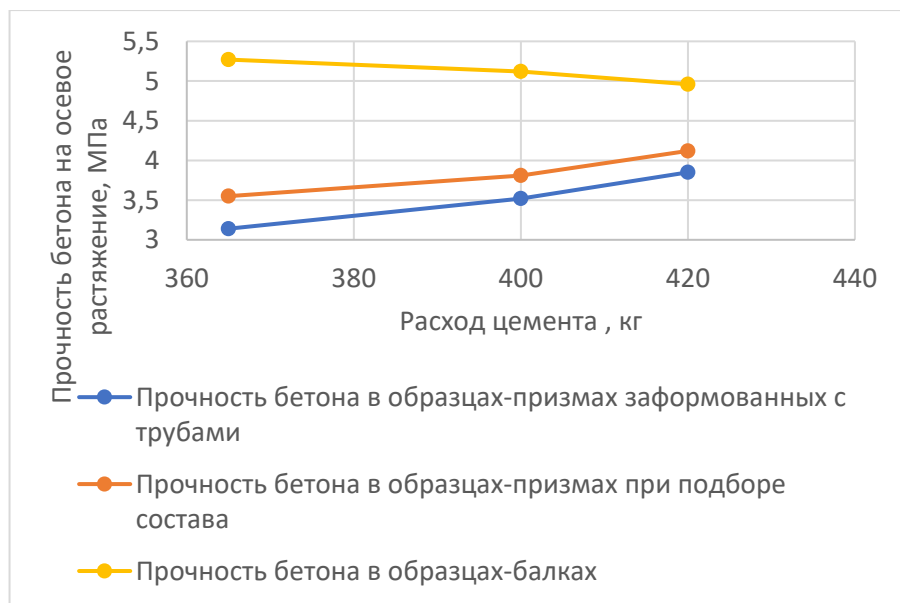


Рис. 4. Зависимость прочностных характеристик бетонов в зависимости от расхода цемента

Как видно из полученных результатов прочность радиально-прессованного бетона значительно выше данного показателя определённого по результатам испытания образцов-призм заформованных из рабочего состава бетонной смеси совместно с трубами. Можно сделать заключение, что для получения необходимого класса бетона по прочности на осевое растяжение необходимо увеличение расхода цемента или добавление различных химических добавок. Это приведёт к удорожанию готового изделия.

В тоже время, проведённые испытания фрагментов труб показали, что они имеют высокие прочностные характеристики и соответствуют максимальной группе по несущей способности. В этом случае использование переходных коэффициентов позволят применять при производстве бетонных изделий уже полученные рабочие составы бетона без их корректировки по расходу цемента.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗОН ВОКРУГ ТОННЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ТЕОРИИ МОРА-КУЛОНА

**Миралимов М.Х., Каршибоев А.И.**

Ташкентский государственный транспортный университет

***Аннотация:** Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг подземных горизонтальных выработок и, в связи с этим определение давления грунтов, действующего на конструкцию тоннеля, является одной из основных задач механики подземных сооружений. Сложность этой задачи объясняется разнообразием свойств горных пород, условий проведения тоннельных выработок и назначения их геометрии. В настоящей работе рассматривается методика и задача определения напряженно-деформированного состояния в окрестности тоннелей различного поперечного сечения с учетом упругопластических свойств деформирования грунтов по теории предельного состояния Мора-Кулона. Для расчета напряженно-деформированного состояния применяется метод конечных элементов в сочетании с методом начальных напряжений, причем используются изопараметрические конечные элементы с произвольной аппроксимацией.*

***Ключевые слова:** Тоннель, грунт, метод конечных элементов, предельная зона.*

## THE METHOD FOR DETERMINING LIMIT ZONES AROUND TUNNEL STRUCTURES ACCORDING TO THE MOHR- COULOMB THEORY

***Abstract:** The study of the stress-strain state around underground horizontal mine workings and, in connection with this, the determination of the soil pressure acting on the tunnel structure is one of the main tasks of the mechanics of underground structures. The complexity of this task is explained by the variety of rock properties, the conditions for the implementation of tunnel workings and their geometry. In this paper, we*

*consider the method and problem of determining the stress-strain state in the surroundings of tunnels of various cross sections, taking into account the elastic-plastic properties of soil deformation according to Mohr–Coulomb theory. To calculate the stress-strain state, the finite element method in combination with the initial stress method and isoparametric finite elements with arbitrary approximation are used.*

**Keywords:** *Tunnel, soil, finite element method, limit zone.*

## **Введение**

Сегодня в Республике Узбекистан предстоящие широкие масштабы транспортного строительства выдвигают в качестве одной из важнейших задач повышение качества сооружаемых объектов при одновременном снижении их материалоемкости, трудовых затрат и стоимости. Одним из направлений, способствующих решению этой задачи, является разработка и внедрение новых конструкций подземных сооружений, совершенствование методов расчета и проектирования транспортных тоннелей. При этом разработка на основе современных вычислительных методов расчетная модель должна обеспечить в первую очередь выполнение расчетов напряженно-деформированного состояния системы «тоннель-грунт», где описываются реальные свойства грунтов окружающих тоннель.

Осуществление программы подземного строительства в городах требует решения ряда сложных архитектурно-планировочных и строительных задач, разработки новых инженерных решений с учетом накопленного прогрессивного опыта. При этом, умение правильно определять внутренние усилия в обделках тоннелей, используя различные инженерные методы и сравнивая их между собой, принимать обоснованные инженерные решения являются актуальными вопросами.

## **Метод решения и расчетные исследования**

Обзор литературы и анализ работ посвященным расчету и проектированию транспортных тоннелей показал, что в задачах, связанными с расчётами подземных сооружений, необходимо постулировать начальное напряжённое состояние массива горных пород. Это начальное напряжённое состояние нарушается после

образования выработки тоннеля. Полные напряжения  $\sigma_{ij}$  в любой точке горной породы тогда можно представить как сумму начальных напряжений  $(\sigma_{ij})_0$  и изменений напряжений  $\sigma'_{ij}$  в этой точке, обусловленных проведением выработки

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij} \quad (1)$$

Изменения напряжений  $\sigma'_{ij}$  называются дополнительными напряжениями.

Так, как выработки проводятся в предварительно напряженном массиве пород, то реалистическое воспроизведение ситуации должно бы учитывать поэтапные изменения в геометрии выработок. Вместо поэтапного изменения в геометрии выработки, будем моделировать образование выработки путём постепенного снижения граничных усилий от начального значения до нуля.

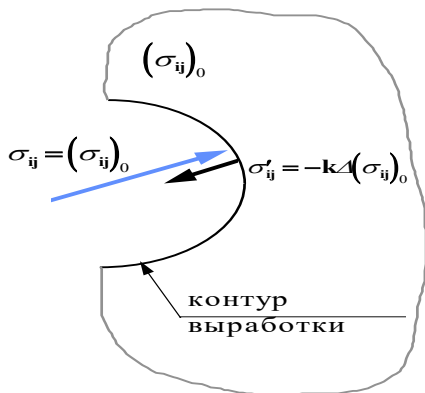


Рис 1. Моделирование образования выработки тоннеля

Прежде всего можно заметить, что напряжённое состояние вокруг выработки не изменится по сравнению с начальным состоянием, если на границе приложить усилия, эквивалентные тем, которые существовали до образования выработки.

Конечному напряженному состоянию соответствует свободная от усилий граница  $\sigma_{ij} = 0$ , чему отвечает дополнительные усилия  $\sigma'_{ij} = -(\sigma_{ij})_0$ . Для моделирования образования выработки

представим, что конечное состояние достигается в результате постепенного снижения усилий на границе, как изображено на рис. 1. Если начальные усилия разделить на  $K$  ступеней величиной

$\Delta(\sigma_{ij})_0 = \frac{(\sigma_{ij})_0}{K}$ , то дополнительные усилия для  $k$ -го шага

снижения нагрузок составляют

$$\sigma'_{ij} = -k\Delta(\sigma_{ij})_0 = -\frac{k \cdot (\sigma_{ij})_0}{K} \quad (2)$$

а полные усилия равны

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij} = (\sigma_{ij})_0 \left(1 - \frac{k}{K}\right) \quad (3)$$

Следовательно, последний шаг  $k=K$  даёт, как и должно быть

$$\sigma'_{ij} = -(\sigma_{ij})_0, \quad \sigma_{ij} = 0.$$

Для реализации этого алгоритма была использована конечно-элементная модель и при этом на каждом шаге приращения дополнительных напряжений выбирались так, чтобы в пластическую зону переходил один конечный элемент [4].

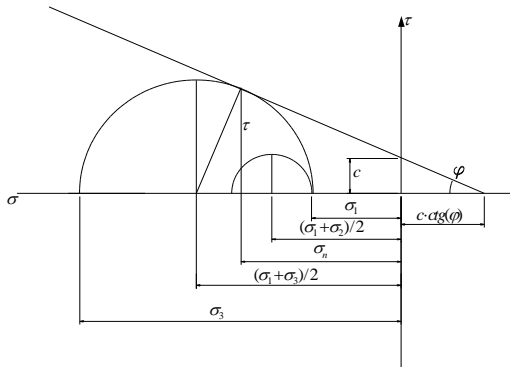


Рис.2. Графическое представление условия текучести Мора-Кулона

В качестве условия текучести для упругопластической задачи принять условие текучести Мора-Кулона (рис.2):

$$F = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi = 0 \quad (4)$$

Другими словами, сначала задавалось приращение нагрузки  $\Delta F$ , и на это приращение решалась задача и определялись напряжения  $\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\tau_{xy}$ . Далее выполнялась процедура по определению необходимого приращения нагрузки, при которой в пластическую зону переходил один конечный элемент. Опишем подробнее эту процедуру.

Главные напряжения можно определить по известным формулам

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5)$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

подставляя (5) в (4) и проделав преобразования можно записать

$$\begin{aligned} & (\sigma_x^2 + \sigma_y^2) \cos^2 \phi - 2\sigma_x \sigma_y (1 + \sin^2 \phi) + 4\tau_{xy}^2 + \\ & \begin{pmatrix} \sigma_x + \\ \sigma_y \end{pmatrix} 2c \sin 2\phi = 4c^2 \cos^2 \phi \end{aligned} \quad (6)$$

Если в место  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  подставить  $\sigma_x + r\Delta\sigma_x, \sigma_y + r\Delta\sigma_y, \tau_{xy} + r\Delta\tau_{xy}$  и решить уравнение (6) относительно  $r$ , то для каждого элемента, находящегося в упругой зоне, можно определить свой коэффициент  $r$  на который надо умножить приращение нагрузки, чтобы этот конечный элемент достиг предела текучести. Элемент, у которого  $r$  минимально первым перейдет в пластическую область.

Следовательно, если все результаты вычисленные на данном шаге приращения нагрузки  $\Delta F$ , умножить на минимальный коэффициент  $r$ , то мы получим ситуацию при которой в пластику перейдет один элемент. Последовательно применяя на каждом шаге приращения нагрузки, эти вычисления достигается последовательный переход конечных элементов в пластическую область.

Для улучшения работоспособности предложенной методики расчета разработаны алгоритмы и программы разбивки на конечные элементы и нумерации элементов и узлов, вывод графической информации об исходных данных, о перемещениях в узлах и

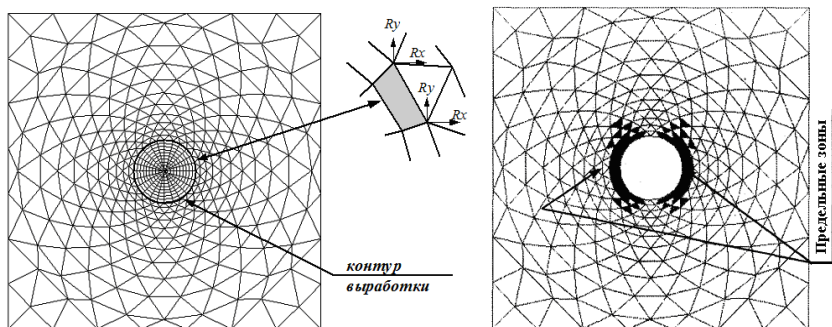


напряжениях в элементах, а также алгоритм вывода информации в графическом виде.

В качестве примера решена упругопластическая задача со следующими характеристиками для грунта: Собственный вес  $\gamma=0,0198 \text{ МН/м}^3$ , модуль деформации  $E=11 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$ , сцепление  $C=0,08 \text{ МПа}$ , угол внутреннего трения  $\varphi=26^\circ$ . Задача решалась следующим образом. На первом шаге были определены начальные напряжения по расчетной схеме представленной на рис.3, а. и граничные усилия по контуру будущей выработки. На втором шаге с целью проверки правильности определения граничных усилий, определялись напряжения в области вокруг выработки рис.3, б т.е. задавались граничные усилия и гравитационные силы.

Результат расчета должен совпасть с результатами на первом шаге. На третьем шаге решалась упругопластическая задача. Задача решалась методом описанным выше т.е. задавалось начальное напряжение и порциями прикладывались силы снижающие начальные напряжения по контуру выработки. Порции определялись так, чтобы в пластическую зону переходил один конечный элемент.

По необходимости можно получить значения напряжений вдоль контура выработки. Результаты показали, что предельные зоны неупругости распространяются от границы выработки во внутрь грунта, как показано на рис. 3, б.



а) приведение напряжений к силам отбрасываемой части массива,

б) предельные зоны

Рис. 3. Расчет выработки тоннеля

Теперь, исследуем напряженно-деформированное состояние обделки автотранспортного тоннеля, где поперечное сечение обделки и ее конструктивные размеры представлены на рис.4. Для расчета приняты следующие исходные данные: для грунта - объемный вес  $\gamma=0,0225 \text{ МН/м}^3$ , кажущийся угол внутреннего трения  $\varphi=37^\circ$ , сцепление  $C=2 \text{ МПа}$ , модуль деформации  $E=5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\nu=0,2$  и для обделки - объемный вес  $\gamma=0,025 \text{ МН/м}^3$ , модуль Юнга  $E_b=30 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\nu=0,32$ . Тоннель находится на глубине 40 метров, при этом временная крепь устанавливается из бетонного свода марки В25 с толщиной 0,7 м. Для снижения влияния граничных условий на напряженное состояние тоннелей, располагаем ее их достаточно расстоянии от границ (рис.5, а). На первом этапе определим начальное напряженное состояние массива.

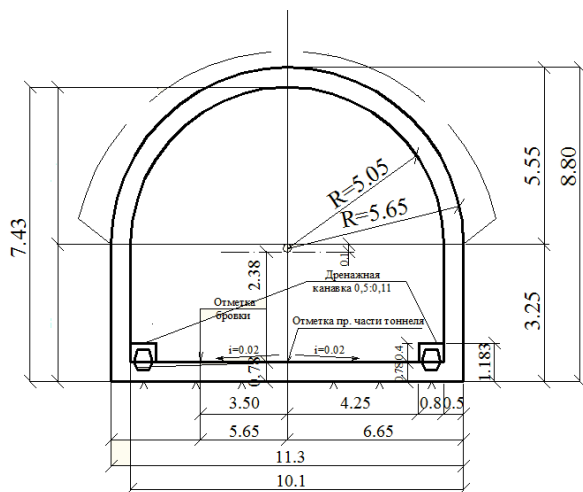
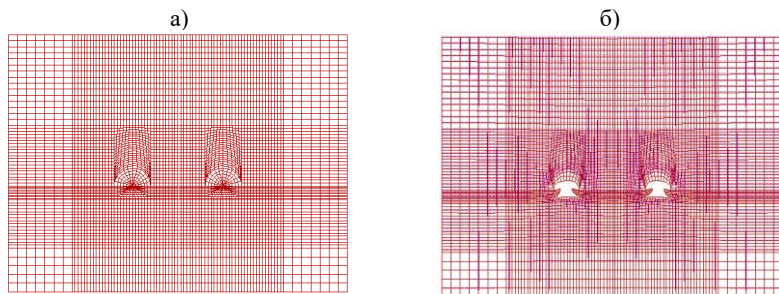


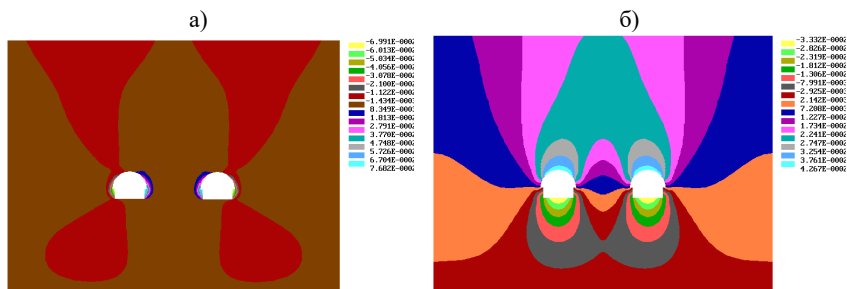
Рис. 4. Конструкция автотранспортного тоннеля глубокого заложения

Численное моделирование и исследование задачи проведем по разработанной программе. При расчетах считаем, что два тоннеля возводятся одновременно и далее рассматриваем картину распределения напряжений вокруг тоннелей.



а - схема моделирования области в плоскости, б - картина деформирования

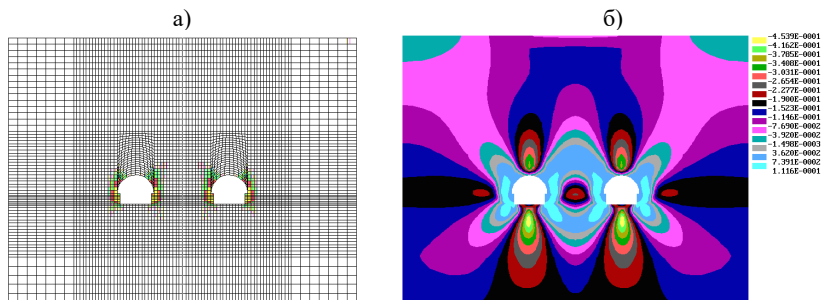
Рис.5. Область без крепления



а - горизонтальных, б – вертикальных

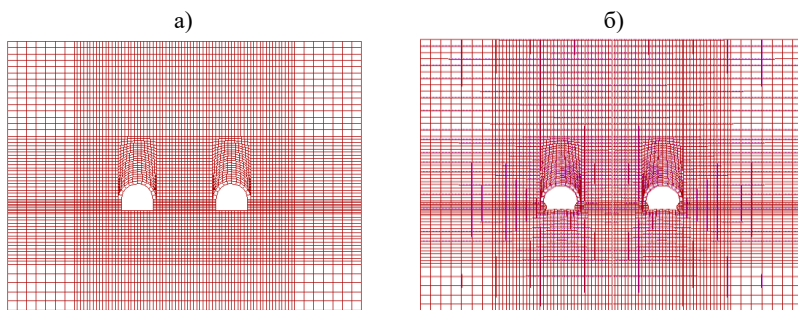
Рис. 6. Изохромы перемещений, (м)

Вариант 2 - пройден верхний уступ, установлена временная бетонная крепь, пройден нижний уступ. Из приведенных рисунков (рис.8, рис.9, рис.10), можно увидеть, что после возведения временного крепления предельные зоны в сводовой части не появились, но в нижней части они увеличились. В результате нелинейного расчета напряжения вокруг тоннеля уменьшились по сравнению с упругими на 15-18%. Как указывалось выше, в массиве переход от упругой в нелинейную упругопластическую зону осуществляется поэлементно и здесь можно увидеть характер протекания пластичности (критических зон) вокруг тоннелей. За сводовой части неупругая зона не осталась, но боковой части в пластическую зону перешли несколько элементов.



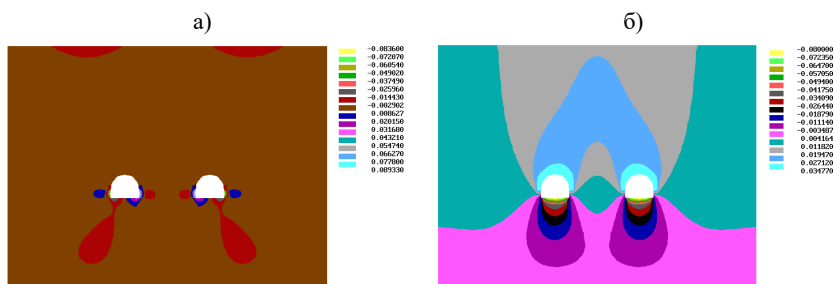
а - в конечном этапе, б - критические зоны по критерию Мора-Кулона

Рис.7. Места вокруг выработки, в которых порода разрушилась, без временного крепления



а - схема моделирования области в плоскости, б - картина деформирования

Рис.8. Область с верхним бетонным креплением выработки

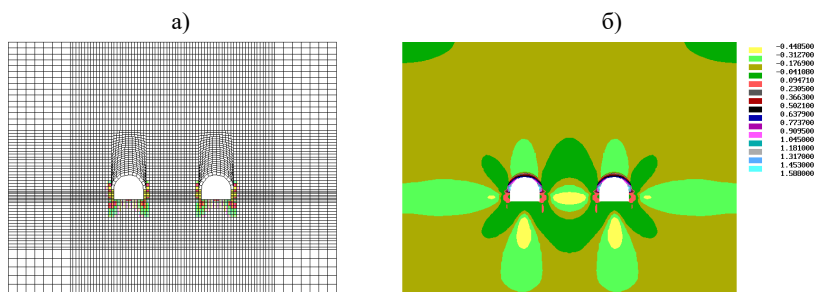


а - горизонтальных, б - вертикальных

Рис. 9. Изохромы перемещений в массиве с верхним бетонным креплением выработки, (м)

На основе проведенных исследований по определению нарушенных зон вокруг тоннелей были окончательно определены следующие глубины пластических слоев от поверхности выработки: над сводовой частью пластические зоны не появились (уже с креплением); у стенки максимальная глубина составляет 2 м; в лотковой части 2,5-3,0 м.

Самым опасным в данном случае с точки зрения устойчивости являются нижние боковые поверхности стен и края лотка выработки. Поэтому, исходя из опыта практики проектирования и строительства, в скальных грунтах рекомендуем применение различных мероприятий по укреплению стен выработок. По нашему мнению, применение анкерной крепи позволяет усиливать сцепление пород, повышает их прочность и устойчивость и не дает развиваться обрушению стенки. Длину анкеров принимаем 3-3,5 м. Шаг анкеров можно назначать 50 см, при этом толщины плит, устанавливаемых на стенку, принимаются 10-15 см (рис.11). Устойчивость краев и границ можно обеспечить другой временной крепью, как например, в виде досок - 1, поддержанных анкерами и швеллерами подхватками – 2.



а - в конечном этапе, б - критические зоны по критерию Мора-Кулона

Рис.10. Места вокруг выработки, в которых порода разрушилась, с временным креплением выработки

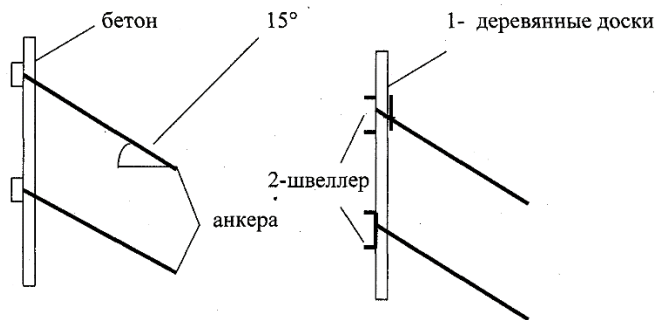


Рис. 11. Рекомендуемые типы крепления стен выработок тоннелей для скального грунта

### Заключение

Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг подземных горизонтальных выработок и, в связи с этим определение давления грунтов, действующего на конструкцию тоннеля, является одной из основных задач механики подземных сооружений. Разработана методика расчета определения напряженно-деформированного состояния в окрестности тоннелей различного поперечного сечения с учетом упругопластических свойств деформирования грунтов по теории предельного состояния Мора-Кулона. Для расчета использован метод конечных элементов в сочетании с методом начальных напряжений, причем применены изопараметрические конечные элементы с произвольной аппроксимацией.

Для улучшения работоспособности предложенной методики расчета разработаны алгоритмы и программы разбивки на конечные элементы и нумерации элементов и узлов, вывод графической информации об исходных данных, о перемещениях в узлах и напряжениях в элементах, а также алгоритм вывода информации в графическом виде

Решены две задачи о распределении напряжений вокруг выработок транспортных тоннелей круглых и подковообразных очертаний и даны рекомендации по укреплению стен выработок в возможных зонах пластичности.

## О РЕЗУЛЬТАТАХ ДИАГНОСТИКИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОДОРОГАХ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Гулицкая Л.В., Шиманская О.С.

Белорусский национальный технический университет,

***Аннотация:** В статье рассмотрены результаты оценки технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений на примере анализа результатов диагностики десяти сооружений, расположенных на автомобильных дорогах Минской области, эксплуатируемых РУП «Минскавтодор-Центр». Проанализированы характерные дефекты, снижающие грузоподъемность и эксплуатационную надежность мостовых сооружений, а также основные причины их возникновения. Выявлены случаи возможного возникновения аварийной ситуации на сооружениях с рекомендациями по аварийно-страховочным мероприятиям и необходимым ремонтным работам для выполнения эксплуатирующей организацией.*

***Ключевые слова:** мостовые сооружения, несущие конструкции, опоры, пролетные строения, дефекты, грузоподъемность, аварийная ситуация.*

Обеспечение эксплуатационной надежности мостовых сооружений, расположенных на автомобильных дорогах нашей страны, тесно связано с необходимостью своевременного проведения плановых осмотров, диагностики и обследований мостовых сооружений, в процессе которых осуществляются сбор и анализ актуальной информации о состоянии мостовых конструкций, о наличии и объемах дефектов и повреждений конструкций в процессе эксплуатации, определяются причины их появления, степень влияния на работу сооружения и способы их устранения. Важной частью таких исследований является определение теоретической грузоподъемности сооружений по фактическим данным, полученным в ходе их диагностики или обследования. По результатам проведенных исследований технико-эксплуатационного

состояния мостовых сооружений осуществляется актуализация базы данных СУСМ «Белмост».

Научно-исследовательская лаборатория мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) Белорусского национального технического университета более 20 лет принимает активное участие в программе диагностики мостовых сооружений Республики Беларусь. При выполнении работ в мае-июне 2023 года по диагностике мостов на автомобильных дорогах, эксплуатируемых РУП «Минскавтодор-Центр», были собраны данные и проанализирована

информация о состоянии мостовых конструкций десяти сооружений. В ходе этого были проведены следующие работы:

- натурные обследования несущих элементов мостовых сооружений с выполнением необходимых обмерных и нивелировочных работ в рамках инструментальной диагностики;

- выявлены и систематизированы дефекты несущих мостовых конструкций с целью определения степени их влияния на функциональные параметры мостовых сооружений;

- определена теоретическая грузоподъемность мостовых сооружений с учетом фактического состояния несущих элементов мостовых сооружений.

Мостовые сооружения, по которым проводились исследования, имеют балочные или плитные пролетные строения, относятся к балочно-разрезной расчетной схеме, опоры сооружений – свайные. Определение усилий при пространственной работе пролетных строений производилась с использованием ПК MIDAS CIVIL 2019.

Проведенный анализ данных, полученных при выполнении диагностики, показал следующее:

1) основными дефектами, снижающими грузоподъемность сооружений, являются:

- пластовая коррозия и выключение из работы стержней рабочей арматуры плит пролетных строений,

- отсутствие объединения между плитами пролетных строений,

- пластовая коррозия стержней рабочей арматуры балок,

- отсутствие объединения между главными балками из-за разрушения стыков диафрагм («клавишный эффект»);

2) основными причинами возникновения выявленных дефектов несущих конструкций мостовых сооружений являются:



- нарушение герметичности гидроизоляции мостового полотна и деформационных швов, отсутствие гидроизоляции на тротуарах,
- дефекты системы водоотвода с поверхности мостового полотна,
- недостаточная плотность и морозостойкость бетона элементов,
- коррозия арматуры конструкций,
- физический износ конструкций,
- действие агрессивной среды,
- недостаточный уровень содержания сооружения.

На рисунках 1÷6 приведены характерные дефекты, снижающие эксплуатационную надежность исследованных мостовых сооружений.



Рис. 1. Мост через ручей на км 43,915 автомобильной дороги Р-57: деструкция бетона, коррозия арматуры плиты из-за отвода воды через окно в тротуарном блоке.



Рис. 2. Мост через ручей на км 43,915 автомобильной дороги Р-57: деструкция бетона, коррозия арматуры плиты.



Рис. 3. Мост через р.Весея на км 342,538 автомобильной дороги Р-43: деструкция бетона, коррозия арматуры насадки опоры.



Рис. 4. Мост через р.Весея на км 342,538 автомобильной дороги Р-43: трещины с выщелачиванием бетона, stalактиты по плите фасадной балки, размораживание бетона борта монолитного тротуара.



Рис. 5. Мост через р.Солянка на км 304,911 автомобильной дороги Р-43: разрушение бетона плиты и диафрагм балки, разрушение связей диафрагм балок пролетного строения.



Рис. 6. Мост через р.Болвань на км 403,904 автомобильной дороги Р-43: деструкция бетона, коррозия арматуры балки.

Кроме вышеперечисленных характерных дефектов несущих конструкций при проведении диагностики мостовых сооружений были выявлены критические дефекты, которые могут привести к созданию аварийной ситуации на сооружении. Проведен анализ этих дефектов и даны рекомендации по аварийно-страховочным мероприятиям для выполнения эксплуатирующей организацией.

Мост через р.Болвань на км 403,904 автомобильной дороги Р-43 - выявлена деструкция бетона с оголением и коррозией рабочей арматуры насадки опоры №2 в зоне опирания балок Б2 и Б8 пролета №1 (рисунок 6), что может привести (при дальнейшем развитии) к возникновению аварийной ситуации. Эксплуатирующей организации даны рекомендации по аварийно-страховочным мероприятиям и проведению необходимых ремонтных работ для обеспечения безопасной эксплуатации сооружения.





Рис. 7. Мост через р.Солянка на км 304,911 автомобильной дороги Р-43

Выявлено разрушение площадок опирания крайних балок пролетов №2 и №3 (рисунок 7) на насадки опор №3 и №4, что при существующем смещении балок во время монтажа, а также в совокупности с полным разрушением связей между диафрагмами, создает угрозу обрушения балок. Эксплуатирующей организации даны рекомендации по аварийно-страховочным мероприятиям и проведению необходимых ремонтных работ для обеспечения безопасной эксплуатации сооружения.

## ТЕРМОГРАФИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ. ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА

**Ходяков Вячеслав Андреевич**, старший преподаватель  
кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
e-mail: xva609@bntu.by

***Аннотация:** При обследовании мостовых сооружений состояние деформационных швов как правило оценивается визуально. Для объективизации данного процесса предлагается использовать инструментальный метод термографии. На одном из эксплуатируемых путепроводов МКАД в 2021 году была получена термограмма деформационного шва с плитными резинометаллическими элементами. Через два года произошло разрушение элементов шва на характерных участках, что позволило оценить достоверность предлагаемого метода. Также представлены результаты тепловизионной диагностики других видов деформационных швов. Для швов со щёбёчно-мастичной вставкой, металлическим окаймлением или непрерывным покрытием данный метод имеет ограниченное применение.*

***Ключевые слова:** термография, тепловизор, обследование, диагностика, деформационный шов, путепровод, дефект, разрушение.*

Метод инфракрасной термографии (далее термографии) достаточно хорошо исследован применительно к оценке напряжённо-деформированного состояния металлических конструкций [1,2]. Глубокие исследования показывают, что данный метод подходит не только для качественной, но и для количественной оценки различных параметров. Встречаются также работы по диагностике дорожного покрытия методом термографии

[3,4]. Однако применительно к деформационным швам данный метод в Республике Беларусь до сих пор не применялся.

В ноябре 2021 года апробация термографического метода диагностики деформационных швов производилась на нескольких сооружениях с различными видами швов на Минской кольцевой автомобильной дороге (далее МКАД). Наиболее интересные результаты были получены на деформационном шве с плитными резинометаллическими элементами, так как в промежуток с апреля по октябрь 2023 года произошло локальное разрушение элементов шва в тех зонах, которые имели повышенную интенсивность инфракрасного излучения (далее излучения). Фиксация термограмм велась при помощи тепловизора Testo 875-1i.

Рассмотрим две группы изображений (Рис. 1 и 2) деформационного шва. На полученных термограммах видны участки повышенного излучения оголённых анкерных болтов на первой (ближайшей к оператору) полосе движения. На второй полосе движения видны небольшие участки плитного элемента шва с повышенным инфракрасным излучением. По третьей (самой дальней) полосе движения виден большой участок деформационного шва с повышенным излучением. Сравнивая термограмму швов и их фотографии хорошо видно, что некоторые участки, на которых наблюдалось повышенная интенсивность излучения через два года были разрушены.

Известно, что интенсивность движения транспорта по разным полосам отличается [5,6], что и влияет на неравномерное разрушение, в том числе, деформационного шва. При этом наиболее тяжёлая нагрузка движется по первой полосе движения, наибольшая интенсивность движения фактических автомобилей наблюдается по второй полосе, а с наибольшей скоростью автомобили движутся по третьей полосе движения.

Анализируя термограммы с учётом данных об интенсивности движения можно сказать, что на первых двух полосах движения концентрации излучения действительно свидетельствуют о наличии дефектов и повышенном износе элементов деформационного шва. Концентрация излучения на третьей полосе движения вероятнее всего связана с тем, что у автомобилей, движущихся с наиболее высокой скоростью, сильнее разогреваются колёса, тепло от которых

передаётся шву. При этом интенсивного разрушения шва не происходит.

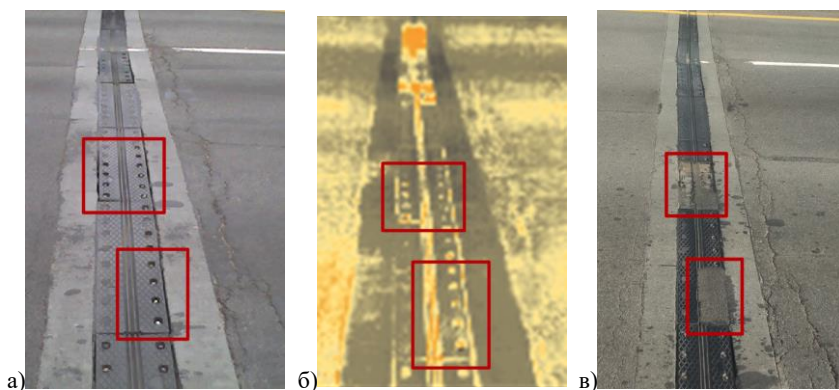


Рис. 1. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами в начале моста. Шов устроен в 2015 году. Разрушения шва по первой полосе движения: а – фото шва до разрушения (ноябрь 2021 года); б – термограмма шва (ноябрь 2021 года); в – фото разрушенного шва, выбитые элементы шва заасфальтированы (октябрь 2023 года)

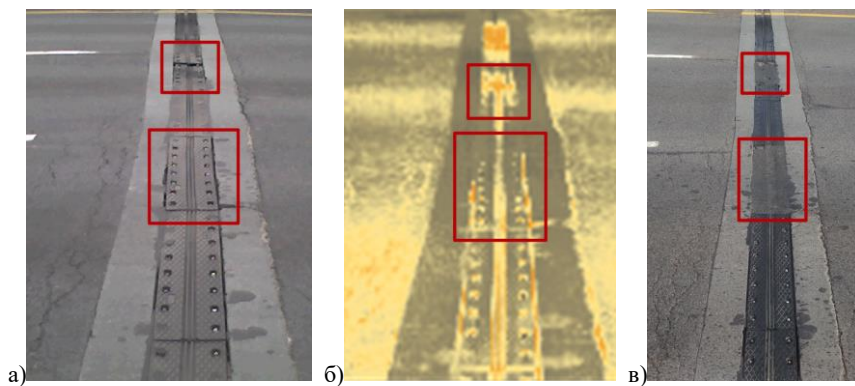


Рис. 2. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами в конце моста. Шов устроен в 2015 году. Разрушения шва по первой и второй полосе движения: а – фото шва до разрушения (ноябрь 2021 года); б – термограмма шва (ноябрь 2021 года); в – фото разрушенного шва, выбитые элементы шва заасфальтированы (октябрь 2023 года)

Следует отметить, что измеренная интенсивность включает в себя как отражённую, так и излучаемую часть инфракрасного излучения.



Интенсивность измеряемого излучения зависит от множества параметров, таких как: угол съёмки по отношению к поверхности, цвет и коэффициент излучения поверхности, освещённость и др. Из-за оптико-физической сложности данный метод слабо подходит для количественной оценки, по крайней мере на данном этапе исследования, и предлагается как инструментальный экспресс-метод качественной оценки износа элементов деформационных швов.

Может возникнуть справедливая гипотеза о том, что концентрации излучения на второй и третьей полосах движения являются отражёнными, а источником излучения является солнце или металлическое ограждение безопасности. Чтобы опровергнуть это была произведена съёмка того же шва под разными углами (Рис 3). Несмотря на то, что качество термограммы при такой съёмке несколько хуже, видно, что концентрации имеют ту же структуру и место расположения.

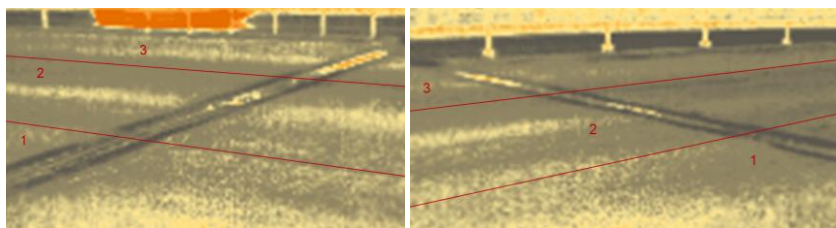


Рис. 3. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами в начале моста. Съёмка одного шва под разным углом. Цифрами обозначены полосы движения

В основу предлагаемого экспресс-метода положено два принципа: принцип относительного разогрева элементов деформационных швов от повышенного механического воздействия и принцип разницы температур участков деформированного дорожного покрытия, сориентированных под разным углом по отношению к солнцу.

Выполнена съёмка шва того же вида в составе другого мостового сооружения на МКАД (Рис. 4). Видны участки повышенного излучения на компенсаторе деформационного шва по полосам движения.



Рис. 4. Деформационный шов с плитными резинометаллическими элементами.  
Возраст шва 1 год.

Выполнена съёмка сильно изношенного шва со щебеночно-мастичной вставкой в составе мостового сооружения на МКАД (Рис. 5). Повышенная интенсивность излучения в зоне «наплывов» заполнения шва указывает на работу, в том числе, второго из вышеописанных принципов, положенных в основу термографии деформационных швов.

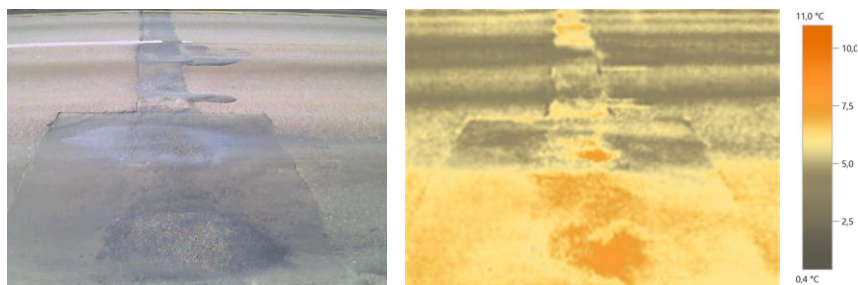


Рис. 5. Деформационный шов со щебеночно-мастичной вставкой.  
Возраст шва более 10 лет

Была выполнена съёмка шва с металлическим окаймлением в составе мостового сооружения на МКАД (Рис. 6). По термограммам видно, что предлагаемый метод слабо подходит для деформационных швов такого вида – концентраций излучения не наблюдается. По крайней мере на начальной стадии эксплуатации шва.

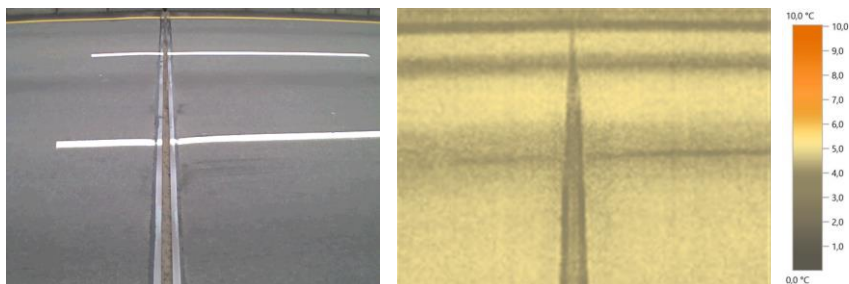


Рис. 6. Деформационный шов со щебеночно-мастичной вставкой.  
Возраст шва 1 год

Выполнена съёмка экспериментального шва с непрерывным покрытием, перекрытого железобетонной плитой шириной 2 м. Шов располагается на путепроводе МКАД (Рис. 7). По термограммам наблюдается повышенный нагрев участка асфальтобетонного покрытия над плитой, перекрывающей шов, однако разница температур очень небольшая, порядка десятой доли градуса.

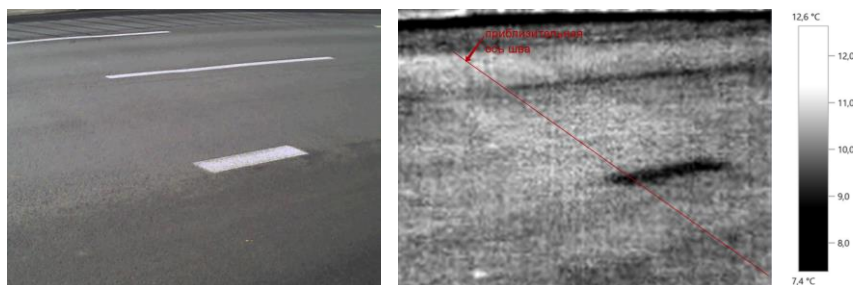


Рис. 7. Экспериментальный деформационный шов, перекрытый железобетонной плитой. Возраст шва 1 год

Предлагаемый метод инфракрасной термографии может применяться для оперативной качественной оценки состояния деформационных швов. Его основное преимущество — это высокая производительность: для проведения измерений на одном сооружении достаточно 10-15 минут с учётом перемещения между точками измерения. Кроме того, при проведении измерений не требуется проведение каких-либо специальных подготовительных мероприятий. Измерения не требуют ограничения движения транспорта. С другой стороны, предлагаемый метод обладает более

высокой достоверностью по сравнению с простым визуальным осмотром, а термограммы являются более информативными по сравнению с обычными цветными фотографиями.

### Литература

1. Мойсейчик, Е. А. Исследование и разработка метода теплового неразрушающего контроля стальных конструкций на основе механизма деформационного теплообразования : специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Мойсейчик Евгений Алексеевич, 2019. – 277 с.
2. Методические рекомендации по частичной замене железобетонных балок эксплуатируемого пролетного строения на сталежелезобетонные и железобетонные при проведении капитальных ремонтов, ремонтов и аварийных работ : ОДМ 218.5.2.001-2022. – Введ. 15.05.23 (введён впервые). – Москва : Федеральное дорожное агентство, 2022. – 92 с.
3. Ларина, Т. А. Метод оценки кинетики износа асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Т. А. Ларина, Н. Р. Зубарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – № 1(19). – С. 5.
4. Мельникова, И. С. Диагностика повреждений дорожных покрытий / И. С. Мельникова // Архитектура, градостроительство, историко-культурная и экологическая среда городов центральной России, Украины и Беларуси : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного архитектора РФ В.Н. Городкова, Брянск, 12–13 марта 2014 года / Брянская государственная инженерно-технологическая академия. – Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2014. – С. 270-273.
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. 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

## **ИНДЕКС РОВНОСТИ ПОКРЫТИЯ НА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ДИСКУССИЯ**

**Ходяков Вячеслав Андреевич**, старший преподаватель  
кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: xva609@bntu.by

**Шишко Надежда Игоревна**, старший преподаватель  
кафедры «Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** На примере одного из мостовых сооружений на Минской кольцевой автомобильной дороге проведена апробация комплексного метода диагностики ровности дорожного покрытия в зоне устройства деформационного шва. Сбор данных в полевых условиях производился методом наземного лазерного сканирования. Оценка ровности производилась с использованием международного параметра IRI. В работе проведено подробное описание методики обработки данных и глубокий анализ особенностей применяемой методики с целью её совершенствования и адаптации для практического применения эксплуатирующими организациями Республики Беларусь.*

***Ключевые слова:** ровность, показатель IRI, ReCap, Кредо Дороги, Grasshopper, диагностика, деформационный шов, наземное лазерное сканирование, мостовое сооружение, динамика, аварийность.*

### **Введение**

Ровность асфальтобетонного покрытия в процессе длительной эксплуатации постоянно снижается. Зонами повышенного риска являются участки различных стыков с изменением структуры и жёсткости ездового полотна. В частности, такой зоной является

место примыкания дорожного полотна к мостовому с устройством деформационного шва [1].

Апробация нового комплексного метода оценки ровности проводилась на путепроводе, расположенном на 4-м километре Минской кольцевой автомобильной дороги (далее МКАД). Формула сооружения 3×12 м, пролётное строение температурно-неразрезное из балок по ПМП 86.12. Опорные части полиуретановые индивидуального проектирования 210×195 мм, деформационные швы со щебеночно-мастичной вставкой на внешнем кольце МКАД и с плитными резинометаллическими элементами – на внутреннем. Швы в плохом состоянии. Эксплуатационная скорость движения 90 км/ч для легковых автомобилей и 70 км/ч для грузовых. Приблизительный год строительства 1989.

Тема изучения ровности автомобильных дорог и их разрушения под действием автомобильного транспорта сегодня продолжает активно рассматриваться специалистами факультета транспортах коммуникаций [2,3]. Однако, специфика этих процессов применительно к мостовым сооружениям пока изучена недостаточно.

### **Метод и методика**

Для сбора данных о топологии покрытия на участке с путепроводом было выполнено лазерное сканирование поверхности мостового полотна и участков подходов на расстоянии порядка 30 м от деформационного шва. Измерительное оборудование – наземный лазерный сканер Faro Focus 3DX130. Сканирование производилось последовательно с четырёх разных станций, расположенных на обочинах в начале и в конце путепровода.

Как показывают результаты предыдущих исследований по определению действительных метрологических характеристик, точность лазерного сканирования составляет  $\pm 0,65$  мм при доверительной вероятности 95% [4].

После сбора данных облака точек были обработаны при помощи программы «Autodesk ReCap» [5]. В процессе обработки вручную удалялись недостоверные точки, которые были сняты по проезжающим автомобилям. Также удалялись лишние участки сканирования, кроме дорожного покрытия и элементов ограждений.

Дальнейшая обработка производилась в программе «Rhinoсeros» [6]. Здесь отдельные облака точек, полученные с разных станций, объединялись в одно. Привязка и ориентация осуществлялась по дорожной разметке, ограждению и мачтам освещения.

Дальнейшая обработка велась внутри программы «Rhinoсeros» при помощи плагина «Grasshopper» [7], реализующего метод визуального программирования применительно к геометрической модели отсканированного покрытия. В результате обработки, для первичной оценки состояния покрытия, выполнялось построение цветных изополей, отображающих характер деформации покрытия (Рисунок 1).

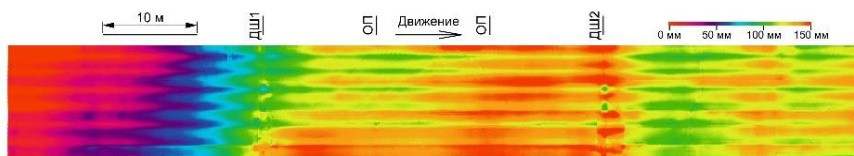


Рис. 1 Изополе высотных отметок покрытия в зоне устройства путепровода

Далее в той же программной среде выполнялось построение характерных поперечных профилей (Рисунок 2). По каждому из поперечных профилей хорошо видна колеиность и легко определяется положение дна колеи, которое, по сути, является наиболее характерной траекторией движения автотранспорта на исследуемом участке. Именно по дну колеи и выполняется дальнейшее построение продольного профиля для оценки ровности по международному параметру IRI. Следует отметить, что ось профиля не всегда является прямой.

Следующим шагом по выбранным осям выполняется построение характерных микропрофилей. Микропрофили проходят обработку с устранением точек, которые могут в дальнейшем привести к ошибкам. После чего по каждому профилю создаётся структурированный текстовый файл в формате «.txt» для импорта данных и последующей обработки в программном комплексе «КРЕДО ДОРОГИ» [8].



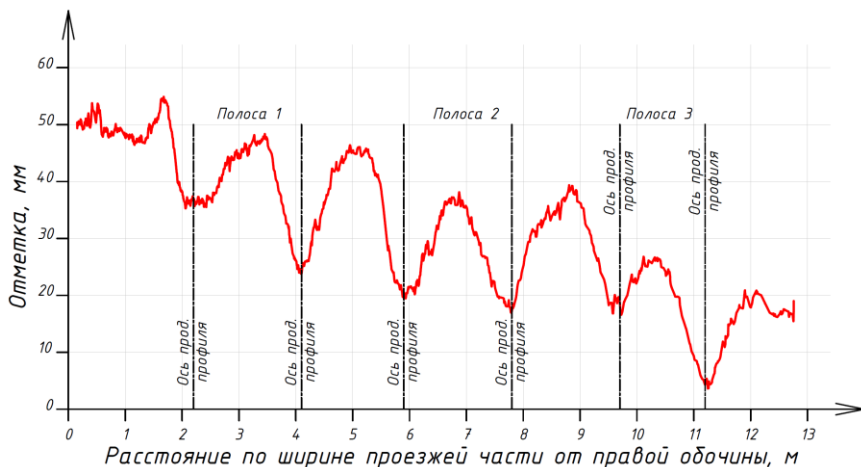


Рис. 2. Поперечное сечение проезжей части. Высота принята с корректировкой на поперечный уклон проезжей части

В программном комплексе «КРЕДО ДОРОГИ» на основе импортированных данных строится пространственный коридор, повторяющий своей топологией микропрофиль исследуемого участка. При помощи специализированного модуля «Оценка дороги» рассчитывается показатель ровности IRI [9, 10]. Для расчёта вводятся стандартизированные параметры «Золотого автомобиля»  $M_v/M_s=0,15$ ;  $C_v/M_s=653 \text{ 1/c}^2$ ;  $C_s/M_s=63,3 \text{ 1/c}^2$ ;  $B/M_s=6 \text{ 1/c}$  и скорость его движения  $80 \text{ км/ч}$  ( $22,2 \text{ м/с}$ ). Среди прочего назначаются параметры: шаг отметок профиля  $0,1 \text{ м}$ ; длина отрезка DPR  $0,1 \text{ м}$ ; технологическая неровность  $0$ .

После получения динамики изменения параметра IRI по мере «проезда» «Золотого автомобиля» по исследуемому профилю данные импортируются в структурированный файл формата «.xlsx» и возвращаются в программу «Rhinoseros» для дальнейшей обработки и построения диаграмм (Рисунок 3) с использованием «Grasshopper».

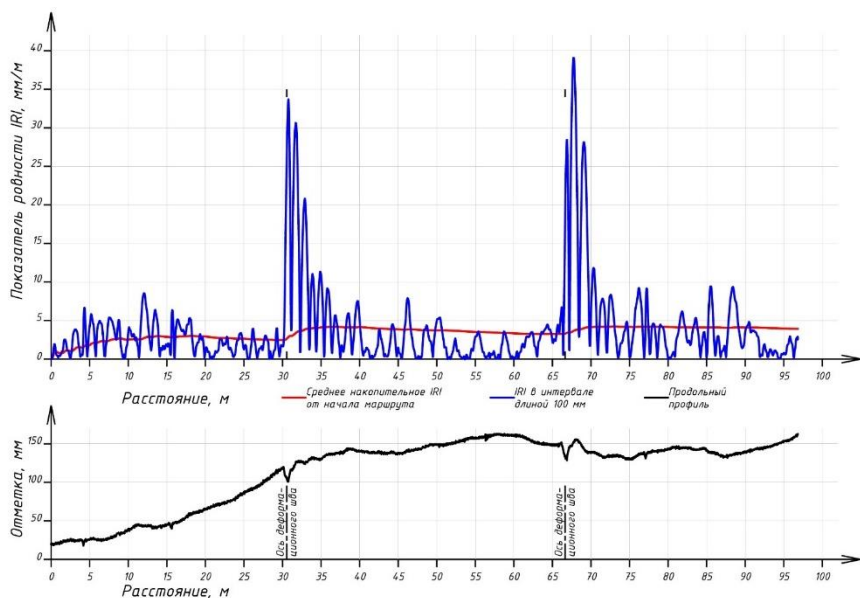


Рис. 3. Диаграмма изменения показателя IRI исследуемого участка

На этом основной алгоритм обработки завершается. По вышеприведённой методике допускается производить сбор данных о ровности дорожного покрытия в зоне устройства мостовых сооружений.

### Выводы

Как показывают более ранние исследования покрытия в зоне устройства мостовых сооружений [11], основной причиной образования неровностей являются именно деформационные швы. Сам по себе деформационный шов является неровностью. Автомобили, проходящие по нему своим динамическим воздействием, разрушают со временем как сам шов, так и асфальтобетонное покрытие на прилегающих участках. Предлагаемый метод диагностики ровности деформационных швов позволяет объективно наблюдать за этим процессом и численно, при помощи уже стандартизированного параметра IRI, оценивать ровность покрытия в зоне устройства деформационных швов.

В процессе создания и апробации данной методики возникало множество интересных вопросов о характере работы самого «Золотого автомобиля», достоверности его характеристик, необходимости дополнительной обработки продольного профиля, влияния неровности в зоне устройства деформационного шва на безопасность движения и др.

Далее в работе представлены размышления на данную тему в форме приглашения к дискуссии для других исследователей, которые проводят свою работу в данном направлении.

### **Эксперименты и дискуссия**

Для лучшего понимания амплитудно-частотных характеристик работы подрессоренной и неподрессоренной масс «Золотого автомобиля» было выполнено два тестовых «проезда» по трассе с одиночной искусственной неровностью высотой 100 мм. Результаты представлены на рисунке 4.

Если определить частоту собственных колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс по средней длине волны 19,100 м и 4,547 м соответственно, то получим значения 1,16 Гц для подрессоренной массы и 11 Гц – для неподрессоренной. В более ранних работах при приблизительном ручном вычислении этих частот получены значения 1,21 Гц и 11 Гц [12], а по результатам анализа фактических деформаций асфальтобетонного покрытия 1,29 Гц и 11,36 Гц [11]. Полученные различными методами частоты схожи.

Если обратиться к методической литературе, то можно найти описание тех же диапазонов частот при оценке плавности хода автомобиля [13]. Это связано с привычной для человека частотой колебаний при пешей ходьбе порядка 1,5 – 2 Гц и чувствительностью организма к другим частотам. Однако, не стоит забывать о том, что грузовой автотранспорт с разной степенью загрузки может иметь очень разную массу, а значит и частоты собственных колебаний подрессоренной и неподрессоренной масс.

Кроме того, по диаграмме IRI со стандартным демпфированием видно, что полное затухание колебаний подвески «Золотого автомобиля», движущегося со скоростью 80 км/ч, происходит в пределах 40 метров за искусственной неровностью.

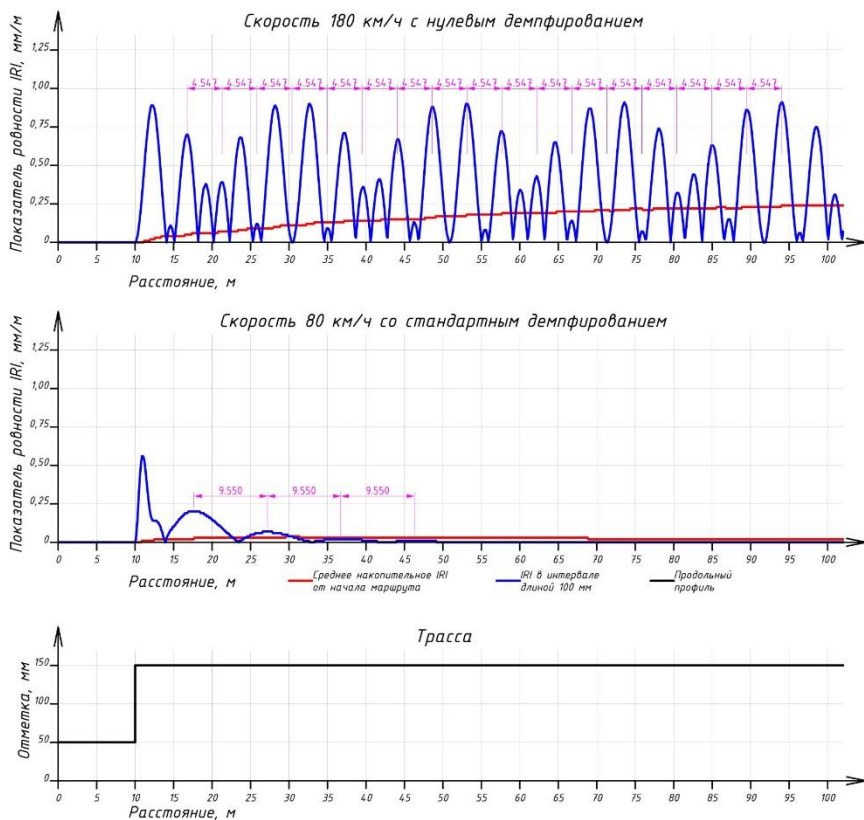


Рис. 4. Диаграмма изменения показателя IRI при «проезде» по тестовой неровности

Ещё одним экспериментом, который был проведён с математической моделью «Золотого автомобиля» стал проезд по одному из наиболее изношенных продольных профилей с разной скоростью в диапазоне от 5 до 120 км/ч. При проездах снимались пиковые значения параметра IRI при прохождении первого и второго деформационного шва и среднее накопительное значение на всём участке (Рисунок 5). Анализируя нисходящие графики, можно наблюдать работу народного принципа «Выше скорость – меньше ям». Это может быть верно с точки зрения ресурса подвески, снижения энергетических потерь от её работы или комфорта, однако в корне не верно с точки зрения безопасности движения, т.к. на высокой скорости выше вероятность потери сцепления колеса

автомобиля с дорожным покрытием, также снижается время на принятие решения в экстренной ситуации, увеличивается тормозной путь и т.д. Особенно это опасно в случае крупных неровностей, которые могут вызвать «пробой» подвески автомобиля, в этом случае возникает большая ударная нагрузка как на кузов, так и на дорожное покрытие.

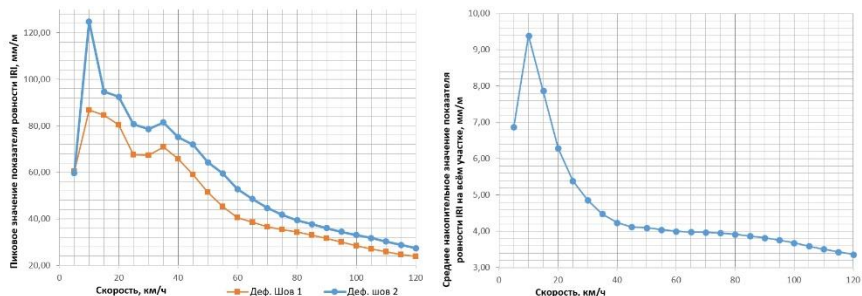


Рис. 5. Диаграмма изменения показателя IRI при «проезде» на разных скоростях движения

Также интересно было пронаблюдать динамику и характер изменения диаграмм с изменением скорости движения (Рисунок 6). Видно, что на участке перед первым деформационным швом на скоростях выше 90 км/ч графики «сбиваются в кучу», т.е. изменение величины IRI незначительно. За первым деформационным швом на скоростях от 60 км/ч до 75 км/ч изменение величины IRI также становится минимальным. Это вероятно связано с тем, что покрытие деформируется в основном тяжёлым автотранспортом, движущимся как раз в этом диапазоне скоростей.

Это связано с тем, что тяжёлый автомобильный транспорт «выкатывает» асфальтобетонное покрытие, деформируя его по тому же закону, по которому движется подрессоренная масса автомобиля с учётом наиболее характерной скорости движения, судя по графикам это 67,5 км/ч. Таким образом при движении со скоростью близкой к наиболее характерной траектория движения подрессоренной массы повторяет топологию ранее деформированного покрытия, и именно за счёт этого значение показателя IRI несколько снижается.

Характерная скорость в 67,5 км/ч крайне показательна, т.к. с обывательской точки зрения любой автолюбитель знает, что

спидометр автомобиля несколько завышает реальную скорость, т.е. когда едешь по спидометру 70 км/ч реальная скорость как раз порядка 67,5 км/ч.

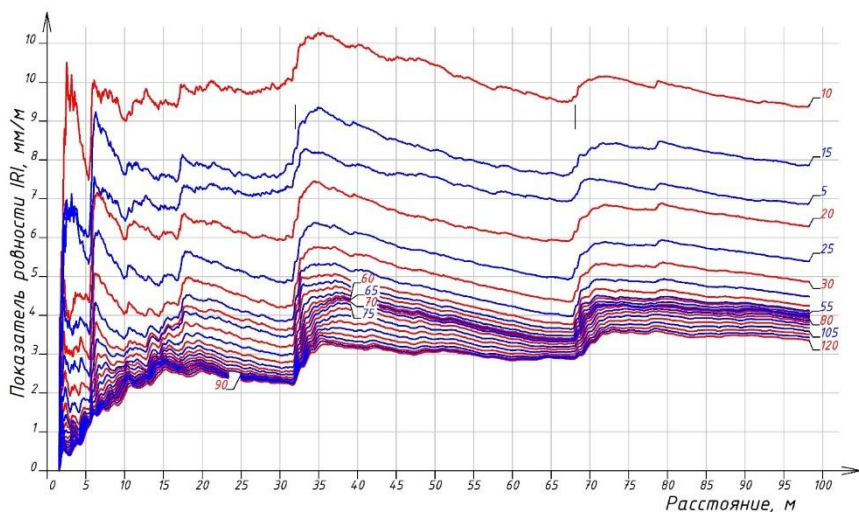


Рис. 6. Диаграмма изменения среднего накопительного показателя IRI при «проезде» на разных скоростях движения в диапазоне от 5 км/ч до 120 км/ч

Наблюдая такую динамику и характер изменения диаграмм, может возникнуть гипотеза о том, что стандартная скорость 80 км/ч для определения международного параметра IRI не вполне характерна для региональных особенностей Республики Беларусь, для наших дорог наиболее верным будет определение IRI при стандартной скорости 70 км/ч.

С другой стороны, если обратиться к фундаментальным исследованиям IRI [14, 15] можно понять, что наиболее характерная скорость движения грузовых автомобилей тогда не рассматривалась как определяющий фактор.

При этом ограничение скорости в 70 км/ч для грузовых автомобилей достаточно консервативное для нашего региона значение. В СССР оно впервые было определено в 1987 году и действует по сей день без принципиальных изменений.

С другой стороны, если обратиться к открытым источникам, то можно сказать, что наиболее распространённым ограничением

скорости для грузовых автомобилей, например в странах европейского союза, является именно скорость 80 км/ч.

Также стоит отметить, что в результате всех проведённых экспериментов средний нормируемый показатель IRI на исследуемом участке с путепроводом длиной около 100 м едва превышает 4 мм/м. Что выше значения 3,6 мм/м для первой категории дороги, но с большим запасом находится в пределах допустимых значений – 4,8 мм/м для второй категории дороги согласно ТКП 140-2015 [16]. При этом на участке присутствуют выбоины глубиной до 25 мм на деформационных швах.

Что касается фильтрации продольного профиля перед определением параметра IRI, то действующий ГОСТ 33101-2014 [10] прямо указывает «Для расчета показателя IRI используются профили, не подвергнутые фильтрации». Однако с учётом специфики сбора данных это может оказаться не совсем верным, т.к. по результатам сканирования шаг точек составляет порядка 10 мм. При этом отпечаток колеса автомобиля имеет некоторую длину и ширину. Что касается длины, при работе с профилем в «КРЕДО ДОРОГИ» профиль автоматически упрощается согласно параметру «шаг отметок профиля», который не может быть меньше 0,1 м. При этом профиль достаточно грубо упрощается и попросту «нарубается» с шагом 0,1 м без каких-то попыток усреднения участков. Это хорошо видно, если «прогнать» «Золотой автомобиль» по специально смоделированному профилю с неровностями с определённым периодом (Рисунок 7).

Учитывая довольно примитивный алгоритм работы с профилем в «КРЕДО ДОРОГИ» и с учётом ширины колеса, лучше проводить предварительную обработку профиля вычисляя его отметки не простым разрезанием облака точек, а как среднюю величину в квадрате 100x100 мм. Это должно повысить сходимость параметра IRI определяемого по математической модели на компьютере с действительным.

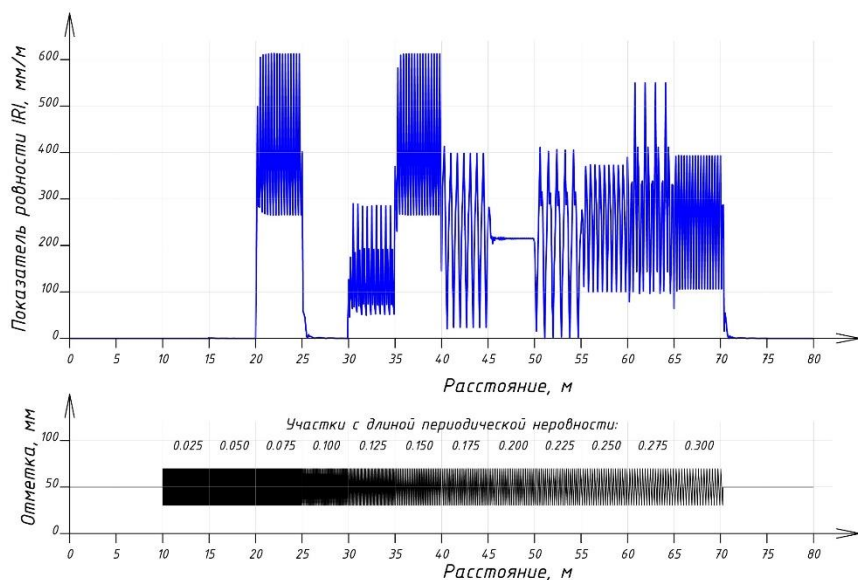


Рис. 7. Диаграмма изменения показателя IRI при «проезде» по тестовому профилю с изменяемой длиной периодической неровности. С учётом специфики программы «КРЕДО ДОРОГИ»: шаг отметок профиля задан 0,1 м, DPR задан 0,1 м

Если исходить из задачи оценки динамического воздействия на мостовое сооружение, то важно знать не только величину деформации подвески автомобиля, но и её направление, поэтому параметр IRI не очень хорошо подходит для этой задачи. Однако его преимущество в том, что он стандартизирован и признан на высоком международном уровне. Тем не менее, если говорить об оценке величины именно динамического воздействия, то известна и другая модель, разработанная Солодкой М. Г., однако эта модель пока не получила широкого распространения [17]. При этом если учитывать специфику пролётных строений и их жёсткость, то в известные модели необходимо вводить ещё один груз с переменной массой эквивалентной массе пролётного строения, а также ещё одну пружину с переменной жёсткостью, моделирующей изменение жёсткости основания на пути дорожное полотно – переходная плита – опора – центр пролёта – опора и так далее.



## Литература

1. 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.
2. 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.
3. 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
4. Ходяков В.А., Коликов А.О. «Опыт применения дистанционных инструментальных методов сбора данных о деформированном состоянии мостовых сооружений» // *Автомобильные дороги и мосты*. 2023 №1 (31). – С. 25–34.
5. Autodesk ReCap: программное обеспечение для работы с результатами лазерного сканирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription](http://www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription). – Дата доступа : 01.10.2023.
6. Rhinoceros: программное обеспечение для работы с трёхмерной и двумерной геометрией [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com). – Дата доступа : 01.10.2023.
7. Grasshopper: программное обеспечение для параметрического моделирования в Rhinoceros [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.grasshopper3d.com](http://www.grasshopper3d.com). – Дата доступа : 01.10.2023.
8. КРЕДО ДОРОГИ: программное обеспечение для проектирования дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/379-credo-dorogi-naznachenie.html](http://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/379-credo-dorogi-naznachenie.html). – Дата доступа : 01.10.2023.

9. Дороги автомобильные общего пользования. Диагностика. Определение продольного микропрофиля дорожной поверхности и международного показателя ровности IRI : СТО МАДИ 02066517.1-2006. – Москва : Московский автомобильно-дорожный институт, 2006. – 42 с.
10. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности : ГОСТ 33101-2014. – Введ. 01.04.2017 (введен впервые). – Москва : ФГБОУ учреждение высшего профессионального образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет" (МАДИ), 2016. – 24 с.
11. Ходяков, В. А. Комплексная методика оценки деформаций асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях с использованием метода наземного лазерного сканирования / В. А. Ходяков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова), Белгород, 16-17 мая 2023 г. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 359–362.
12. Ходяков, В. А. О достоверности стандартных параметров модели «Золотого» автомобиля для расчета показателя IRI / В. А. Ходяков // Новые горизонты 2023 : Сборник материалов Белорусско-Китайского молодёжного форума, Минск, 9-10 ноября 2023 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2023. – С. 70 – 72
13. Руктешель, О. С. Плавность хода автомобиля : пособие для студентов специальностей 1-37 01 02 «Автомобилестроение (по направлениям)», 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1-37 01 07 «Автосервис» / О. С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2021. – 61 с.
14. Технический отчет Всемирного банка №46 (World Bank Technical Paper Numder 46 «Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements», M.W.Sayers, T.D. Gillespie, W.D.O.Paterson, 1986, 87 p.)
15. Технический отчет Всемирного банка №45 (World Bank Technical Paper Numder 45 «The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements», M.W.Sayers, T.D. Gillespie, C. Queiroz, 1986.)
16. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики : ТКП 140–2015 (33200). – Введ. 01.03.2016 (с отменой на территории РБ ТКП 140-2008 (02191)). – Минск : Республиканское унитарное

- предприятие «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» (Белдорцентр), 2015. – 68 с.
17. Влияние неровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей / Солодка Мария Геннадьевна. - Минск, 2020. - 23 с.

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПОИСКА МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ МОСТОВ

**Ходяков Вячеслав Андреевич**, старший преподаватель  
кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,  
e-mail: xva609@bntu.by

***Аннотация:** Исходя из личного опыта многочисленных динамических испытаний и расчётов пролётных строений мостов становится понятно, что задача получения максимальной величины динамического коэффициента  $\mu$  от проезда даже одиночного самосвала на практике является крайне сложной задачей. В статье описано несколько факторов, которые необходимо учитывать, если мы ставим целью получение динамического коэффициента наиболее близкого к максимально возможному для конкретного мостового сооружения.*

***Ключевые слова:** испытание, динамическая нагрузка, динамический коэффициент, динамика колебания, мост, путепровод.*

**Первый фактор**, который стоит рассмотреть, это неоднозначность геометрического совпадения мест расположения максимальных значений абсолютного динамического прогиба и статического прогиба.

Проведём расчёт деформаций двухпролётной неразрезной балки длиной 20 метров. Прокатим по балке одиночную нагрузку и получим положение сосредоточенной силы, при которой возникает максимальный прогиб второго пролёта (Рис. 1). Расстояние от крайней правой опоры до точки установки силы составляет  $4,7L$  (где  $L = 10$  м – длина пролёта), максимальный прогиб при этом возникает в той же точке. Как показывает практика многочисленных натурных

испытаний неразрезных систем мостов [1], измерительное оборудование как правило устанавливают на расстоянии  $0,4L$  от крайней опоры. В обоих случаях точка максимальных деформаций не находится в центре крайнего пролёта неразрезной системы.

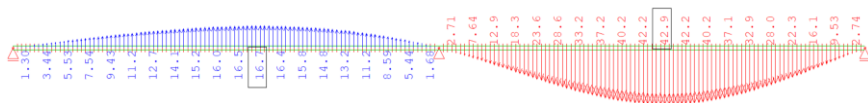


Рис. 1. Максимальные деформации при проезде одиночной нагрузки

С другой стороны, если выполнить расчёт по определению формы собственных колебаний такой конструкции, то будет видно, что максимальные деформации будут находиться в различных точках (Рис. 2). Максимальное абсолютное значение динамической добавки к условным статическим деформациям будет находиться на расстоянии  $0,5L$ ,  $0,42L$  и  $0,25L$  при первой, второй и третьей форме колебаний соответственно.

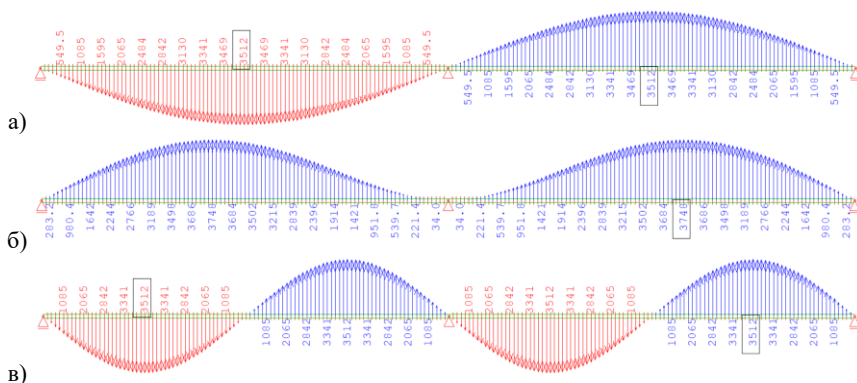


Рис. 2. Деформации балки при собственных колебаниях:  
а – первая форма; б – вторая форма; г – третья форма.

Если рассмотреть представленные выше результаты в совокупности, становится понятно, что точка возникновения максимальных статических деформаций условно никогда не совпадает с точкой возникновения максимальных динамических деформаций. Таким образом, в случае установки измерительного оборудования в точке предполагаемых максимальных статических

деформаций мы не будем получать максимальной величины динамической добавки и наоборот.

Учитывая, что мы ищем относительное значение динамической добавки  $\mu$ , сложно предположить в какой конкретной точке, это значение будет наивысшим. Например, при возникновении первой формы колебаний, если доверять результатам расчётов, максимальная относительная динамическая добавка будет определяться где-то между точками  $0,47L$  и  $0,5L$ .

**Второй фактор**, это неоднозначность совпадения момента возникновения абсолютного динамического прогиба с моментом возникновения максимального статического прогиба по шкале времени.

Колебания пролётного строения возбуждаются не мгновенно, а после плавно затухают. Это приводит к тому, что максимальное значение абсолютной динамической добавки наступает лишь единожды при колебаниях от проезда автомобиля. При этом максимальное значение возмущающей силы, возникает практически сразу при проезде неровности, а максимальная динамическая добавка возникает как правило во 2 или 3 периоде колебаний пролётного строения. Эти несколько периодов тратятся на «раскачивание» пролётного строения периодической силой от транспортной нагрузки до наступления пикового значения амплитуды, затем колебания затухают.

Случай, когда это условие не выполняется можно пронаблюдать на рисунке 3 [2]. Видно, что пиковое значение динамических деформаций наступает приблизительно в момент 267,1 секунды, в то время как максимальное значение статических деформаций сильно раньше – на 266,7 секунде.

При этом в случае, если мы определяем динамическую добавку при испытании без искусственной неровности, на фактор совпадения максимумов по времени можно повлиять лишь выбором скорости движения нагрузки. В случае же если испытание проводится с искусственной неровностью этот момент можно подобрать, перемещая неровность (брус) вдоль пролётного строения.

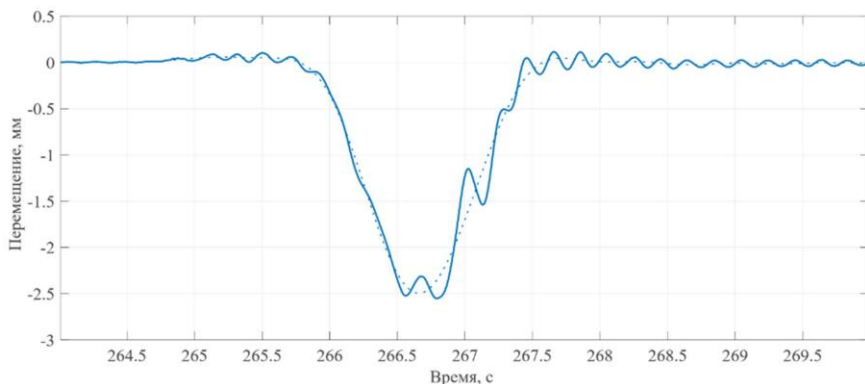


Рис. 3. График изменения прогиба балки при проведении динамических испытаний, проезд без искусственной неровности [2]

**Третий фактор**, это фактор совпадения различных частот в колебательной системе пролёт-самосвал, при проведении динамических испытаний.

Основной причиной возникновения динамической добавки, является изменение сил, передаваемых самой подвижной нагрузкой. Так как поставлена задача получения максимального значения динамической добавки, то нужно следить за выполнением условия совпадения частот колебаний пролётного строения и возмущающей силы.

Далее попробуем разобрать несколько случаев совпадения этих частот, другими словами, случаи возникновения кратковременного резонанса. Обозначим частоту собственных колебаний пролётного строения  $f_0$ , а для приблизительной оценки примем это значение равным 3 Гц.

**Случай 1.** В качестве полупериода воздействия внешней силы примем время прохождения нагрузкой дистанции, равной длине одного пролёта. Тогда частотой вынуждающей силы будет величина  $f_{np}$ , которая находится как отношение скорости движения автомобиля к двум длинам пролёта.

Если принять длину пролёта 24 м, а частоты колебаний  $f_{np}$  и  $f_0$  равными, то получим скорость 144 м/с или 518 км/ч, что является очень большим значением.

Если же рассмотреть пролётное строение длиной 6 м, то получим уже скорость 36 м/с или 130 км/ч что всё ещё много, не уже может быть достигнуто.

**Случай 2.** В качестве частоты возмущающей силы примем частоту колебания неподрессоренной массы автомобиля  $f_{кл}$ , неопределённость которой связана с конструктивными особенностями автомобилей. Однако, принимая во внимания фактор существования стандартизированного «Золотого автомобиля» [3] с конкретными характеристиками, достоверность которых, с учётом региональных особенностей, уже доказана в более ранних исследованиях [4,5], эта частота имеет вполне конкретное значение порядка 11 Гц. Однако, с учётом того, что величина поддрессоренной массы относительно мала, величина динамической добавки от совпадения этих частот не будет иметь высокого значения.

**Случай 3.** В качестве частоты вынуждающей силы примем частоту колебания поддрессоренной массы автомобиля  $f_{мл}$ , которая так же может быть получена из параметров «Золотого автомобиля» и представляет с собой значение порядка 1,2 Гц. Эта частота колебания существенной части подвижной нагрузки, что, как следствие, существенно влияет на величину динамической добавки.

#### **Случай 4.**

В качестве частоты вынуждающей силы примем частоту воздействия отдельных осей автомобиля  $f_{ос}$  на центр пролётного строения или небольшую выбоину. Эта частота находится как отношение скорости движения автомобиля к расстоянию между соседними осями автомобиля [6].

Если принять частоты колебаний  $f_{ос}$  и  $f_{\theta}$  равными, а расстояние между осями 1,4 м (расстояние между задней парой наиболее тяжело нагруженных осей грузового автомобиля типа МАЗ 5516), то получим значение скорости 4,2 м/с или 15 км/ч, что лежит в пределах диапазона действительной скорости движения автомобилей.

Рассматривая колёсную базу МАЗ 5516 и приняв расстояния между 1 и 2 осями 3,35 м, получим скорость проезда 36 км/ч, а для расстояния между 1 и 3 осями 4,75 м, получим скорость проезда 51 км/ч

При этом стоит помнить, что расстояние между осями может быть достаточно разнообразным. Хотя, возможно, это лишь на первый взгляд.



### Случай 5.

В качестве  $3/4$  периода воздействия силы примем время прохождения нагрузкой глубокой выбоины с крутыми краями [7]. Тогда частотой вынуждающей силы будет величина  $f_{вб}$ , которая находится как отношение скорости движения автомобиля к  $4/3$  длины выбоины.

Если принять длину выбоины 0,5 м, а частоты колебаний  $f_{вб}$  и  $f_0$  равными, то получим скорость 2 м/с или 7 км/ч, что лежит в пределах диапазона действительной скорости движения автомобилей.

Если изобразить графически величину динамической добавки для условного пролётного строения с характеристиками, описанными выше, то получим график (Рис. 4). График представляет гипотетическую модель, величины пиковых значений могут иметь другие величины относительно друг друга, также они могут иметь другой порядок и положение по оси абсцисс.

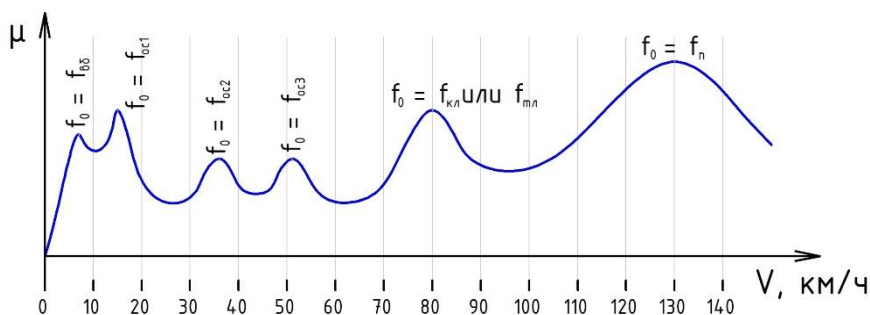


Рис. 4. Общий вид гипотетического графика зависимости величины динамической добавки от скорости движения автомобиля

Следует учесть, что могут иметь место и другие особые случаи возникновения периодических сил, воздействующих на пролётное строение. С другой стороны, необходимо обязательное натурное изучение описанных в данной работе случаев для подтверждения влияния и значимости описанных факторов в формировании динамической добавки.

Дополнительным предметом для дальнейших размышлений и практического изучения может стать влияние возникновения резонанса подрессоренной и непрессоренной масс автомобиля с

внешними силами, создаваемыми неровностями асфальтобетонного покрытия или другими факторами.

### Литература

1. Технический отчет №7805/2022 по результатам обследования и испытания законченного реконструкцией путепровода на объекте «Реконструкция путепровода по просп. Победителей через ул. М. Богдановича в г. Минске» / Т. А. Рубцова [и др.] / Государственное предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2022. – 104 с.
2. Технический отчет №7344/2021 по результатам обследования с испытанием путепроводов №1 и №2 на объекте «Строительство путепровода-дублёра ул. Якубовского-Загородное шоссе в г. Могилёве» / А. В. Семененко [и др.] / Государственное предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2021. – 140 с.
3. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности : ГОСТ 33101-2014. – Введ. 01.04.2017 (введен впервые). – Москва : ФГБОУ учреждение высшего профессионального образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет" (МАДИ), 2016. – 24 с.
4. Ходяков, В. А. О достоверности стандартных параметров модели «Золотого» автомобиля для расчета показателя IRI / В. А. Ходяков // Новые горизонты 2023 : Сборник материалов Белорусско-Китайского молодёжного форума, Минск, 9-10 ноября 2023 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2023. – С. 70 – 72
5. Ходяков, В. А. Комплексная методика оценки деформаций асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях с использованием метода наземного лазерного сканирования / В. А. Ходяков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова (посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова), Белгород, 16-17 мая 2023 г. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2023. – С. 359–362.
6. Способ динамических испытаний пролётных строений : пат. RU 2608332 С / М.Л. Хазанов, А.В. Леви, А.А. Курьпов, А.В. Лысенков, С.А. Хохлов, Л.С. Коростелева, Т.В. Медведева. – Оpubл. 17.01.2017.

7. Павуков Ю.И., Ходяков В.А. Вибродиагностика опор мостовых сооружений // Автомобильные дороги и мосты. 2023 №2 (32). – С. 6 – 12.

**СЕКЦИЯ  
СТУДЕНЧЕСКАЯ**

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КАМЕРУН**

**Атеба Нкули Пол Бенуа,**  
магистрант кафедры «Автомобильные дороги»

***Аннотация:** В данной статье рассмотрена возможность применения современных строительных материалов и технологий, используемых в Республике Беларусь в условиях Камеруна.*

Автомобильные дороги являются важнейшими транспортными узлами, способствующими развитию региональных связей и экономическому росту. Осмысление технологических инноваций и требований к материалам, используемым в различных областях, может привести к более эффективному и индивидуальному развитию инфраструктуры в Камеруне. Были более подробно рассмотрены технологии и материалы, применяемые при строительстве автомобильных дорог, с особым акцентом на цементобетонные и асфальтобетонные покрытия. Основная цель исследования - оценить пригодность современных строительных материалов и технологий, используемых в Республике Беларусь, и определить, насколько они могут быть применимы к уникальным условиям Камеруна для решения важных задач развития инфраструктуры.

Актуальность темы обусловлена тем, что в ней рассматривается использование передовых технологий и материалов из Республики Беларусь для решения важных задач развития инфраструктуры, в частности, в условиях Камеруна.

Эта важность подкрепляется несколькими теориями, подкрепленными большим количеством фактов:

Тема актуальна, поскольку автодороги Камеруна можно сделать лучше и долговечнее за счет использования передовых технологий и материалов из Беларуси. В пользу этой гипотезы говорит доказанная эффективность белорусских строительных материалов и технологий при создании долговечных дорожных покрытий. Актуальность темы заключается в том, что в результате применения новейших

технологий и материалов может быть создана экономичная и устойчивая инфраструктура. В пользу этой теории говорит потенциальная экономия средств на содержание и ремонт, а также финансовые преимущества использования долговечных материалов. Поскольку тема затрагивает важную проблему адаптации к климату, она является актуальной. Доказательства, подтверждающие гипотезу, показывают, что материалы и технологии, подходящие для белорусских условий, могут быть модифицированы для решения специфических климатических задач Камеруна, что повышает устойчивость инфраструктуры.

Тема актуальна, поскольку напрямую влияет на экономический рост и связность Камеруна. Это подтверждается тем, что хорошо сохранившиеся автомагистрали выполняют основную функцию, способствуя региональной интеграции и экономическому росту.

Тема актуальна, поскольку способствует развитию международного сотрудничества и передаче знаний. Подтверждением тому служат успешные международные проекты, демонстрирующие, как обмен знаниями и ресурсами способствует развитию инфраструктуры.

Как и многие развивающиеся страны, Камерун сталкивается с серьезными препятствиями в развитии инфраструктуры, которые мешают его экономическому росту и региональной интеграции. Главной проблемой является низкое качество, долговечность и экономическая эффективность построенных в стране автомобильных дорог. Эти проблемы обусловлены целым рядом факторов, таких как технологии строительства, материальные ограничения, климатические условия.

Основная проблема заключается в высокой степени износа и частой необходимости ремонта существующей инфраструктуры автомобильных дорог Камеруна. Это не только ставит под серьезную угрозу безопасность населения, но и создает большую финансовую нагрузку на государство в части содержания и реконструкции.

Кроме того, в регионе не хватает эффективных мер по адаптации к экстремальным температурам, влажности и осадкам. Существующая инфраструктура быстро разрушается, поскольку используемые материалы и технологии зачастую не выдерживают таких нагрузок.

Постановка проблемы также подчеркивает необходимость устойчивых и экономически эффективных инфраструктурных решений, учитывая финансовые ограничения Камеруна, которые требуют ресурсосберегающего строительства и долгосрочной экономии средств. Проблема заключается в том, как построить автомагистрали, отвечающие строгим техническим требованиям, гарантирующие безопасность и имеющие разумную стоимость строительства и обслуживания.

Для решения этих задач была изучена и оценена соответствующая литература; изучены основные термины и идеи, связанные со строительством автомобильных дорог и развитием инфраструктуры; определены и изучены влияние некоторых показателей на развитие темы.

Гипотеза исследования заключается в том, что качество, долговечность и экономическая эффективность инфраструктуры автомобильных дорог Камеруна могут быть существенно повышены за счет внедрения передовых строительных технологий и материалов, основанных на опыте Республики Беларусь. Предполагается, что инфраструктурные проекты будут демонстрировать повышенную устойчивость, долговечность и финансовую эффективность за счет тщательного выбора и адаптации строительных технологий и материалов к конкретным экологическим и экономическим условиям Камеруна. Согласно этой гипотезе, успешная интеграция этих новых элементов будет способствовать экономическому росту Камеруна и развитию региональных связей, что также послужит полезной моделью для устойчивого развития инфраструктуры в аналогичных условиях по всему миру.

Тщательный анализ литературы гарантирует, что исследование расширяет ранее принятые идеи и знания.

Сбор первичных данных в ходе полевых исследований и наблюдений позволяет получить информацию, уникальную для условий Камеруна, а также практические выводы.

Обеспечивая сбор эмпирических данных, этот подход гарантирует, что выводы исследования основаны на реальном опыте.

Информация, полученная в ходе полевых исследований, будет использована для оценки того, насколько хорошо белорусские материалы и технологии вписываются в региональную среду.

Тестирование строительных материалов в лабораторных условиях позволяет определить, насколько они подходят для окружающей среды.

В ходе сравнительного анализа эффективность сети автомобильных дорог в Камеруне и Беларуси оценивается с использованием как количественных, так и качественных данных.

Оценка жизнеспособности инноваций требует тщательного изучения экономических аспектов строительства автомобильных дорог, включая бюджетные последствия и экономическую эффективность.

Эти методы исследования призваны функционировать как единое целое в соответствии с принципами научного поиска, гарантировать предсказуемость и научную обоснованность, а также способствовать логическому развитию исследования.

Основными породами для производства дорожно-строительных материалов в Камеруне являются латериты.

Условиями, необходимыми для образования латеритов, являются: тропический климат с чередованием сухого и влажного сезонов; плато или пологое рельефное пространство, не подверженное значительной механической эрозии; химический и минералогический состав обнаженной породы, способной поставлять латеритные составляющие (железо, глинозем); пористая текстура (или такая, которая быстро становится пористой под действием атмосферных агентов), позволяющая проникать просачивающейся воде, так что создаются условия для наилучших условий, для действия химических агентов.

Латериты имеют широкий спектр морфологических характеристик, как правило, связанных с условиями их формирования и природой материнской породы.

Морфологическими характеристиками латеритов являются: индурация; структура; цвет; плотность.

Индуцированность латеритных почв зависит от нескольких факторов: состав и степень кристаллизации компонентов: латериты, которые менее гидратированные латериты являются наиболее твердыми, причем твердость возрастает с увеличением содержания железа (чем выше содержание сесквиоксида, тем больше вязкость); сборность различных составляющих; степень старения: самые древние латериты тверже, чем те, которые образовались недавно.



## Структура

Структура латеритов чрезвычайно разнообразна, но способы сборки могут быть сведены к трем элементам: индурированные элементы образуют целостный и непрерывный скелет; индурированные элементы представляют собой свободные стяжения или конкреции в середине земляного материала; индурированные элементы цементируют ранее существовавшие материалы.

Латериты различаются по цвету. Наиболее распространены розовые, охристые, красные, желтые и коричневые оттенки, желтый и коричневый. Принято считать, что цвет почвы в значительной степени обусловлен присутствием железа.

Как и в случае с некоторыми осадочными породами, цвет почвы в значительной степени обусловлен наличием железа. Яркие цвета, красные или желтые, обусловлены оксидами или гидроксидами железа. Красный цвет обусловлен. Красный цвет обусловлен присутствием гематита, а желтый - гетита.

Плотность латеритных частиц, которая колеблется в широких пределах (от 2,5 до 3,6), зависит от их химического состава, зависит от их химического состава. Она увеличивается с ростом содержания железа и уменьшается с ростом содержания глинозема. Окисленные формы более плотные, чем гидратированные.

Физически сходные латериты могут иметь различный химический состав и, наоборот, латериты, сходные по химическому составу, могут иметь совершенно разные физические свойства.

Многие исследователи пытаются дополнить химические определения минералогическими исследованиями. Магнейн (1966), цитируемый Lyon Associates (1971), разделил минералогические составляющие на минералогические составляющие на основные элементы, которые необходимы для латеризации, и второстепенные элементы которые не влияют на процесс латеризации. К основным элементам относятся оксиды и оксиды и гидроксиды железа в глинистых минералах и, в меньшей степени, оксиды марганца и титана марганца и титана, а также кремнезем. Второстепенными компонентами являются остаточные остатки или обломочные материалы.

Процентное содержание оксидов и гидроксидов (сесквиоксидов) глинозема и железа может составлять.

В некоторых латеритных почвах доля глинозема и оксидов и гидроксидов железа (сесквиоксидов) может достигать почти 80% от продукта латеризации.

Каолинит - является наиболее распространенным глинистым минералом в латеритных почвах. Также встречается галлуазит. Иллит и монтмориллонит встречаются редко.

Латеритные гравийные отложения

Латеритная гравийная почва - это остаточная почва после тропического изменения, состоящая из смеси частиц размером от 2 до 20 мм и латеритной глины, обычно красноватого или охристого цвета.

Определение латеритного гравия для дорожного строительства

Гранулометрический состав, пределы Аттерберга (пределы текучести и пластичности), значение метиленового синего гранулометрический состав (пределы ликвидности и пластичности), значение метиленового синего, испытания на уплотнение являются основными средствами для определения характеристик латеритных грунтов в дорожном строительстве.

Размер зерен

С геотехнической точки зрения латеритные гравелистые грунты определяются как рыхлые грунты с размером зерен от 0/20 до 0/40 мм, содержащие от 10 до 35% мелких частиц (проходящих через сито 80 мкм) и 20-60% более крупных частиц (отбракованных ситом 2 мм), образующих скелет. Гранулометрические кривые этих почв, как правило, имеют плато в интервале от 0,08 мм до 2 мм, что отражает двойное происхождение компонентов природной смеси, из которой состоит этот материал.

Пластичность

Индекс пластичности латеритных почв обычно колеблется в пределах от 10 до 35.

Исследования показали, что тест на поглощение метиленовой сини с использованием позволяет определить тип глинистого минерала, присутствующего в тонкой фракции латеритных почв.

Твердость конкреций

Результаты испытаний на прочность латеритных почв в основном зависят от текстуры. Прочность и твердость латеритов зависит от их химического состава, химического состава, возраста и однородности.

Закаленные латериты, богатые железом, тверже, чем тверже, чем латериты, богатые глиноземом.

Несущая способность латеритных грунтов обычно определяется по следующим параметрам

Уплотнение латеритных грунтов влияет на характеристики материала. Например, степень крошения (трансформация материала при уплотнении) зависит от степени латеризации и физических характеристик частиц.

Система классификации латеритных гравийных отложений

Система классификации Highway Research Board, Унифицированная система классификации почв, французский Guide des Terrassements являются наиболее распространенными системами классификации.

Классификация HRB

Латеритные гравелистые почвы охватывают несколько классов. К наиболее гравелистым относятся A2-4 - A2-7, а наиболее глинистые (пропускная способность 0,08 мм > 35) - A7-5 и A7-6.

Классификация USCS

Латеритные почвы обычно классифицируются как гравелистые почвы. Они находятся между глинистыми гравиями и глинистыми песками, когда их максимальный размер частиц уменьшается.

Классификация GTR

Все латеритные гравелистые почвы относятся к классу B6 ( $D < 50$  мм;  $f$  от 12 до 35%;  $I_p > 10$ ).

Классификация ЛБТП

Латеритные гравийные отложения делятся на три категории в зависимости от индекса пластичности и содержания мелких частиц и содержанию мелких частиц:

G1 слой гравия толщиной от 10 до 40 см.

$5 < I_p < 15$

$5 < \% \text{ мелких частиц} < 20$

Гравийный слой G2 толщиной от 10 до 40 см.

$15 < I_p < 25$

$5 < \% \text{ мелких частиц} < 20$

Гравийный слой G3 толщиной от 30 до 100 см

$I_p > 25$

Таблица 1 Правила применения латеритного гравия для устройства дорожных покрытий

Основания	Индекс пластичности	20
	Индекс несущей способности CBR	30
	Процентное содержание мелких фракций	20
Дорожные покрытия	Индексная несущая способность CBR	60 (при 95 % ОПМ)
	Индекс пластичности	12
	Процентное содержание мелких фракций	15%
	Предел ликвидности	
	Линейная усадка	
	Расширение при Worm	

### **Выводы:**

Данные исследования сочетает в себе теоретические и практические аспекты, что позволяет устранить разрыв в знаниях между белорусской практикой и специфическими трудностями, обусловленными экономическими, экологическими и инфраструктурными условиями Камеруна и позволяют сделать вывод о возможности применения современных строительных материалов и технологий, используемых в Республике Беларусь в условиях Камеруна.

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА**

**Белковский Вадим Андреевич**, студент  
**Максаков Илья Павлович**, студент  
Сибирский федеральный университет  
vadr17@gmail.com

***Аннотация:** Проектирование транспортировки и хранения нефти и газа (OGTS) — от сбора и переработки на месторождениях до магистральных трубопроводов, с использованием цепочек поставок для соединения каждой части. Статья представляет обзор методов и технологических усовершенствований в OGTS, чтобы показать, как эта отрасль стремится достичь целей устойчивого развития. Критический анализ касается повышения гибкости, энергосбережения, сокращения выбросов и изменения энергетической структуры. Исследование показывает необходимость сосредоточиться на дальнейшем повышении энергоэффективности, сокращении потребления энергии/воды/материалов и выбросов, а также обеспечении безопасности такой обширной нефтегазовой сети.*

***Ключевые слова:** нефть, газ, транспорт, хранилище, устойчивость, снижение энергии.*

С предложением «двойных углеродных целей» многие отрасли активизировали темпы внедрения ряда экологических и низкоуглеродных преобразований и мер развития. То же самое происходит и с энергоемкой нефтяной промышленностью, особенно в отношении снижения энергопотребления и улучшения коэффициентов использования ресурсов. Для конкретного сектора транспортировки и хранения нефти и газа (OGTS) принимается множество производственных, локальных и общесистемных мер для анализа ситуации с выбросами углерода в трубопроводах и резервуарах для хранения, для изучения потенциала

энергосбережения и для достижения цели снижения энергопотребления.

Крайне важно проанализировать, как современные технологии способствуют устойчивому проектированию OGTS. Недавний обзор Liao et al. [1] изучил эффективную и низкоуглеродную эксплуатацию нефтепроводов, особенно для мониторинга, контроля и эксплуатации. Они обнаружили, что для создания «умной трубопроводной сети» еще предстоит решить множество задач. Благодаря развитию больших данных, облачных вычислений и блокчейна потребление энергии и выбросы углекислого газа в нефтепроводах могут быть еще больше сокращены. Хотя их обзор в основном был сосредоточен на нефтепроводах, также обсуждались некоторые документы о цепочке поставок.

Еще одно интересное исследование, проведенное Huang et al. [2] провела комплексную оценку жизненного цикла анализа выбросов углекислого газа системы нефтепродуктопроводов от строительства до утилизации (углеродный след трубопроводного транспорта нефтепродуктов). Исследователи пришли к выводу, что соединение сети нефтепроводов и круговая поставка нефтепродуктов могут способствовать значительному сокращению выбросов.

Монтанья и др. [3] предложил математическую модель оптимизации сетей сбора нетрадиционных систем добычи нефти и газа. Для определения местоположения и размеров резервуарных парков для разделения нефти и газа, а также соединений трубопроводов был изучен случай 40 площадок скважин и 50 месяцев. Альмедалла и др. [4] разработали комплексный подход к траектории ствола скважины. Маршруты сети трубопроводов и расположение платформ были запланированы на основе ограниченной оптимизации с помощью линейной аппроксимации и смешанного целочисленного линейного программирования. Метод был успешно использован для планирования на морском нефтяном месторождении в Мексиканском заливе. Чжэн и др. [5] предложили метод увеличения добычи за счет установки компрессоров на трубопроводной сети для поддержания стабильной добычи метана угольных пластов. Они предложили модель смешанного целочисленного нелинейного программирования (MINLP), которая принимает максимизацию ежедневной чистой прибыли в качестве целевой функции и учитывает стоимость оборудования и

электроэнергии. Основными переменными являются места установки компрессора, расход трубопроводов и давление в узлах. Двухэтапный улучшенный генетический алгоритм.

Результаты эксперимента показали, что энергопотребление компрессора можно снизить в максимально возможной степени при условии увеличения производительности. Чжао и др. [6] исследовали нефтяное месторождение и вывели модель падения температуры и давления трехфазного потока нефти, газа и воды. На примере четырех скважин блока месторождения определены параметры работы одиночного скважинного сбора и транспортировки, сбора и транспортировки ответвлений и кольцевого сбора и транспортировки. Результаты сравнительного анализа показали, что наиболее энергосберегающим режимом сбора и передачи данных четырех скважин является режим отводного подключения трубопроводной сети.

В условиях непрерывного освоения месторождения, увеличения обводненности и количества остановленных скважин существующий режим сбора и транспортировки нефти на месторождении уже не может отвечать требованиям энергосбережения. Необходимо принять меры по реконструкции. Ван и др. [7] изучили трансформацию трубопроводной системы на средней и поздней стадиях разработки месторождений с учетом гидромощности, технологии и стоимости трансформации. Модель смешанного целочисленного нелинейного программирования была создана и решена с помощью алгоритма ветвей и границ. Результаты показали, что общая стоимость снижается на 7,13% после реструктуризации трубопровода по предложенному методу.

Метод узлового анализа был применен для интеграции системы закачки, пласта и добычи, а также разработана модель для расчета энергопотребления интегрированной системы. В качестве переменных были заданы скорректированный дебит жидкости, соотношение закачки и добычи, коэффициент разделения и целевой уровень пластового давления. Алгоритм PSO использовался при численном моделировании пласта для оптимизации плана добычи. Система интеграции позволяет сэкономить 8% энергопотребления.

В последнее время развитие технологий очистки добываемой на нефтяных месторождениях воды привлекло большое внимание исследователей, и они были рассмотрены в нескольких

исследованиях. Снижение загрязнения следует учитывать как в период проектирования, так и в период эксплуатации. На период проектирования целью является снижение потенциальных выбросов или загрязнения, а также сохранение баланса между стоимостью строительства. Для некоторых проектов существует компромисс между стоимостью строительства и экологическими затратами. Например, участок можно было бы перенести подальше от жилой застройки, чтобы снизить воздействие на человека, но, соответственно, увеличить затраты на строительство и транспортировку трубопровода.

Ван и др. [8] изучили выбор места сбора газа станции, рассмотрели экономические и экологические факторы, создали модель с целевой функцией минимальной стоимости строительства и воздействия на окружающую среду, использовали связанный алгоритм A-star для поиска оптимального пути и использовали метод Монте-Карло для выборки неопределенных данных о ветре для оценки экологический эффект. Результаты показали, что этот метод позволяет определить оптимальное место газосборной станции.

Магистральный трубопровод является важной частью устойчивого развития OGTS. С расширением масштабов строительства трубопроводов с каждым годом нефть и газ будут потреблять много энергии в процессе транспортировки, что приводит к энергетическим потерям. Для повышения эффективности использования энергии необходимо снизить энергопотребление нефте- и газопроводов. Обычно методы снижения энергопотребления заключаются в оптимизации параметров трубопроводной системы, в том числе диаметра трубопровода и положения насоса на этапе проектирования.

Цепочка поставок является ключевой частью OGTS, а устойчивое развитие может сбалансировать экономические, экологические и социальные выгоды. Обычно в цепочке поставок нефти и газа применяются четыре вида транспорта: трубопроводный, автомобильный, железнодорожный и водный. Обычно используемые меры, такие как снижение транспортных расходов и повышение эффективности оптимизации цепочки поставок нефти и газа, могут способствовать энергосбережению и сокращению выбросов. Внедрение стандартизации и совместного использования ресурсов



также помогает нефтегазовой отрасли создать экологически чистую и устойчивую цепочку поставок.

В современной литературе многие исследования сосредоточены на снижении общих транспортных расходов с целью снижения расхода топлива. Учитывая влияние спроса на нефть и неопределенности цен на планирование цепочки поставок нефти, Лима и др. [9] разработали метод, сочетающий анализ временных рядов, сценарный подход и многоэтапное стохастическое программирование. Результаты показали, что их метод позволяет правильно справиться с неопределенностью, снизить транспортные расходы и максимизировать прибыльность.

Была разработана модель MILP, в которой стоимость транспортировки и стоимость строительства рассматриваются как целевые функции. Результаты показали, что общая стоимость схемы с учетом строительства нового трубопровода является самой низкой по сравнению со схемой без строительства нового трубопровода. Ни и др. [10] изучили эластичность цепочки поставок, рассматривая стратегии запасов в экстремальных погодных условиях. Для оценки эластичности цепочки поставок были использованы методы математического моделирования, приняв в качестве целевой функции стоимость транспортировки. Результаты показали, что увеличение запасов на 2,67% до 14,83% может повысить эластичность цепочки поставок. Соответствующее повышение эластичности цепочки поставок может снизить влияние неопределенных факторов на систему поставок и снизить транспортные расходы.

Поскольку вопросы охраны окружающей среды вызывают большее беспокойство, в некоторых недавних работах рассматривались двойные целевые функции как экономических, так и экологических издержек. Чен и др. [11] разработал модель Р-графика для оптимизации цепочки поставок нефти за счет соотношения затрат на выбросы и анализа производительности. Исследователи также проанализировали влияние реформы трубопроводной сети на энергетическую экономику и окружающую среду и предложили метод сочетание математического планирования с энергетической экономикой и экологической оценкой для создания системы комплексной оценки.

Результаты исследования показали, что по сравнению с вертикальной операционной системой, которая учитывает только затраты, план реформирования трубопровода полностью учитывает экологические преимущества и эффективно повышает общую энергоэффективность. Годовое потребление энергии сократилось на 10,70–19,70%, а эксплуатационные затраты снизились до 3,73–13,47%.

Благодаря быстрому развитию низкоуглеродных и устойчивых мер, реализованных в технике транспортировки и хранения нефти и газа, эта отрасль вступает в новую эру. Наряду с увеличением доли потребления природного газа, ускорением строительства магистральных нефте- и газопроводов, региональных отводов и газораспределительных трубопроводов, совершенствованием терминалов СПГ и обустройством их обеспечивающих экспортных трубопроводов, а также содействием взаимосоединению нефте- и газопроводов, будущее OGTS будет светлым. В этом документе рассматриваются разработки в четырех основных областях OGTS, а именно: нефтяные и газовые месторождения, магистральные трубопроводы, цепочки поставок нефти и газа и технология СПГ, а также исследования изменения энергетической структуры, связанные с инжинирингом OGTS. чтобы показать новейшие исследования и технологии, которые способствуют устойчивому развитию. Результаты показали, что потребление энергии и выбросы CO<sub>2</sub> выбросы сокращаются за счет методов оптимизации, изменения энергетической структуры, а также нового оборудования и сооружений.

### Литература

1. Liao, Q.; Liang, Y.; Tu, R.; Huang, L.; Zheng, J.; Wang, G.; Zhang, H. Innovations of Carbon-Neutral Petroleum Pipeline: A Review. *Energy* 2022, 8 p.
2. Huang, L.; Liao, Q.; Yan, J.; Liang, Y.; Zhang, H. Carbon Footprint of Oil Products Pipeline Transportation. *Sci. Total Environ.* 2021, 783 p.
3. Montagna, A.F.; Cafaro, D.C.; Grossmann, I.E.; Burch, D.; Shao, Y.; Wu, X.-H.; Furman, K. Pipeline Network Design for Gathering Unconventional Oil and Gas Production Using Mathematical Optimization. 2021, 315 p.

4. Almedallah, M.K.; Branch, G.; Walsh, S.D.C. Combined Well Path, Submarine Pipeline Network, Route and Flow Rate Optimization for Shallow-Water Offshore Fields. *Appl. Ocean* 2020, 105 p.
5. Zheng, T.; Liang, Y.; Wang, B.; Sun, H.; Zheng, J.; Li, D.; Chen, Y.; Shao, L.; Zhang, H. A Two-Stage Improved Genetic Algorithm Particle Swarm Optimization Algorithm for Optimizing the Pressurization Scheme of Coal Bed Methane Gathering Networks. *J. Clean. Prod.* 2019, 229, pp. 941–955.
6. Zhao, Y.; Yao, L.; Liu, L.; Xu, Y. Optimization of Energy Saving Gathering and Transportation Mode in a Block of Tahe Oilfield. *Case Stud. Therm.* 2019, 13 p.
7. Wang, B.; Liang, Y.; Zheng, J.; Lei, T.; Yuan, M.; Zhang, H. A Methodology to Restructure a Pipeline System for an Oilfield in the Mid to Late Stages of Development. *Comput. Chem.* 2018, pp. 133–140.
8. Wang, B.; Liang, Y.; Zheng, T.; Yuan, M.; Zhang, H. Multi-Objective Site Selection Optimization of the Gas-Gathering Station Using NSGA-II. *Process Saf. Environ. Prot.* 2018, 1 (19), pp. 350–359.
9. Lima, C.; Relvas, S.; Barbosa-Póvoa, A. Stochastic Programming Approach for the Optimal Tactical Planning of the Downstream Oil Supply Chain. *Comput. Chem. Eng.* 2018, 10 (8), pp. 314–336.
10. Ni, W.; Liang, Y.; Li, Z.; Liao, Q.; Cai, S.; Wang, B.; Zhang, H.; Wang, Y. Resilience Assessment of the Downstream Oil Supply Chain Considering the Inventory Strategy in Extreme Weather Events. *Comput. Chem.* 2022, 163 p.
11. Chen, X.; Wang, M.; Wang, B.; Hao, H.; Shi, H.; Wu, Z.; Chen, J.; Gai, L.; Tao, H.; Zhu, B.; et al. Energy Consumption Reduction and Sustainable Development for Oil & Gas Transport and Storage Engineering. *Energies* 2023, 16 p.

## АНАЛИЗ ПОТОКА ЭКСПОРТА И ИМПОРТА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

**Шишко Надежда Игоревна**, старший преподаватель  
кафедры «Автомобильные дороги»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
ad\_ftk@bntu.by

**Баходиров Хасанжон Зариф угли**, ведущий специалист  
отдела «Внешняя экономическая деятельность»  
ООО "Angren Shakar", г. Ташкент, Республика Узбекистан,  
e-mail: bahodirovhasan7@gmail.com

***Аннотация:** За последние пять лет экономика Узбекистана выросла на 24%, промышленность – 34%, объём экспорта увеличился – в 1,5 раза, зарубежные инвестиции – 3 раза. Для обеспечения высоких темпов роста экономики в ближайшие пять лет будет привлечено \$120 млрд, из них не менее \$70 млрд – иностранные инвестиции. В рамках проектов на основе государственно-частного партнерства будет привлечено \$14 млрд инвестиций в сектор транспорта, дорожного строительства, а также иные сферы.*

***Ключевые слова:** экономический рост, экспорт, импорт, торговый баланс, транспортная система, логистика.*

Оценивая соотношение экспорта товаров относительно импортируемого объема, можно судить о показателе торгового баланса для страны. Торговый баланс – это макроэкономический показатель, который рассчитывается как разность между стоимостью всех экспортированных и импортированных товаров и услуг страны за определенный период времени. Торговый баланс отражается в составе платежного баланса и является частью счета текущих операций страны [1].

Совокупный экспорт товаров различных категорий из Республики Узбекистан в 2022 году составил 15,2 млрд долларов США [2]. В

стоимостном выражении увеличение поставок товаров из Узбекистана по сравнению 2021 годом составило 8,47%. Структура экспорта была представлена основными товарными группами: 28% (4,31 млрд USD) жемчуг природный или культивируемый, драгоценные или полудрагоценные камни, драгоценные металлы, металлы, плакированные драгоценными металлами, и изделия из них, бижутерия, монеты; 10,5% (1,6 млрд USD) хлопок; 7,95% (1,21 млрд USD) топливо минеральное, нефть и продукты их перегонки, битуминозные вещества, воски минеральные; 7,25% (1,1 млрд USD) медь и изделия из нее; 5,47% (837 млн USD) предметы одежды и принадлежности к одежде, трикотажные машинного или ручного вязания; 4,04% (618 млн USD) съедобные фрукты и орехи, кожура цитрусовых плодов или корки дынь; 3,12% (478 млн USD) овощи и некоторые съедобные корнеплоды и клубнеплоды; 2,7% (412 млн USD) удобрения; 2,68% (410 млн USD) пластмассы и изделия из них; 2,66% (407 млн USD) реакторы ядерные, котлы, оборудование и механические устройства и их части.

Структура основных направлений экспорта товаров (в процентном соотношении) в 2022 году представлена в основном ближайшими государствами-соседами в азиатском регионе (рис. 1).

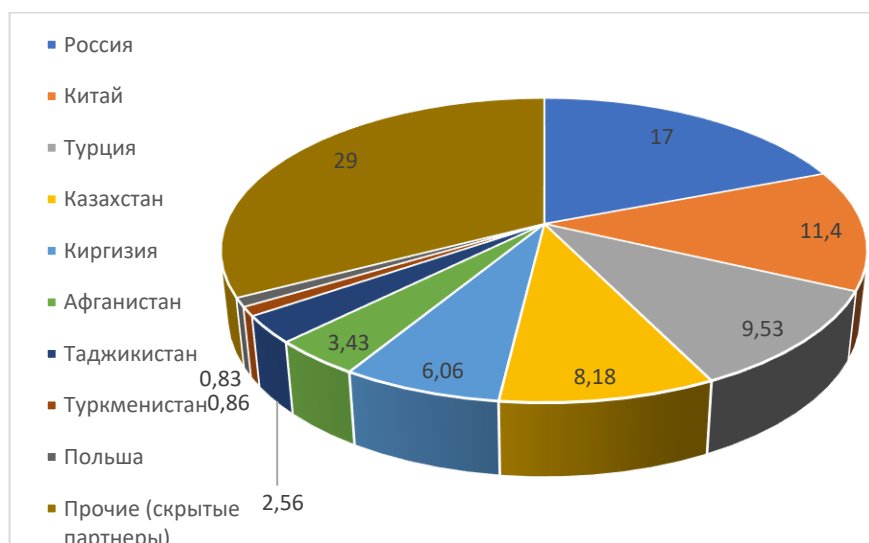


Рис. 1. Диаграмма основных направлений экспорта в 2022 году

Совокупный импорт в Узбекистан составил 28 млрд долларов США за такой же период времени [2]. В стоимостном выражении увеличение поставок товаров в Узбекистан по сравнению 2021 годом составило 18,3%.

Крупнейшими торговыми партнерами по импорту товаров (в процентном соотношении) в Узбекистан за период 2022 года стали отдельные страны (рис. 2).

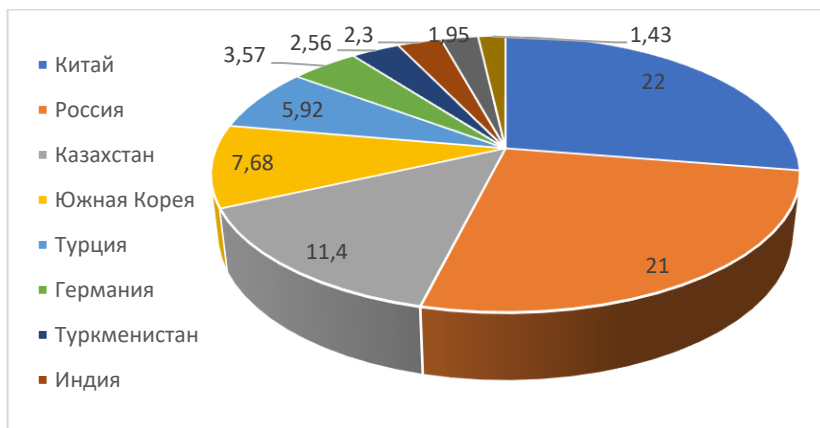


Рис. 2. Диаграмма основных направлений импорта в 2022 году

Структура импорта в Узбекистан в 2022 году была представлена следующими основными товарными группами: 17,4% (4,92 млрд USD) реакторы ядерные, котлы, оборудование и механические устройства и их части; 9,38% (2,65 млрд USD) средства наземного транспорта, кроме железнодорожного или трамвайного подвижного состава, и их части и принадлежности; 7,11% (2,01 млрд USD) черные металлы; 6,34% (1,79 млрд USD) топливо минеральное, нефть и продукты их перегонки, битуминозные вещества, воски минеральные; 6,1% (1,72 млрд USD) электрические машины и оборудование и их части; звукозаписывающая и звуковоспроизводящая аппаратура, аппаратура для записи и воспроизведения телевизионного изображения и звука, их части и принадлежности; 5,6% (1,58 млрд USD) фармацевтическая продукция; 4,38% (1,23 млрд USD) пластмассы и изделия из них; 3,15% (890 млн USD) изделия из черных металлов; 3,03% (858 млн

USD) древесина и изделия из нее, древесный уголь; 2,95% (834 млн USD) злаки.

Топовыми товарными группами по экспорту остаются: золото (включая золото с гальваническим покрытием из платины) необработанное или полуобработанное, или в виде порошка) – 26% (4,11 млрд USD); пряжа хлопчатобумажная (кроме швейных ниток), содержащая хлопковых волокон 85 мас.% или более, не расфасованная для розничной продажи – 9,09% (1,39 млрд USD), а также газы нефтяные и углеводороды газообразные прочие – 6,05% (925 млн USD).

В лидеры по импорту за период 2022 года вышли товарные группы: лекарственные средства – 4,66% (1,31 млрд USD); части и принадлежности моторных транспортных средств – 4,33% (1,22 млрд USD); нефть и нефтепродукты, полученные из битуминозных пород, кроме сырых – 2,97% (839 млн USD).

Анализируя динамику экспорта (рис. 3) и импорта (рис. 4) страны в стоимостном показателе (в долларах США) за период 2017 – 2022 гг. отслеживается тенденция стабильного роста этих показателей, однако тенденция отрицательного торгового баланса сохраняется. Исключение составляет период 2020 г., когда пандемия и ограничения общемировые отразились определенным спадом на показателях экспорта (на 11,05%) и импорта (на 8,48%) товарных групп относительно значений 2019 г.

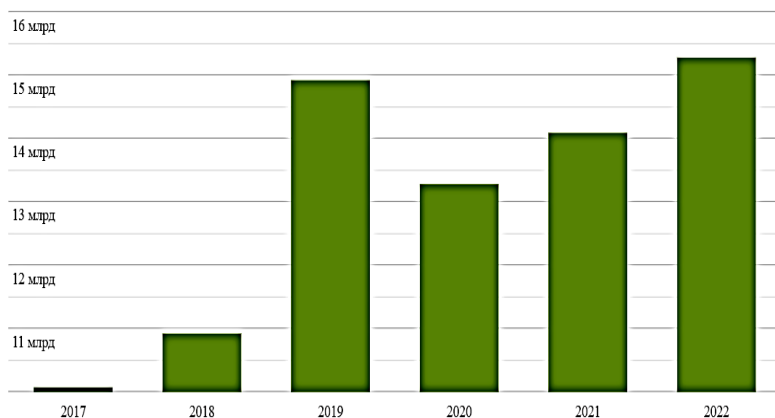


Рис. 3. Динамика экспорта за период 2017 – 2022 гг.

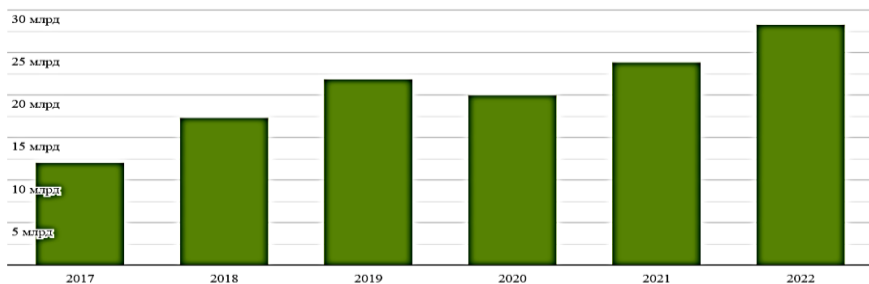


Рис. 4. Динамика импорта за период 2017 – 2022 гг.

По состоянию за 2022 год торговый баланс страны остается отрицательным, что в перспективе требует введения мер по созданию благоприятных условий для наращивания экспорта.

Анализируя статистические данные [3] за период 2018 – 2021 гг. по перевозке грузов (в млн. т) различными видами транспорта (рис. 5), а также показатели грузооборота транспорта (в млрд. т-км) (рис. 6) можно судить о важности автомобильных грузоперевозок в общей массе транспортируемых товарных групп.



Рис. 5. Перевозка грузов (в %) за период 2018 – 2021 гг.



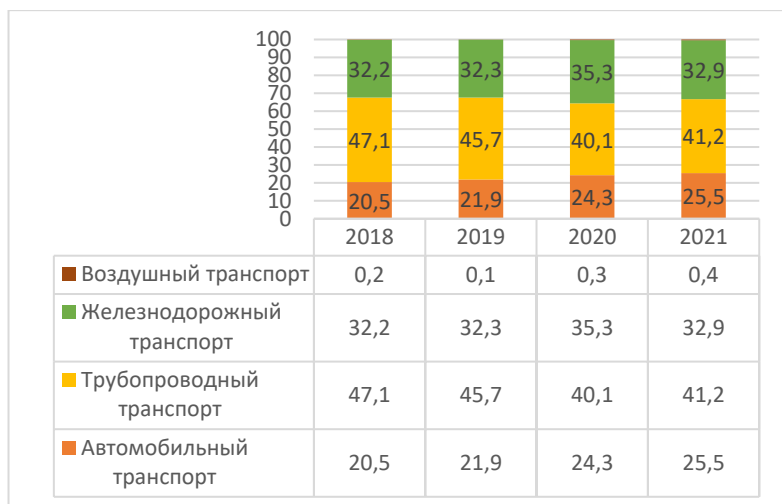


Рис. 6. Грузооборот транспорта (в %) за период 2018 – 2021 гг.

Устойчивое развитие экономики и внешней торговли, а также повышение благосостояния населения не могут быть обеспечены без системного, опережающего развития транспорта, инфраструктуры и логистики. В этой связи за последние годы в Узбекистане приоритетное значение придается развитию международных транспортных коридоров, цифровизации цепочки логистики, в том числе процессов прохождения грузов и транспортных средств через пограничные пункты, снижению физических и нефизических барьеров в пути движения международных грузов, оптимизации транспортных и иных затрат в стоимости экспортной продукции, повышению скорости доставки грузов, улучшению индикативных показателей страны в рейтинге Всемирного банка Logistics Performance Index (LPI Rank) [4].

Индекс эффективности логистики (Logistics Performance Index) — это рейтинговый индекс для сравнительного анализа эффективности логистических систем стран мира, который измеряет производительность по всей логистической цепочке поставок в стране. Одними из ключевых показателей, по которым оценивается эффективность работы логистической системы страны являются: эффективности таможенного и пограничного оформления, качество торговой и транспортной инфраструктуры, оптимизированность

организации международных перевозок по конкурентоспособным ценам, а также немаловажными являются качество и комплексность логистических услуг, своевременность доставки грузов и их отслеживание по пути следования [5].

По данным статистики Всемирного банка [6] сейчас Узбекистан занимает 88 место в мире по LPI Rank по данным за 2023 г., анализируя статистику прошлых отчетных периодов можно отследить положительную динамику улучшения качества логистических показателей национальной системы грузоперевозок начиная с 2014 года (табл.1).

Таблица 1. Динамика изменения индекса эффективности логистики

Год	2007	2010	2012	2014	2016	2018	2023
LPI Rank	129	129	117	129	118	99	88

Одним из ключевых факторов, влияющих на развитие эффективной логистической системы страны, является развитая система путей сообщения. По статистическим данным [3] в период с 2018 по 2022 год протяженность путей сообщения по видам транспорта составила (табл. 2).

Таблица 2. Протяженность путей сообщения (тыс. км)

Год	2018	2019	2020	2021	2022
Железнодорожные пути в том числе общего пользования необщего пользования	6,2	6,1	6,2	6,1	6,1
	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4
Автомобильные дороги общего пользования	42,7	42,7	42,9	42,9	42,9
	из них с твердым покрытием	42,1	42,1	42,3	42,3
Магистральные трубопроводы в том числе газопроводы нефтепроводы	13,9	13,9	13,7	13,8	13,8
	13,8	13,8	13,7	13,8	13,8
	0,1	0,1	-	-	-

Учитывая долю автомобильных грузоперевозок в общем объеме экспорта и импорта различных товарных групп, положительным фактором будет дальнейшее развитие сети автомобильных дорог

общего пользования для повышения эффективности работы логистической системы страны в целом.

### Литература

1. <https://cbonds.ru/glossary/balance-of-trade/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 30.09.2023г.
2. <https://trendeconomy.ru/data/h2/Uzbekistan/TOTAL/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 30.09.2023г.
3. <https://stat.uz/ru/publikatsii/3672-transport-i-svyaz-v-uzbekistane/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 03.10.2023г.
4. <https://miit.uz/ru/menu/transportirovanie/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 30.09.2023г.
5. <https://lpi.worldbank.org/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 03.10.2023г.
6. <https://lpi.worldbank.org/international/global> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 03.10.2023г.

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

**Баходиров Хасанжон Зариф** угли, ведущий специалист отдела  
«Внешняя экономическая деятельность»

ООО "Angren Shakar", г. Ташкент, Республика Узбекистан,  
e-mail: bahodirovhasan7@gmail.com

**Шишко Надежда Игоревна**, старший преподаватель кафедры  
«Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
ad\_ftk@bntu.by

***Аннотация:** Автомобильные дороги важная составляющая транспортной инфраструктуры. От их качества и протяжённости зависит скорость перемещения грузов, как на внутреннем рынке, так и на трансконтинентальных маршрутах. В статье представлен анализ протяженности сети автомобильных дорог Республики Узбекистан, освещены вопросы путей развития транспортной системы страны, модернизации существующих транспортных коридоров и обоснованности внедрения платных участков автомобильных дорог и дорожных объектов.*

***Ключевые слова:** протяженность транспортных путей, стратегия развития, внедрение, платные участки дорог, обоснование тарифа.*

Развитая сеть транспортных путей является важным фактором, обеспечивающим эффективность экономики страны, успешность на мировой арене в вопросах логистики и торговли.

Для стран, которые не имеют выхода к морским портам, актуальным и важным вопросом является развитие сухопутных путей сообщения: сети автомобильных и железных дорог. Анализируя степень развития сети автомобильных дорог в различных странах мира, можно выделить следующие закономерности – ведущие экономики мира, а также страны, активно

развивающиеся на мировой арене в последние десятилетия, существенные объемы капиталовложений направляют на развитие сети транспортных путей, на модернизацию существующих направлений и открытие новых транзитных коридоров. Так, в числе лидеров стран, имеющих наибольшую протяженность сети автомобильных дорог [1], сейчас находятся страны, площадь которых и географическое положение объясняют наличие значительной протяженности сети автомобильных дорог с одной стороны, с другой стороны – высокое развитие экономического потенциала отдельных стран оказывает определяющее влияние (табл. 1). По данным The Global Roads Inventory Project (GRIP) в общем рейтинге стран по протяженности автомобильных дорог насчитывается 222 государства с общей протяженностью 21.600.760 км [2].

Таблица 1  
Рейтинг стран по протяженности сети автомобильных дорог

Страна	Общая протяженность автомобильных дорог, км	% от общей мировой протяженности
США	3 097 278	14.34%
Китай	1 709 997	7.92%
Индия	1 052 718	4.87%
Мексика	741 949	3.43%
Аргентина	703 087	3.25%
Бразилия	681 267	3.15%
Россия	621 813	2.88%
Австралия	620 393	2.87%
Германия	563 155	2.61%
Франция	523 566	2.42%

Однако если обратиться к статистике по иному показателю – доля автомобильных дорог класса «автомагистраль» и дороги высших категорий, рейтинг стран будет иметь следующий порядок, представленный в таблице 2.

Таблица 2  
Рейтинг стран по протяженности автомагистралей

Страна	Протяженность автомобильных дорог класса «автомагистраль», км
Китай	683 248
США	366 800
Мексика	105 822
Япония	94 451
Канада	91 173
Бразилия	86 772
Франция	74 956
Индия	69 748
Аргентина	69 188
Австралия	69 138

Республика Узбекистан в рейтинге стран по общей протяженности сети автомобильных дорог занимает 67 место, а по протяженности автомагистралей имеет 16127 км дорог высоких категорий.

Визуально оценить плотность сети автомобильных дорог и долю дорог высших категорий по отдельным регионам и странам можно с помощью сервиса [1], который создал глобальную карту сети автомобильных дорог с цветовым отображением значимости объектов: дороги класса «автомагистраль» – белый цвет, дороги, соединяющие отдельные регионы – желтый цвет, дороги местного значения, имеющие твердое покрытие – красный цвет, дороги низших категорий – красный цвет (рис. 1).

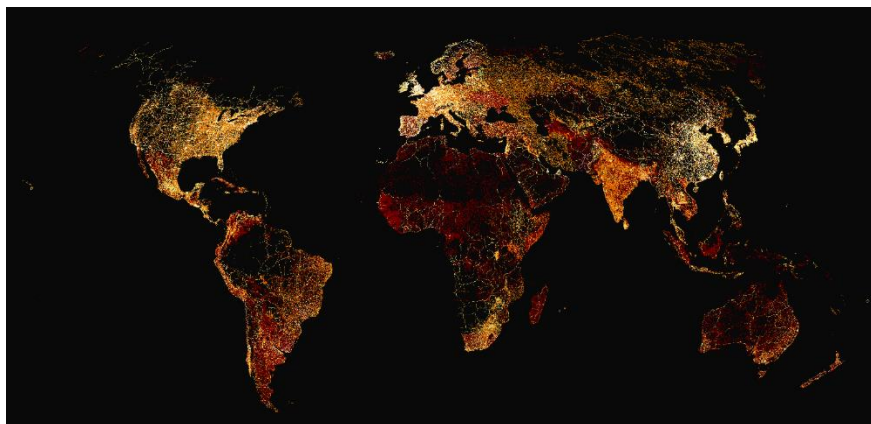


Рис. 1. Сервис «Mapped: All of the World's Roads, by Continent»

Говоря о Республике Узбекистан, географическое положение которой исторически сложилось так, что страна не только не имеет собственного выхода к морю, но и граничит с теми странами, которые также не имеют доступа к морским портам, важным вопросом для страны является налаживание сухопутных транспортных путей. Основные перевозки товаров различных групп (рис. 2) и пассажиропотоки (рис. 3) на международных и региональных направлениях используют автомобильный и железнодорожный транспорт, а также в невысоком проценте от общей доли перевозок – авиацию [3].

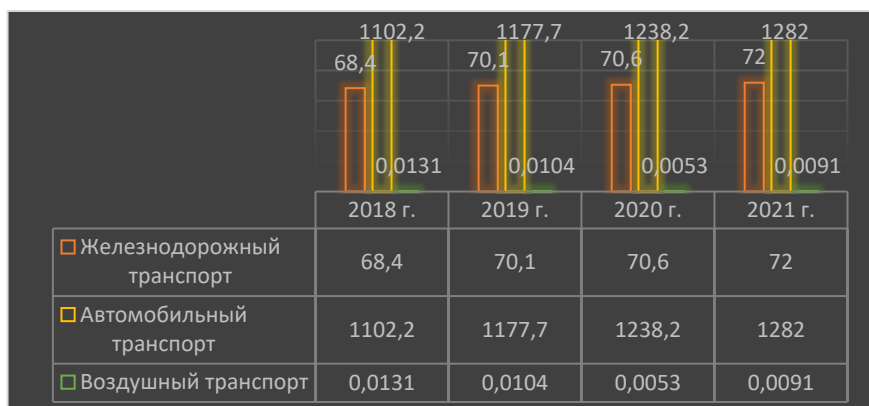


Рис. 2. Динамика изменения перевозок грузов (млн. т)

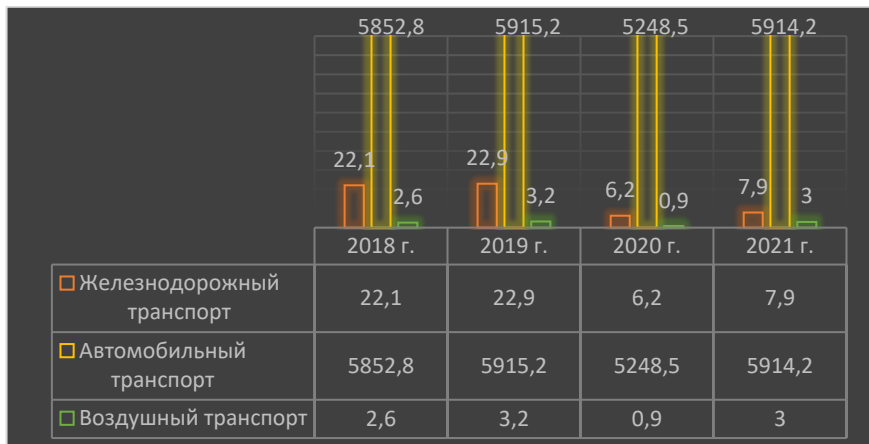


Рис. 3. Динамика изменения перевозок пассажиров (млн. человек)

В связи с этим в соответствии с проектом постановления Президента Республики Узбекистан «Об утверждении Стратегии развития автомобильных дорог Республики Узбекистан на 2020-2030 годы» [4] главными принципами построения опорной сети автомобильных дорог должны стать:

- равный доступ к дорожной сети страны и выездам на внутренние и внешние территории;
- экономическая эффективность деятельности дорожной сети;
- необходимость сформировать автомобильные маршруты с учетом геополитической ситуации по исторически сложившимся или кратчайшим маршрутам, обеспечивающим максимальную эффективность межрегиональных и международных автомобильных перевозок;
- обеспечение доступа к транспортным коммуникациям, узлам и терминалам транспортных магистральных видов с целью максимального содействия развитию наиболее экономичных интермодальных перевозок с использованием различных видов транспорта.

На сегодняшний день для Республики Узбекистан основные проблемы дорожной инфраструктуры это [5], [6]:

- отставание темпов развития дорожной сети от темпов роста грузопотока;



- малая пропускная способность существующих автомобильных дорог на важных торговых маршрутах;
- малая доля скоростных автомагистралей;
- прохождение автомагистралей через населённые пункты;
- недостаточно развитая логистическая инфраструктура.

Важным фактором, влияющим на результативность реализации намеченных планов, является недостаточное урегулирование межведомственных взаимодействий.

Основными целями стратегии модернизации дорожной инфраструктуры Государственного комитета Республики Узбекистан по автомобильным дорогам является [5], [6]:

- ускорения движения товаров и пассажиров;
- уменьшение доли транспортных издержек в себестоимости продукции.

В ходе достижения целей необходимо решить следующие задачи:

- привлечение в отрасль частных инвестиций на принципах государственно-частного партнёрства;
- создание транспортных коридоров, соединяющих экономически развитые регионы и таможенные терминалы в стратегически важных направлениях;
- строительство скоростных магистралей в обход населённых пунктов;
- развитие сети платных автомагистралей.

Создание сети платных автомобильных дорог в Узбекистане сегодня рассматривается как перспективный путь решения имеющихся проблем в сфере дорожной инфраструктуры. Законопроект разработан Государственным комитетом Республики Узбекистан по автомобильным дорогам, согласно которому, владельцам платных автомобильных дорог могут быть государственные органы, физические или юридические лица, владеющие платными автомобильными дорогами на праве собственности или других имущественных правах в соответствии с законодательством Республики Узбекистан [5], [6].

Пользователями платных автомобильных дорог будут считаться физические и юридические лица, использующие платные автомобильные дороги в качестве участников дорожного движения. В свою очередь платной автомобильной дорогой будет считаться имущественный комплекс, предназначенный для непрерывного и

безопасного движения транспортных средств с предусмотренными законодательством скоростями, нагрузками и габаритами, использование которого осуществляется на платной основе [4].

Решение об эксплуатации автомобильной дороги на платной основе принимается [5], [6]:

- в отношении автомобильной дороги общего пользования – Кабинетом Министров;
- в отношении улиц городов и иных населенных пунктов - органами государственной власти на местах.

Процесс расчета размера платы за проезд и составления прейскуранта базируется на следующих этапах:

- 1) сбор и подготовка исходных данных;
- 2) расчет величины экономии, получаемой пользователями при проезде по платной автомобильной дороге и дорожному объекту по сравнению с альтернативным бесплатным маршрутом;
- 3) определение потребительского спроса на услуги проезда по платным дорожным объектам;
- 4) определение оптимального значения размера платы за проезд;
- 5) составление прейскуранта.

Существенные преимущества для пользователей платных автомобильных дорог и дорожных объектов определяются следующими основными факторами:

- экономией транспортных расходов при проезде по платному участку автомобильной дороги или дорожному объекту за счет снижения расходов на эксплуатацию транспортного средства;
- экономией времени доставки грузов и пассажиров;
- повышением комфорта и безопасности движения.

Максимальный размер платы за проезд по платному участку или дорожному объекту не должен превышать предельного (максимального) уровня, соответствующего расчетной величине экономии, получаемой пользователями автомобильной дороги.

### **Литература**

1. <https://www.visualcapitalist.com/cp/road-map-of-the-world/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 14.10.2023г.
2. <https://www.globio.info/download-grip-dataset/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 14.10.2023г.

3. <https://stat.uz/ru/publikatsii/3672-transport-i-svyaz-v-uzbekistane/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 16.10.2023г.
4. <https://www.mintrans.uz/ru/yol-hojaligini-rivojlantirish/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 16.10.2023г.
5. Государственный комитет Республики Узбекистан по автомобильным дорогам <https://www.uzavtoyul.uz/ru/> [Электронный ресурс]. – Дата доступа : 14.10.2023г.
6. Баходиров, Хасан Зариф Угли. Перспективы развития сети платных дорог в Республике Узбекистан / Хасан Зариф Угли Баходиров ; науч. рук. Н. И. Шишко // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений [Электронный ресурс] : материалы VI Международной студенческой конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (пред.) [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 186-191.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

студент **Гала Егор Викторович**,  
студент **Ковалёнок Константин Леонидович**  
Белорусский национальный технический университет,  
пр. Независимости 65, 220013, г.Минск, Беларусь,  
kostya.kovalionok1@gmail.com

***Аннотация:** Данная научная работа посвящена изучению математического моделирования и оптимизации процессов в строительстве. В строительной отрасли эффективное управление производственными и организационными процессами является важной задачей, поскольку она значительно влияет на качество работ, сроки выполнения проектов и затраты ресурсов.*

***Ключевые слова:** математическая модель, исследование модели, линейное программирование.*

Целью работы является исследование существующих методов математического моделирования и оптимизации процессов в строительстве и разработка новых подходов, применимых к данной отрасли.

В ходе работы был проведен анализ литературы по данной теме и изучение существующих математических моделей, используемых в строительстве. Были выявлены основные факторы, влияющие на производительность и эффективность строительных процессов, такие как планирование ресурсов, оптимизация графиков работ, управление запасами и контроль качества. Далее была проведена разработка математических моделей и алгоритмов оптимизации для различных процессов в строительстве. Было применено методы линейного программирования, динамического программирования, математического моделирования на основе сетевого планирования и другие.

Приведём пример задачи на оптимизацию параметров балки.

Сформулируем задачу: Найти оптимальное продольное распределение момента инерции сечения балки, которое обеспечивает для заданной нагрузки минимум ее максимального прогиба. Для двух вариантов крепления ее концов:

- а) если два конца балки закреплены жёстко;
- б) если один конец балки будет свободен, второй будет жёстко закреплён.

Вначале выполним построение математической модели исходя из условия задачи. Затем составим дифференциальное уравнение, с помощью которого сможем описать прогиб средней линии балки в зависимости от условия приложенной поперечной нагрузки с плотностью распределения  $q(x)$ .

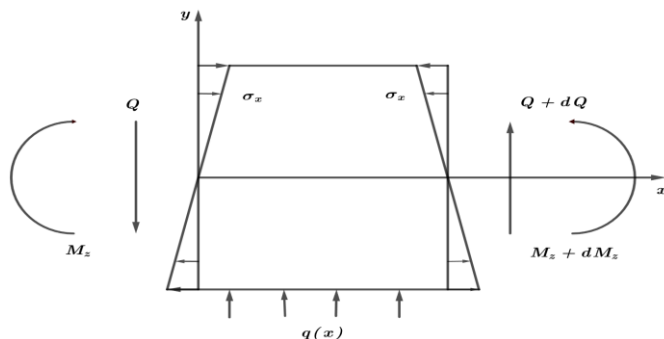


Рис. 1. элемент балки с приложенными нагрузками

Запишем условие равновесия элементарного участка балки  $dx$  (рис. 1.1).

$$\sum Y = -Q + (Q + dQ) + qdx = 0,$$

$$\sum M_2 = -M_2 + (M_2 + dM_2) + qdx^2 / 2 + (Q + dQ)dx = 0$$

Откуда, получаем окончательное уравнение:

$$\frac{d^2 M_2}{dx^2} = q$$

Учитывая закон Гука, можно записать:

$$M_z = \int_y \sigma_x(y') y' l(y') dy' = E \int_y \varepsilon_x(y') y' l(y') dy'$$

Выражение (1) приводится к дифференциальному уравнению, описывающему прогиб балки под действием нагрузки:

$$E \frac{d^2}{dx^2} (J(x) \frac{d^2 y}{dx^2}) = q(x)$$

Если к этому уравнению добавить граничные условия, где  $L$  - длина балки:

1) в случае если, оба конца закреплены

$$x = 0, x = L; y = \frac{dy}{dx} = 0;$$

2) в случае если, один конец закреплен ( $x = 0$ ) закреплён, другой конец свободен ( $x = L$ )

$$\left( M_z \approx \frac{d^2 y}{dx^2} = 0, Q \approx \frac{d^3 y}{dx^3} = 0 \right)$$

$$x = 0, y = \frac{dy}{dx} = 0; x = L, \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d^3 y}{dx^3} = 0.$$

Следующим этапом будет приведение задачи к безразмерному виду.

Для двух случаев граничных условий, получим две безразмерные краевые задачи:

Первая.

$$\frac{d^2}{dx^2} (J(x) \frac{d^2 u}{dx^2}) = -q(x), x \in [0, 1],$$

$$x = 0, x = 1, u = \frac{du}{dx} = 0.$$

Вторая.

$$\frac{d^2}{dx^2} (J(x) \frac{d^2 u}{dx^2}) = -q(x), x \in [0, 1],$$

$$x = 0, u = \frac{du}{dx} = 0,$$

$$x = 1, \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{d^3u}{dx^3} = 0.$$

Затем уже следует проверка адекватности данной математической модели и выбор метода для решения соответствующей краевой задачи.

И последним, завершающим, шагом является - программная реализация модели.

На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

Применение математического моделирования и оптимизации в строительстве позволяет сократить сроки выполнения проектов, улучшить качество работ и оптимизировать затраты ресурсов.

Методы линейного программирования, динамического программирования и сетевого планирования являются эффективными инструментами для оптимизации строительных процессов.

Необходимо учитывать особенности конкретных проектов и использовать комбинированные методы оптимизации для достижения наилучших результатов.

В заключение работы были предложены рекомендации по применению математического моделирования и оптимизации в строительстве. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку более точных и комплексных моделей, учет дополнительных факторов, таких как погодные условия, и исследование эффективности применения новых технологий и методов в строительстве.

### Литература

1. Якушева, Е.В., Полуянова, О.А. Математическое моделирование в строительстве: Учебное пособие. - М.: Информатика и образование, 2014.

2. Лупанов, О.Б., Кармазина, Т.М., Стариков, С.Н. Оптимизация строительного процесса с использованием математических моделей. - М.: Стройиздат, 2009.
3. Раек, А.Л., Далин, И.В., Матвеева, Е.С. Математическое моделирование и оптимизация в строительстве: Учебник для вузов. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
4. Беспалов, А.В. Математическое моделирование процессов строительства зданий и сооружений. - М.: Издательство Литера, 2012.
5. Филатов, Ю.П. Оптимизация процессов строительства: Учебное пособие. - М.: Юрайт, 2008.
6. Маркова, О.А., Ушкова, А.В. Математическое моделирование процессов энергетического обслуживания строительных объектов. - М.: Проспект, 2016.



## **МАТЕРИАЛОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И ГАЗА**

**Долгозвягов Данил Дмитриевич**, студент  
**Косовская Ксения Кирилловна**, студент  
**Тихонов Георгий Александрович**, студент  
Сибирский федеральный университет  
kseniii735@gmail.com

***Аннотация:** В статье рассмотрены материалосберегающие методы строительства магистральных трубопроводов и технические средства их транспортировки. Один из этих методов - проектирование трубопроводов с переменной толщиной стенок в соответствии с ГОСТ 31447-2012. Наше исследование определило оптимальные параметры строительства, позволяющие сократить использование материалов при укладке труб. Это может привести к экономии затрат на строительство и эксплуатацию трубопроводов, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду.*

***Ключевые слова:** нефть, транспортировка нефтепродуктов, трубопроводный транспорт, магистральный нефтепровод, энергетическая безопасность.*

Доля трубопроводного транспорта в общей структуре транспортировки углеводородов является весьма значительной. Особенно это касается перемещения природного газа, где трубопроводный транспорт составляет около 56%. При транспортировке нефти этот вид транспорта также занимает достаточно большую долю - приблизительно 41%. В то же время, продукты нефтепереработки транспортируются трубопроводами лишь на 4% [1].

Важно отметить, что углеводороды являются одним из стратегически важных носителей энергии в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК). Следовательно, роль

магистрального транспорта в обеспечении работы различных отраслей экономики становится очевидной. Трубопроводный транспорт является наиболее безопасным и экологически чистым способом транспортировки углеводородов, что делает его востребованным и перспективным для дальнейшего развития экономики.

Для успешной конкуренции основного транспорта углеводородов с другими видами транспорта главным фактором должно стать снижение стоимости прокачки. При этом одной из ее существенных составляющих может стать снижение стоимости энергетических и материальных ресурсов. Анализ научной литературы показывает, что к настоящему времени существует множество разработок, способов и методов, и все они в основном направлены на снижение энергозатрат и реже посвящены экономии материальных ресурсов. По мнению исследователей, снижения энергопотребления можно добиться за счет экономии (уменьшения) электроэнергии на привод магистральных насосов, а именно [2]:

- 1) снижение гидравлического сопротивления трубопровода посредством периодической очистки или применения антитурбулентных присадок;
- 2) оптимизация режимов откачки с использованием современных методов регулирования производительности насосов;
- 3) снижение потерь электроэнергии при распределении сети и эксплуатационное оборудование;
- 4) перевод энергоснабжения на современное энергосберегающее технологии.

Между тем, существуют и способы снижения потерь электроэнергии при трубопроводной транспортировке газа и нефти за счет [1], [3]:

- 1) оптимизации производственных режимов перекачки нефти или газа, что достигается за счет качественного подбора и замены насосов, технического обслуживания, а также внедрения частотно-регулируемого привода;
- 2) повышение эффективности очистки внутренних полостей нефте- и газопроводов, в которой осуществляется перекачка горячей жидкости или пара. Нагрев в этом случае осуществляется с помощью установки для депарафинизации колодцев и труб;
- 3) своевременная очистка грязеуловителей;

4) модернизация насосного парка трубопроводов, использование цифровых регуляторов возбуждения синхронных электродвигателей для повышения коэффициента мощности нефте- и газоперекачивающих станций;

5) внедрение систем автоматического управления в процесс перевозки.

Из приведенных примеров можно заметить, что, несмотря на многочисленные и разнообразные трактовки и мнения относительно концепции снижения энергоемкости трубопроводного транспорта углеводородов, все они в основном направлены на улучшение работы насосов, модернизацию и повышение эффективности их электроприводы, а также повышение реологических свойств транспортируемой жидкости.

Стоит заметить, что информации о ресурсосбережении, а именно о материалосберегающих технологиях, путях и методах снижения себестоимости перевозок недостаточно. Исключение составляют результаты частных разработок, освещенные в материалах проведенных ранее конференций и сборниках трудов. Представленные результаты можно принять в качестве базовой модели (алгоритма) для дальнейшей разработки методов оценки эффективности предприятий по транспортировке нефти и газа. По мнению авторов, оптимизация предприятий должна быть направлена на увеличение доходов и сокращение расходной части.

В программах предприятий необходимо выбрать соответствующие критерии оптимизации. Эти аспекты зависят от поставленных целей и задач. Они могут быть конкретными, отнесенными к единице продукции, производительности, мощности, стоимости и т.д.; абсолютными или комплексными, состоящие из нескольких критериев.

В статье [4] анализируются методы, применяемые при прокладке нефтепровода в условиях северных регионов России. Исследователи рассмотрели район строительства газопровода, его климатические и геологические условия. Проанализированы возможные неучтенные показатели для расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода. В частности, учитывалась разница температур при строительстве нефтепровода. Авторы пришли к выводу о том, что из-за уникальности климатических и геологических условий района строительства могут возникнуть просадки и всплывтия проложенного

нефтепровода. Для предотвращения подобных ситуаций было предложено проводить расчеты и прогнозы напряженно-деформированного состояния нефтепровода, что с учетом всех факторов существенно повышает надежность эксплуатации всего магистрального нефтепровода.

Анализ работ в зарубежных рецензируемых научных журналах показал, что многие исследования направлены на предотвращение и минимизацию коррозии стальных трубопроводов и резервуаров. Так, в [6] предложено применение метода дифракции времени пролета (TOFD) для исследования сварных соединений с неравномерной толщиной стенок вертикальных стальных резервуаров. В данной работе научно обоснован один из метрологических методов повышения надежности трубопроводов и резервуаров для транспортировки и хранения нефти. Авторы следующей работы [7] провели полный анализ возможности использования супергидрофобных покрытий для защиты стальных трубопроводов в нефтегазовой отрасли. На основании анализа литературных данных обо всех доступных методах было предложено применить метод напыления для создания супергидрофобных покрытий стальных трубопроводов.

Таким образом, больше внимания следует уделять внедрению таких технологий и технических средств, направленных на снижение стоимости транспортировки углеводородов и газа. Имеется в виду разработка путей и методов снижения материалоёмкости при строительстве магистральных трубопроводов и транспортировке по ним нефти и газа, что, в конечном итоге, также должно способствовать снижению энергопотребления. Таким образом, в отличие от прямых путей и методов, в данном случае предлагаемым нами новым подходом являются косвенные пути снижения энергоёмкости.

При постоянной толщине стенки трубы по длине участка на выходе из насосной станции материал трубопровода работает с напряжением, близким к предельно допустимому. Это значит, что несущая способность трубы использована практически полностью, а на некотором расстоянии от насосной станции металл трубы уже недогружен. Поэтому при снижении давления толщину стенки трубопровода можно также уменьшить, т.е. построить трубопровод с переменной толщиной стенки по длине. Поскольку трубы

производятся по некоторым стандартам, уменьшить толщину стенки трубопровода можно только ступенчато [5], [11].

При строительстве магистральных нефтепроводов расходуется огромное количество металла, актуальной задачей может быть экономия металла за счет использования переменной толщины стенки трубопровода. Экономия металла составит около 5 тыс. тонн. На магистральном нефтепроводе таких участков может быть несколько. Например, существуют нефтепроводы длиной 1500 км, имеющие около 10-12 таких участков. Из приведенного примера, очевидно, что при использовании переменной толщины на магистральных нефтепроводах экономия металла значительная.

Задача в нашем случае заключалась в том, что необходимо было определить оптимальное количество участков на одном участке, т.е. между перекачивающими насосными станциями в случае нефти или компрессорными станциями в случае транспортировки газа.

Это связано с тем, что существуют разные мнения и предложения относительно количества площадок, которые основаны на инженерной интуиции и догадках. Так, по мнению авторов [8], количество ступеней, т. е. количество участков трубы разной толщины на каждом участке, должно быть не более трех, в связи с чем рекомендуется принимать его равным трем. По нашему мнению, число площадок должно находиться в определенных пределах и колебаться в зависимости от природно-климатических условий и местности и приниматься в каждом конкретном случае как целое число из этого диапазона.

В [9]-[11] многофакторный эксперимент поставлен методом центрального композиционного планирования. В предлагаемом способе транспортировки жидкости и газа по магистральному трубопроводу транспортируемое жидкое или газообразное вещество (преимущественно нефть, нефтепродукты, вода или газ) подается под предельно допустимым давлением. Выполняется через магистральный трубопровод с одинаковым номинальным (наружным) диаметром. Это способствует тому, что несущая способность труб этого сечения используется практически полностью. В обычном случае, когда, начиная с определенного расстояния от КС, по мере снижения давления в случае прокладки труб с одинаковой толщиной стенок металл трубы окажется недогруженным. Однако из-за размещения труб по длине одного

участка, внутренние диаметры одинаковым номинальным диаметром в необходимом и достаточном количестве, число которых выбирают в пределах (2 – 4), металл трубы по длине участка не будет испытывать недогрузки. А также, соответственно, значение его пропускной способности будет полностью использовано. Это, в свою очередь, также повлияет на улучшение реологических свойств транспортируемого вещества и снизит энергоемкость процесса. Главное, существенно снижается расход металла, что, в конечном итоге, позволяет сэкономить значительное количество металла.

### Литература

1. Pipeline transport of hydrocarbons, Materials of the II All-Russian scientific-practical conference, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, 216 p. (2018).
2. S. Akhmetov, N. Akhmetov, Z. Iklasova, Z. Zaydemova, Energy and material saving technologies for construction of main pipelines for oil and gas transportation, Web of Conferences, 288, 01051, pp. 15-21. (2021).
3. Y. Ilya, I. Grushevsky, Y. Grushevsky, Improving the operational reliability of pipeline transport facilities, Oil and Gas Terminal. Collection of scientific papers of the international scientific and technical conference named after professor, 16, pp. 120-124 (2019).
4. D.A. Neganov, O.I. Filippov, I.I. Mikhaylov, A.V. Geit, P.S. Golosov, TOFD technique application to examine welded joints with non-equal wall thickness of the vertical steel tanks, Pipeline Science and Technology, 3 (2), pp. 84-91 (2019).
5. A.O. Ijaola, P.K. Farayibi, E. Asmatulu, Superhydrophobic coatings for steel pipeline protection in oil and gas industries: A comprehensive review, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 83 p. (2020).
6. F.F. Abuzova, R.A. Aliyev, V.F. Novoselov, et all, Technique and technology of transport and storage of oil and gas, 15 (4), pp. 203-205 (1992).
7. U.S. Karabalin, F.A. Mamonov, K.M. Kabyldin, M.M. Yermekov, Transportation and storage of oil, gas and oil products, 547p. (2005).
8. Interstate standard GOST 31447-2012, Welded steel pipes for main gas pipelines, oil pipelines and oil product pipelines, Technical conditions, ISS 77.140.75, Date of introduction 2015-01-01, Table 1 in clause 4.2 «Range and theoretical weight of pipes», Chapter 4 «Range» (2012).
9. T.N. Shvetsova-Shilovskaya, O.V. Polekhina, D.E. Ivanov, F.I. Skvortsov, Planning an experiment in the study of air pollution in

- industrial premises // Computational Technologies, ICT SB RAS, 25 (3), pp. 152-159 (2020).
10. N.Yu. Baturina, Automation of Planning of Eksperimen, International Research Journal, 11(53), pp. 14-17 (2016).
  11. E.V. Shendaleva, Kh.I. Khalimov, Design of Experiments at Bench Tests of Fuel Supplying Apparatus, Omsk Scientific Bulletin Series Aviation– Rocket and Power Engineering, 3 (2), pp. 156-161 (2019).

## ПАРАМЕТРЫ И МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

**Жила Владислав Витальевич**, студент  
**Михайлова Марина Алексеевна**, студент  
**Ермолаев Егор Алексеевич**, студент  
**Кочнева Яна Викторовна**, студент  
Сибирский федеральный университет  
mikhaylova.marina.alex@mail.ru

***Аннотация:** Трубопроводы традиционно признаны наиболее экономичным и безопасным способом транспортировки природного газа. Однако, поскольку огромное количество газа транспортируется по трубопроводам, требуются огромные инвестиции для строительства и эксплуатации трубопроводных сетей. Нефтегазовый сектор принял оптимизацию трубопроводов из-за ее потенциала для значительного сокращения затрат на трубопроводы. В последние годы газовая промышленность пережила всплеск параметров и методов оптимизации трубопроводов для снижения стоимости трубопровода. Результаты этого исследования направлены на улучшение понимания методологии, методов и преимуществ внедрения оптимизации в трубопроводную отрасль, что позволит получить максимальные эксплуатационные выгоды в период сокращения поставок ископаемого топлива.*

***Ключевые слова:** оптимизация, трубопровод, природный газ, детерминированная оптимизация.*

Газовая промышленность часто полагается на трубопроводный транспорт, поскольку это недорогой и безопасный способ транспортировки газа. Для транспортировки газа используется огромная сеть трубопроводов. По одной из оценок, по трубопроводам транспортируется около 93 процентов мирового



природного газа. Строительство нефте- и газопроводов продолжает приносить прибыль во всем мире, несмотря на то, что экономика в целом находится в состоянии рецессии. Однако адекватная эксплуатация трубопроводов представляет собой серьезную трудность при наличии таких обширных сетей трубопроводов по всему земному шару.

Трубопроводы являются основой транспортировки газа. Однако, поскольку трубопроводы транспортируют огромное количество газа, затраты на проектирование и эксплуатацию также огромны. Предполагается, что оптимизация сыграет важную роль в снижении затрат на проектирование и эксплуатацию газопроводных сетей. Как правило, при оптимизации газопровода цель состоит в том, чтобы максимизировать конкретный экономический показатель, а также выполнить уравнения производительности, которые описывают физическое поведение системы и любые другие ограничения, которые были установлены заранее.

В большинстве случаев эта проблема может быть выражена математически как четко определенная задача, требующая численного решения, за исключением чрезвычайно простых приложений. Несмотря на то, что было опубликовано множество алгоритмов оптимизации общего назначения, их применение к трубопроводному транспорту часто является сложной задачей. Существует множество факторов, способствующих этой проблеме. Во-первых, алгоритмы оптимизации, как правило, испытывают трудности с их включением в проекты трубопроводов из-за множества алгебраических и дифференциальных уравнений, необходимых для моделирования транзита газопровода. Во-вторых, многие проблемы проектирования и эксплуатации трубопроводов включают непрерывную и дискретную оптимизацию параметров. Как следствие, оптимизация становится типичной задачей. В-третьих, часто требуется учитывать неопределенность, связанную с параметрами базовых моделей трубопроводов. В результате одним из наиболее важных аспектов оптимизации трубопроводов является инновация соответствующих стратегий, которые, с одной стороны, используют уникальные характеристики трубопроводного транспорта, а также позволяют эффективно использовать и взаимодействовать с алгоритмами оптимизации общего назначения. Значение подходов невозможно переоценить, поскольку они часто

решают, можно ли приемлемо и реалистично решить тот или иной конкретный вопрос или комплекс проблем. Трубопроводная отрасль сталкивается с широким спектром задач оптимизации на всех уровнях, от проектирования до эксплуатации. В статье рассматриваются наиболее важные и перспективные направления.

Исследования доказали, что оптимизация работы трубопроводов может значительно снизить стоимость трубопроводных сетей. Огромный экономический импульс, который обеспечила оптимизация трубопроводной сети, вдохновил руководителей трубопроводов на улучшение характеристик трубопроводной сети и снижение ее стоимости. Методы оптимизации используются для поиска наиболее эффективных стратегий эксплуатации магистральных газопроводов (Chen et al. 2021).

Несмотря на то, что необходимо регулировать эксплуатационные ограничения и требования клиентов, определение максимального количества природного газа, поставляемого при различных условиях, является хорошо зарекомендовавшей себя задачей. Расход газа считается целевой функцией. Большинство газотранспортных проектов сталкиваются со сложностями на местном уровне. Максимальный расход газа считается целевой функцией трубопроводной сети, которая гарантирует максимальную пропускную способность трубопровода в конечном итоге (Fasihizadeh et al. 2014; Demissie et al. 2017).

Основной мотивацией для оптимизации газовых труб и связанной с ними инфраструктуры является снижение эксплуатационных расходов. При эксплуатации газораспределительной сети важно учитывать множество переменных. Расходы включают в себя затраты на компрессорное топливо или электроэнергию, ремонт и техническое обслуживание оборудования компрессорных станций, а также ежегодные или периодические экологические и разрешительные расходы. Некоторые расходы останутся постоянными в зависимости от обстоятельств бизнеса, в то время как другие будут колебаться. Переменные эксплуатационные расходы, включая затраты на топливо для турбокомпрессоров, являются приоритетом для трубопроводной сети (Ruan et al. 2009) представили оптимизационную модель, используемую для минимизации инвестиционных затрат на трубопроводную сеть. Модель включала факторы, влияющие на инвестиционные затраты, такие как давление

в узлах труб, диаметр, толщина трубопровода и коэффициент компрессора.

Сокращение использования возобновляемых источников энергии стимулировало инновационные решения по сокращению отходов. Другой потенциальной стратегией является преобразование возобновляемых источников энергии в водород и использование газопроводов для транспортировки. В статье (Tabkhi et al. 2008) представлена математическая модель и количественная оценка сетей газопроводов для улучшения общей работы компрессорных станций, использующих закачку водорода. В статье (Han et al. 2012) предлагается новый координационный контроль для интегрированных морских ветряных электростанций и управления водородом.

За последние несколько десятилетий были широко разработаны многочисленные методы оптимизации. Методы оптимизации конвейера подразделяются на классические (детерминированные) и стохастические (эволюционные). Методы динамического программирования, обобщенного градиента и линейного программирования являются классическими методами, которые были популярны в оптимизации конвейера. Методы динамического программирования обладают уникальной характеристикой, заключающейся в том, что они не увязают в поисках глобального оптимума. Со сложными трубопроводными сетками метод общего градиента хорошо работает. Однако, поскольку эти подходы основаны на градиентном поиске, они имеют недостаток, заключающийся в том, что они не решают недифференцируемые и разрывные функции. В определенных ситуациях результирующее решение, полученное с использованием обобщенного приведенного градиента, легко застревает в локальном оптимуме, что делает его неспособным к дальнейшей оптимизации сетки. В то время как методы линейного программирования могут найти глобальный оптимум, они ограничены ситуациями, когда целевая функция приблизительно линейна. Традиционные методы полагаются в основном на исходное значение, выбранное для получения конечного результата.

Кроме того, все традиционные методы сталкиваются с трудностями при столкновении с нелинейной проблемой (смешанное целочисленное нелинейное программирование —

MINLP). В настоящее время исследователи концентрируются на стохастических или эволюционных алгоритмах для решения этих проблем. Преимущество этих алгоритмов заключается в решении крупномасштабных проблем и устранении трудностей MINLP. Стохастические методы связаны с формированием биологических объектов и социальным поведением (Elbeltagi et al. 2005). Вместо градиентной информации для поиска оптимального решения в этих методах используются отдельные образцы. В результате они не зависят от градиента.

Генетический алгоритм (GA) является одним из самых популярных методов оптимизации конвейера. Вычисления GA выполняются с использованием хромосомных представлений, отбора, кроссовера, мутации и функции приспособленности. Генетические алгоритмы являются одним из самых популярных методов оптимизации конвейера. Его вычислительная стоимость может быть показана более четко, чем другие традиционные методы, такие как обобщенный метод градиента. Рассматриваются следующие преимущества использования генетических алгоритмов.

- используются параметры, содержащиеся в струнном шаблоне, для оценки данной функции.
- применяется значения параметров для управления поиском, а не значения отдельных параметров.
- исследуется несколько возможных решений проблемы, а не сосредотачивается на одном варианте.
- преобразуется дизайн в закодированную область генетического пространства.

Большинство методов оптимизации фокусируются на одной точке, в то время как генетический алгоритм связывается с определенной группой точек. По сути, генетические алгоритмы применяют несколько потенциальных ответов, а затем определяют тот, который приводит к наилучшему результату.

Были рассмотрены многочисленные применения генетических алгоритмов для оптимизации трубопроводов. Приложение сначала включало в себя одноцелевую функцию минимизации расхода топлива, которая была в дальнейшем расширена до многоцелевого процесса сокращения топливных компрессоров и максимизации подачи газа, максимизации объема линейного пакета и максимизации подачи газа. Исследователи (Habibvand, Behbahani.

2012) показали, что генетические алгоритмы могут быть успешно использованы для снижения расхода топлива газокompрессорной станции.

Безопасность трубопроводов в последнее время привлекает все больше внимания из-за возможности экономического ущерба в случае обрушения трубопровода. Включение в существующие модели таких целевых показателей надежности трубопроводов, как риск, связанный с разрывом трубы, коррозией или образованием газовых гидратов, позволяет одновременно максимизировать экономические, экологические аспекты и аспекты безопасности эксплуатации трубопровода.

При оптимизации целевых функций необходима корректировка ограничений с учетом условий эксплуатации трубопровода. Поскольку в некоторых ограничениях используются менее подробные версии уравнений, управляющих потоком газа, они не могут изобразить поток трубы. Следовательно, решения не будут полностью удовлетворять гидравлическим и тепловым ограничениям трубопровода. Исходные управляющие уравнения должны быть включены в оптимизационную модель, чтобы оптимизировать работу конвейера, что усложняет модель. Эту проблему можно решить, объединив моделирование трубопровода и оптимизационные модели.

Детерминированные методы служат начальным способом решения стохастических алгоритмов. Препятствием является преодоление проблем путем разработки как эффективных, так и устойчивых методов оптимизации. Способность решать сложные задачи оптимизации с высокой вычислительной эффективностью и решать сложные проблемы с глобальной оптимизацией является двумя наиболее значительными преимуществами методов стохастической оптимизации. GA является единственным среди алгоритмов ACO, PSO, SA и DE, широко используемых в отрасли. Несмотря на то, что проводятся дополнительные исследования трех других алгоритмов, они еще не получили широкого признания (Wu et al. 2018).

Проектирование распределительного трубопровода также является стратегической задачей оптимизации, при этом основополагающим критерием является качество решения. Решение использует алгоритмы, полученные из природных явлений, для

эффективного выполнения задачи. Для решения проблемы операционной оптимизации требуется баланс между своевременностью и точностью решения. Качество решения имеет решающее значение, так как продолжительность приложения часто составляет от нескольких дней до нескольких месяцев, что намного превышает время выполнения алгоритма оптимизации. Проблема пакетного планирования — это задание оптимизации на операционном уровне, основным камнем преткновения которого являются чрезмерные ограничения.

Крайне важно провести анализ чувствительности соответствующих параметров на основе множества возможных сценариев. На основе ожидаемых достижений должны быть выведены общие принципы оптимальных параметров. Затем необходимо определить эффективность каждого метода оптимизации, чтобы обнаружить диапазоны параметров каждого из них, что даст рекомендации по выбору метода оптимизации для конкретного экземпляра.

Необходимо провести дополнительные исследования по улучшению характеристик более сложных циклических трубопроводных систем. Важно изучить технологии интернет-оптимизации. Трубы уже загружены SCADA. Потенциальный подход к полному использованию результатов оптимизации заключается в объединении технологии онлайн-моделирования с технологией оптимизации работы трубопровода. Благодаря наличию технологии онлайн-оптимизации можно выбирать первоначальные решения на основе точных эксплуатационных данных трубопровода, собранных из системы SCADA. Результаты оптимизации могут предоставить ценную информацию для оптимизации конвейера. Кроме того, система принятия решений будет принимать решение о том, следует ли внедрять предлагаемую оптимальную схему работы. Одним из ключевых вопросов, на который необходимо ответить при разработке технологии онлайн-оптимизации, является методология связывания имитационной модели, модели оптимизации и системы SCADA (Wu et al. 2018).

Исследователи предложили новое понятие, известное как энергетическая сеть, охватывающее электрические и газовые сети. Наименование производства электроэнергии и газа в качестве источников также распространяется на всех потребителей энергии,

которые получают энергию из энергетических центров. За счет преобразования между различными источниками энергии (электричеством и природным газом) повышается гибкость энергетической сети, что позволяет в полной мере использовать все доступные источники энергии. Модель оптимизации энергетической сети представляет собой недифференциальную, многомерную и чрезвычайно нелинейную модель оптимального потока энергии. В научной работе (Beigvand et al. 2016) исследователи показали, что алгоритм гравитационного поиска, PSO, GA и DE может быть использован для решения системы оптимизации работы энергетических и газовых сетей.

Обширный перечень оптимизационных трудностей стоит перед газопроводной отраслью. Модель оптимизации газопровода представляет собой модель MINLP с непрерывными, дискретными и целочисленными переменными оптимизации. Современные модели оптимизации концентрируются на расходе топлива, линейных пакетах, затратах на компрессоры и выбросах парниковых газов. Но безопасности трубопроводов уделяется меньше внимания. Внедрение функции цели безопасности трубопровода может оптимизировать эксплуатационные экономические, экологические проблемы и проблемы безопасности.

Наиболее существенным препятствием для эффективного использования запасов природного газа являются ограничения подходов к оптимизации, которые теоретически возможны, но трудно реализовать на практике из-за их различных допущений. Для стимулирования спроса требуются многочисленные сложные технологии, способные рационально реагировать на изменяющиеся условия. Повышение эффективности использования традиционных газопроводов приведет к значительным экономическим выгодам для газовой промышленности, которые превзойдут первоначальные оценки. Ожидается, что дальнейший вклад научного сообщества ускорит эту тенденцию.

Гибридные алгоритмы помогают преодолеть существующие ограничения алгоритмов, сочетая преимущества двух или более стохастических алгоритмов, но приложения для оптимизации работы газопроводов остаются редкими.

Интеграция программного обеспечения для оптимизации, программного обеспечения для моделирования, программного

обеспечения для принятия решений и программного обеспечения SCADA в систему эффективно использует результаты оптимизации. Данные, полученные в результате работы трубопровода, которые используются в качестве основы для оптимизационной модели, могут быть использованы для тонкой настройки управления трубопроводом.

### Литература

1. Chen, Q., Wu, C., Zuo, L., Mehrtash, M., Wang, Y., Bu, Y., Cao, Y. (2021). Multi-objective transient peak shaving optimization of a gas pipeline system under demand uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 147: 12.
2. Fasihizadeh, M., Sefti, M.V., Torbati, H.M. (2014). Improving gas transmission networks operation using simulation algorithms: case study of the national Iranian gas network. *J Nat Gas Sci Eng* 20:319–327.
3. Demissie, A., Zhu, W., Belachew, C.T. (2017). A multi-objective optimization model for gas pipeline operations. *Comput Chem Eng* 100:94–103.
4. Ruan, Y., Liu, Q., Zhou, W., Batty, B., Gao, W., Ren, J., Watanabe, T. (2009). A procedure to design the mainline system in natural gas networks. *Appl Math Model* 33(7):3040–3051.
5. Tabkhi, F., Azzaro-Pantel, C., Pibouleau, L., Domenech, S. (2008). A mathematical framework for modelling and evaluating natural gas pipeline networks under hydrogen injection. *Int J Hydrogen Energy* 33(21):6222–6231.
6. Han, J.H., Ryu, J.H., Lee, I.B. (2012). Modeling the operation of hydrogen supply networks considering facility location. *Int J Hydrog Energy* 37(6):5328–5346.
7. Elbeltagi, E., Hegazy, T., Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Adv Eng Inf* 19(1):43–53.
8. Habibvand, G., Behbahani, R.M. (2012). Using genetic algorithm for fuel consumption optimization of a natural gas transmission compressor station. *Int J Comput Appl* 43(1):1–6.
9. Wu, X., Li, C., He, Y., Jia, W. (2018). Operation optimization of natural gas transmission pipelines based on stochastic optimization algorithms: a review. *Math Probl Eng* 2018: 18.
10. Beigvand, S.D., Abdi, H., La Scala, M. (2016). Optimal operation of multicarrier energy systems using time-varying acceleration coefficient gravitational search algorithm. *Energy* 114:253–265.



## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ РАЗМЕТКИ НА ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Зеленкевич Евгений Витальевич,**

**Маринин Александр Андреевич**

студенты 5-го курса кафедры «Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет

(Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель)

В ряде стран был запущен инновационный проект, заключающийся в установке, светящейся в темноте люминесцентной разметки на дорогах. Эта разметка является пилотной и представляет собой значимый шаг вперед в области безопасности на дорогах. Благодаря солнечной энергии, с которой она заряжается, такая разметка обеспечивает способность светиться в темное время суток, что существенно повышает видимость и помогает водителям сориентироваться на дороге.

Высокая профессиональность и технологическая современность этой разметки заключаются в использовании динамической краски. Благодаря специальным химическим компонентам, разметка способна изменять цвет, предупреждая водителей о различных опасностях на дороге, например, об обледенении или других погодных условиях.

Установка светящейся разметки на дорогах имеет множество преимуществ. Во-первых, она значительно повышает уровень безопасности для всех участников дорожного движения. Более яркая и заметная разметка позволяет водителям легче ориентироваться на дороге, особенно в темное время суток, когда видимость снижается. Бесперебойное освещение разметки также способствует снижению риска аварийных ситуаций из-за несоблюдения правил дорожного движения.

Во-вторых, светящаяся разметка имеет длительный срок службы и экологически безопасна. Благодаря использованию солнечной энергии в качестве источника питания, разметка не требует частой замены батарей или подключения к электросети. Это не только экономит время и ресурсы, но и снижает негативное воздействие на

окружающую среду. Таким образом, светящаяся разметка является устойчивым и энергоэффективным решением для дорожной инфраструктуры.



Рис. 1. Люминесцентная разметка

В третьих, динамическая краска, используемая на разметке, предоставляет возможность выводить различные информационные символы и знаки на дороге. Это позволяет дополнительно предупреждать водителей о возможных опасностях, например, о заблокированной полосе движения, о наличии рабочих или аварийных зон. Такой подход обеспечивает максимальную информированность и предоставляет водителям дополнительные указания для безопасного перемещения.

Разметка, оснащенная светящейся краской, представляет собой уникальную возможность внедрения современных технологий в дорожное строительство и обеспечения безопасности на дорожных участках. Находясь на стадии пилотного проекта, она активно изучается и тестируется в различных странах, с целью установки на более крупных дорогах и национальных трассах.



Рис. 2. Разметка оснащенная светящейся краской

В заключение, светящаяся в темноте люминесцентная разметка, заряжаемая солнечной энергией и покрытая динамической краской, является важным инновационным достижением в области безопасности на дорогах. Ее использование способствует повышению видимости и ориентации водителей, а также предоставляет дополнительную информацию об опасностях и ограничениях на дороге. Это экологически безопасное и эффективное решение, которое поможет сделать дорожное движение более безопасным и удобным для всех.

### Литература

1. Интернет ресурс: [https:// stim.by/](https://stim.by/)
2. Интернет ресурс: [https:// cyberleninka.ru/](https://cyberleninka.ru/)
3. Интернет ресурс: [https:// autogoda.ru/](https://autogoda.ru/)
4. Интернет ресурс: [https:// techinsider.ru/](https://techinsider.ru/)

## **ВРЕМЕННЫЕ И ПОСТОЯННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЗИМНЕГО СНЕГОПРИНОСА**

**Михайлова Дарья Владимировна, Гордович Кирилл Сергеевич**  
студенты 5-го курса кафедры «Автомобильные дороги»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Ходан Е. П., ст. преподаватель)

Зимний период – наиболее сложный с точки зрения содержания дорог и движения транспорта, особенно в районах с продолжительной зимой или сильными снежными отложениями. С целью поддержания надежной эксплуатации дорог в зимний период в первую очередь необходимо изучить особенности погодноклиматических условий района дислокации дороги, ее снегозаносимости, возможности накопления снежных отложений на откосах насыпей и выемок и во впадинах местности.

Защита от зимнего снегоприноса на дорогах необходима для обеспечения безопасности движения транспортных средств и пешеходов, обеспечения достаточной видимости, предотвращения скольжения, улучшения проходимости дорог, снижения затрат на обслуживание.

Для защиты дорог от зимнего приноса существуют как временные, так и постоянные способы. Выбор конкретных средств защиты от снегоприноса зависит от местных климатических условий, географического положения объекта и его специфических требований. Они должны быть спроектированы и установлены с учетом эффективности и безопасности для предотвращения снегопада или минимизации его воздействия. Необходимо учитывать такие факторы, как сила и направление ветра, местные особенности ландшафта и склонности к снегоприпадам.

Временные средства защиты от снегоприноса устраиваются в конце осени и начале зимы. Временные средства защиты включают в себя такие элементы, как переносные решетчатые щиты, заборы и барьеры из сетки или ленты, которые устанавливаются временно вокруг объекта с целью предотвратить накопление снега или задержать его от перекрытия дорог или проходов.

1. Переносные щиты для защиты от снегоприноса – это мобильные конструкции, которые устанавливаются для предотвращения скопления снега в определенных местах или для создания временного барьера от снегоприноса. Они применяются на участках, где снегозащитные насаждения еще не вступили в работу. В Беларуси необходимо применять щиты из деревянных планок с общей просветностью от 50 % до 60 % и просветностью нижней части от 60 % до 70 % (Рис. 1). Для повышения прочности щиты устанавливают на вертикальные колья или устанавливают щиты наклоненно друг к другу связывая их верхние концы.

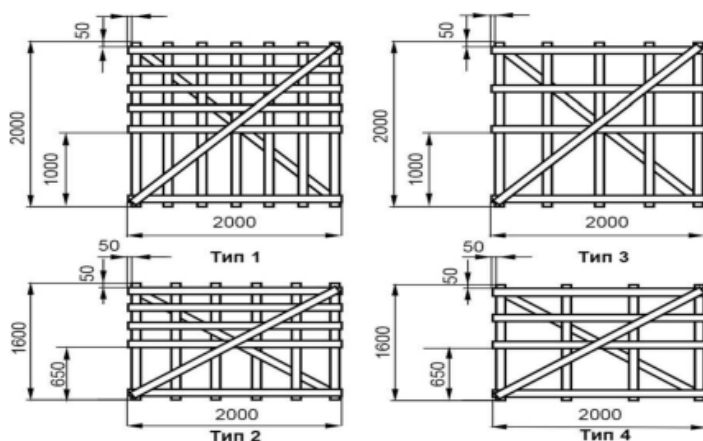


Рис. 1. Переносные решетчатые щиты

2. Снегозадерживающие преграды, устраиваемых из синтетических сеток применяются при объемах снегоприноса до 75 м<sup>3</sup>/м. Размер ячеек синтетических сеток должен быть 50×50 мм. Высота синтетических сеток составляет 1,7 м. Материалы, из которых изготовлены сетки, должны обеспечивать их работу без деформаций и разрушений при температурах до минус 40 °С. Сетка крепится к опорным кольям, которые устанавливаются в осенний период до замерзания грунта. Сетка крепится к кольям стяжными хомутами в количестве 4 шт. на каждый кол.

3. Снежные траншеи устраиваются при высоте снежного покрова более 20 см. Расстояние между осями траншей, устраиваемых бульдозерами, составляет 12–15 м, а двухотвальными плужными

снегоочистителями – 20 м. Первую траншею со стороны дороги при отсутствии других средств снегозащиты размещают не ближе 25 м от бровки земляного полотна. Если траншеи являются дополнительным средством снегозащиты постоянных или временных преград, то первую траншею устраивают со стороны поля по вершине собранного снежного вала, если его высота не превышает 1 м, или рядом с валом при высоте снежного покрова 30–40 см. когда траншея заполняется наполовину, то проводят ее восстановление по старому следу.

Постоянные средства защиты от снегоприноса включают в себя такие элементы, как снегозащитные насаждения, кустарники, леса, строения, заборы. Эти средства устанавливаются на весь срок службы дороги. Снегозащитные лесонасаждения на дорогах могут быть созданы с использованием специально отобранных видов деревьев и кустарников, которые способны задерживать снег и уменьшать его скорость перемещения на дорогу. Например, хвойные деревья, такие как ель и сосна, часто используются для этой цели, так как их плотная хвоя помогает задерживать и распределять снег.

Снегозащитные лесонасаждения – самый экономичный и долговечный вид постоянной защиты (Рис. 2). Если объемы снегоприноса небольшие, то используют однорядные или двухрядные посадки высотой 2–4 м. схему снегозадерживающих насаждений выбирают исходя из требуемой «рабочей» высоты проектируемых насаждений. Они не только помогают предотвратить образование снежных заторов, но также уменьшают риск обрушения снежных осыпей на дорогу, что может привести к авариям и задержкам в движении. Они также способствуют улучшению видимости и безопасности для водителей, предотвращая снежные ослепления и снежные бури.



Рис. 2. Снегозащитные лесонасаждения

### **Литература**

1. Содержание и ремонт автомобильных дорог/ С.И. Булдаков, Ю.Д. Силуков, М.Д. Малиновских. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 200 с.
2. Учебно-методическое пособие для студентов специальности «Автомобильные дороги» - Автомобильные дороги, Л. Р. Мытько. – Минск: БНТУ, 2022

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВЛИЯНИЯ СЕГРЕГАЦИИ НА КАЧЕСТВО УСТРОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Панев С.П.**, магистрант кафедры «Автомобильные дороги»

***Аннотация:** В статье рассмотрены практические рекомендации по снижению влияния сегрегации на всех стадиях технологических процессов при устройстве асфальтобетонных покрытий.*

Сегрегация бывает фракционная – неравномерное распределение крупных и мелких зерен, битума и воздушных пор в объеме асфальтобетона (1) и температурная – наличие более теплых и более холодных участков в асфальтобетонной смеси (2). Она является следствием неправильного обращения с асфальтобетонной смесью в процессе ее производства, транспортировки и укладки. Если сегрегация происходит в процессе укладки дорожного покрытия, то, скорее всего, она ведет к долгосрочным повреждениям покрытия, таким, как, неровная поверхность и некачественное уплотнение. Это происходит на стадии выгрузки смеси из асфальтобетонной установки в накопительный бункер, при выгрузке смеси в транспортирующий грузовик из бункера, и при разгрузке смеси из грузовика в бункер асфальтоукладчика. Сегрегация, которая появляется за плитой асфальтоукладчика, обычно принимает одну из трех форм. Она может включать участки крупного заполнителя (гнезда скопления крупного заполнителя), которые хаотично располагаются по длине и ширине слоя. Сегрегация может иметь место по ширине полосы (сегрегация между разгрузками грузовиков), или она может происходить вдоль одной стороны укладки (продольная или поперечная сегрегация).

Причина сегрегации за асфальтоукладчиком напрямую связана с типом включенной (образованной ранее на предыдущих этапах приготовления смеси) сегрегации. Гнезда скопления крупного заполнителя обычно появляются вследствие неправильного обращения с заполнителями в штабелях, бункерах холодной подачи



или со смесью в накопительном бункере асфальтобетонной установке. Влияние сегрегации меньше если для производства смеси используется дозирочная установка (без бункера), поскольку грохоты и горячие бункеры в асфальтобетонной установке ликвидируют сегрегацию материала до его подачи в мешалку асфальтобетоносмесителя. Более того, в мешалке асфальтобетоносмесителя перемешиваются все заполнители, благодаря чему исключается любая сегрегация, которая могла произойти ранее. Места скопления крупного заполнителя и беспорядочная сегрегация периодически обнаруживаются на проезжей части дороги, если смесь производится в смесительной установке барабанного типа. Если оператор погрузчика выкладывает ковш сегрегированного заполнителя в бункер холодной подачи, то материал может пройти через барабан, накопительный бункер, транспортирующий грузовик и асфальтоукладчик, не будучи полностью перемешанным с другим заполнителем. Это происходит из-за того, что смесительная установка барабанного типа работает на основе непрерывного потока, а не на основе дозировок. Если заполнитель в бункерах холодной подачи сегрегирован, то материал будет проявляться на проезжей части дороги в бессистемном расположении, как в поперечном, так и в продольном направлениях. Некоторые смеси являются более склонными к сегрегации, чем другие. Асфальтобетонные смеси, содержащие много крупного заполнителя 20 мм и более, и имеющие низкое содержание битумного вяжущего или гранулометрический состав с пропуском некоторых фракций, характеризуются большей склонностью к сегрегации при обработке по сравнению со смесями, содержащими оптимальное количество битума и меньшее количество крупного заполнителя. Сегрегация, происходящая на одной стороне асфальтоукладчика (сегрегация бок-бок), если для производства смеси используется дозирочная установка без бункера, обычно появляется вследствие неправильной загрузки транспортирующего грузовика из мешалки асфальтобетоносмесителя. Если смесь загружается не по центру ширины кузова грузовика, то частицы крупного заполнителя скатываются скапливаются на одной стороне кузова. Сегрегированная смесь, при этом, будет укладываться на проезжую часть дороги по одной и той же стороне, и сегрегация будет проявляться в виде продольной полосы, соответственно,

только на одной стороне асфальтоукладчика. Сегрегация, которая образуется на одной стороне асфальтоукладчика, но для производства смеси, при этом, используется дозировочная установка с бункером или смесительная установка барабанного типа, является следствием неправильной загрузки смеси в накопительный бункер. По мере выгрузки смеси в накопительный бункер из транспортера (пластинчатые транспортеры, ленточный конвейер или ковшовый элеватор), смесь отбрасывается на одну сторону бака, и частицы крупного заполнителя отделяются от мелких материалов. После опорожнения бака, крупный заполнитель выгружается только на одну сторону грузовика. Этот сегрегированный материал затем проходит через асфальтоукладчик и становится заметен на одной стороне смеси после укладки. Более того, так же, как и с дозировочной установкой, если грузовик не загружается по центру его ширины под бункером, может произойти скатывания крупных частиц заполнителя, и затем на одной стороне покрытия появляется продольная сегрегация.

У сегрегации между разгрузками грузовиком имеется много потенциальных причин. Наиболее распространенной причиной является загрузка транспортирующего грузовика из бункера. Если смесь выкладывается на платформу грузовика в один сброс из бункера, частицы крупного заполнителя в смеси имеют склонность к перемещению к передней стороне платформы и к заднему откидному борту. Эта раскатка крупного заполнителя усиливается, если оператор установки непрерывно открывает и закрывает задвижки бункера незадолго до окончания процедуры загрузки грузовика, стараясь обеспечить загрузку полного веса смеси в грузовик.

Некоторые считают, что сегрегация между разгрузками грузовиков может быть также следствием неправильной разгрузки смеси в бункер. Считается, что смесь, которая тонкой струей подается в бункер из транспортера, подвержена сегрегации внутри бункера. Если даже это имеет место, смесь, которая подвергается сегрегации в бункере, проявляется только как гнезда крупного заполнителя в слое за асфальтоукладчиком, а не систематически между разгрузками грузовиков со смесью, оставляемой к асфальтоукладчику. Поэтому, сомнительно, чтобы какая-либо сегрегация смеси, происходящая в течение непрерывного процесса загрузки бункера, проявилась на проезжей части дороги в

прерывистом порядке — только в начале или в конце, или и в начале и в конце разгрузки смеси.

Температурная сегрегация смеси тоже оказывается проблемой. Смесь охлаждается более быстро ближе к краю, днищу и верху грузовика при транспортировке. Более холодный материал не всегда перемешивается с более горячей ГАС, приводя к температурной сегрегации во время операции укладки. В результате получается непостоянство плотности при сооружении покрытия, что сказывается на его качественных характеристиках.

Принятие решение по каждому типу сегрегации следует связывать с её причиной. Для беспорядочных гнезд крупного заполнителя, которые появляются с промежутками в покрытии, следует контролировать методы штабелирования крупного заполнителя на площадке хранения и загрузки этого материала в бункеры холодной подачи с помощью фронтального погрузчика. Кроме этого, все точки процесса производства смеси, в которых может происходить сегрегация крупных частиц заполнителя, должны контролироваться.

Для продольной (бок-бок) сегрегации загрузка транспортирующего грузовика из мешалки асфальтобетоносмесителя дозирочной установки или из бункера дозирочной установки или из смесительной установки барабанного типа должна контролироваться, чтобы обеспечивалась доставка смеси по центру ширины грузовика. Если для производства смеси используется смесительная установка барабанного типа, а сегрегация постоянно проявляется на одной стороне асфальтоукладчика, то следует загрузить несколько грузовиков из бункера, но, чтобы грузовики были обращены в направлении, противоположном их нормальной процедуры загрузки. Если смесь проходит через асфальтоукладчик, то продольная сегрегация должна изменить стороны — перейти с одной стороны полосы асфальтоукладчика - на другую. Если поперечное положение продольной сегрегации изменяется (что должно быть), то решение проблемы поперечной сегрегации должно проводиться в верхней части бункера. Смесь, выкладываемая в бункер из транспортирующего устройства, должна направляться по центру бункера вместо направления на одну сторону, благодаря чему крупные частицы заполнителя в смеси не отбрасываются

исключительно на одну сторону бункера. Это решение требует некоторых изменений в конфигурации оборудования в верхней части бункера. Если поперечное положение продольной сегрегации не изменяется, то, возможно, причиной сегрегации является неполадка асфальтоукладчика.

Образование сегрегации между разгрузками грузовиков можно снизить в значительной степени путем проведения нескольких сбросов смеси для загрузки транспортирующих грузовиков. Если загружается грузовик со сдвоенными мостами, то, как минимум, должны быть проведены три различных сброса смеси — в переднюю часть грузовика рядом с передней переборкой, в заднюю часть грузовика рядом с задним откидным бортом и в центр платформы грузовика - между первым и вторым сбросом. Если используется более крупный грузовик, то следует провести дополнительные сбросы смеси — первый - в переднюю часть платформы грузовика, а второй - рядом с задним откидным бортом. Одним из основных решений по сегрегации между разгрузками грузовиков является минимизация расстояния, на которое могут откатиться крупные частицы заполнителя. Это выполняется путем проведения нескольких выбросов смеси в грузовик.

Если во время загрузки грузовика имеет место сегрегация и происходит скопление частиц крупного заполнителя у заднего откидного борта грузовика, в передней части платформы, или в обоих этих местах, то количество сегрегации, появляющейся на проезжей части дороги, как правило, может быть снижено путем правильной разгрузки транспортирующего грузовика в асфальтоукладчик. Во-первых, платформа грузовика должна быть поднята на небольшую величину до того, как задний откидной борт грузовика будет открыт, благодаря чему смесь может оставаться на платформе грузовика и соскальзывать по направлению заднего откидного борта. Эта процедура позволяет окружить все крупные частицы заполнителя, которые скатились в зону заднего откидного борта несегрегированной смесью. И, вместо того, чтобы только крупный заполнитель сначала выкладывался в бункер асфальтоукладчика, происходит разгрузка массы смеси при открытии заднего откидного борта грузовика, заполняя бункер смесью с включением, как правило, сегрегированного крупного заполнителя в массу смеси ГАС.

Режим работы асфальтоукладчика также может способствовать увеличению или снижению количества сегрегации, происходящей за шаблоном. Если бункер асфальтоукладчика опорожняется от смеси, пластинчатые транспортеры видны, и крылья бункера опрокидываются после каждой разгрузки грузовика со смесью, то все крупные частицы заполнителя, которые скопились у заднего откидного борта следующей разгрузки грузовика со смесью, будут выгружены на днище бункера, а затем перенесены прямо обратно в пустую камеру шнека перед плитой. Сегрегированный материал будет появляться за плитой, как только асфальтоукладчик двинется вперед. Таким образом, эта поперечная сегрегация фактически не имеет место в конце разгрузки грузовика, а скорее в начале следующей разгрузки грузовика со смесью.

Сегрегацию можно снижать, поддерживая полное заполнение бункера смесью между разгрузками грузовиков. Масса смеси, которая заполняет бункер из транспортирующего грузовика, смешивается со смесью уже в бункере асфальтоукладчика. Любой сегрегированный материал будет затем включаться в смесь, которая отводится обратно к шнекам пластинчатыми транспортерами, проходя под плитой асфальтоукладчика. Количество сегрегации между разгрузками грузовиков можно в значительной степени снижать, но не всегда полностью исключать с помощью правильных методов эксплуатации асфальтоукладчика. Эту проблему фактически следует решать во время процедуры разгрузки грузовиков.

Использование перегружателей, производящих повторное перемешивание смеси позволяет минимизировать проявление сегрегации (3). Этот способ борьбы с сегрегацией при укладке асфальтобетонной смеси является весьма эффективным и широко используется в условиях Республики Беларусь.

Выводы: Значительные резервы повышения транспортно-эксплуатационных характеристик асфальтобетонного покрытия заложены не только в применении качественных дорожно-строительных материалов и современных инновационных технологий, но и в снижения влияния сегрегации на всех этапах технологического процесса по устройству асфальтобетонного покрытия. Это позволит значительно уменьшить количество

«наследственных» технологических дефектов образующихся вследствие проявления сегрегации, которые в последующем перерастают в деградационные изменения в структуре асфальтобетона, и, в конечном итоге локализуются в структуре асфальтобетона в виде очагов первичного разрушения. Несомненно, наибольшее влияние на качество устройства асфальтобетонных покрытий оказывают процессы приготовления асфальтобетонной смеси и устройство асфальтобетонных покрытий, которые следует рассматривать не изолировано друг от друга, а во взаимосвязи, так как конечные эксплуатационные характеристики покрытий формируются под воздействием всего комплекса как предыдущих, так и последующих технологических операций. При этом, от предыдущих операций могут «унаследоваться» как положительные, так и отрицательные факторы, определенным образом влияющие на формирование структуры асфальтобетона. Как правило, влияние заключительных технологических операций этого процесса сильнее начальных. Можно пастулировать, что оптимальная структура, асфальтобетона, при которой достигается требуемая прочность, ровность и устойчивость (долговечность асфальтобетонного покрытия), закладывается при проектировании и подборе состава асфальтобетона и реализуется при устройстве асфальтобетонного покрытия.

### Литература

1. Данилова Е.А., Шаров А.Ю. Методы борьбы с температурной и фракционной сегрегацией при укладке асфальтобетонной смеси. Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов: посвящается 90-летию Уральского государственного лесотехнического университета.-УГЛТУ, 2020. – С. 200-203.
2. Рудакоа И.В. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей, причины возникновения и методы борьбы с ней. Современные прикладные исследования. – 2019. – с. 155-158.
3. Свинаярева М.Д., Трохин А.В., Матюшкина В.Д. Применение антисегрегационного перегружателя асфальтобетонной смеси.

## ПЛАСТИКОВЫЕ ДОРОГИ

*Пташиц Егор Олегович студент 4-го курса  
«Автомобильные дороги»*

*Белорусский Национальный Технический Университет  
«Научный руководитель» - Ходан Е.П., заведующий кафедрой,  
старший преподаватель*

Пластмассовые дороги из отходов пластмасс – это один из инновационных подходов к устойчивому дорожному строительству. Вместо традиционных строительных материалов, таких как асфальт или бетон, используются переработанные пластмассовые отходы.

Процесс создания пластмассовых дорог обычно включает следующие шаги:

- Сбор и сортировка отходов пластмассы: Различные виды пластмассы, такие как полиэтилен, полипропилен и полиэтилентерефталат (ПЭТ), собираются и сортируются для последующей переработки (Рис. 1).



Рис. 1. Сбор отходов пластмассы

- Переработка пластмассовых отходов: Собранные пластмассовые отходы перерабатываются с помощью различных технологий, таких как плавление, экструзия или формовка, чтобы получить специальные пластмассовые блоки или панели (Рис. 2).



Рис. 2. Переработка пластмассовых отходов

- Укладка пластмассовых блоков: Пластмассовые блоки или панели укладываются на подготовленное основание, обычно с использованием специального клея или соединительных элементов (Рис. 3).



Рис. 3. Укладка пластмассовых блоков

Пластмассовые дороги имеют несколько преимуществ по сравнению с традиционными дорожными материалами, такими как асфальт или бетон. Некоторые из основных преимуществ пластмассовых дорог включают:

1. Устойчивость к воздействию химических веществ: Пластмассовые материалы обладают высокой стойкостью к химическим веществам, включая топлива, масла и соли. Это делает пластмассовые дороги идеальными для использования в промышленных и химически активных областях.



2. Долговечность и низкая подверженность повреждениям: Пластмассовые дороги обладают высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям, таким как трение, износ, удары и разрушения. Они могут противостоять деформациям, трещинам и воздействию погодных условий, таких как морозы и перепады температуры.

3. Устойчивость к воде и влаге: Пластмассовые материалы обладают низкой водопоглощаемостью, что означает, что они не впитывают влагу и не подвержены разрушению от воздействия воды. Это помогает предотвратить образование трещин и улучшить долговечность дорожного покрытия.

4. Экологическая эффективность: Использование пластмассовых материалов в дорожном строительстве может способствовать сокращению объема отходов, поскольку они могут быть произведены из переработанных пластмассовых отходов. Это помогает снизить потребление природных ресурсов и содействует устойчивому развитию.

5. Легкость и простота установки: Пластмассовые дорожные элементы обычно легкие, что облегчает их транспортировку и установку. Они также могут быть легко адаптированы и перенесены в другие места, если это необходимо.

Важно отметить, что применение пластмассовых дорог все еще находится в стадии развития, и дальнейшие исследования и испытания могут быть необходимы для подтверждения их эффективности и долговечности в различных условиях эксплуатации.

В Нидерландах была разработана и внедрена концепция строительства пластмассовых дорог, известная как PlasticRoad (Рис.4).



Рис. 4. Пластиковая дорога в Нидерландах

PlasticRoad - это инновационная система дорожного покрытия, которая использует пластмассовые модули для создания устойчивых и долговечных дорожных покрытий. Интеграция инфраструктуры: Система PlasticRoad позволяет интегрировать различные инфраструктурные элементы, такие как кабели, трубы и дренажные системы, прямо внутри дорожного покрытия, что упрощает их установку и обслуживание. Использование переработанных пластмассовых отходов в строительстве PlasticRoad позволяет сократить объем отходов и снизить негативное воздействие на окружающую среду. PlasticRoad представляет собой инновацию в дорожном строительстве, которая постепенно внедряется в некоторых городах Нидерландов, включая город Зволле и провинцию Флеволанд.

### Литература

1. <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhnoe-pokrytie-iz-plastika>
2. <https://avtobd.ru/company/articles/1892/>
3. <https://teenage.by/article/dorogi-iz-plastika-put>

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВВЕДЕНИЯ МОДИФИКАТОРОВ НА ДЕФОРМАЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**Сузин С.А.**, магистрант кафедры «Автомобильные дороги»

***Аннотация:** В статье рассмотрены два способа введения модификаторов в асфальтобетонную смесь и их особенности влияния на деформационную устойчивость асфальтобетона дорожных покрытий.*

В Республике Беларусь наиболее распространенным типом покрытий являются асфальтобетонные, обладающие высокой прочностью, деформативностью, хорошим сцеплением с шинами автомобилей и другими положительными качествами. В то же время физико-механических и реологических характеристик свойств асфальтобетонной смеси становится недостаточным в связи с увеличением воздействия транспорта на асфальтобетонное покрытие. Также отечественный и зарубежный опыт показывает, что заменить в настоящее время асфальтобетон другими материалами для строительства покрытий автомобильных дорог довольно проблематично. Поэтому главное внимание должно быть направлено не только на совершенствование технологического процесса укладки асфальтобетонной смеси, но и ее приготовления с увеличением характеристик и качества (1).

Качество дорожных покрытий до сих пор является актуальным. Обычно асфальтобетонные покрытия на основе битума не способны обеспечить в условиях современного напряженного и интенсивного движения требуемых физико-механических свойств покрытий и их долговечность. Например, статистический анализ свидетельствует, что сроки службы дорожных покрытий, выполненных из битум-минеральных композиций, составляют всего 50-70% от нормативных. Низкая эластичность, недостаточные показатели трещиностойкости и температурного интервала работоспособности ограничивают применение изделий из них в жаркий летний период и зимой (2).

Достижение высоких показателей надежности и долговечности асфальтобетонных покрытий на основе традиционных материалов и типов асфальтобетона не всегда возможно. Наиболее распространенными способами повышения качества асфальтобетонов и его составляющих являются следующие:

- улучшение качественных характеристик крупного и мелкого заполнителя;

- изменение свойств битумов путем добавления модифицирующих добавок;

- непосредственное введение в смеситель специальных многокомпонентных добавок меняющие свойства битумов, а также свойства и структуру асфальтобетонной смеси в целом.

Для областей, не имеющих большого количества месторождений каменных материалов, более перспективно применение двух последних способов.

В данной работе использовались два экспериментальных образца добавки по двум различным способам модификации: тип А-модификация асфальтобетонной смеси при непосредственном ее приготовлении), тип В-с предварительной модификацией битума.

Добавка типа В (с предварительной модификацией битума) состоит из полимеров (линейного и радиального), дробленой регенерированной резины, сополимера этиленвинилоцетата и жидкого концентрата кальциевых соединений. Данный компонент является остаточным продуктом производства присадок и пакетов присадок к смазочным маслам и представляет собой двухфазную систему: жидкой фазы, являющейся коллоидной дисперсией карбоната кальция в сульфонате кальция, феноляте кальция, алкенилсукцинимиде; твердой фазы, которая преимущественно состоит из мелкодисперсного гидроксида кальция (размером 0,5 мкм – 0,1мм). Сбалансированный состав концентрата кальциевых соединений обеспечивает антиокислительными, противокоррозионными и диспергирующими свойствами битумные мастики, способствуя адгезии, стойкости к окислению и старению, однородности, трещиностойкости и пластичности покрытий. Изображение добавки типа В приведено на рис. 1



Рис. 1. Добавка типа В

Выявлен оптимальный компонентный состав модифицирующей добавки: каучук ДСТ линейный и радиальный, вторичные материалы: дробленую регенерированную резину, концентрат кальциевых соединений, бампера автомобильного, полиэтилен.

Согласно полученных данных добавка типа В позволяют придать асфальтобетону необходимую жесткость при высоких эксплуатационных температурах, а также эластичность и трещиностойкость в области низких температур. Введение в состав добавок придают вяжущему незначительное ухудшение эластичных свойств и приводит к увеличению температуры размягчения на  $21^{\circ}\text{C}$ , снижению температуры хрупкости на  $2,6^{\circ}\text{C}$ , повышению пенетрации на 31%, а также значительному улучшению адгезии к каменным материалам кислых пород.

Добавка типа А (модификация асфальтобетонной смеси при непосредственном ее приготовлении) состоит из полимеров (линейного и радиального) первичных и вторичных (стрейча, дробленого бампера) в равных частях, дробленой регенерированной резины, сополимера этиленвинилоцетата, воска, гудрона, целлюлозы. Добавка имеет вид гранул цилиндрической формы диаметром 8мм темно-серого цвета. Изображение добавки типа А приведено на рисунке 2



Рис. 2. Добавка типа А

Модифицирующая добавка типа А подавалась непосредственно на разогретый каменный материал в смеситель одновременно с подачей битума. Добавка хорошо растворяется в битуме при температуре 160-180°C.

Для оценки влияния модифицирующей добавки на качественные показатели асфальтобетонных смесей приготавливали мелкозернистые смеси с максимальным размером зерен каменного материала 20 мм с оптимальным содержанием исследуемой добавки (4 % от массы подаваемого в смесь битума для типа модификации В, 0,4% сверх 100% минеральной части асфальтобетонных смесей для типа модификации А).

Исследование свойств указанных смесей в зависимости от количественного содержания битума и типа смеси проводили на образцах приготовленных на установке «Benninghoven» ВА 200 U и в соответствии с требованиями СТБ 1033 (3).

Установлены закономерности влияния и границы варьирования содержания битума, щебня и модификатора на физико-механические свойства асфальтобетонов. При введении в асфальтобетонные смеси разработанные добавки предел прочности при сжатии при 50 0С повышается на 70-80% при одновременном снижении предела прочности при сжатии при 0 0С на 5-10%, улучшается водостойкость и снижается водонасыщение асфальтобетона. Температура перехода

в хрупкое состояние смещается в область более низких температур, что свидетельствует о сохранении асфальтобетонной смеси свойств, препятствующих образованию трещин.

Выводы: Изучение мирового и отечественного опыта применения модифицирующих добавок в асфальтобетонных смесях позволило определить теоретические и практические основы получения асфальтобетонных смесей повышенной деформационной устойчивости.

Наиболее эффективными способами модификации компонент асфальтобетонных смесей были определены следующие два типа:

1. Модификация типа А – технологический процесс модификации асфальтобетонных смесей с непосредственным введением добавки в смесительный агрегат при изготовлении асфальтобетонной смеси повышенной деформационной устойчивости.

2. Модификация типа В – технологический процесс изготовления асфальтобетонных смесей повышенной деформационной устойчивости с применением модифицированного вяжущего полученного путем предварительной модификации на специальных установках.

Оптимальный компонентный состав комплексных модифицирующих добавок включает каучук ДСТ линейный и радиальный, вторичные материалы: дробленую регенерированную резину, концентрат кальциевых соединений, бампера автомобильного, полиэтилен и пластификаторов - воска.

Рассмотренные модифицирующие добавки придают асфальтобетону необходимую жесткость при высоких эксплуатационных температурах, а также эластичность и трещиностойкость в области низких температур. При этом свойства битума характеризуются незначительным ухудшением эластичных свойств, увеличением температуры размягчения на 210С, снижением температуры хрупкости на 2,60С, повышению пенетрации на 31%, а также значительным улучшением адгезии к каменным материалам кислых пород.

Применение модифицирующих добавок позволило улучшить физико-механические свойства асфальтобетонных смесей: предел прочности при сжатии при 500С на 70-80% при одновременном снижении предела прочности при сжатии при 00С на 5-10%,

улучшить водостойкость и снизить водонасыщение асфальтобетона. Температура перехода в хрупкое состояние смещается в область более низких температур, что свидетельствует о сохранении асфальтобетонной смесью свойств, препятствующих образованию трещин.

Проведенные исследования подтверждают возможность получения дорожных асфальтобетонных смесей с повышенной деформационной устойчивостью к транспортным и погодноклиматическим воздействиям за счет применения разработанных комплексных модификаторов на основе проведенного сравнительного анализа с зарубежными и отечественными производителями аналоговых добавок.

### Литература

1. Долговечные асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, мостов и улиц / В.А. Веренько [и др.]; под ред. В.А. Веренько. – Минск : Арт Дизайн, 2015. – 296 с.
2. Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М. Повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона добавками полимеров. Автомобильные дороги. № 7 – 8, 1992. – С. 12 – 14.
3. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2013. – Введ. 31.10.2013. – Минск : Республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт», 2013. – 43 с.



## **ОПЫТ БОРЬБЫ СО СКОЛЬЗКОСТЬЮ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ**

**Шебеко Максим Русланович**, студент 5-го курса группы 11403319  
кафедры «Автомобильные дороги»

**Хомич Денис Витальевич**, студент 5-го курса группы 11403319  
кафедры «Автомобильные дороги»

(Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель)

Технологии обогрева дорожного покрытия являются одним из эффективных методов борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах за рубежом. Эти системы предотвращают образование льда и гололеда на дорогах, что значительно повышает безопасность движения.

Одним из примеров такой технологии является использование подземных тепловых систем. В этом случае, в дорожное покрытие укладываются тепловые трубы, через которые циркулирует нагретая жидкость или пар. Такая система позволяет поддерживать температуру дорожного покрытия выше точки замерзания, что предотвращает образование льда.

Еще одним примером технологии обогрева дорожного покрытия является использование электрических кабелей или нагревательных элементов. Эти элементы укладываются в дорожное покрытие и подключаются к электросети. При включении, они начинают нагреваться и поддерживать температуру покрытия выше точки замерзания.

Технологии обогрева дорожного покрытия активно применяются в таких странах, как Швеция, Норвегия, Финляндия и Канада, где суровые зимние условия создают высокую вероятность образования льда и гололеда на дорогах. Эти системы помогают поддерживать безопасные условия для движения и снижают риски аварий.



Рис. 1. Подогрев асфальтобетонного дорожного покрытия

Однако, стоимость установки и обслуживания таких систем может быть достаточно высокой, что ограничивает их применение в некоторых странах. Кроме того, необходимость постоянного энергопотребления таких систем также является ограничивающим фактором.

Тем не менее, использование технологий обогрева дорожного покрытия за рубежом доказывает их эффективность в борьбе с зимней скользкостью. Эти системы помогают обеспечить безопасное передвижение на дорогах в зимний период и снизить количество аварийных ситуаций. В будущем, развитие и совершенствование таких технологий может привести к их более широкому применению и в других странах, в том числе в странах СНГ.

Помимо технологий обогрева дорожного покрытия, существуют другие инновационные методы борьбы с зимней скользкостью. Они могут включать в себя использование специальных материалов для покрытия дорог, разработку новых типов шин с улучшенным сцеплением, а также применение технологий управления транспортными потоками и предупреждения о гололеде.

Например, в некоторых странах используются специальные дорожные покрытия с добавлением антигололедных реагентов, которые помогают предотвратить образование льда на дороге. Также разрабатываются новые типы шин с улучшенным сцеплением, которые обеспечивают лучшую устойчивость автомобиля на скользкой дороге.



Рис. 2а. Спустя 1 час после очистки. На переднем плане – участок с обычным асфальтом, посыпанным пескосоляной смесью. На заднем плане – участок с противогололедным покрытием.



Рис. 2б. Антигололедный асфальтобетон: спустя 3 часа после очистки

Кроме того, современные технологии позволяют устанавливать на дорогах датчики, способные определять наличие гололеда и автоматически предупреждать водителей о возможной опасности. Такие системы также могут быть связаны с системами управления транспортными потоками, чтобы минимизировать риск аварий из-за гололеда.

Таким образом, использование инновационных методов при борьбе с зимней скользкостью позволяет повысить безопасность на дорогах и улучшить условия движения в зимний период.

### **Литература**

1. [https://miit.ru/content/Статья%20в%20журнале%20Дорожная%20де-ржава.pdf?id\\_wm=780969](https://miit.ru/content/Статья%20в%20журнале%20Дорожная%20де-ржава.pdf?id_wm=780969)
2. <https://roszimdor.ru/press-tsentr/gilfanov-rustam-khalefovich-publikacii-priglasennykh-ehkspertov/zimnyaya-uborka-v-skandinavii-kakie-protivogolyednye-materialy-tam-ispolzuyutsya/>
3. <https://biotorg.com/info/181/1456/>

## ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Шершнёва Екатерина Александровна,**

**Сорокина Екатерина Валерьевна,**

студенты 5-го курса кафедры «Автомобильные дороги»

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, пр. Независимости 65, nicetortik@gmail.com

(Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель)

***Аннотация:** Научная статья посвящена инновационным технологиям в дорожном строительстве. Рассмотрен новый метод укладки тротуарного покрытия с применением 3D-печати. Представлено перспективное решение для оптимизации дорожного строительства и повышения эффективности использования ресурсов.*

***Ключевые слова:** 3D-печать, RoadPrinter ECO, дорожное покрытие, литий-ионная батарея, асфальтоукладчик.*

Инновационная технология 3D-печати в дорожном строительстве представляет собой использование специальных 3D-принтеров для создания дорожных элементов, таких как барьеры, бордюры, ограждения и т. д.

На сегодняшний день дороги из брусчатки переживают этап возрождения, поскольку их легко можно повторно использовать, они не растрескиваются, фильтруют воду и не расширяются при образовании льда, поскольку вода проходит через швы, далее отводится через слои основания.

RoadPrinter ECO- первая машина для укладки кирпича с питанием от аккумулятора. Эта машина позволяет быстро и эффективно укладывать дорожное покрытие, что снижает нагрузку на дорожных рабочих. Один заряд аккумулятора позволяет асфальтоукладчику работать целую неделю. Поскольку он питается от литий-ионной батареи, компаниям, занимающимся укладкой дорожного покрытия,

больше не приходится полагаться на использование генераторов, что приводит к уменьшению выбросов углекислого газа.

RoadPrinter Eco опирается на две специальные гусеницы шириной 300 мм, каждая из которых оснащена 8 фланцевыми катками, которые служат для равномерного распределения веса асфальтоукладчика между гусеницами, что обеспечивает оптимальное давление на грунт.

Асфальтоукладчик RoadPrinter позволяет уложить всю улицу шириной от 1 до 6 метров, включая края, за один проход. Поскольку машина также обеспечивает создание кромок, дорожным работникам больше не придется вставать на колени, чтобы выполнить эту задачу вручную. Благодаря прочной конструкции этот асфальтоукладчик практически не требует обслуживания. Он работает очень тихо и оснащен автоматическим рулевым управлением с помощью датчиков, поэтому он перемещается близко к подрамнику или бордюру.



Рис. 1. Укладка тротуарного покрытия с помощью RoadPrinter ECO

В базовой конфигурации асфальтоукладчик состоит из фиксированной секции шириной 4 метра. Удлинитель длиной от 0,5 до 1,5 метров могут быть установлены как с левой, так и с правой

стороны асфальтоукладчика, чтобы расширить зону его применения до 6 метров. Это делает RoadPrinter одинаково подходящим как для узких, так и для широких дорог.

### **Преимущества:**

- Никаких потерь топлива.
- Нет шума.
- Никакого обслуживания не требуется.
- В четыре раза прочнее, чем традиционные методы укладки.
- Идеально настроенные органы управления и моторизация делают машину менее подверженной сбоем.
- Никаких незакрепленных кабелей и проводов.
- Ленточный конвейер работает в три раза быстрее.



Рис. 2. Укладка тротуарного покрытия из кирпича бывшего в употреблении

### **Виды укладки тротуарной плитки:**

#### **1. «Елочка»**

RoadPrinter Eco гарантирует высокую производительность и превосходное качество независимо от того, используется ли ремонт из новых или бывших в употреблении кирпичей.

#### **2. Вертикальная «Елочка»**

Это практически то же самое, что и обычная елочка, но без треугольных брусчаток по краям. При этом остается небольшой зазор, который легко можно заполнить песком.

### 3. Брусчатка шириной 7 см с распиленными деталями

Распиленные детали используются все чаще, например, в брусчатке шириной 7 см, комбинация которой позволяет легко и эффективно укладывать дорожное покрытие с помощью RoadPrinter Eco, давая великолепный результат. Дорога полностью выкатывается из машины, поэтому детали крепления больше не нужно устанавливать вручную и не требуется никаких регулировок. Кроме того, RoadPrinter позволяет получить мощеную дорогу с аккуратным и чистым видом.

### 4. Брусчатка шириной 10 см.

Вдоль камней-подрамников кладут деревянные треугольники, чтобы потом все можно было аккуратно подровнять. Более того, эти деревянные детали обеспечивают плотное соединение в машине, что приводит к получению плотных прямых или диагональных линий. Новые камни укладываются в стопку половинного размера на устройство подачи асфальтоукладчика с помощью зажима для кирпичей.

### 5. Склеивание «Елочкой» под углом 90° для парковочных мест

RoadPrinter Eco все чаще используется для ремонта парковочных мест с клеевым слоем «елочка» под углом 90°. Дорога укладывается за один проход после правильной настройки машины, что крайне важно для получения высококачественного результата. После этого можно наносить разметку. Этот метод ремонта парковочных мест намного эффективнее, чем сначала складывать кирпичи в пакеты, а затем укладывать их с помощью зажима для кирпичей.

Таким образом, RoadPrinter Eco представляет собой перспективное решение для оптимизации дорожного строительства и повышения эффективности использования ресурсов.

## Литература

1. <https://roadprinter.nl/en/> ( RoadPrinter- системы дорожного покрытия)
2. <https://www.engineeringcivil.com/the-road-printer.html> (THE ROAD PRINTER)



## ENHANCING THE STRENGTH OF ASPHALT CONCRETE THROUGH RHEOLOGICAL PROPERTIES

**Ablakulov Abdunayim<sup>1)</sup>, Jamolov Saidkamolhon Khusankhon ugli<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Candidate of technical sciences, associate professor of the "Road survey and design" department, <sup>2)</sup> PhD student

Tashkent state transport university, 1, Temiryulchilar street, Mirabad, Tashkent, Uzbekistan, Saidkamolhon95@mail.ru

**Abstract:** *This article is devoted to the improvement of the rheological properties of asphalt concrete and its strength based on the addition of surfactants, secondary industrial waste and polymers. Additives used to increase the strength of asphalt concrete through the rheological properties of bitumen or asphalt concrete mixture, surfactants and polymers, were carried out in laboratory conditions and the results of the research are presented.*

**Keywords:** *Bitumen, asphalt concrete, surfactants, secondary industrial waste, polymers, production technologies, testing, physical and mechanical parameters, sample testing methods, etc.*

Asphalt-concrete pavements make up the majority of public highways in Uzbekistan. Ensuring the service life and durability of asphalt concrete pavements is one of the main problems. In recent years, the daily increase in the number of cars with high load carrying capacity in the traffic flow and the increase in the anomalous temperature in the summer season in Uzbekistan in the last 4 years, especially in the southern part of the republic, the temperature of the asphalt concrete surface has risen to 75-78 °C is a heavy burden. as a result of the impact of their cars, it causes various deformations and premature breakdown. In addition, the resulting deformations have a negative impact on road quality indicators and safe movement, and lead to a decrease in the speed of cars, which is the main indicator.

In order to prevent such situations, it is necessary to carry out research on the quality indicators of asphalt concrete with additional surfactants,

secondary industrial waste, polymers and their mixtures. It is planned to increase the durability of asphalt concrete in two ways:

- addition of surface-active substances to improve the physical and mechanical properties of bitumen added to asphalt concrete;
- adding surfactants to the asphalt concrete mixture.

To do this, we select the following additional substances:

Alfadob, "Honeywell 7686", "Titan 7686", mixture of crushed rubber powder with polymer, Topcell, Ekotop and Chrysopro were studied.

Alfadob, "Honeywell 7686" and "Titan 7686" are added to improve the physical and mechanical properties of bitumen.

The tolerance of the rheological properties of asphalt concrete is increased by mixing crushed rubber powder with polymer, and adding Topcell, Ekotop, and Chrysopro to the asphalt concrete mixture as a surface-active substance.

Alfadob is a liquid surface-active bituminous additive for improving the adhesion of bitumen to stone material based on organic ethers and industrial waste vegetable oils. Alfadob is added to the asphalt-concrete mixture in the proportion of 0.1-0.3% compared to bitumen. Alfadob provides extreme thermal stability (2-3 weeks in hot bitumen) and improves water absorption and crack resistance properties of the pavement surface [2].

Alfadob retains its quality indicators regardless of the physical and mechanical characteristics of the stone material. It creates a strong hydrogen bond between the bitumen and the limestone and provides perfect adhesion. It works not only with acid rocks (e.g. quartz, granite, porphyry, etc. / basic silicates), which form negatively charged  $\text{SiO}_2^-$  ions along with the moisture that is always present on their surface, but also with all the main types of rocks (e.g. dolomite, limestone, etc.) gives good results when used [3].

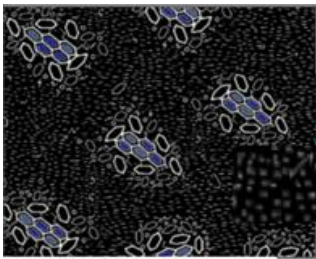
One of the multifunctional road construction composite materials made from polymer waste used in industry is the polymer "Honeywell 7686" containing polyethylene, titanium and wax. Honeywell specification 7686 is a low molecular weight, multi-functional, polyethylene-based wax optimized for effective bitumen modification. The viscosity of the polymer solution is very low. Therefore, the use of the surfactant "Titan 7686" allows manufacturers to significantly increase adhesion and save polymer.



B)



Figure 1. Appearance of the additive used to improve bitumen quality:  
 A) "Honeywell 7686" polymer B) Packaged view of "Titan 7686" surfactant



B)

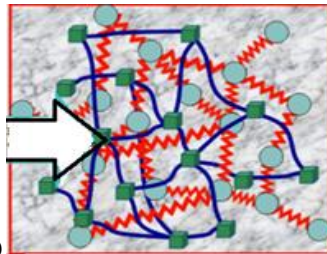


Figure 2. A) Structural structure of asphalt concrete mixture without polymer B) Structural structure of asphalt concrete with "Honeywell 7686" polymer and "Titan 7686" surfactant added to bitumen

### Advantages:

It ensures compliance with "GOST-9128-2013", increases cold resistance, improves elasticity, reduces the occurrence of cracks, enhances water resistance. By using a simple blending agent, the polymer is added to the bitumen and easily melts at 150°C. Additionally, after the asphalt concrete mixture is laid, it reduces the release of carbonate and anhydrite gases under hot climate conditions. It is possible to prepare the asphalt concrete mixture without any additional additives or directly add polymer-bitumen to the bitumen.

Additionally, one of the most common and promising projects in world practice is the enrichment of bitumen composition with thermoplastics, which combine the properties of thermoplastics and elastomers. By using these thermoplastics, it is possible to improve the quality of bitumen. In order to increase the quality of bitumen, it is advisable to add polymer in the proportion of 2.5-6% of the total mass of bitumen.



Figure 3. A) The process of pouring bitumen samples enriched with "Honeywell 7686" polymer into molds for testing in the laboratory

In this case, the quality indicators of asphalt concrete will be improved to some extent. We can see it in the table below [4].

Table 1. Physico-mechanical properties of "Honeywell 7686" polymer-added asphalt concrete

Name of indicators	Amount
Average density of asphalt concrete, kg/m <sup>3</sup>	2360
Water absorption	3,5
Porosity	0,1
Compressive strength at a temperature of 20 °C	3,8
Water resistance coefficient	1,21

In order to increase the durability of asphalt concrete, in order to enrich the bitumen composition with the help of surfactants, taking into account the above actions, we carry out the following works.

For this, the selected bitumen sample is placed in a metal container with a volume of about 10 liters and placed in a thermal cabinet with a thermometer. The bitumen sample is heated to a temperature of 145-155°C, while the temperature should not exceed 160°C. The reason is that

overheating of the temperature can change the properties of bitumen and materials added to it. When the bitumen is heated to the temperature indicated above, it is removed from the heating furnace and poured into the laboratory mixer. In addition, a 13% rubber solution and pre-crushed polyethylene are added in the required amount of gasoline [5]. The mixture is stirred at a temperature of 160-180°C for 1-1.5 hours until all components are completely combined. When the composition becomes homogeneous, it is poured into test molds and tested according to GOST-33137-2014. And the results are compared in Table 2 below.

Table 2  
BND 60/90 bitumen from modification previous and keying results

No. k/k	Indicators names	Measurement unit	In practice results		
			According to GOST	Bitumen real value	Modification when done value
1	Needle sunset depth At 25 °C At 0 °C	0.1 mm	61-90 from 20 less it's not	66.3 27	43 21
2	Softening temperature (people and ball by )	°C	from 47 less it's not	48.4	52.9
3	Elongation at 25 °C At 0 °C	cm	from 55 less it's not	72 3.7	59.4 3.9
4	Mortality temperature	°C	-15	-12.4	-14.6
5	Flash temperature	°C	230	from 230 high	from 230 high
6	Penetration index	-	(-1 ) to 1	-1	-0.7

In addition, pieces of rubber, which remain the main problem as secondary industrial waste, can be used in road construction. In this case,

only pieces of rubber can be added to the mixture after processing with polymer. In this case, pieces of rubber as shown in Figure 4 are prepared and processed with polymer (polybutadiene) under special conditions. And it comes in the following form.

This piece of rubber is mixed with limestone and bitumen at a temperature of 170-180 °C in a special mixer for 40-45 minutes. We will prepare 2 different samples based on the requirements of GOST-9128 for testing in the laboratory. The first sample is ordinary asphalt concrete, and the second is asphalt concrete with polymer-treated rubber particles. In this case, rubber is added in the amount of 12.5% of total bitumen and the following content is selected for sample preparation. In addition, asphalt concrete samples enriched with surfactants such as Topcell, Ekotop, Chrysopro are prepared.

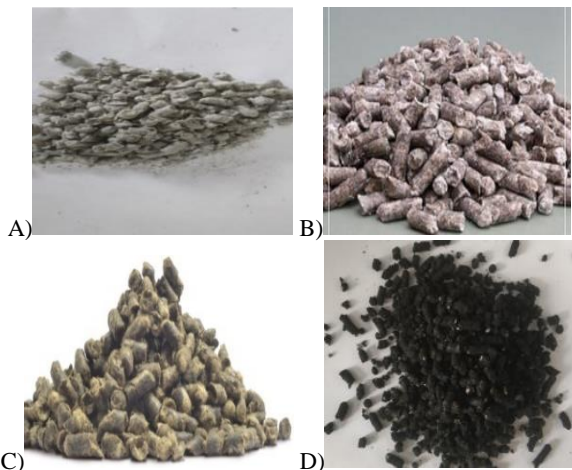


Figure 4. Surfactant additives. A) Topcel, B) Chrysopro C) Ecotop D) Rubber pieces treated with polymer

Based on the selected composition, samples are prepared for testing in the laboratory and the tolerance of its rheological properties is checked. In this case, its resistance to displacement is tested as follows. In this process, a sample in a water bath at a temperature of 50 °C, a test stamp of a universal press is made in a transverse view, and research is carried out according to the Marshall scheme [6].



B)

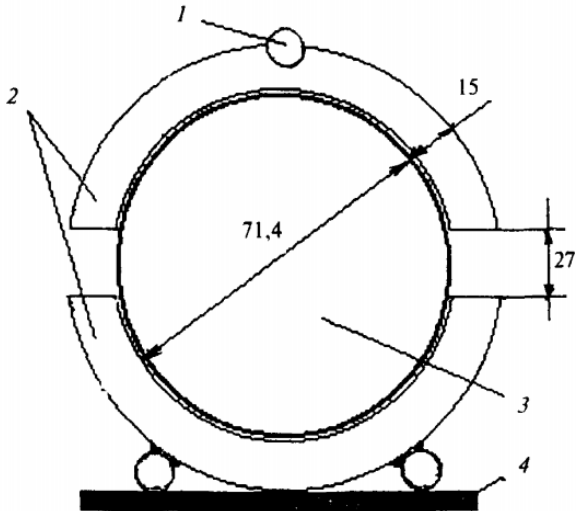


Figure 5. The process of checking the compressive strength of an asphalt concrete sample in a universal press: A) Anti-slip strength inspection process B) Scheme of the compressing device according to the Marshall scheme in a universal press; 1-hinge, 2-cylinder surface, 3-place for sample, 4-bottom plate.

In this process, the tension is checked by applying a tension of 20 (50)KN at a speed of 50 mm/min [7].

Then the following accounting work is done [7].

$$A = \frac{Pl}{2} \quad (1)$$

$A$  - Marshall unit for compression [Joule]

$P$  - supplied voltage

$l$  - test sample size in compression [mm]

Then the coefficient of internal friction of asphalt concrete  $\text{tg } \varphi$  is calculated according to the formula [7].

$$\text{tg } \varphi = \frac{3(A_m - A_c)}{3A_m - 2A_c} \quad (2)$$

$A_m$ ,  $A_c$ , - the average work of deformation of asphalt concrete tone samples when tested according to the Marshall scheme and uniaxial compression

After calculating these, we calculate the shear strength [7].

$$C_t = \frac{1}{2}(3 - 2\text{tg } \varphi)R_c \quad (3)$$

$R_c$  - sample compression limit [15 MPa].

After completing the above work, we compare according to GOST-9128-2013, GOST-31015 [6-7-8]. And we come to the following result [9-10]:

On the basis of the results of research conducted in laboratory conditions, based on the data presented in the tables, we can conclude as follows:

1. In order to increase the strength of asphalt concrete by enriching the bitumen composition with various surfactants listed above, it is implemented by increasing its rheological properties.
2. By adding additives prepared by mixing polymers with secondary industrial waste to the asphalt concrete mixture, it is possible to improve its rheological properties and increase its quality indicators and durability



Table 4

Comparison of physical and mechanical properties of asphalt concrete according to test results

No	The name of indicators	Unit change	According to GOST-9128	Actual Results				
				Without additives	Top cell	Rubber pieces	Ekotop	Xriz opro
1	Water saturation	%	1.5 - 4.0	1.5	2.9	3.3	3.5	3.3
2	Porosity of the mineral part	%	horse 14 do 19	17.2	16.7	13.7	14.6	14.2
3	Residual porosity	%	St. 2.5 do 5.0	4.2	3.6	4.8	1.9	1.5
4	Ultimate compressive strength at a temperature of 50 °C , not less than	MPa .	0.7	1.2	1.8	2.2	1.2	0.96
5	Ultimate compressive strength at a temperature of 20 °C , not less than	MPa	2.5	2.4	6.0	7.0	3.7	3.3
6	Ultimate compressive strength at 0 °C , no more	MPa	3.0-6.5	3.2	4.2	3.8	4.4	4.2
7	Water resistance, no less	-	0.75	0.79	0.83	0.99	0.80	0.96
8	Average density	g/cm3	-	2.35	2.35	2.39	2.39	2.40

### References

3. Raximov Sh.T., Xudoynazarova Q.J., “Kompozitsion materiallarning zamonaviy texnologiyalari”. O‘quv qo‘llanma, Toshkent-2021.
4. Ablakulov A., Jamolov S., “Improving the quality of bitumen used on roads. Literature review” "ИУСЭР" Экономика и социум, ISSN 2225-1545. №5(108) май 2023.
5. <https://industrial.honeywell.com/us/en/products/performance-additives/asphalt/paving/honeywell-titan-7686>

6. Chechulin D.V. Osnovi texnologii polimernix kompozisionnix materialov na osnove modifisirovannix neftyanix bitumov: Diss. kand. texn. nauk - Saratov, 2004. - 135s
7. Kasimov I.I, “Modifikatsiyalangan bitumlar asosidagi asfaltbeton va tom qoplamalarining strukturasi, xossalari va texnologiyasi” Toshkent–2020 Texnika fanlari bo‘yicha doktorlik (DSc) dissertatsiyasi 45-71-bet.
8. GOST-12801-98, “Materiali na osnove organicheskix vyajushix dlya dorojnogo i aerodromnogo stroitelstva”, metodi ispitaniy. Moskva-1999 Rossiya.
9. GOST 31015-2002 (smesi asfaltobetonnie i asfaltobeton tshebenochno-mastichnie.) Moskva-2003 Rossiya.
10. GOST 9128-2013 - smesi asfaltobetonnie, polimerasfaltobetonnie, asfaltobeton, polimerasfaltobeton. Moskva-2014 Rossiya.
11. Salixov M.G., Ilivanov V.Yu., Malyanova L.I. Izuchenie temperaturnogo stareniya modifisirovannogo tshebenochno-mastichnogo asfaltobetona s otxodami drobleniya izvestnyakov // modernizasiya i Nauchnie issledovaniya v transportnom komplekse. 2017. T.1. S. 216-220
12. Ablakulov A., Jamolov S., Ablullaev X, “Improve asphalt concrete’s physical and mechanical characteristics”, Scientific article, « IInd International Scientific Conference "Modern Materials Science: Topical Issues, Achievements and Innovations" (ISCMMSTIAI-2023) » the materials of this conference will be indexed in the Scopus, March 15-16, 2023, Tashkent, Uzbekistan

## STRENGTHENING OF SUBGRADE SOIL USING MODIFIER

**Kayumov Abdubaki Djalilovich,<sup>1)</sup> Hudaykulov Rashidbek Mansurjonovich<sup>2)</sup>, Aralov Dilshod Ergash ugli<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> Professor of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov. Republic of Uzbekistan, Tashkent city

<sup>2)</sup> Professor of Tashkent State Transport University. Republic of Uzbekistan Tashkent city, Mirabadsky district, Adylkhodjaev street 1  
Rashidbek\_19\_87@mail.ru

<sup>2)</sup> PhD student of Tashkent State Transport University. Republic of Uzbekistan Tashkent city, Mirabadsky district, Adylkhodjaev street 1  
dilshod.aralov.96@mail.ru

**Abstract:** *As a result of the type and number of cars moving on automobile roads and the movement of heavy trucks in their composition, various deformations occur in the road surface. As a result, the roads are being repaired before the required service period. Also, the issue of using local soils for the base layer of the automobile roads is urgent. In order to increase the stability of the road, it is possible to carry out soil stabilization works at the base of the road. In this article, laboratory research works on strengthening of subgrade soil with the help of modifier was carried out. The effect of the modifier on the reinforced soil has been studied.*

**Key words:** *subgrade, soil, strength, stabilizer, cement, Acropol GSM.*

**Introduction.** Currently, as a result of the increase in the number of heavy vehicles, the loads on the automobile roads are also increasing. As a result, various deformations occur before the service life of automobile roads. In addition, the shortage of raw materials used for the base layer of the road and the transportation costs of transporting the materials lead to an increase in the total cost of road construction. Therefore, in places where there is a shortage of local stone materials, the issue of using primers reinforced with binders is urgent. In order to increase the strength of local soils, the implementation of stabilization works by adding various

additives and modifiers to the subgrade soil is considered as an engineering solution.

**The main part.** In the climatic conditions of Uzbekistan, there is frequent precipitation in autumn, winter, and spring. One of the main indicators determining the strength of the road depends on the calculated parameters of the road base soil ( $E$ -module of elasticity,  $\varphi$ -angle of internal friction,  $C$ -bond strength) [1]. It is known that the road base loses its strength as a result of the impact of waterlogging of the soil. This causes various deformations in the pavement due to the movement of heavy vehicles on automobile roads [2,3,4]. For this reason, the application of the Acropol GSM modifier, which is currently widely used in practice and produced by foreign countries, to the road base has been experimentally tested in laboratory conditions.

Modifier Acropol GSM is produced by the company “STRIM” of the Russian Federation. Acropol GSM – soil crystallize based on compounds of alkaline earth metals and products of hydrothermal synthesis of silicic acid and amphoteric metals. Designed for the construction of soil-cement roads of categories II-IV and road bases of categories I-IV in various climatic zones. Significantly increases the strength of the road base. As a result of the use of the material, a very durable and flexible layer of road surface is formed, connected at the molecular level [5].

**Method.** First, in laboratory conditions, the soil type was determined according to GOST 25100 [6] and the maximum density at optimal moisture according to GOST 22733 [7]. According to it, it was determined that the grunt type is sandy loam (supes) (Table 1).

Table 1

Humidity at the yield point, $W_y$ %	22,3
Humidity at the rolling point, $W_r$ %	16,6
Plasticity number, $I_p$	5,7
Optimal humidity, $W_{op}$ %	14,5
Maximum dry density soil, $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	1,83

Then the laboratory work was carried out according to GOST 23558-94 [8] according to the scheme shown in Fig. 1. Accordingly, M400 brand Portland cement is added to the soil in the amount of 4% and 6%, the Acropol GSM modifier is added to the soil in the amount of 0,10%, 0,12%, 0,14%, 0,16% and 14% of water was added to achieve optimal moisture,

and samples were prepared using a press. Portland cement is one of the most common and inexpensive mineral binders used to strengthen the soil.

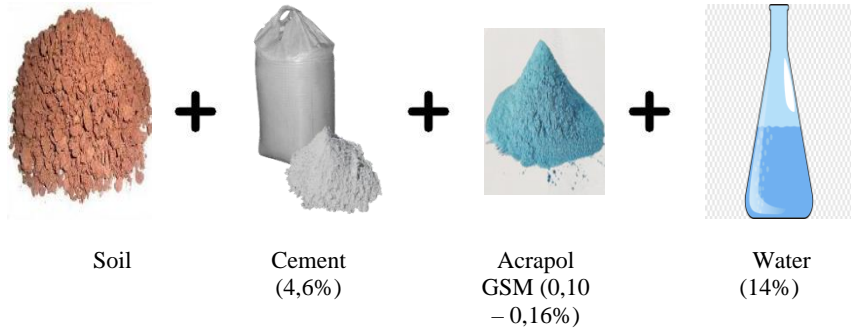


Fig. 1. Scheme of preparation of reinforced soil samples under laboratory conditions

**Results.** The samples were dried for 28 days and their maximum density was determined (Table 2-4).

Table 2

Soil		Soil + 4% cement		Soil + 6% cement	
Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>
2,08	1,86	2,10	1,88	2,10	1,88

Table 3

Soil + 4% cement +Acrapol GSM (0,1-0,16%)							
Acrapol 0,10%		GSM –		Acrapol 0,12%		GSM –	
Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>
2,10	1,89	2,11	1,90	2,12	1,90	2,10	1,88

Table 4

Soil + 6% cement +Acrapol GSM (0,1-0,16%)							

Acropol 0,10% GSM –		Acropol 0,12% GSM –		Acropol 0,14% GSM –		Acropol 0,16% GSM –	
Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when wet, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Density when dry, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>
2,10	1,88	2,10	1,89	2,12	1,90	2,11	1,89

The compressive strength of the finished samples was checked using a modern “Universal Test Machine” press. The results are displayed on a computer graph (Fig.2).

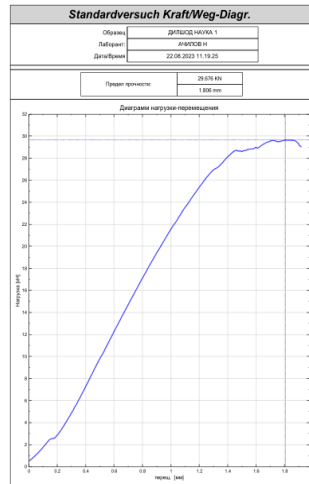


Fig. 2. Results from the “Universal Test Machine” press in graphic form

As a result of processing the results of the study, the compressive strength of the reinforced soil in the mixture of soil and cement without adding a modifier is shown in Table 5, and the result when a modifier is added is shown in the graph in Fig. 3.

Table 5

Compressive strength, R, MPa		
Soil	Soil + 4% cement	Soil + 6% cement
3,6	7,29	8,39

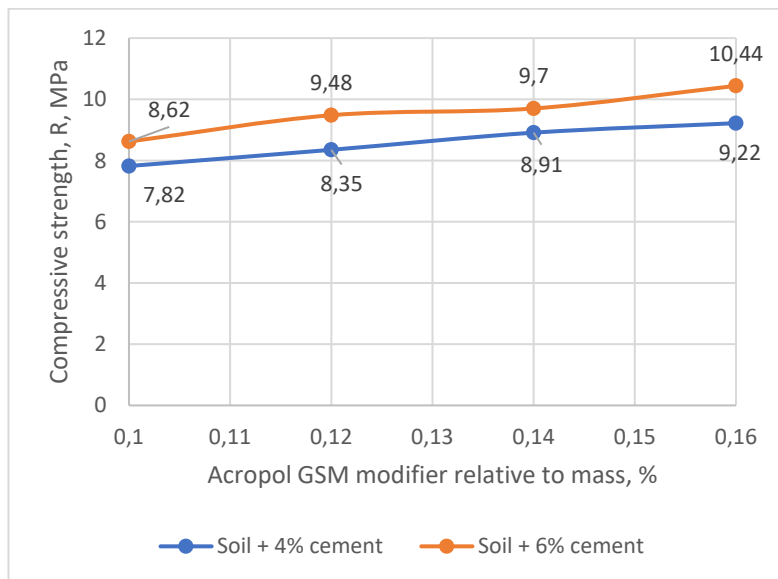


Fig. 3. A graph of changes in compressive strength when a modifier is added to reinforced soil

**Conclusion.** Laboratory studies showed that the modifier increased the strength of the primer. Taking into account the climatic conditions of Uzbekistan, the use of stabilization works at the base of the road makes it possible to reduce the volume of earthworks, reduce the consumption of transported sand and gravel materials, ensure the elevation of the slope and the priority of the base, reduces unevenness of subsidence and increases the service life of the road.

## References

1. Р.М.Худайкулов, Б.Д.Салимова, Д.Э.Аралов “Стабилизатор грунта” Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. Материалы III Международной научно-технической конференции. Минск, БНТУ, 2022
2. Худайкулов Р.М. Обоснование расчетных характеристик засоленных грунтов насыпей земляного полотна. Диссертация на доктора философии (PhD) по техническим наукам. Ташкент-2018 г. 134 с.
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. 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
5. 5. Акропол ГСМ.  
[https://strim.ru/catalog/ukreplenie\\_i\\_stabilizatsiya\\_gruntov/akropol\\_gsm/](https://strim.ru/catalog/ukreplenie_i_stabilizatsiya_gruntov/akropol_gsm/) [electron resurs].
6. 6. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Москва Стандартинформ 2018
7. 7. ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Москва Стандартинформ 2016
8. 8. ГОСТ 23558-94 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическим и вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.