

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций

**ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
И ЕГО ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**Материалы
Международной научно-технической
конференции**

**Минск
БНТУ
2021**

УДК 625.7/8:658.51(06)

ББК 39.311я43

Д69

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

кандидат технических наук, доцент С.Е. Кравченко

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

Технические редакторы:

старший преподаватель С.Н. Соболевская;

старший преподаватель В.А. Ходяков

Составитель

В.А. Ходяков

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

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Автомобильные дороги»	4
Секция «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии»	172
Секция «Математические методы в строительстве»	211
Секция «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»	274
Секция «Мосты и тоннели»	396
Секция Студенческая.....	462

**Секция
«Автомобильные дороги»**

Вопросы обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь

Адашкевич В.И., Шишко Н.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В статье рассматриваются проблемные вопросы обеспечения безопасности дорожного движения и возможные пути их разрешения.

Развитие современного общества неразрывно связано с уровнем развития транспорта, поскольку именно он позволяет сближать населенные пункты, перемещает людей, товары, создавая и поддерживая тем самым определённый уровень комфорта. Важность транспорта определяется теми усилиями, которые государство затрачивает на его развитие. В числе лидеров по количеству перевозимых пассажиров и грузов в мире, в целом, и в Беларуси, в частности, является автомобильный транспорт. Однако, как практически любое достижение современной цивилизации, транспорт несет в себе определенные угрозы. Пожалуй, главная угроза, которую таит в себе автомобильный транспорт, – это дорожно-транспортные происшествия и их последствия. В данной статье предполагается рассмотреть некоторые негативные факторы, способствующие возникновению ДТП, а также возможные пути их устранения.

Статистика Всемирной организации здравоохранения свидетельствует о том, что около 1,5 млн. человек в мире погибает в результате ДТП. По данным Национального статистического комитета (Белстат), в результате невнимательного вождения в дорожно-транспортных происшествиях погибли 745 человек, что составляет 19% процентов от всех аварий со смертельным исходом в стране в 2019 году. Снижение смертности в результате ДТП и дорожного травматизма за последние годы - положительный результат, что отмечается, в том числе и международными организациями. Это связано с реализацией специальных программ, направленных на сни-

жение количества ДТП и тех негативных последствий, которые они влекут.

В числе главных направлений реализации упомянутых выше программ следует отметить совершенствование нормативно-правового обеспечения деятельности в сфере обеспечения безопасности дорожного движения. Актуальность данного направления связана, в первую очередь, с динамичностью общественных отношений в сфере обеспечения транспортной безопасности в целом и обеспечением безопасности дорожного движения в частности. Остановимся на некоторых аспектах нормативного регулирования, влияющих на эффективность обеспечения безопасности дорожного движения.

Во-первых, отмена ответственности за превышение установленной скорости движения транспортного средства на величину менее 10 километров в час. Опасность подобного превышения особенно негативно сказывается на безопасности участников дорожного движения в населённых пунктах, где в большинстве случаев действующие на территории Республики Беларусь Правила дорожного движения допускают движение транспортного средства со скоростью не более 60 километров в час. Превышение указанного скоростного лимита на 10 километров в час приводит в большинстве случаев к гибели пешеходов и велосипедистов, ставших участниками дорожно-транспортного происшествия. Мировые стандарты безопасности в настоящее время устанавливают в качестве оптимального скоростного режима в населённых пунктах ограничение скорости в 50 километров в час как обеспечивающего должную безопасность наименее защищённых участников дорожного движения. Возможно, является целесообразным рассмотрение в законодательстве возможности введения ограничения скорости движения в населённых пунктах в соответствии с существующими международными стандартами, что также позволит снизить показатели смертности и травматизма на дорогах и улицах страны.

Во-вторых, проблемы реализации программ подготовки водителей и утверждённого порядка допуска к управлению транспортными средствами. В частности, в программах увеличено количество часов, отводимых на практическое обучение кандидатов в водители, усложнены требования к итоговым испытаниям. Вместе с тем современные реалии управления транспортными средствами, требуют

пристального внимания к получаемым навыкам, в первую очередь, вождения в различных условиях движения. Удачным примером можно считать опыт Финляндии, когда водитель проходит обучение вождению в различные сезоны года, что, несомненно, снижает его шансы стать участником ДТП и позволяет избежать более тяжких последствий для всех участников дорожного движения.

В-третьих, серьезную проблему при обеспечении безопасности дорожного движения представляет собой агрессивное вождение. Эта проблема носит комплексный характер и требует активной совместной работы общества и государства. Мерой борьбы с подобного рода нарушителями следует считать принципиальное и объективное отношение уполномоченных должностных лиц, в первую очередь, сотрудников ГАИ по обеспечению безопасности дорожного движения, к совершаемым ими нарушениям правил дорожного движения.

Особо следует заострить внимание на проблеме агрессивного вождения, которое существует во всех странах мира, в т. ч. и в РБ. Данное явление достаточно часто встречается среди водителей на дорогах нашей страны и имеет однозначно негативные последствия, поскольку зачастую связано с пренебрежительным отношением к правилам дорожного движения, что становится причиной ДТП с различными последствиями, включая гибель и ранения людей. Сложности привлечения к ответственности таких нарушителей обусловлены как отсутствием на сегодняшний день эффективных механизмов контроля, так и законодательной неопределённости самого термина, описывающего агрессивное вождение. Однако это не означает, что проблема не имеет решения либо не осознаётся государственными органами власти.

Необходимо выступить с инициативой внесения изменений в Правила дорожного движения путем включения в них определения опасного вождения, которое включает в себя совершение следующих неоднократных действий, создающих опасность и связанных с нарушением Правил дорожного движения:

- невыполнение при перестроении требования уступить дорогу транспортному средству, пользующемуся преимущественным правом движения;
- перестроение при интенсивном движении, когда все полосы движения заняты;

- несоблюдение безопасной дистанции до движущегося впереди транспортного средства;
- несоблюдение бокового интервала;
- необоснованное резкое торможение;
- препятствование обгону.

Подобное определение опасного вождения, как и любое оценочное понятие, вызывает разногласия у различных экспертов по поводу количества характеризующих его признаков и их содержания. В случае закрепления данного понятия в Правилах дорожного движения возникает сложность его применения при привлечении виновных лиц к административной ответственности, поскольку в настоящее время не имеется отдельного состава правонарушения, содержащего данный термин, равно как не учитывается опасное вождение и в качестве обстоятельства, отягчающего ответственность.

В-четвертых, выявление лиц, грубо нарушающих правила дорожного движения, требует от УГАИ УВД принятия дополнительных мер по совершенствованию способов выявления и фиксации подобных нарушителей. В настоящее время разрабатывается новая для деятельности Госавтоинспекции форма несения службы – патрулирование автомобилями без цветографической схемы, оборудованными средствами видеофиксации инспектором дорожно-патрульной службы, осуществляющим свои должностные полномочия в гражданской форме одежды (скрытое патрулирование). Тем самым УГАИ УВД планирует оказать серьезное влияние на формирование законопослушного поведения у участников дорожного движения.

Краткий анализ актуальных, на наш взгляд, проблем обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь показывает, что, несмотря на серьезные меры, предпринимаемые по снижению количества ДТП и гибнущих в них людей, есть ряд факторов, которые требуют законодательного регулирования. Это касается установления новых скоростных лимитов в населенных пунктах, введения понятия опасного вождения и установления ответственности за него.

Предпринимаемые действия по обеспечению безопасности дорожного движения должны соответствовать наиболее серьезным видам нарушений правил дорожного движения, создающим угрозу

для жизни и здоровья водителей и пешеходов. При этом необходимо учитывать тот факт, что внедрение новых форм работы правоохранительных органов, введение дополнительной ответственности не могут дать одномоментного улучшения ситуации со смертностью и травматизмом на дорогах. Результат будет очевиден, когда по прошествии определенного времени с помощью реальных показателей станет возможна оценка эффективности предпринятых мер.

Литература

1. Правила дорожного движения Республики Беларусь 2020 [Электронный ресурс] <https://adrive.by/Interactive.aspx>.
2. Статистика ДТП в Беларуси за 2019 год. Как организации могут повысить безопасность своих водителей? [Электронный ресурс] <https://resurscontrol.com/blog/statistika-dtp-v-belarusi-za-2019-god>.
3. Моржаретто, И. Как готовят водителей в Германии и Финляндии // За рулем [Электронный ресурс] // URL:[http://www.zr.ru / content / articles / 707636-avtoshkoly-mozhno-po-russki](http://www.zr.ru/content/articles/707636-avtoshkoly-mozhno-po-russki).
4. Изменить КоАП и ПДД, чтобы наказать "учителей" и автохамов [Электронный ресурс] <https://www.abw.by/novosti/rb/191768>.

Перехватывающие парковки как способ борьбы с транспортной загруженностью крупных городов (на примере г. Ташкента)

Азизов К.Х., Терпак А.А.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

Городская транспортная сеть – это «кровеносная система» города, а загруженность дорожных участков в виде пробок образуют своего рода «тромбы». Так сложилось, что необходимость населения в транспортных перевозках крайне неравномерна по времени и по направлениям. Одной из главной задач для города является обеспечение удобства и оптимального времени поездки.

С каждым годом в Ташкенте наблюдается стремительный рост автомобильного парка. На 1 января 2020 года в Ташкенте проживает порядка 2,62 миллионов человек. Если взять данный показатель и разделить на число зарегистрированных в городе автомобилей личного пользования, то в среднем на троих жителей приходится два автомобиля. При таком количестве автомобилей заполняемость дорог лишь вопрос времени. Как показывает статистика сервиса Яндекс пробки, город буквально начинает стоять в промежутке времени между 7:00 – 9:30 утром и с 17:30 – 19:30, когда после рабочего дня большинство жителей отправляются домой. Уровень загруженности города в данный промежуток времени составляет 7 баллов согласно интернет-ресурсу «Яндекс пробки», рисунки 1 и 2.

Из диаграммы следует, что в утренние и вечерние часы пик дорожная обстановка ухудшается, что отчётливо видно по сервису «Яндекс пробки», где наивысший балл – это образование пробок.

Борьба с пробками происходит ежедневно. Но успехов в этой борьбе добиваются только те города, которые пытаются как-то повысить привлекательность и комфортабельность общественного транспорта для граждан, которые, в свою очередь, могут отказаться от личного транспорта в пользу общественного. Американский экономист Энтони Даунс привел следующую гипотезу по этому явлению: «Если в густонаселённом городе автомобили более или менее

доступны среднему классу, то, сколько бы ни было построено различных дорог и развязок, они со временем, в любом случае, будут загружены» [1].

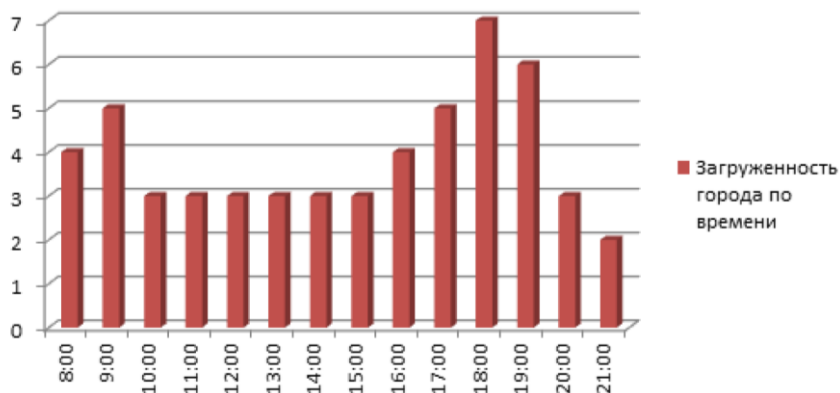


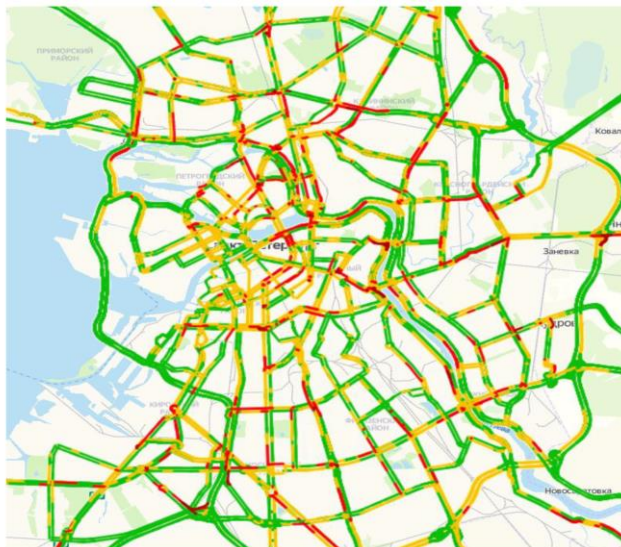
Рис. 1. Диаграмма загруженности города по времени

Перехватывающая парковка как способ борьбы с городскими пробками

Личный автомобиль во многом, конечно, более удобен по сравнению с общественным транспортом. Для многих жителей главной причиной выбора личного автомобиля является как раз- таки комфорт. Но стоит ли комфорт того времени, которое большинство жителей тратят, стоя в пробках?

Совмещение личного и общественного транспорта с использованием специальной автостоянки, которая носит название «Перехватывающая парковка» – к этой идее пришли многие страны, такие как Франция, Германия, Нидерланды, Америка, Россия, Украина, Белоруссия и др. [2], и на протяжении многих лет уже проверяют ее на практике.

Перехватывающая парковка – это автостоянка, которая размещается неподалёку от станций или остановок общественного транспорта. Идея создания таких парковок заключается в том, чтобы люди совмещали как личный, так и общественный транспорт. Например, жители едут на личном автомобиле до метро, оставляют его на перехватывающей парковке, а затем едут уже на метро, тем самым разгружая дорожные участки города [3].



а) карта-схема дорожной обстановки по Яндекс картам (красным показаны участки дорог со сложной дорожной обстановкой)



б) карта-схема дорожной обстановки по Яндекс картам (жёлтыми показаны участки дорог с небольшими задержками)

Рис. 2. Загруженность города в часы пик

Опыт использования перехватывающих парковок развитыми странами, такими как Германия, США, Япония, Канада и другими, на протяжении многих лет говорит о том, что данная идея себя пол-

ностью оправдывает [4]. По оценке экспертов из разных стран, постройка данных сооружений снижает нагрузку на дорожных участках города приблизительно на 10%.

В большинстве государств перехватывающие [5] стоянки организованы за пределом города по возможности как можно ближе к станциям общественного транспорта или организованы специальные маршруты от стоянки до мест пересадки на общественный транспорт или от стоянки до центра города. Вместимость этих стоянок составляет от 500 до 4 тыс. автомобилей, как правило, перехватывающие стоянки строятся многоуровневыми для экономии места.

В настоящее время в г. Ташкенте отсутствуют перехватывающие парковки и если не предпринять никаких мер, то УДС города не справится с таким количеством транспортных средств. Одним из возможных решений по снижению нагрузке на УДС города – это перехват автомобилей с областными номерами с помощью перехватывающих парковок.

Проведя исследования существующего состояния дорожного движения на подходах к г. Ташкент, а именно посчитав количество транспортных средств с областными и городскими номерами, для примера возьмём подход к г. Ташкент со стороны автомобильной дороги М39 “г. Алма-Ата – г. Ташкент – г. Термез” следует, что количество автомобилей с областными номерами составляет порядка 40 – 50 % от количества автомобилей с городскими номерами в таблице 1.

Для изучения характеристик транспортного потока на улицах города проведены исследования по определению состава движения (рис. 3), скорости движения, пропускной способности улиц и оценке уровня загрузки движения.

На диаграмме показано соотношение количества транспорта по видам: ЛТ – легковые ташкентские; ЛИ – легковые иногородние; ЛГ/Т – легкие грузовые ташкентские; ЛГ/И – легкие грузовые иногородние; СГ/Т – средние грузовые ташкентские; СГ/И – средние грузовые иногородние; ТГ/Т – тяжёлые грузовые ташкентские;

Таблица 1. Сведения о количестве транспортных средств с областными и городскими номерами на подходе к г. Ташкент со стороны автодороги М39 Алма-Ата – Ташкент – Термез

Время, ч	9-10	10-11	11-12	12-13	Всего	Время, ч	15-16	16-17	17-18	Всего
Л/Т	641	606	551	497	2295	Л/Т	504	532	627	1663
Л/И	289	302	313	268	1172	Л/И	274	317	310	901
ЛГ/Т	33	31	30	29	123	ЛГ/Т	27	32	30	89
ЛГ/И	21	19	19	20	79	ЛГ/И	16	19	20	55
СГ/Т	9	12	14	11	46	СГ/Т	12	11	10	33
СГ/И	8	10	12	8	38	СГ/И	11	11	9	31
ТГ/Т	2	4	4	2	12	ТГ/Т	2	3	2	7
ТГ/И	2	1	2	1	6	ТГ/И	4	5	4	13
АП/Т	1	0	2	1	4	АП/Т	0	1	0	1
АП/И	2	1	2	1	6	АП/И	0	0	0	0
А/Т	23	24	23	23	93	А/Т	22	24	23	69
А/И	5	4	4	3	16	А/И	4	5	4	13
Всего	1036	1014	976	864	3890	Всего	876	960	1039	2875

Примечание: ЛТ – легковые ташкентские; ЛИ – легковые иногородние; ЛГ/Т – легкие грузовые ташкентские; ЛГ/И – легкие грузовые иногородние; СГ/Т – средние грузовые ташкентские; СГ/И – средние грузовые иногородние; ТГ/Т – тяжёлые грузовые ташкентские; ТГ/И – тяжёлые грузовые иногородние; АП/Т – автопоезда ташкентские; АП/И – автопоезда иногородние; А/Т – автобусы ташкентские; А/И – автобусы иногородние.

ТГ/И – тяжёлые грузовые иногородние; АП/Т – автопоезда ташкентские; АП/И – автопоезда иногородние; А/Т – автобусы ташкентские; А/И – автобусы иногородние.

Из циклограммы (рис. 3) следует, что поток легковых автомобилей (л) составляет 92% всего транспортного потока, остальные — это легкие грузовые автомобили (лг) – 3%, средние грузовые (сг) - 1, На автомобильных дорогах наиболее объективным показателем, характеризующим работу дороги, является скорость движения транспортного потока по всей протяженности дороги.

тяжёлые грузовые (тг) - 1, автопоезда (ап) - 1% и автобусы составляют – 2%.

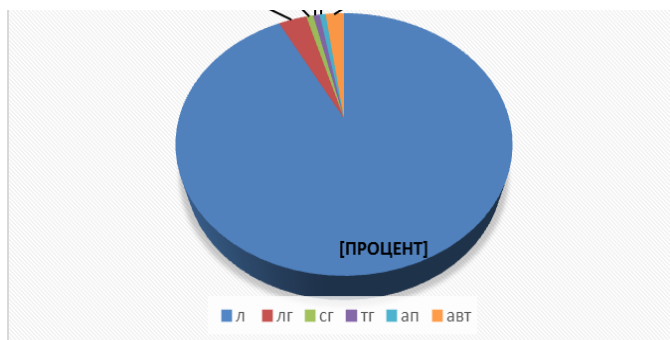
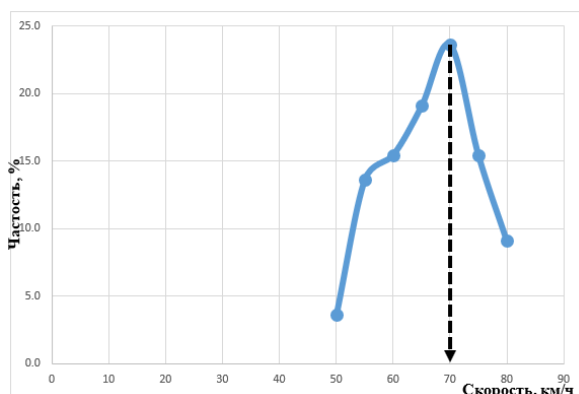


Рис. 3. Циклограмма состава транспортного потока на подходе к г. Ташкент

Чтобы определить показатель работы дороги, провели замеры мгновенной скорости движения транспортного потока после чего построили графики кривой распределения (рис. 4) и кумулятивной кривой (рис. 5) [6].



по автодороге М39 “г. Алма-Ата – г. Ташкент – г. Термез”
Рис. 4. Кривая распределения на подходе к г. Ташкент по автодороге М39 “г. Алма-Ата – г. Ташкент – г. Термез”

Из рис. 4 следует, что кривая распределения на подходе к г. Ташкент по автодороге М39 “г. Алма-Ата – г. Ташкент – г. Термез”,

которая показывает величину модальной скорости равную 70 км/ч, это скорость, с которой движется большинство автомобилей.

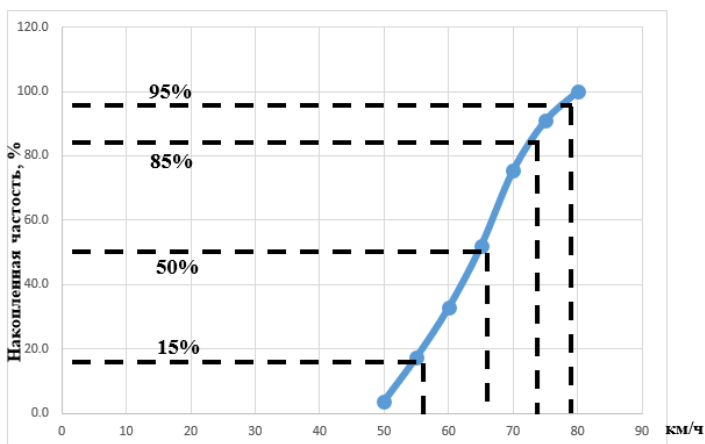


Рис. 5. Кумулятивная кривая для магистральной улицы М39 “г. Алма-Ата – г. Ташкент – г. Термез”

Из рис. 5 с помощью кумулятивной кривой определили скорости, на входе в город по дороге М39 “г. Алма-Ата – г. Ташкент – г. Термез”, соответствующие 15, 50, 85, 95 %-ной обеспеченности. Скорость 15%-ной обеспеченности по графику кривой равна 55 км/ч. Скорость 50 %-ной обеспеченности равна 65 км/ч. Для дальнейшего исследования плотности, пропускной способности и уровня загрузки движением магистральных дорог мы берем значения скорости 85 %-ной обеспеченности, которая равна 73 км/ч. Скорость 95 %-ной обеспеченности равна 79 км/ч.

Заключение

Перехватывающие парковки теперь уже являются неотъемлемой частью городской транспортной инфраструктуры. За годы мировой практики данная концепция вполне оправдала все ожидания.

Создание подобного рода стоянок в нашей стране, в частности, в крупных городах страны было бы небольшим шагом к тому, чтобы жители отказались от личного автомобиля в пользу общественного транспорта, дабы хоть как-то уменьшить загруженность городских улиц. Из проведенных исследований, следует, что интенсивность транспортного потока на подходе к городу в утренние часы пик,

составляет 3890 автомобилей, а в вечерние часы пик 2875 автомобилей, из которых 40 – 50 % это легковые автомобили с областными номерами, которые увеличивают нагрузку на улично-дорожную сеть города.

Так же не стоит забывать о том, что перехват является лишь связующим звеном между личным автомобилем и общественным транспортом. Если мы хотим, чтобы пассажиры чувствовали себя комфортно, то вместе с этим необходимо также модернизировать и сам общественный транспорт, создавая транспортно-пересадочные узлы, которые способствуют сокращению времени, затраченному на путь, пересадки и переходы.

Литература

1. Майоров, Н. Н. Моделирование транспортных процессов: учебное пособие / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - СПб.: Изд-во ГУАП, 2011. - 163 с. Андронов, С.А. Введение в интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие / С. А. Андронов, В. А. Фетисов; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - СПб.: Изд-во ГУАП, 2017. - 251 с.

2. Размещение новых перехватывающих парковок на территории Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – URL: <https://regnum.ru/news/society/2839263.html> (дата обращения: 10.10.2021).

3. Перехватывающие парковки – спасение от пробок [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.metrimfo.ru/novostroyki/articles/perehvatyvayuschie-parkovki-spasenie-ot-probok.38120.html> (дата обращения: 10.10.2021).

4. Адреса перехватывающих парковок в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]. – URL: <http://gcup.spb.ru/perehvatyvajuschie-avtostojanki/adresa-i-rezhim-raboty-perehvatyvajuschih-avtostojanok/> (дата обращения: 10.10.2021).

5. Менделев Г.А. Транспорт в планировке городов: Учебное пособие /МАДИ(ГТУ). М., 2005, 135 с.

6. Азизов К.Х. «Основы организации безопасности движения»; Учебник для вузов. – Т.: “Fan va texnologiya”, 2012. 272 с.

Отличительные признаки классификации грунтов в нормативных документах

Бабаскин Ю.Г.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В работе проанализированы таксономические единицы двух стандартов ГОСТ 25100-2020 и СТБ 943-2007. В статье подробно рассмотрены отличительные и одинаковые характеристики обоих стандартов.

Ключевые слова: стандарт, грунт, классификация, таксономические единицы, горная порода, песок, пыль, глина.

С 01.01.2021 введен в действие ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация», который принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации. В Республике Беларусь действует стандарт СТБ 943-2007 «Грунты. Классификация».

Эти нормативные документы классифицируют грунты по классам, в ГОСТе 25100-2020 грунты подразделяются на три класса: скальные, дисперсные и мерзлые, в СТБ 943-2007 грунты подразделяют на два класса: класс грунтов с жесткими структурными связями (класс скальных грунтов) и класс грунтов без жестких структурных связей (класс нескальных дисперсных грунтов).

ГОСТ 25100-2020 содержит два обязательных приложения, к которым относятся основные показатели состава и свойств грунтов, а также разновидности грунтов. Эти приложения являются рекомендательными. А также два приложения, в которых предложены основные термины и их соответствие наименованиям, используемые для дисперсных грунтов в международных стандартах и документах, рассмотрены как справочный материал.

В СТБ классификация мерзлых грунтов отсутствует. С нашей точки зрения, промерзаемые грунты на территории Республики Беларусь, не относятся к многолетним промерзаемым, на которых необходимо учитывать особенности строительства.

В обоих стандартах таксономические единицы свидетельствуют об отсутствии в подтипе (ГОСТ 25100) и подгруппе (СТБ 943-2007) гипабиссальных (жильных) магматических пород, которые представляют промежуточные формации между интрузивными и эффузивными, поскольку магма застывала в трещинах, и поэтому скорость остывания занимает промежуточное положение, что отражается на формировании структуры. В этом случае непонятно к какому виду по происхождению относить такие горные породы, как пегматиты, гранит-порфиры, габбро-диабазы и другие.

В СТБ отсутствует разделение магматических пород на виды от ультракислых до ультраосновных. А при разделении метаморфических горных пород отсутствует контактный метаморфизм, к которому относятся такие распространенные горные породы, как мрамор, роговики и другие.

В классификации скальных грунтов, разновидности по пределу прочности на одноосной сжатие в водонасыщенном состоянии, одинаковы. В СТБ отсутствуют классификации: по прочности скелета грунта, пористости и коэффициенту выветрелости, которые имеют место в ГОСТе. И, наоборот, в ГОСТе отсутствуют классификации: по степени засоленности, степени растворимости в воде и по температуре, которые имеют место в СТБ. По коэффициенту размягчаемости разновидности одинаковы, однако, буквенное обозначение разное: ГОСТ - K_{sof} , СТБ - C_{sof} .

В ГОСТе в п. Б.1.2. в качестве разновидности указан параметр плотность скелета грунта. Путаница, допущенная в СТБ 1648-2006 «Строительство. Основания и фундаменты. Термины и определения», по формулировке одного и того же показателя разными названиями: 3.3.47. плотность скелета грунта и 3.3.48. плотность сухого грунта, продолжает присутствовать в новых нормативных документах. Должен заметить, что в грунтоведении отсутствует такой показатель, как плотность скелета грунта, а есть только плотность сухого грунта. Плотность скелета грунта имеет место в оценке дорожно-строительных материалов.

Сравнительные таксономические единицы классификации дисперсных грунтов представлены в ГОСТе и СТБ различными характеристиками. В ГОСТе это разделение по составу минеральных частиц, а в СТБ – по содержанию включений, коэффициенту пористости, содержанию органических веществ. В типе ГОСТа

элювиальные породы выделены в самостоятельный тип – к ним относятся породы, залегающие на месте своего образования. Делювиальные названы склоновыми.

Отдельный подкласс связных осадочных и элювиальных пород в СТБ отсутствует, а такие грунты как: глинистые, заторфованные, илы, сапропели, торфы относятся к осадочным несцементированным биогенным.

В ГОСТе имеются некоторые различные обозначения одних и тех же таксономических единиц. Например, табл. Б.2.1. в песках фракции: грубые и тонкие, а в табл. Б.2.2. – гравелистые и пылеватые. СТБ вообще не содержит разделение пылеватых частиц. И самое главное отличие. В СТБ п. 3.13 (3. Термины и определения) указано, что пылеватые частицы имеют размер от 0,05 до 0,005 мм, а в ГОСТе – от 0,05 до 0,002 мм (Б.2.1). В СТБ в п. 3.39 при характеристике песка (песчаного грунта) указан только верхний предел гранулометрических частиц, относящихся к песчаным, а нижний предел не приведен. В связи с этим, можно сослаться на следующие источники:

Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. М., «Высшая школа» 1982 г. стр. 49 глинистые частицы имеют размер менее - 005 мм;

Казарновский В.Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов. М., 2007 г. стр. 53. Песок – 2...0,05 мм, пыль – 0,05...0,005 мм, глина менее 0,005 мм.

В ГОСТе приведены отличительные значения пыли и глины от значений, которые имели место до принятия ГОСТ 25100-2020. Частицы от 0,005 до 0,002 отнесены к пылеватым частицам, а наиболее крупная глинистая частица равна 0,002 мм (табл. 1).

Таблица 1. Отличительные особенности осадочных несцементированных грунтов

ГОСТ 25100-2020		СТБ 943-2007	
Песок	2...0,05	Песок	2...0,05
Пыль	0,05...0,002	Пыль	0,05...0,005
Глина	меньше 0,002	Глина	меньше 0,005

Разделение дисперсных грунтов по фракциям элементов и granulометрическому составу, что по сути одно и то же, на: грубые – гравелистые и тонкие – пылеватые, создает дополнительную путаницу, при изучении этого вопроса студентами. Например, частица от 2 до 1 мм называется – грубая, а от 1 до 0,5 – крупная, хотя обе они образуют крупный песок. В то же время следует заметить, что при классификации смесей принимают во внимание содержание частиц крупнее 2 мм. При содержании частиц более 5 мм менее 5 % смесь называют песчаной, а при содержании тех же частиц от 5 до 20 % – песчано-гравийной смесью. В то же время песок, содержащий частицы более 2 мм в количестве более 25 называют гравелистым. А частицы от 2 до 10 мм относятся к гравийным.

По разновидности дисперсных частиц, между таксономическими единицами имеется большая разница. В ГОСТе, по размерам слагающих элементов, представлены наименования, разделяющие крупнообломочные, песчаные, пылеватые частицы на фракции, а в СТБ представлены только размеры элементов

Названия и размеры песчаных грунтов в обоих документах одинаковы. То же касается и разновидности по влажности. Однако в дальнейших показателях отличия существенные. Степень неоднородности, в ГОСТе подразделяет крупнообломочные и песчаные грунты на однородные и неоднородные, а в СТБ этот показатель введен только для песчаного грунта. Кроме того, степень неоднородности обозначается различными показателями. В ГОСТе показатель обозначается – C_u и определяется из выражения

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (1)$$

где d_{60} – диаметр частиц, меньше которых в данном грунте (по массе) содержится 60 %;

d_{10} – то же 10 % по массе.

В СТБ имеется показатель максимальной неоднородности, обозначаемый – U_{\max} и определяемый из выражения

$$U_{\max} = d_{50} \frac{d_{95}}{d_{05}}, \quad (2)$$

где d_{50} – диаметр частиц, меньше которых в данном грунте (по массе) содержится 50 %;

d_{95} – то же 95 % по массе;

d_{05} – то же 5 % по массе.

В ГОСТе отсутствуют классификации, представленные в СТБ:

- по степени засоленности;
- по относительному содержанию органического вещества;
- по результатам зондирования;
- по температуре;
- по относительной деформации морозного пучения.

В ГОСТе представлены разновидности, которые отсутствуют в СТБ:

- по коэффициенту пористости;
- по коэффициенту выветрелости;
- по коэффициенту истираемости крупных обломков.

Поэтому производить сравнение по этим показателям не совсем корректно.

Разновидности глинистых грунтов. По числу пластичности глинистые грунты имеют одинаковые пределы и подразделяются на супеси, суглинки и глины. Особенность составляет то, что в ГОСТе эти разновидности представлены в единицах, а в СТБ в процентах.

По числу пластичности и содержанию песчаных частиц, глинистые грунты, по таксономическим единицам двух стандартов, имеют существенные различия. В ГОСТе супесь подразделяется на песчанистую и пылеватую. В СТБ подобное разделение вообще отсутствует и такую классификацию можно пронаблюдать только в ТКП 45-3.03-19-2006, где супесь подразделяется на:

- легкую крупную;
- легкую;
- пылеватую;
- тяжелую пылеватую.

Такая категория грунта как легкая крупная, при строительстве автомобильных дорог, является очень востребованной, поскольку она близка к природным оптимальным смесям с высоким коэффициентом фильтрации, и применяется при отсыпке дополнительных слоев основания и строительстве гравийных покрытий.

Такие разновидности суглинка, как легкий и тяжелый, в ГОСТе дополнены термином песчанистый, песчанистая и пылеватая глина (СТБ 943-2007) дополнена термином легкая (ГОСТ 25100-2020), а вместо термина жирная глина введен термин тяжелая.

По содержанию включений сохранилось полное совпадение классификаций. Такое же совпадение можно наблюдать по таким показателям, как:

- по показателю текучести,
- относительной деформации набухания без нагрузки;
- по относительной деформации морозного пучения.

В ГОСТе отсутствует классификация разновидностей, имеющих место в СТБ:

- по результатам зондирования;
- по коэффициенту пористости лессовидных грунтов, ила и мергеля;
- по зольности торфа;
- по температуре.

В СТБ отсутствует классификация, имеющая место в ГОСТе:

- по степени заторфованности с учетом типа органического вещества
- по степени разложения торфа;
- по степени засоленности среднерастворимыми солями.

При отсутствии этих показателей в соответствующем документе имеются различия в классификации следующих разновидностей:

- относительная деформация просадочности при давлении 0,3 МПа. В СТБ две разновидности: непросадочный и просадочный, в ГОСТе четыре разновидности;

- относительное содержание органического вещества. В ГОСТе указаны разновидности отдельно для песков и отдельно для глин. В СТБ просто без примеси и с примесью не разделяя на грунты. Органические грунты в ГОСТе имеют три разновидности и несколько отличительные цифры по фактическим диапазонам. Так при относительном содержании более 0,5 органические вещества представляют торф. В СТБ разделение касается конкретно сапропели, а также присутствует разделение по содержанию карбонатов на кремнистый и известковистый;

- по степени засоленности легкорастворимыми солями в ГОСТе разделение выполнено на пять разновидностей, а в СТБ на две;

- по относительной деформации морозного пучения отличие касается размеров диапазонов слабопучинистого и среднепучинистого грунтов.

Относительная деформация просадочности при давлении 0,3 МПа. В СТБ две разновидности: непросадочный и просадочный, в ГОСТе четыре разновидности.

Относительное содержание органического вещества. В ГОСТе указаны разновидности отдельно для песков и отдельно для глин. В СТБ просто без примеси и с примесью, не разделяя на грунты. Органоминеральные грунты в ГОСТе имеют три разновидности и несколько отличительные цифры по фактическим диапазонам. Так при относительном содержании более 0,5 органические вещества представляют торф. В СТБ разделение касается конкретно сапропели, а также присутствует разделение по содержанию карбонатов на кремнистый и известковистый.

По степени засоленности легкорастворимыми солями в ГОСТе разделение выполнено на пять разновидностей, а в СТБ на две.

Таким образом, на основании проведенного анализа таксономических единиц можно сделать следующие выводы.

Основные отличия коснулись размеров частиц пыли (от 0,05 до 0,002 мм) и глины (менее 0,002 мм). Введение новых размеров, с нашей точки зрения, требует определенной аргументации и фундаментального обоснования.

В разновидностях крупнообломочных грунтов и песков многие разновидности не совпадают, но они могут присутствовать в других классификациях.

В разновидностях глинистых грунтов в СТБ отсутствует классификация супеси, суглинка и глины по числу пластичности и содержанию песчаных частиц. Причем классификации ГОСТ 25100-2020 и СТБ 943-2007 не совпадают по терминологии.

Многие таксономические единицы имеют отличительные буквенные обозначения. Например, степень неоднородности, коэффициент размягчаемости в воде, относительное содержание органического вещества и др.

В ГОСТе отсутствуют результаты классификации по зондированию грунтов, что характеризует их прочность.

Отсутствуют показатели в одном или другом документе, характеризующие классификацию по ряду таксономических единиц. Например, по плотности сухого грунта, пористости, коэффициенту выветрелости, степени растворимости, коэффициенту истираемости крупных обломков и т.д.

Различные показатели, их обозначения и введение дополнительных таксономических единиц делает систему гостирования затруднительной не только для специалистов, но и обучающихся студентов и молодых инженеров

Для разъяснения отдельных положений стандартов, автор статьи обратился в Госстандарт для разъяснения, от которого был получен ответ: «Принимая во внимание добровольный статус государственных стандартов, пользователь стандартов вправе выбирать из имеющейся базы стандартов тот стандарт, который будет обеспечивать безопасность и качество продукции, работ, услуг».

Литература

1. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.
2. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.
3. ТКП 45-3.03-19-2008. Автомобильные дороги. Нормы проектирования.
4. Казарновский, В.Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов / В.Д. Казарновский. – М.:МАДИ, 2007. – 284 с.

Электрохимическое исследование влияния минералогического и гранулометрического состава мелких заполнителей на пористую структуру дорожного цементобетона

Бондаренко С.Н.¹, Васильева Е.И.¹, Бондаренко А.С.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

²Мюнхенский технический университет
Мюнхен, Германия

Показаны возможности метода импедансной спектроскопии для оценки влияния мелкого заполнителя на механизм и схемы твердения цементного камня, а также для неразрушающего мониторинга изменений пористой структуры конгломератного материала при его формировании и разрушении в процессе эксплуатации.

Введение

Современные тенденции предполагают широкое использование в строительстве сооружений и автомобильных дорог бетонов, в частности цементобетонов. В процессе формирования цементобетонных материалов конгломератного типа возникает необходимость мониторинга процессов структурообразования, формирования и перестройки поровой структуры, разрушения цементобетонного материала в составе дорожного покрытия в процессе эксплуатации. Одним из перспективных методов, который в последнее десятилетие все активнее используется для исследования физико-химических процессов формирования и разрушения композиционной структуры дорожных цементобетонных конгломератов является неразрушающий метод электрохимической импедансной спектроскопии.

Сравнение спектров импеданса, сформированных в различных условиях образцов цементобетона, позволяет выявить тенденции изменения характерных особенностей спектров при формировании конгломератной структуры в условиях твердения, набора прочности

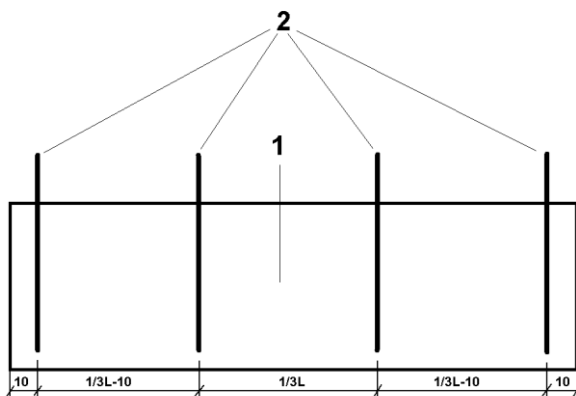
и последующего воздействия окружающей среды, в том числе при их контакте с влагой. Нами показаны возможности использования электрохимических методов для решения задач в области технологии цементобетона, в частности по оптимизации состава цементобетонной смеси для дорожных покрытий с использованием гранитных отсевов в качестве мелкого заполнителя, а также по оптимизации минерального и гранулометрического состава. Электрохимический подход к исследованию свойств цементобетона с использованием сравнительного анализа спектров импеданса даёт возможность количественно характеризовать результаты изменений, имеющих место при твердении и формировании структуры цементобетона и при последующей коррозии и трансформации (перестройки) пористой структуры в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов окружающей среды [1-3].

Проведено исследование кинетики процессов удаления несвязанной воды из открытых пор стандартных образцов цементобетонных материалов, приготовленных с использованием кварцевого песка и гранитного отсева в качестве мелких минеральных заполнителей различного гранулометрического состава. Для обеспечения большей плотности и меньшей структурной пористости были изготовлены две серии образцов с использованием фракций мелкого заполнителя с различным гранулометрическим составом. Нами было проведено также исследование процессов генезиса пористой структуры и разрушения полученных образцов цементобетонного материала под действием циклического заморзания и оттаивания во влажной среде (испытания на морозостойкость).

Методика приготовления образцов цементобетонных материалов для электрохимических измерений

Для проведения электрохимических измерений были изготовлены образцы в виде стандартных балочек с размерами 40x40x160 мм, которые обычно используются для проведения испытаний прочностных характеристик в соответствии с ГОСТ 10180-2012 (Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам). В качестве исходных компонентов для приготовления использовался портландцемент марки М 500 и мелкий заполнитель с различным гранулометрическим и минеральным (кварцевый песок, гранитные отсевы) составом с соотношением Ц : П(ГО) = 1 : 3. Цементное те-

сто имело нормальную густоту (отношение В:Ц = 27%) и период схватывания около 60 минут. В процессе формирования каждая ба- лочка-образец снабжалась четырьмя стальными электродами уста- новка которых в образце проводилась по схеме, которая позволяла регистрировать спектры импеданса и контролировать влияние воз- можных различий потенциалов электродов на их электрохимиче- ский отклик, а также исследовать эффекты, связанные с различием в расположении электродов (т.н. четырёхэлектродная конфигурация в импедансных измерениях).



1 – образец цементобетона; 2 – электроды (расстояние между электродами выбира- лось с учетом реальной длины образца L)

Образцы, приготовленные таким образом, выдерживались в ван- не с гидравлическим затвором в течение 28 суток для полного за- твердевания и окончательного формирования структуры.

Исследование электрохимических свойств образцов полученных цементобетонных материалов выполнялось в интервале частот пе- рменного тока от 0,01 Гц до 100000 Гц с помощью электрохимиче- ского прибора - потенциостата *mini Gamry C300* с использованием специальных программ для анализа полученных спектров импе- данса. Амплитуда зондирующего воздействия при получении спек- тров импеданса составляла 10 мВ.

***Результаты исследования влияния минерального
и гранулометрического состава мелкого заполнителя
на открытую пористую структуру образцов
цементобетонных материалов***

Для оценки влияния гранулометрического состава мелкого заполнителя на открытую пористую структуру образцов цементобетонных материалов были изготовлены образцы с использованием в качестве мелкого заполнителя фракционированного кварцевого песка и гранитных отсеков с фракциями частиц имеющих три типа размеров: от 0,32 до 0,63 мм, от 0,63 до 1,25 мм и от 1,25 до 2,5 мм.

Ранее, были проведены исследования зависимости спектров импеданса цементобетонных конгломератов на различных стадиях их твердения [4,5]. Из представленных на рисунках А и В графиках зависимостей можно отметить общую тенденцию изменения спектров импеданса при твердении с течением времени. При затвердевании происходит прогнозируемое увеличение как мнимой, так и действительной частей импеданса. Это, по всей вероятности, связано с закупориванием и зарастанием различных пор и каналов, обеспечивающих передвижение раствора внутри конгломерата. Очевидно, что в процессе твердения наибольший вклад в электропроводность образца вносит именно проводимость раствора внутри формирующегося порового объема, а не твердофазная проводимость посредством ионов. Электрохимическое исследование образцов, высушенных до полного удаления несвязанной в объеме цементобетонных конгломератов влаги показало, что их импеданс во много раз больше импеданса для тех образцов, которые находились в процессе твердения или в плотном контакте с водой (см. далее рисунки А и В).

На рисунках А и В представлены типичные спектры импеданса цементобетонного конгломерата при затвердевании во времени в насыщенной влагой атмосфере. Спектры представлены в координатах зависимости мнимой части от действительной. Численные обозначения на графиках соответствуют количеству дней, прошедших с момента приготовления материала. Стрелка указывает тенденцию в изменении спектров. При увеличении импеданса до значений более 100 кОм возникала существенная погрешность при измерении импеданса на малых частотах, поэтому представленные на рисунках

А и В результаты ограничены спектром, полученным после высушивания образца в течение 35 дней.

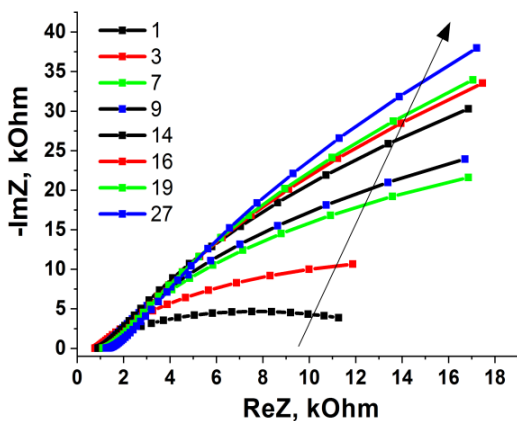


Рис. А.

После полного отвердевания в течение 28 суток образцы цементобетона помещали в сухую атмосферу и в процессе высыхания для них регистрировались спектры импеданса. Электрохимическое исследование высушиваемых в течение длительного промежутка времени образцов показало, что их импеданс во много раз больше импеданса тех образцов, которые находились в процессе затвердевания в контакте с водой.

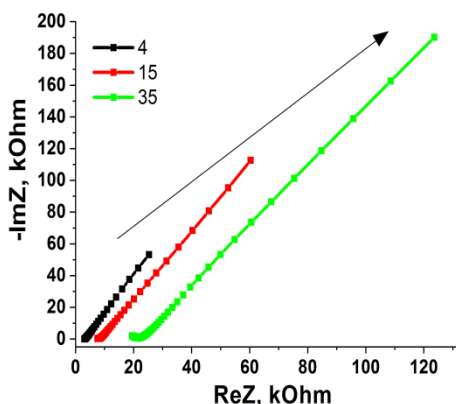


Рис. В.

Характеристика и оценка вклада открытой пористости в структуру цементобетонных образцов с мелким заполнителем различного гранулометрического состава давалась путём сравнительного сопоставления спектров импеданса и содержания несвязанной воды в открытых порах, определяемого путём взвешивания этих образцов в насыщенном водой состоянии до и после высушивания до постоянного веса. Все высушенные образцы перед проведением дальнейших электрохимических исследований выдерживались в присутствии воды в течение двух суток для полного насыщения пор влагой, а затем путём взвешивания образца оценивался объём открытой пористости. Вид спектра импеданса для полностью высушенного образца восстанавливался до практически идентичного с исходным после контакта с водой в течение двух суток. Вышесказанное иллюстрируется спектрами импеданса, приведенными далее на рисунках С и D.

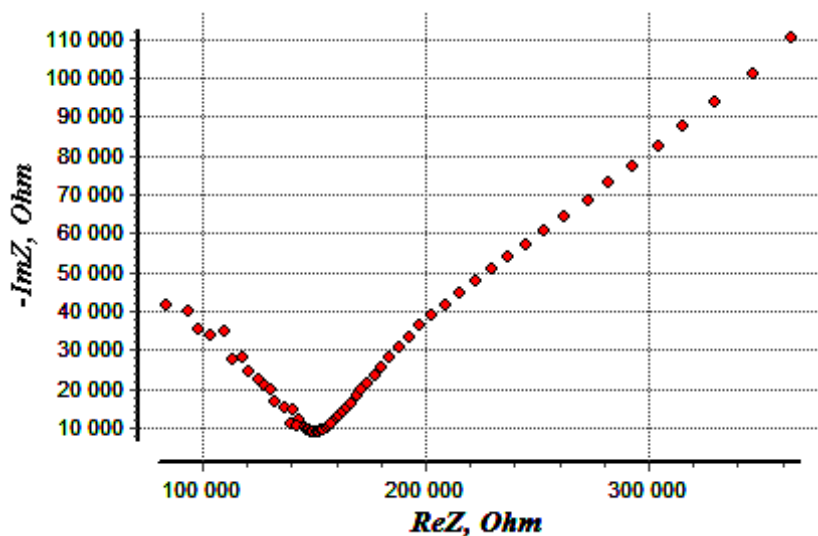


Рис. С. Типичный спектр импеданса исходного образца цементобетона с мелким заполнителем С из гранитного отсева после затвердевания и последующего контакта с водой с течение двух суток

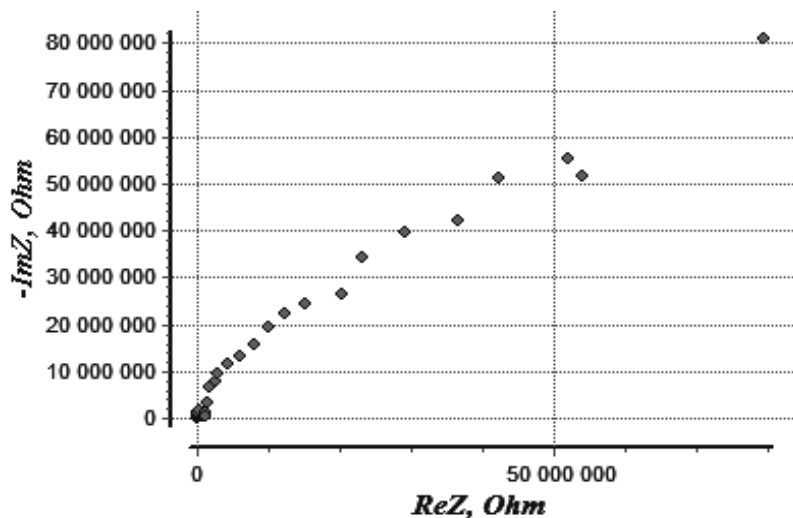


Рис. D. Типичный спектр импеданса исходного образца цементобетона с мелким заполнителем из гранитного отсева после последующего высушивания с полным удалением воды из открытых пор

Анализ характера изменения спектров импеданса показывает, что параметры, соответствующие изменению сопротивления материала при высушивании возрастают. Это объясняется уменьшением количества проводящего раствора в порах. Электрическая ёмкость при высушивании уменьшается. Анализ полученных спектров с использованием эквивалентных схем показал, что материал, характеризующийся наибольшим размером частиц и, следовательно, наибольшим размером пор, во влажном состоянии обладает наименьшим сопротивлением и наибольшей ёмкостью по сравнению с другими исследованными материалами. Однако его параметры изменяются при высушивании. Это связано с относительной лёгкостью удаления раствора из внутренних пор по широким каналам. Материал, образованный наполнителем с частицами наименьшего размера менее других чувствителен к высушиванию. Эти тенденции чётко проявляются при сопоставлении полученных спектров импеданса с использованием эквивалентной схемы [3]. Изменение пористости было смоделировано посредством насыщения образца материала водой и последующего циклического замораживания при температуре -15°C в течение 1 часа. После замора-

живания образец выдерживался в течение часа при комнатной температуре, после чего регистрировался его спектр импеданса. В результате последовательного повторения циклов замораживание – оттаивание отмечалось постепенное уменьшение сопротивления материала и увеличение электрической ёмкости, что показывает анализ и сравнение спектров импеданса. Эти изменения, очевидно, связаны с механическим расширением пор в процессе замораживания раствора. Увеличение объёма пор в циклах замораживание – оттаивание сопровождается дополнительным их наполнением проводящим компонентом (раствором), а также появлением новых каналов переноса заряда.

Заключение

На основании проведенных исследований и сравнительного критического анализа полученных результатов установлена корреляционная связь между электрохимическими параметрами полученных спектров импеданса, показателями образующегося при формировании в процессе твердения конгломератного цементобетонного материала открытого порового пространства и фракционным (гранулометрическим) составом некоторых видов мелких минеральных заполнителей

Построение калибровочной зависимости параметров импедансного спектра от содержания несвязанной воды в порах конгломератного цементобетонного материала и гранулометрического состава мелкого минерального заполнителя предоставляет возможности неразрушающего контроля изменения структурных и прочностных характеристик конгломератного цементобетонного материала в процессе генезиса пористой структуры при твердении и в процессе эксплуатации дорожных покрытий под действием механических нагрузок и активных факторов окружающей среды.

Литература

1. Ragoisha, G.A., Bondarenko, A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy for solid state chemistry // Solid State Phenomena Vol. 90–91. 2003. P.103–108

2. Ragoisha, G.A., Bondarenko, A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy // *Electrochimica Acta* Vol. 50. 2005. P. 1553–1563.

3. Bondarenko, A.S., Ragoisha, G.A., EIS Spectrum Analyser, 2013 [Электронный ресурс: <http://www.abc.chemistry.bsu.by/vi/analyser/>]

4. Бондаренко, С.Н., Рагойша, Г.А., Чулкин, П.В. и др. Возможности метода импедансной спектроскопии для оценки влияния мелкого заполнителя на механизм и схемы твердения цементного камня // *Журнал Пермского национального исследовательского политехнического университета «Транспорт, Транспортные сооружения, Экология»*. – 2015 – № 4. С. 33–45.

5. Бондаренко, С.Н., Рагойша, Г.А., Чулкин, П.В. и др. Исследование процесса твердения цементобетонного конгломерата методом импедансной спектроскопии // *Наука и техника*, № 6, 2015. – С. 63–73.

Анализ внедрения интеллектуальных транспортных систем

Бородич А.А.¹, Мытько Л.Р.²

¹ООО «Альфаизол»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В Республике Беларусь созданы и разрабатываются элементы интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Одной из них является корпоративная интегрированная телекоммуникационная сеть. К корпоративной сети подключены многие предприятия дорожного хозяйства. Существующая сеть позволяет объединять практически все элементы интеллектуальных транспортных систем. Вдоль автомобильных дорог общего пользования было построено 1515 км волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

Однако сеть ВОЛС, позволяющая передавать с высокой скоростью данные на большие расстояния и осуществлять удаленный мониторинг и управление, в настоящее время недостаточно развита, сбор информации почти с 50% дорожно-измерительных станций производится с использованием модемов сети GSM, что, например, не позволяет получать видеоинформацию от видеокамер в режиме реального времени. В состав дорожно-измерительной станции (ДИС) на республиканских автомобильных дорогах, наряду с другим ИТС-оборудованием, входит метеостанция, информация с которой поступает на рабочие станции всех дорожно-эксплуатационных участков и при необходимости оповещает диспетчерские службы о возможных затруднениях в движении.

Основу сети станций составляет оборудование фирмы Vaisala, имеется также незначительное количество станций производства фирмы Boschung Mecatronic и станций производства белорусского предприятия «Агат», основанных на оборудовании фирмы Luft. В состав основных датчиков ДИС входят:

- датчики скорости и направления ветра;
- датчики температуры воздуха;
- датчик температуры покрытия;

датчик состояния покрытия;
датчик влажности воздуха,
датчик атмосферных осадков;
датчик видимости.

В число дополнительных датчиков входят датчик влажности грунта, датчик температуры грунта, а также система учета интенсивности движения транспорта и состава транспортного потока. На ДИС установлены детекторы с двумя индуктивными петлями на каждую из полос движения и счетчики интенсивности Marksman 660. Информация, автоматически получаемая от ДИС, используется в первую очередь для обеспечения зимнего содержания дорог. Сеть видеонаблюдения состоит из 170 видеокамер, расположенных на республиканских автомобильных дорогах, 50 видеокамер из них с записью в режиме реального времени, 31 видеокамера без записи и 89 камер в режиме стоп-кадр, информация с которых поступает на 149 рабочие станции всех ДЭУ. Доступ к видеокамерам, расположенным на улицах городов дорожные организации не имеют. Учитывая общую протяженность сети республиканских автомобильных дорог, одна видеокамера приходится почти на 100 км дороги, что недостаточно для решения задач управления и оперативного реагирования.

На основных автомобильных дорогах общего пользования установлена система взимания платы. На основании инвестиционного договора с австрийской компанией «Капш Телематик Сервисиз» поэтапно внедряется система автоматического сбора платы за проезд по платным автомобильным дорогам «Beltoll». На текущий момент общая протяженность платных участков дорог составляет более 1500 километров, на которых установлены 117 порталов сбора платы из них 24 контрольных портала с фиксацией транспортного потока с распознаванием класса транспортного средства и регистрационного номера.

Отдельную информацию системы взимания платы, касающуюся транспортного потока, можно рассматривать как дополнительный компонент ИТС. Имея такие данные, можно предварительно оценить транспортный поток в реальном времени и в определенных участках дорог его состав.

На автомобильных дорогах введена в эксплуатацию Единая система фотофиксации нарушений скоростного режима, в рамках ко-

торой построен центр хранения и обработки данных с каналобрабатывающей аппаратурой, установлены более 200 стационарных мобильных датчиков контроля скорости, установлены экспериментальные датчики нарушения других правил дорожного движения.

На автомобильных дорогах установлены управляемые дорожные знаки и табло переменной информации. Табло переменной информации (ТПИ) предназначено для визуального отображения информации обязательной для выполнения водителями или рекомендательной информации. На автомобильных дорогах общего пользования ТПИ представлены совместно с ДИС, которые управляются при помощи программного средства «МетеоМагистраль» и ориентированы в первую очередь на вывод метеоинформации. В то же время имеется возможность отображения произвольной текстовой информации и изображения дорожного знака в рамках доступного на знаке поля.

Система высокоскоростного динамического взвешивания работает как устройства предварительного отбора нарушителей для существующих стационарных и мобильных постов контроля Транспортной инспекции, которые оборудованы камерами и датчиками веса, а так же метеостанциями в зоне контрольных станций системы взимания платы на автомобильных дорогах общего пользования. Предварительная выборка автотранспортного средства активизируется, если оно перегружено и не имеет специального разрешения или имеет специальное разрешение, но параметры превышают указанные в специальном разрешении.

Система удаленного мониторинга конструкций мостов предназначена для измерения динамики внутренних механических напряжений конструкций, что дает возможность снизить уровень риска разрушения объекта в процессе строительства и последующей эксплуатации за счет обнаружения отклонений параметров объекта от проектных значений на ранней стадии их возникновения.

В общепринятом понимании подобная система не относится к ИТС, а представляет собой отдельную задачу. В то же время, учитывая общее неблагоприятное состояние искусственных сооружений в Республике Беларусь, которое заметно ухудшилось в последние годы, подобная система, способствующая решению задачи обеспечения сохранности мостовых сооружений и оптимизации

маршрутов движения тяжеловесного транспорта, может и должна рассматриваться как составная часть ИТС.

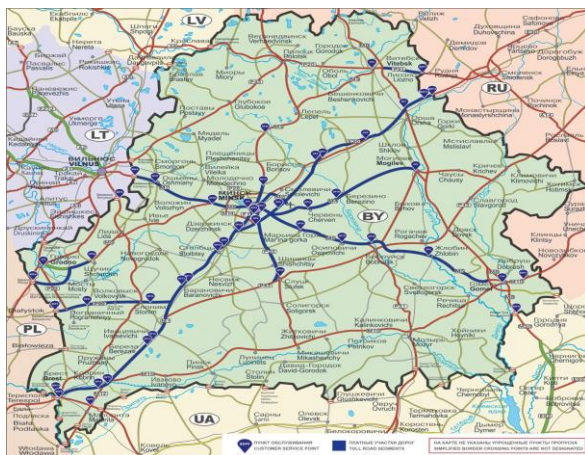


Рис. 1. Единая система фотофиксации скоростного режима

Дежурно-диспетчерская служба (далее ДДС) выполняет функции отраслевой диспетчерской службы. ДДС осуществляет сбор оперативной информации по состоянию проезжаемости по дорогам, о дорожно-транспортных происшествиях, выполнении работ на дорогах, вводимых ограничениях. Анализирует информацию и предоставляет в Центр мониторинга (ЦМ) и Главное управление автомобильных дорог Минтранса.

Дежурно-диспетчерская служба осуществляет:

круглосуточное дежурство с ежедневным сбором и предоставлением в ЦМ Минтранса, руководству Предприятия, а при необходимости, Главному управлению автомобильных дорог оперативной информации о состоянии проезжаемости по автомобильным дорогам Республики Беларусь;

анализ показаний дорожно-измерительных станций (ДИС) по Республике Беларусь и Минской области и при необходимости оповещает диспетчерские службы автодорог, филиалов Предприятия (ДЭУ) о возможных затруднениях в движении;

быстрое реагирование и принятие конкретных решений на изменения дорожной обстановки, сообщения о происшествиях, стихийных бедствиях и чрезвычайных ситуациях;

при необходимости принимает решения по нормализации условий дорожного движения;

организацию проведения видеоконференций Минтранса, селекторных и аппаратных совещаний Предприятия и контроль исполнения поручений.

В области обеспечения безопасности дорожного движения:

анализ и обобщение оперативной информации о состоянии проезжаемости, о ДТП, о техническом состоянии автодорог и искусственных сооружений и информирование ЦМ Минтранса, руководство Предприятия, а при необходимости, Главное управление автомобильных дорог Минтранса;

контроль организации подготовки и состояния маршрутов движения Высшего должностного лица и охраняемых лиц государства, а также правительственных делегаций;

контроль организации введения и наличия ограничений или изменений режима движения транспортных средств и оповещение участников дорожного движения о вводимых ограничениях на республиканских автомобильных дорогах Минской области и Республики Беларусь;

оперативный учет ДТП на автодорогах, выясняет причины их возникновения, дату, время, номер, титул, точный адрес места происшествия, организацию, обслуживающую дорогу, кто выезжал на ДТП от дорожной службы;

контроль достоверности представляемой информации о работе техники, ведет оперативный учет поступления, расхода и остатков материалов.

В области взаимодействия с Госорганами и информирования пользователей автодорог:

постоянную оперативную связь с областными республиканскими унитарными предприятиями автомобильных дорог (автодоры), ДЭУ, ДРСУ и другими соответствующими структурами для получения полных и достоверных сведений о состоянии дорог и обеспечении безопасности движения;

оперативную связь со службами МЧС, с органами Госавтоинспекции, диспетчерами автобусных станций и вокзалов в части получения информации о состоянии проезжаемости и безопасности дорожного движения;

получение и передачу дорожным организациям информации от Республиканского Гидрометеоцентра о предстоящих резких изменениях погоды, об опасных и неблагоприятных явлениях погоды;

получение информации о сложной обстановке на автодорогах, перерывах в движении, очередях транспортных средств на пограничных пунктах пропуска и других возникших ситуациях;

оповещает дежурных автодорогов, информирует ЦМ и Главное управление автодорог Минтранса, руководство Предприятия и в дальнейшем действует в соответствии с полученными указаниями;

уточняет характер сложившейся обстановки и принимает решение по ее нормализации;

оповещение через пресс-службу, а при необходимости через СМИ, FM-радиостанции, участников дорожного движения о вводимых ограничениях или затруднениях дорожного движения;

учет обращений пользователей по замечаниям в содержании или состоянию автомобильных дорог, искусственных сооружений и движения по ним в Минской области по единому номеру дорожной службы 125 и контроль их исполнения.

Технически ДДС оснащена сервером, на который поступает вся информация с ДИС, в том числе с системы видеонаблюдения с отображением на большом экране для мониторинга транспортного потока и принятия решений по управлению дорожным движением.

Для пользователей дорог через Интернет доступна информация о текущей погоде по данным дорожных измерительных станций, включая стоп-кадр с видеокamer, установленных на ДИС.

Литература

1. Жанказиев, С.В. Интеллектуальные транспортные системы. – М.: МАДИ - 2016 – 121 с.

2. Жанказиев, С.В. Структура телематической системы контроля за дорожной обстановкой / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2008. – С. 177–187.

3. Пржибыл, Павел. Телематика на транспорте / Павел Пржибыл, Мирослав Свитек; пер. с чешск. О. Бузека и В. Бузковой; под ред. проф. В.В. Сильянова. – М.: МАДИ, 2003. – 540 с.

Использование дисперсно-армированного бетона в элементах мостового полотна

Бусел А.В., Артимович В.С.
Государственное предприятие «БелдорНИИ»
Минск, Беларусь

В связи с увеличивающимся объемом грузоперевозок все более жесткие требования предъявляются к надежности мостовых сооружений. Согласно белорусским нормативам – СН 3.03.01 [1] проектный срок службы для мостов устанавливается равным 100 лет. Одним из условий достижения такой долговечности, является защита несущих конструкций пролетных строений от агрессивного действия атмосферных осадков и противогололедных реагентов.

Диагностика мостовых сооружений показывает, что каждое третье сооружение в Беларуси находится в неудовлетворительном техническом состоянии. Основные дефекты - это разрушение защитного слоя мостового полотна и как следствие самой гидроизоляции, коррозия и разрушение железобетона несущих конструкций. Все это снижает срок службы мостов до их капитального ремонта в 1,5 – 2,0 раза от нормативных показателей.

При проектировании конструкций мостов их рассчитывают на современные нагрузки: в виде двухосной тележки по 14т на ось, работающей совместно с равномерно-распределенной нагрузкой интенсивностью 14кН и толпой на тротуарах, а также в виде четырехосной тележки по 28 т на ось. При таких нагрузках железобетонные пролетные строения могут прогибаться на пролетах 24 м до 6 см и на пролетах 33 м - до 9 см. При этом в защитном бетонном слое над гидроизоляцией возникают циклические напряжения сжатия и растяжения до 20 МПа [2], на наиболее распространенных балочных мостах с пролетами до 33 м напряжения не превышают 10 МПа. При таких циклических нагрузках избежать трещин в бетоне защитного слоя практически невозможно. Положение усугубляется тем, что в соответствии с действующими нормативами толщина бетонного защитного слоя должна быть не менее 60 мм, но и не сильно большой, чтобы не перегружать несущие конструкции,

поэтому стоит задача, обеспечить гибкость такого относительно тонкого слоя без нарушения его сплошности.

Трещины в бетоне защитного слоя являются серьезной проблемой. В них происходит попеременное замораживание и оттаивание воды, которая фильтрует через асфальтобетонное покрытие. Вода, увеличиваясь в объеме при размораживании, разрушает структуру бетона. Синергетический разрушающий эффект наблюдается при совместном действии растворов противогололедных реагентов и их замораживании-оттаивании. Это провоцирует дальнейшее раскрытие и развитие трещин и как следствие обширные разрушения бетона защитного слоя.

Как правило, этот слой усиливают металлическими сетками, но они не спасают от появления мелких трещин, которые вызывают коррозию арматуры. Поэтому вместо металлической сетки применяют синтетические геосетки и стеклосетки. Однако в первом случае высокая стойкость к действию кислотных и щелочных сред не спасает полимерный материал сеток от естественного старения. Кроме того большинство полимеров обладает пластичностью даже при небольших напряжениях, что приводит к раскрытиям трещин в армируемом бетоне. Для стеклосеток существенным недостатком является разрушение при длительном нахождении в щелочной среде бетона [4, 5]. Таким образом, долговечность такого типа армирования недостаточно высокая.

Еще одним вариантом упрочнения бетона является дисперсное армирование. На данный момент дисперсное армирование существует в следующих вариантах:

- армирование полимерной фиброй. Дисперсное армирование полимерами повышает прочность бетона на растяжение и снижает вероятность образования трещин на всех уровнях его структуры, что способствует повышению его долговечности. Однако старение полимера приводит к нарастанию хрупкости волокон и соответствующему снижению надежности бетонного защитного слоя;

- армирование металлической фиброй. Преимуществами этого решения по отношению к другим видам армирования являются: способность материала препятствовать возникновению и распространению трещин, повышение прочности на растяжение при изгибе; увеличение ударной прочности. Проблемой данного вида армирования является коррозия металла.

Таким образом, стальная фибра по своим показателям лучше всего подходит для армирования тонких защитных слоев. Основные требования, которые предъявляются к стальной фибре при ее использовании в сталефибробетоне, это способность противостоять действию химических реагентов и иметь сцепление с компонентами в составе бетонной матрицы.

На данный момент на Белорусском металлургическом заводе производят два вида стальной фибры: волновая и анкерная. Волновая фибра своей извилистой формой закрепляется в бетонной смеси. Анкерная фибра имеет как правило продолговатое «тело», а на концах располагаются отгибы, при помощи которых она закрепляется в бетоне.

Волновая фибра плохо себя зарекомендовала при испытаниях бетона на изгиб, поэтому для исследований была использована анкерная фибра, которая имеет концевые участки, обеспечивающие надежное зацепление. Однако при этом прямолинейная средняя часть способна беспрепятственно растягиваться под нагрузкой. Это вызывает растрескивание бетона и раскрытие трещин на ширину равную произведению модуля упругости материала дисперсной арматуры на длину прямолинейной части. Поэтому для этой фибры необходимо дополнительная шероховатость в прямолинейной части для более жесткого зацементования в бетоне и передачи нагрузки на бетон по всей её длине.

Кроме того, для успешного применения в защитных слоях мостовых сооружений возникла необходимость разработать практически приемлемую и экономически целесообразную технологию противокоррозионной обработки металлической фибры. В связи с этим было предложено обрабатывать фибру специальным составом способным вступать в физико-химическое взаимодействие как с металлом, так и с продуктом гидратации цемента. Этот материал наносится на арматурный элемент, тем самым придавая шероховатость и антикоррозионную устойчивость [6]. Для этого стальную фибру предварительно обезжиривают, затем обрабатывают коллоидным раствором на водной основе, содержащим ортофосфорную кислоту, фосфаты цинка и мелкодисперсную глину, после чего высушивают. Такая обработка позволяет создать на поверхности металла противокоррозионное покрытие, обладающее хорошим сцеплением с цементным камнем.

На рисунках 1, 2 показана необработанная фибра и модифицированная фибра, обработанная смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины (с увеличением в 100 раз).

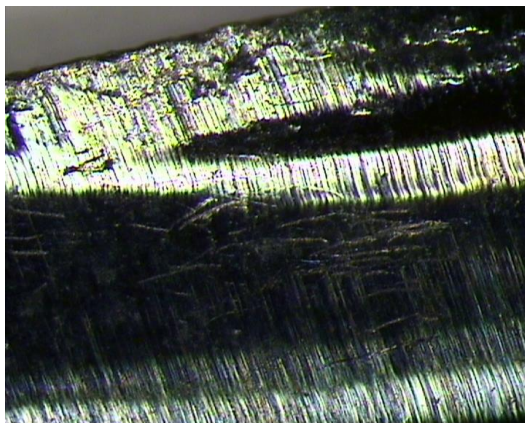


Рис. 1. Необработанная фибра (увеличение в 100 раз)

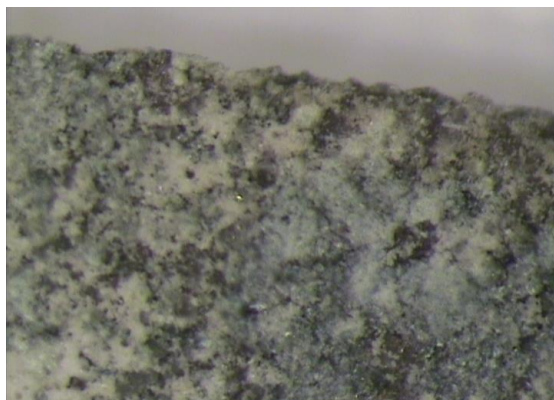


Рис. 2. Обработанная фибра (увеличение в 100 раз)

Экспериментальная часть

Эффективность предложенного способа обработки фибры проверена на образцах из сталефибробетона следующего состава: песка природного – 5,5 кг, цемента марки ПЦ-ДО-Н по ГОСТ 10178 марки 500 – 1,8 кг, воды – 0,9 л (водоцементное соотношение В/Ц = 0,5), фибра – 0,235 кг. Образцы готовили в форме балок размером

40×40×160 мм. После формования образцы хранились 28 суток в камере нормального твердения, затем подвергались испытаниям на растяжение при изгибе путем многократного воздействия с нарастающей нагрузкой с шагом 0,5 МПа и частотой 0,2 Гц. Для сравнительных испытаний готовили образцы четырех типов:

- 1) без фибры;
- 2) с необработанной фиброй;
- 3) с фиброй, обработанной фосфатом цинка без глины;
- 4) с фиброй, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины.

Были получены следующие результаты испытаний пределов прочности на растяжение при изгибе σ :

- 1) образцы без фибры – $\sigma = 5,3$ МПа;
- 2) образцы с необработанной фиброй – $\sigma = 6,7$ МПа;
- 3) образцы с фиброй, обработанной фосфатом цинка без глины – $\sigma = 6,9$ МПа;
- 4) образцы с фиброй, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины – $\sigma = 11,6$ МПа.

Увеличение прочности при изгибе для бетона на модифицированной фибре в 2 раза (образец 4) свидетельствует о соответствующем увеличении долговечности защитного слоя, при этом напряжения от проезда транспорта не превышают достигнутой прочности на растяжение. Образцы с необработанной фиброй показывают небольшое нарастание прочности при циклическом нагружении в сравнении с обычным бетоном (образец 1), поскольку прямолинейные участки фибры растягиваются, не препятствуя возникновению микротрещин, которое довольно быстро развиваются при нарастании нагрузки. Обработка фибры фосфатом цинка не приводит к увеличению сцепления с цементным камнем, поэтому показатель прочности на растяжении при изгибе для этих образцов (образец 3) близок к показателю на необработанной фибре.

Модифицированная фибра была использована на мосту через р. Гривда на автодороге Р-2 Столбцы – Ивацевичи – Кобрин, км 140,577 (рис.3) при устройстве защитного слоя и надопорных участков для продольного объединения балок пролетного строения, которые работают в зоне знакопеременных напряжений.



Рис. 3. Мост через р. Гривда на а.д. Р-2 Столбцы – Ивацевичи – Кобрин, км 140,577

Технология приготовления дисперсно-армированного бетона включала предварительное смешивание фибры с крупным заполнителем, а затем подачу цемента, песка и воды в бетоносмеситель. Полученная бетонная смесь укладывалась и уплотнялась в защитном слое с помощью вибробруса, а в надпорных частях с помощью глубинных вибраторов.

Наблюдение за построенным объектом в течение двух лет показало, что защитный слой и гидроизоляция предотвращают попадание влаги к несущим балкам моста. Это позволяет надеяться на существенное увеличение долговечности мостов в зоне избыточного увлажнения и частого применения противогололедных реагентов, характерных для Республики Беларусь.

Литература

1. СН 03.03.01-2019 Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования.
2. Артимович, В.С. Исследование напряженно-деформированного состояния бетонного защитного слоя гидроизоляции мостового полотна / В. С. Артимович, А. В. Бусел // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – № 1. – С. 36–40.

3. Бусел, А.В., Смыковский, А.И., Чистова, Т.А. Перспективы применения тонкослойных цементобетонных дорожных покрытий в условиях роста транспортных нагрузок // Технология бетонов, №2 (19), 2008. – С.68-70 с.

4. Асланова, М. С., Колесов, Ю.И., Хазанов В.Е. и др. Стекланные волокна / Под ред. Аслановой М. С. – М.: Химия. 1979. – 256 с.

5. Зак, А.Ф., Физико-химические свойства стеклнного волокна. – М.: Ростехиздат,1962. – 224.

6. Матвейко, Н.П., Зарапин, В.Г., Бусел, Е.А. Антикоррозионная композиция для защиты арматуры и закладных деталей железобетона // Вестник ВГТУ, 2012. – Вып. 23 – С. 113–119.

**Анализ воздействия транспортной нагрузки
на неравномерное разрушение по ширине нежестких
дорожных одежд**

Жуковский Е.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Проведен анализ нормативных документов Республики Беларусь, Украины, Республики Казахстан и Российской Федерации в области проектирования нежестких дорожных одежд, на основании которых были сравнены и уточнены нормативные и фактически полученные коэффициенты полосности, которые показывают, что в Республике Беларусь коэффициенты распределения транспортной нагрузки на крайние правые полосы движения, в частности на дорогах с шестью полосами движения, существенно занижены, что является фактором влияющим на работу покрытия первой полосы в условиях заниженных проектных данных.

Учет интенсивности и состава транспортного потока на основании визуального сбора данных позволил определить, что движение по крайним правым полосам приходится на основную часть транспортных средств движущихся на скорости 20-30 км/ч менее разрешенной (автопоезда, груженные тяжелые автомобили, самосвалы и др.), при этом интенсивность на вторых и третьих полосах, как правило, выше за счет наиболее скоростного движения легковых автомобилей.

Условия эксплуатации автомобильных дорог общего пользования подразумевают обращение разнородного по своему составу транспортного потока. Автомобили разных групп и типов имеют свои параметры и характеристики, что приводит к различному их влиянию на работоспособность и ресурс дорожных одежд. Поэтому для упрощения проведения расчетов и конструирования дорожных одежд в ТКП 45-3.03-112 используется понятие расчетного автомобиля (расчетной нагрузки).

Расчетный автомобиль – это виртуальный автомобиль, имеющий одну ось со спаренными колесами.

Для приведения реального потока транспортных средств к расчетной нагрузке используют коэффициенты приведения, которые показывают степени снижения ресурса и развития повреждаемости дорожной одежды от проезда реального автомобиля в сравнении с расчетным автомобилем.

В зависимости от вида расчета дорожной одежды используют различные характеристики интенсивности воздействия на нее транспортной нагрузки:

N — перспективную (на конец срока службы) общую среднесуточную интенсивность движения;

N_p — приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки);

$\sum N_p$ — число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции за расчетный срок службы.

Для определения приведенной интенсивности воздействия нагрузки используют коэффициент $f_{\text{пол}}$, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним. В Республике Беларусь значение коэффициента $f_{\text{пол}}$ определяют по табл. 6.7 ТКП 45-3.03-112.

Значения коэффициента $f_{\text{пол}}$ для четырех и шести полосных дорог в Республике Беларусь, а так же Украины, Казахстана и Российской Федерации представлены в таблице 1.

Анализ нормативных документов [1-4] показывает, что в Республике Беларусь коэффициенты распределения транспортной нагрузки на крайние правые полосы движения, особенно на дорогах с шестью полосами движения, существенно занижены, что служит предпосылкой для дальнейшего разрушения покрытия на них.

Для оценки реального распределения транспортного потока по полосам был проведен визуальный учёт интенсивности движения на следующих участках автомобильных дорог: М-4 Минск-Могилев, 17 км; Р-1 Минск-Дзержинск, 25 и 33 км; Р-23 Минск-Микашевичи, 15 км; Р-28 Минск-Молодечно-Нарочь, 13 км.

Таблица 1. Значения коэффициента $f_{пол}$

Страна	Нормативный документ	Число полос движения	Значение коэффициента $f_{пол}$ для полосы с номером		
			1	2	3
Беларусь	ТКП 45-3.03-112	4	0,35	0,20	-
		6	0,20	0,20	0,15
Украина	ГБН В.2.3-37641918-559:2019	4	0,35	0,20	-
		6	0,30	0,20	0,05
Казахстан	СП РК 3.03-104-2014	4	0,35	0,20	-
		6	0,30	0,20	0,05
Российская Федерация	ПНСТ 542-2021	4	0,45	-	-
		6	0,35	-	-

Распределение транспортных средств по полосам движения на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск-Дзержинск (прямое направление) показано на рис.1. Распределение транспортных средств по полосам движения на остальных участках приведено в таблице 2.

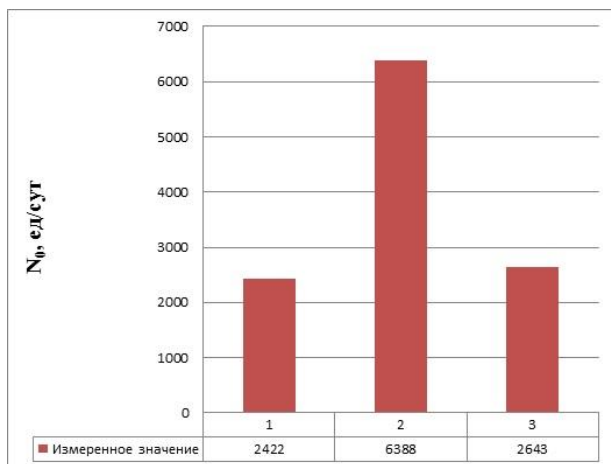


Рис.1. Распределение транспортных средств по полосам движения на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск-Дзержинск (прямое направление)

Таблица 2. Распределение транспортных средств по полосам движения по результатам визуального учёта

Место учёта			Среднегодовая суточная интенсивность, авт./сут			
Дорога	Км	Направление	пол. 1	пол. 2	пол. 3	общ.
М-4	17	прямое	4847	12777	5287	22911
		обратное	4266	9736	5251	19253
Р-1	25	прямое	2423	6389	2644	11455
		обратное	2133	4868	2625	9626
	33	прямое	4076	2809	-	6884
		обратное	4076	2423	-	6499
Р-23	15	прямое	6410	4121	-	10531
		обратное	7123	4274	-	11396
Р-28	13	прямое	7879	10130	-	18008
		обратное	6391	6753	-	13144

Анализ полученных данных (табл. 2) показывает, что в абсолютных значениях вторые полосы загружены больше. Однако в основном это составляют легковые автомобили. Приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск-Дзержинск (прямое направление) показано на рис. 2. Фактические коэффициенты $f_{пол}$, полученные по результатам учёта интенсивности представлены в таблице 3.

Анализ данных показывает, что фактические коэффициенты $f_{пол}$, учитывающие число полос движения и распределение движения по ним приведенная интенсивность на крайних правых полосах движения значительно превышают расчётные значения, установленные по ТКП 45-3.03-112, а левые полосы при этом недогружены. Это вызывает более интенсивное негативное изменение транспортно-эксплуатационных показателей на крайних правых полосах движения и требует дальнейшего учета при проектировании конструкций дорожных одежд.

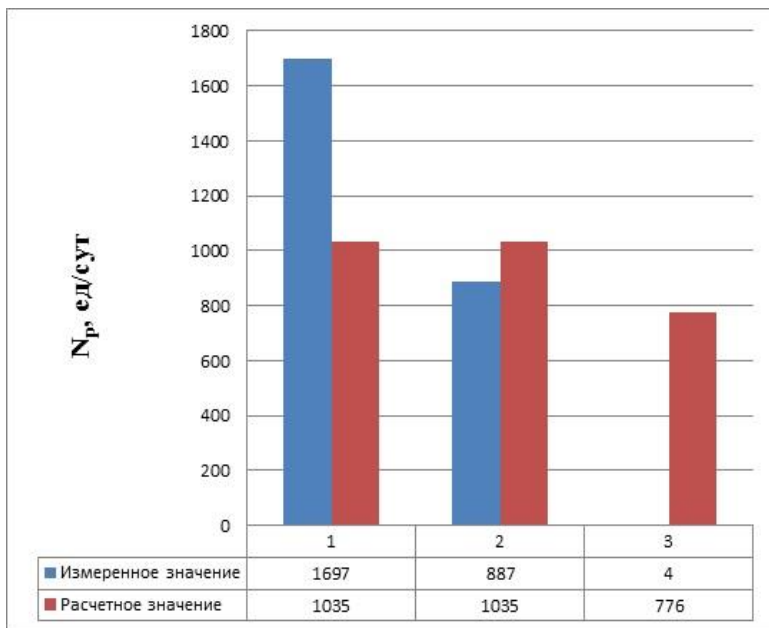


Рис. 2. Приведенная интенсивность движения N_p на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск–Дзержинск (прямое направление)

Таблица 3. Значения фактических коэффициентов $f_{пол}$

Место учёта			Число полос движения	Значение коэффициента $f_{пол}$ для полосы с номером		
Дорога	Км	Направление		1	2	3
М-4	17	Прямое	6	0,35	0,17	0,01
		Обратное	6	0,32	0,15	0,01
Р-1	25	Прямое	6	0,33	0,17	0,01
		Обратное	6	0,34	0,16	0,01
	33	Прямое	4	0,41	0,09	-
		Обратное	4	0,50	0,01	-
Р-23	15	Прямое	4	0,50	0,00	-
		обратное	4	0,44	0,06	-

Р-28	13	прямое	4	0,4 8	0,02	-
		обратное	4	0,4 8	0,02	-
Среднее значение			4	0,4 7	0,03	-
			6	0,3 4	0,16	0,01

Литература

1. ТКП 45-3.03-112-2008 (02250) Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования
2. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування
3. СП РК 3.03-104-2014 Проектирование дорожных одежд нежесткого типа
4. ПНСТ 542-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования.

Повышение качества ямочного ремонта

Жуковский Е.М., Ковалев Я.Н., Кравченко С.Е.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В статье рассмотрено напряженно-деформированное состояние существующего и ремонтного материала в местах стыка после проведения ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий. Материал в окрестности стыка ремонтной карты подвержен действию нагрузки от колеса автомобиля и испытывает объемное напряженное состояние, близкое к осесимметричному. Теоретически фрагмент ремонтной карты испытывает с некоторым приближением плоское деформированное состояние.

В связи с тем, что конструкция дорожной одежды является многослойной, а в настоящее время отсутствует аналитическое решение для ее расчета при загрузке вертикальной полосной нагрузкой, то в качестве расчетной принята однослойная конструкция. Возможность такого приближения показана сравнительным численным решением – методом конечных элементов. Погрешность определения напряжений в конструкции дорожной одежды при таком допущении не превышает 5 %.

Для определения растягивающих напряжений в зоне стыка было использовано аналитическое решение теории упругости для бесконечной полосы, загружающей упругое полупространство. Были изучены изменения сдвигающих напряжений в покрытии в зависимости от глубины выбоины и различного наклона плоскости стыка ремонтной карты к вертикали.

Показано, что снизить максимальные сдвигающие напряжения возможно при увеличении угла наклона плоскости стыка ремонтной карты к вертикали. На практике для реализации данного принципа при проведении ямочного ремонта для устройства плоскости стыка возможно использование дорожных фрез. По такому стыку сдвигающие напряжения будут иметь меньшие значения, чем значения напряжений по традиционному вертикальному стыку.

Одним из важных факторов для повышения срока службы ремонтных карт является правильное определение границ ее устройства. Для этого предлагается использовать критерий плотности дорожного покрытия и включать в границы карты покрытие в окрестностях выбоины, где плотность меньше, чем у покрытия без дефектов. Для этого возможно использовать приборы типа PQI.

Как результат, получено решение, позволяющее на практике совершенствовать технологию проведения ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий и предупреждать повторные разрушения в местах сопряжения существующего и ремонтного материала.

Введение

Резервы повышения устойчивости отремонтированных участков асфальтобетонных покрытий после ямочного ремонта связаны прежде всего с повышением прочности зоны стыка материалов ремонтной карты с материалом существующего покрытия. Хрупкие микроразрушения ремонтируемого покрытия, возникшие при обрезке контура карты, а также влияние погодно-климатических факторов во время производства ремонтных работ способствуют тому, что материал покрытия по плоскости стыка являются самым слабым.

Анализ показывает, что потенциально усилить зоны сопряжения существующего покрытия и ремонтной карты можно за счёт уменьшения в них растягивающих и сдвигающих напряжений. Анализ равновесия действующих усилий в зоне стыка дает возможность сравнивать величины касательных напряжений при разных наклоне и форме плоскости сопряжения материалов [1, 2].

В связи с этим возникает задача рассмотреть с точки зрения теории упругости оценку возникающих напряжений в зоне стыка ремонтной карты в зависимости от разного наклона плоскости сопряжения материалов: заполняющего карту и существующего покрытия.

Актуальность исследования определяется отсутствием литературных источников по данной теме и соответствующих нормативных документов.

Обоснование расчётной схемы

Материал в окрестности стыка ремонтной карты подвержен действию нагрузки от колеса автомобиля и испытывает объемное напряженное состояние близкое к осесимметрическому. Пусть на поверхность упруго-изотропного массива действует нагрузка в виде бесконечной полосы шириной b . Теоретически фрагмент ремонтной карты испытывает с некоторым приближением плоское деформированное состояние. Нагрузка, прикладываемая на полосу, учитывая ее малую толщину, принята как равномерно распределённая с интенсивностью P и шириной b .

Конструкция дорожного покрытия (рис. 1) предусматривает четыре слоя, имеющие разную жёсткость, которая определяется модулем упругости E . Кроме того, материал заделки ремонтной карты также отличается по своей жесткости от окружающих слоев. Коэффициент Пуассона для всех слоев принимался одинаковым. Границы между слоями располагались горизонтально, а толщина слоев считалась постоянной. Слои жестко сцеплены друг с другом и не могут проскальзывать относительно друг друга. Перемещения, вызванные деформацией слоев дорожного покрытия малы по сравнению с их толщиной. Поэтому задача рассматривается как геометрически линейная. Принято, что материал слоев деформируется по линейному закону (закону Гука). В связи с этим, задача физически линейная. Для решения задачи использованы методы линейной (классической) теории упругости. В настоящее время отсутствует аналитическое решение для расчета многослойной системы, нагруженной вертикальной полосовой нагрузкой. Поэтому использован численный метод – метод конечных элементов.

Для получения численного решения использован программный комплекс Autodesk Robot Structural Analysis Professional [3, 4]. Под нагрузкой выделена аппроксимирующая область. Для исключения влияния граничных условий по краям выделенной области ее размеры приняты значительно больше ширины нагрузки – $B \geq 3b$. Конечный элемент имеет кубовидную форму с размером ребра 10 мм и содержит восемь узлов, расположенных на его вершинах. Каждый узел имеет шесть степеней свободы. Таким образом, в каждом конечном элементе имеется 48 степеней свободы. Используемая аппроксимация перемещений в конечном элементе имеет линейный

характер. Поэтому в объеме каждого конечного элемента деформации и напряжения постоянные.

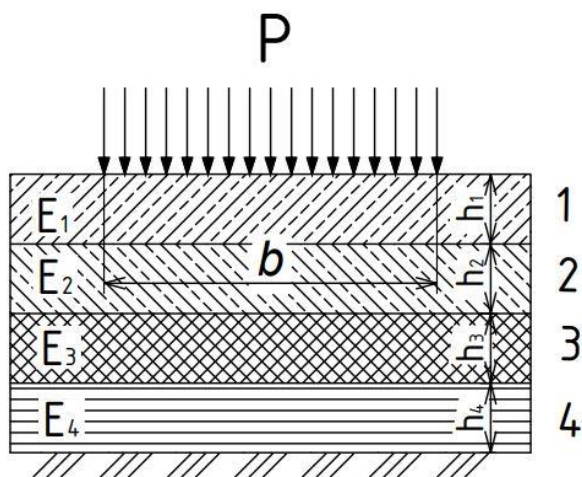


Рис. 1. Расчетная схема для определения напряженного состояния

Конечные элементы связаны друг с другом и опорами только в своих вершинах. Построение численной модели осуществляется послойной укладкой горизонтальных рядов конечных элементов. По толщине выделенной полосы взят только один слой конечных элементов. Чтобы обеспечить условие плоской деформации каждый узел построенного слоя прикрепляется к опорам горизонтальными связями, в поперечном направлении – к плоскости слоя. В связи с большим удалением нижней границы аппроксимирующей области, а значит и слабым влиянием границы на решение, для нее принято условие защемления. Поэтому узлы нижнего ряда прикрепляются к опоре тремя связями.

Размеры и положение аппроксимирующей области выбирались так, чтобы вертикаль, проведенная через середину нагрузки, делила эту область на две равные части. Распределенная нагрузка собирается в узлы и задается вертикальными сосредоточенными силами, приложенными к узлам верхнего ряда конечно-элементной модели

С учетом [5,6] физические и конструктивные параметры слоев дорожной одежды приведены в таблице 1.

Так как нижерасположенные слои дорожной одежды не оказывают существенного влияния на напряженное состояние в области стыка ремонтной карты, то они не были включены в область аппроксимации.

Для сравнительного расчета приняты следующие данные. Ширина аппроксимирующей области 2000 мм, а высота 130 мм. Ширина полосы нагружения равна диаметру круга, эквивалентному отпечатку колеса, и составляет 370 мм. Интенсивность нагрузки 0,6 МПа.

Таблица 1. Физические и конструктивные параметры слоев дорожной одежды

№ слоя	Наименование материала	Толщина слоя h , мм	Модуль упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона ν
1	Асфальтобетон плотный	50	4500	0,3
2	Асфальтобетон пористый	80	2600	0,3
3	Щебень	250	900	0,3
4	Песок средней крупности	500	120	0,3

В результате расчета нормальных и касательных напряжений с учетом и без учета слоистости материалов получены данные максимальных их значений, отнесенных к среднему давлению нагрузки в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение максимальных напряжений в дорожной конструкции

Вид напряжения	Значение напряжений, МПа		Отличие, %
	без учёта слоистости	с учётом слоистости	
Нормальное σ_z	-0,19	-0,20	5,0
Нормальное σ_y	-0,84	-0,87	3,4
Касательное τ_{zy}	-0,17	-0,16	5,0

Очевидно, что отличие напряженного состояния для случая учета и без учета слоистости незначительное. Поэтому оценка напря-

женного состояния исследуемой области может быть дана исходя из решения, полученного без учета слоистости. При этом погрешность не будет превышать 5%. Таким образом можно перейти к определению сдвигающих напряжений без учета слоистости системы.

Определение растягивающих напряжений по стыку ремонтной карты

В работе рассмотрено однородное полупространство, нагруженное полосовой равномерно распределенной нагрузкой шириной b и интенсивностью p . Расчетная схема представлена на рисунке 2.

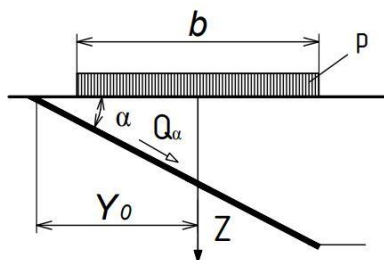


Рис. 2. Расчетная схема для определения сдвигающих напряжений по стыку ремонтной карты

Упругое пространство испытывает плоское деформированное состояние. В поставленной задаче используется полученное аналитическое решение теории упругости [7] для бесконечной полосы, загружающее упругое полупространство. Данное решение позволяет определить значения напряжений σ_z , σ_y , τ_{yz} для любой точки полупространства по формулам:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= -\frac{p}{\pi} \left[\beta_1 + \frac{1}{2} \sin 2\beta_1 - (\pm \beta_2) - \frac{1}{2} \sin(\pm \beta_2) \right]; \\ \sigma_y &= -\frac{p}{\pi} \left[\beta_1 - \frac{1}{2} \sin 2\beta_1 - (\pm \beta_2) + \frac{1}{2} \sin(\pm \beta_2) \right]; \\ \tau_{yz} &= \frac{p}{2\pi} (\cos 2\beta_2 - \cos 2\beta_1); \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{z}{y + b/2}\right);$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{z}{y - b/2}\right).$$

Знаки β_2 устанавливаются в зависимости от расположения расчетной точки по отношению к створу нагрузки. Если расчетная точка расположена так, что ее проекция на границе полупространства находится за границами нагрузки, то $\beta_2 > 0$, если в пределах нагрузки, то $\beta_2 < 0$.

Принято, что площадь сцепления материалов – это плоская площадка, наклоненная к границе полупространства под углом α . Учитывая, что полупространство испытывает плоское деформированное состояние, сдвигающие касательные напряжения могут быть определены по формуле:

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_y - \sigma_z}{2} \cdot \sin 2\alpha + \tau_{yz} \cos 2\alpha. \quad (2)$$

Разделив плоскость сцепления материалов на площадки и зная касательные напряжения на них, можно вычислить сдвигающую силу, приложенную к площадке по формуле:

$$Q_\alpha = \Delta S \sum_{k=1}^n \tau_\alpha; \quad (3)$$

где ΔS – размер участка на наклонной площадке;

n – количество участков на площадке.

Используя приведенные выше формулы и произведя расчет в зависимости от приложения нагрузки на различном расстоянии от стыка, были получены результаты, показывающие как изменяются максимальные касательные напряжения в зависимости от различного наклона плоскости стыка ремонтной карты к вертикали и глубины выбоины. Результаты показаны в таблице 3.

Таблица 3. Максимальные сдвигающие напряжения при различных углах наклона плоскости стыка

Удаленность нагрузки от края стыка, мм	Угол наклона плоскости сопряжения, град	Глубина выбоины, мм	Максимальные сдвигающие напряжения, МПа
186	90	50	0,190
186	90	100	0,190
186	60	50	0,140
186	60	100	0,140
186	45	50	0,124
186	45	100	0,157
186	25	50	0,130
186	25	100	0,112

По данным таблицы 3 построен график зависимости максимальных касательных напряжений от глубины выбоины (рис. 3).

Проведенный анализ исследований и расчётов показал, что максимальные касательные (сдвигающие) напряжения принимают наибольшие значения при вертикальной плоскости стыка ремонтной карты, устроенной по традиционной технологии проведения ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий (угол 90°).

В целях снижения максимальных сдвигающих напряжений, возникающих при наезде колеса автомобиля на стык ремонтной карты, рекомендуется:

- при устройстве ремонтных карт глубиной до 70 мм целесообразно устраивать стык сопряжения асфальтобетонного покрытия с укладываемым материалом под углом 45° к вертикали;

- в случае, когда ремонтная карта устраивается глубиной от 70 до 100 мм, его рекомендуется устраивать под углом 25° к вертикали.

Технологически это можно выполнить, используя для устройства плоскости стыка фрезу. Поверхность стыка будет иметь округлое очертание. В таком случае, в зависимости от диаметра барабана фрезы и толщины покрытия, будет изменяться угол наклона касательной к окружности. Так, например, в случае применения фрезы

дорожной ДЭМ-121 для трактора МТЗ с диаметром барабана 550 мм, угол наклона будет принимать значения от 0 до 35°. Это позволит не только снизить величину касательных напряжений у стыка, но так же и уменьшить количество ручного труда.

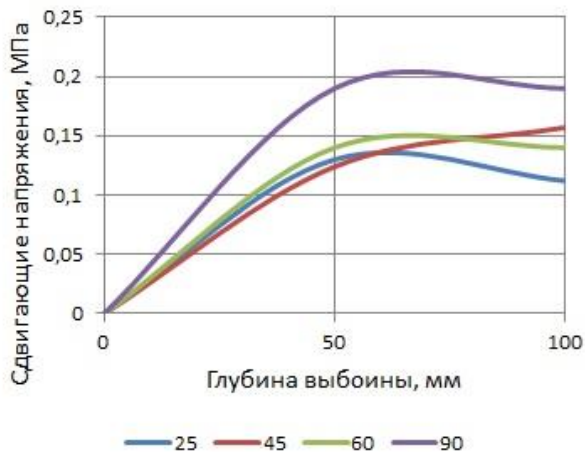


Рис. 3. Зависимость максимальных касательных напряжений от глубины выбоины при различных углах наклона плоскости стыка ремонтной карты

Учитывая малую глубину карты в верхней части наклонного стыка, что недостаточно для качественного уплотнения плотных смесей, то для ремонта по предлагаемой технологии необходимо использовать самоуплотняющиеся битумоминеральные горячие литые смеси.

Определение границ ремонтной карты

Повышение срока службы ремонтной карты по предлагаемой технологии возможно только при правильном определении границ карты. Для этого целесообразно использовать критерий плотности асфальтобетонного покрытия. Установлено, что асфальтобетон в окрестностях выбоины имеет меньшую плотность, чем в покрытии без дефектов. Это и является одной из причин разрушения покрытия. По этому устройству стыка ремонтной карты в дефектном покрытии (с плотностью меньше, чем у нормального покрытия) негативно скажется на её сроке службы. Для определения границ

устройства ремонтной карты возможно использовать прибор типа PQI [8]. Он позволяет определить плотность покрытия, либо коэффициент относительного уплотнения. Чтобы определить границы устройства ремонтной карты вначале определяется плотность покрытия без дефектов, а затем последовательно измеряя плотность от края разрушенного покрытия, определяется место, где покрытие имеет плотность равную плотности покрытия без дефектов. Устройство стыков в прочном и плотном покрытии позволит увеличить срок службы покрытия.

Заключение

С учетом теории упругости произведена оценка возникающих напряжений в зоне стыка ремонтной карты после проведения ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий. Оценка проводилась в зависимости от глубины выбоины и разного положения плоскости сопряжения материалов. Решение получено в условиях плоской деформации.

Проведенный анализ исследований и расчётов показал, что максимальные касательные (сдвигающие) напряжения принимают наибольшие значения при вертикальной плоскости стыка ремонтной карты, устроенной по традиционной технологии проведения ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий (угол 90°).

Снижение максимальных сдвигающих напряжений, возникающих при наезде колеса автомобиля на стык ремонтной карты, проявляется:

- при устройстве ремонтных карт глубиной до 70 мм целесообразно устраивать стык сопряжения асфальтобетонного покрытия с укладываемым материалом под углом 45° к вертикали;

- в случае, когда ремонтная карта устраивается глубиной от 70 до 100 мм, его рекомендуется устраивать под углом 25° к вертикали.

Предложенный способ определения границ устройства ремонтной карты по критерию плотности покрытия позволит увеличить срок службы ремонтной карты.

Данная технология устройства плоскости стыка ремонтной карты может быть наиболее эффективно применена при использовании в качестве ремонтного материала битумоминеральных горячих литых смесей, не требующих уплотнения.

Литература

1. Зуб. В. Н. Совершенствование технологии текущего ремонта асфальтобетонных покрытий в условиях пониженных температур и повышенной влажности / Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1989. – 192 с.
2. Игошкина, А.Ю., Ковалев, Я.Н. Оценка качества ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий / А.Ю. Игошкина, Я.Н. Ковалев // Наука и Техника. – 2005. – 6. – С. 24-26.
3. Сухоруков, В.В. Autodesk Robot Structural Analysis Professional: Справочное учебное пособие / В.В Сухоруков. – М.: Издательство АСВ, 2009. – 128 с.
4. Руководство пользователя Autodesk Robot Structural Analysis Professional [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2019/RUS/?guid=GUID-4A734308-B2F3-4147-A310-BD47C48E9ED>. – Дата доступа : 20.04.2021.
5. СН 3.03.04-2019 Автомобильные дороги
6. ТКП 45-3.03-112-2008 (02250) Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования
7. Пронина, Ю.Г. Лекции по теории упругости: Общие положения: Учебное пособие / Ю.Г. Пронина. – СПб.: СПбГУ, 2004. – 120 с.
8. Жуковский, Е.М. Повышение срока службы ремонтной карты / Е.М. Жуковский, Я.Н. Ковалев, С.Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2021. – №1. – С. 89–94.

Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части

Жуковский Е.М., Корончик А.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В статье проведена оценка эксплуатационного состояния по ширине дороги учитывала данные дефектности покрытия, изменения ровности во времени на основании сравнения пикового прироста, результаты визуального сбора данных по составу, количеству и распределению транспортного потока по полосам.

Достигнута систематизация и обработка результатов диагностических исследований и полученных данных в зависимости от полосы движения транспортных средств дорожного покрытия автомобильных дорог с более детальным рассмотрением крайней правой полосы.

Получены данные по дефектности покрытия в рамках работы каждой полосы в отдельности. На их основании можно утверждать, что крайняя правая полоса находится в условиях более тяжелой работы дорожной одежды на основании обработки и сравнения данных дефектности дорожного покрытия, т.к. фактическое наличие дефектов на крайних полосах превышает дефектность других полос.

В ходе проведения диагностики автомобильных дорог на территории Республики Беларусь руководствуются ТКП 140.

Оценка эксплуатационного состояния дорожного покрытия осуществляется с учетом объема дефектности покрытия; особенностей отдельных дефектов и их комплексного влияния на общий показатель эксплуатационного состояния; влияния дефектности на безопасность дорожного движения; установленного уровня требований к эксплуатационному состоянию.

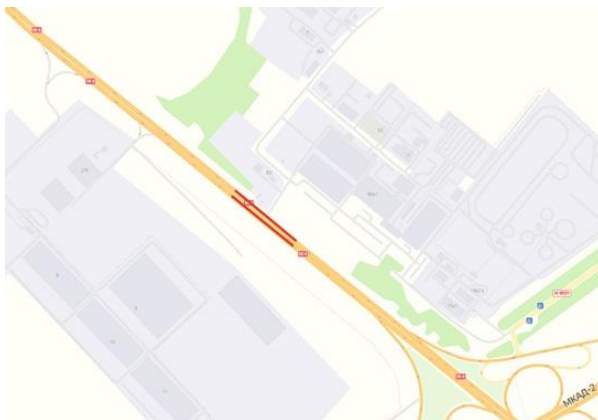
К основным дефектам, влияющим на эксплуатационное состояние дорожного покрытия следует отнести[2]:

- коррозийные дефекты (шелушение, выбоины, заплаты);

- пластические деформации (колея, сдвиги, просадки);
- усталостные разрушения (частые трещины, сетка трещин);
- температурные разрушения (отдельные и редкие трещины).

Для обследования были выбраны 5 участков автомобильных дорог. Их размещение показано на рисунке 1.

а)



б)

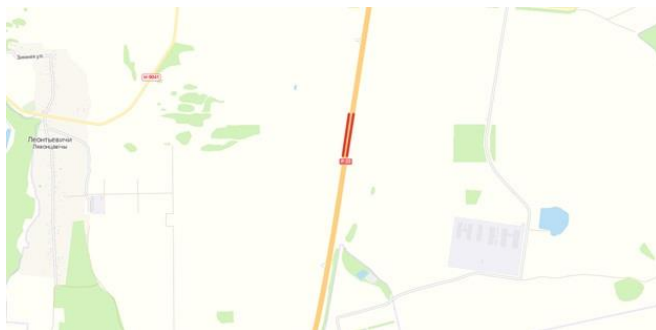


- а) М-4 - Минск — Могилёв – участок 17,2 км – 17,4 км;
 б) Р-1 – Минск – Дзержинск – участок 25,4 км – 25,6 км;

в)



г)



д)



Рис. 1. Размещение участков для обследования
в) Р-1 – Минск – Дзержинск – участок 33,3 км – 33,5 км;
г) Р-23 – Минск – Микашевичи – участок 15,1 км – 15,3 км;
д) Р-28 – Минск – Молодечно – Нарочь – участок 13,7 км – 13,9 км

Для выбора данных участков были предъявлены следующие требования:

- общая длина каждого расчетного участка составляла 200 м покрытия;
 - имели примерно одинаковые габаритные параметры;
 - участки не содержали переходно-скоростных полос;
 - учитывали прямое и обратное направление движения.
- Результаты диагностики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты диагностики автомобильных дорог по полосам

Полоса	Общая площадь участка, м ²	Общая площадь дефектов, м ²			
		пластические деформации	температурные трещины	усталостные трещины	коррозионные разрушения
1	2	3	4	5	6
М-4 - Минск — Могилёв – участок 17,2 км – 17,4 км (прямое направление)					
1	750	404	38	49	58
2	750	266	24	35	46
3	750	215	16	8	44
М-4 - Минск — Могилёв – участок 17,2 км – 17,4 км (обратное направление)					
1	750	293	45	57	57
2	750	284	36	30	52
3	750	234	24	23	74
Р-1 – Минск – Дзержинск – участок 25,4 км – 25,6 км (прямое направление)					
1	850	340	51	144	106
2	850	263	35	123	71
3	850	120	30	97	0
Р-1 – Минск – Дзержинск – участок 25,4 км – 25,6 км (обратное направление)					
1	850	316	21	78	58
2	850	237	23	73	77
3	850	0	5	25	20
Р-1 – Минск – Дзержинск – участок 33,3 км – 33,5 км (прямое направление)					
1	850	12	20	83	58
2	850	0	15	45	22

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Р-1 – Минск – Дзержинск – участок 33,3 км – 33,5 км (обратное направление)					
1	850	6	25	134	51
2	850	0	15	18	43
Р-23 – Минск – Микашевичи – участок 15,1 км – 15,3 км (прямое направление)					
1	850	347	29	83	96
2	850	207	15	0	0
Р-23 – Минск – Микашевичи – участок 15,1 км – 15,3 км (обратное направление)					
1	850	314	34	129	30
2	850	222	19	4	6
Р-28 – Минск–Молодечно–Нарочь–участок 13,7 км–13,9 км (прямое направление)					
1	850	314	8	186	74
2	850	218	0	139	60
Р-28 – Минск – Молодечно – Нарочь – участок 13,7 км – 13,9 км (обратное направление)					
1	850	298	0	215	0
2	850	163	0	123	12

Проведя анализ полученных результатов, объективно получены данные, по которым видна закономерность распределения основных видов дефектов по полосам движения транспортных средств. Полученные данные подтверждают более сложные условия работы крайней правой полосы движения.

Однако по данным табл. 1 трудно отслеживать динамику изменения состояния. Поэтому для дальнейшего анализа динамики принят для использования международный индекс ровности IRI, как интегральный показатель состояния дорожного покрытия.

Для оценки динамики было проанализировано изменение ровности на рассматриваемых участках автомобильных дорог с 2009 по 2020 гг. В качестве примера, на рис. 2 представлено изменение ровности на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск-Дзержинск (прямое направление) за этот период.

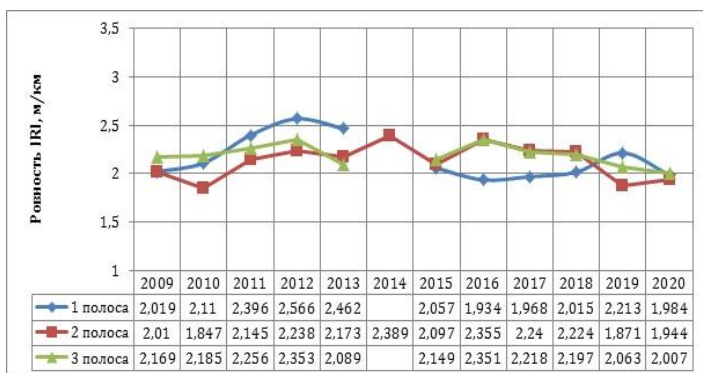


Рис.2. Изменение ровности на 25 км автомобильной дороги Р-1 Минск–Дзержинск (прямое направление)

Из рис. 2 видно, что ровность крайней правой полосы движения ниже, чем левых полос. Это можно объяснить тем, что крайние правые полосы загружены значительно больше расчетных показателей. По причине проведения ремонтных мероприятий невозможно оценить абсолютное изменение ровности по полосам во времени, поэтому, для оценки динамики изменения ровности можно использовать пиковый прирост неровности. Он определяется как отношение максимальных приращений неровности по полосам движения (табл. 2).

Таблица 2. Определение пикового прироста неровности

Дорога, км	Направление	Кол-во полос движения	Ровность, м/км				Пиковый прирост
			Правая полоса		Левые полосы		
			нач.	кон.	нач.	кон.	
М-4, 17	прямое	3	2,300	2,567	1,963	2,055	2,90
	обратное	3	2,487	2,666	2,152	2,230	2,29
Р-1, 25	прямое	3	2,110	2,396	2,016	2,200	1,55
	обратное	3	1,721	1,946	1,549	1,596	4,79
Р-1, 33	прямое	2	1,420	1,683	1,382	1,487	2,50
	обратное	2	1,627	2,101	1,647	1,777	3,65
Р-23, 15	прямое	2	1,164	1,516	1,211	1,333	2,89
	обратное	2	1,091	1,219	1,154	1,346	0,67
Р-28, 13	прямое	2	1,514	2,156	1,392	1,672	2,29
	обратное	2	1,486	2,018	1,406	1,572	3,20

Анализ данных за 2009–2020 годы показывает, что пиковый прирост неровности за год на крайней правой полосе 6-ти полосных

дорог в среднем в 2,88 раза больше, чем левых, а на 4-полосных дорогах в 2,5 раза.

Оценка эксплуатационного состояния показывает, что крайние правые полосы находятся в значительно худших условиях работы и требуют более ответственного подхода при их проектировании. Это можно объяснить тем, что нагрузка на правые полосы значительно больше нормативной.

Литература

1. ТКП 140-2015 Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики.
2. Веренько, В.А. Деформации и разрушения дорожных покрытий. Причины и пути устранения. – Мн., 2008. – 303 с.

Основы технологий ямочного ремонта на дорожных покрытиях нежесткого типа

Зленко Л.В., Шохалевич Т.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

При эксплуатации автомобильных дорог с учётом непрерывного движения транспорта возникает необходимость в проведении качественного ремонта дорожных покрытий в любое время года и в любых погодных условиях. В основном технологии ремонта дорожных покрытий нежесткого типа рассчитаны на их применение при положительных температурах. Но на практике возникает необходимость проводить ремонтные работы и при отрицательных температурах. Можно выделить несколько видов зависимостей, которые устанавливают связь между температурой поверхности выбоины и температурой горячей смеси при укладке при разных температурах окружающего воздуха с учётом типа смеси и марки битума.

Первое – это влияние условий производства работ на выбор технологии ремонтных работ.

При эксплуатации на дорожных покрытиях возникают деформации и разрушения, которые проявляется в виде различных трещин выбоин, просадок, волн, что снижает транспортно-эксплуатационные показатели и срок службы автомобильной дороги. Для их устранения применяются разные технологии, которые зависят от времени проведения работ, применяемого материала. Одним из основных является метод ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с использованием горячих асфальтобетонных смесей. Если ямочный ремонт, выполнен с нарушениями технологий, это снижает срок службы поверхности дорожного покрытия в 2–4 раза. Поэтому очень важно, чтобы было качественно подготовлено место для укладки горячей смеси, обеспечены температурные режимы при укладке и уплотнении в местах заделки дефектов покрытия. Применение горячих смесей с использованием битума разных марок влияют на прочностные характеристики и температурные режимы горячих смесей при ремонте покрытий и предъявляют по-

вышенные требования к укладке и уплотнению горячих асфальтобетонных смесей.

Второе – влияние температуры воздуха на тепловые процессы горячей смеси.

Производство работ с горячей асфальтобетонной смесью напрямую зависит от температуры воздуха и для их выполнения допускаются температуры воздуха весной и летом не ниже +5 °С и осенью +10 °С, иногда допускается производство работ при пониженных температуре воздуха до -10 °С, что в свою очередь влияет на качество работ по устройству и ремонту дорожных покрытий нежесткого типа в процессе эксплуатации автомобильной дороги. При производстве работ по устранению выбоины на поверхности дорожного покрытия горячая асфальтобетонная смесь укладывается и распределяется по объёму выбоины. После укладки смеси происходит интенсивное охлаждение небольших объёмов горячей смеси по периметру выбоины, что способствует образованию объёмов смеси с низкими эксплуатационными параметрами. Поэтому температура воздуха влияет на общий темп охлаждения горячей смеси в зоне контакта горячей смеси с боковой поверхностью выбоины.

Третье – влияние температуры смеси на технологические режимы горячей асфальтобетонной смеси в выбоине.

При производстве работ с применением горячих асфальтобетонных смесей за основу принята температура с учётом типа смеси. Технологии горячих смесей зависят от марки битума, которые различаются температурами для одного и того же типа смеси. Чтобы обеспечить требуемые показатели качества работы при устройстве и ремонте дорожных покрытий нежесткого типа, требуется соблюдение температурных режимов укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей

Четвертое – влияние скорости ветра на охлаждение горячей смеси.

Существуют определенные ограничения на производство работ с горячими асфальтобетонными смесями в зависимости от скорости ветра. Если понижается температура воздуха, разрешается укладывать горячую асфальтобетонную смесь на подготовленное основание при условии, что скорость ветра не превышает установленных пределов. Это ограничение связано с интенсивной отдачей тепла в окружающую среду при распределении смеси небольшим слоем на

значительной поверхности покрытия, что способствует повышению темпа охлаждения горячей смеси и снижению продолжительности устройства покрытия.

Пятое – влияние температуры основания на температурные режимы горячей смеси

Если понижается температура воздуха при устройстве дорожных покрытий нежёсткого типа, допускается укладывать верхний слой на свежееуложенный нижний слой при его температуре 20–40 °С и температуре воздуха ниже +10 °С. Нижний слой покрытия с более высокой температурой по отношению к температуре окружающего воздуха способствует уменьшению отдачи тепла основанию слоем горячей смеси, что приводит к увеличению времени устройства верхнего слоя покрытия в заданных температурных интервалах асфальтобетонной смеси. Увеличение температуры основания до 30–40 °С, при температуре окружающего воздуха -10 °С, способствует увеличению продолжительности устройства покрытия в интервале температур смеси 60–160 °С на 25–35%, аналогично увеличивается и возможная продолжительность процесса уплотнения.

Можно сделать выводы, что для каждого типа смеси и марки битума существуют зависимости, позволяющие производить качественный ремонт покрытия при условии обеспечения доставки горячей асфальтобетонной смеси заданной температуры к месту производства ремонтных работ, а также уменьшение температуры горячей смеси при доставке к месту производства ремонтных работ способствует росту объёма асфальтобетона выбоины в зоне контакта с покрытием, температура которого ниже допустимой. С понижением температуры горячей смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия необходимо увеличивать температуру нагрева поверхности выбоины; нагрев поверхности выбоины перед укладкой горячей смеси обеспечивает температурные режимы горячей смеси при производстве ремонтных работ даже при условии доставки смесей с температурой, ниже минимально допустимой; нагрев боковых поверхностей выбоины позволяет уменьшить зону асфальтобетона с пониженной температурой при одновременном увеличении продолжительности работ по ремонту выбоин с обеспечением температурных режимов горячей смеси.

Литература

1. Васильев, А.П., Сиденко, В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – М., 1990.
2. Левицкий, Е.Ф., Чернигов, В.А. Бетонные покрытия автомобильных дорог. – М., 1980.
3. Яромко, В.Н. Реабилитация дорожных покрытий. – Минск, 2002.
4. Технология и организация строительства автомобильных дорог / Н. В. Горелышев и др. – М.: Транспорт, 1991. – 551 с.
5. Подольский, В.П. Технология и организация строительства автомобильных дорог / В. П. Подольский; под ред. В. П. Подольского – Т. 2: Дорожные покрытия. – М.: Академия, 2012. – 297 с.

**Активированный крупный наполнитель
для композиционных материалов**

Соболевская С.Н., Гурбо Н.М. . к.т.н., доцент, Белорусский национальный технический университет,
Бусел А.В. Государственное предприятие «БелдорНИИ»

Традиционные технологии дробления горных пород обеспечивают получение требуемого гранулометрического состава каменных материалов и в отдельных случаях обеспечивают необходимую форму частиц (кубовидную). Проблема повышения физико-химической активности минеральной поверхности по отношению к вяжущим материалам в большинстве случаев не решается. Между тем, согласно общей теории конгломератных материалов структура бетона определяется расположением зерен наполнителя и энергией связи с цементным камнем. На границе их контакта имеются микротрещины и полости, которые являются концентратами напряжений и способствуют существенному снижению прочности бетона. Преодолеть это негативное давление призвана активационная технология, обеспечивающая прививку к поверхности гранитного щебня ионов поливалентных металлов, вызывающих повышение ее физико-химической активности по отношению к цементному камню [1]. При этом обеспечивается более плотный и прочный контакт, приводящий к увеличению структурной прочности бетона.

Поверхностные свойства определяются наличием кислотных и основных центров Льюисовского (L-центров) и Бренстедовского (B-центров) типов [2,3]. Входящий в гранит основной минерал – кварц характеризуется отсутствием сильных кислотных центров B и L-типа, так как существующие на его поверхности группы, в которых кремний находится в четверной координации, не являются донорами и акцепторами электронов. В этом случае все вакантные 3d-орбитали атомов кремния уже использованы для взаимодействия с атомами кислорода в кремнекислородных тетраэдрах. В процессе дробления равновесие нарушается, на свежобразованной поверхности появляются ионы Si^+ и O^- , которые способны взаимодей-

ствовать с ионами активатора и вступать в реакции замещения [4]. Для активации гранитного щебня был выбран сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$ в виде водного раствора. При этом на свежесформованной поверхности щебня закрепляются ионы Al^{3+} в виде Льюисовских кислотных центров, которые существенно изменяют ее активность по отношению к цементу.

Полученный в производственных условиях активированный щебень обладает следующими положительными свойствами: во-первых он имеет форму частиц близкую к кубической, что способствует его лучшей упаковке в структуре бетона, во-вторых его поверхность имеет особые физико-химические параметры.

Активированный гранитный щебень фракции 5-20, был использован в составе тяжелых бетонов. Для приготовления бетонных смесей применяли портландцемент марки ПЦ 500-ДО ОАО «Красносельскстройматериалы». Расчет состава бетона выполняли по методу «абсолютных объемов», разработанный профессором Б.Г.Скрамтаевым. На основе проведенных расчетов, а также с учетом планируемого применения указанного бетона для производства изделий на заводах сборного железобетона, нами использован следующий состав бетонной смеси (кг/м³): цемент – 349,2; песок – 785,3; щебень – 1135,7; вода – 209,5. Удобоукладываемость бетонной смеси составила в среднем 10-12 см.

В процессе экспериментов исследовали влияние активирующей добавки на кинетику набора прочности бетона при нормально-влажностном твердении и при пропаривании. Прочностные характеристики бетона в разные сроки твердения (R1-1 сутки, R7-7 суток, R28-28 суток) приведены в таблице 2. Для сравнения использовали бетон аналогичного состава (контрольный) на неактивированном щебне.

Производственная апробация бетонной смеси на активированном щебне в заводских условиях показала, что достигается рост прочности бетона по сравнению с аналогичным типовым составом на неактивированном щебне: одни сутки после пропарки – на 39%, на 28 суток после пропарки – на 30%. При этом установлено, что применение активированного гранитного щебня повышает подвижность бетонной смеси и позволяет отказаться от использования в их составе дорогостоящих пластифицирующих добавок.

Таблица 1. Динамика твердения и прирост прочности бетона

Вид бетона	Прочность бетона при сжатии, МПа			
	Пропарка		Нормально-влажностное твердение	
	R1	R28	R7	R28
Контрольный состав	14,1	21,4	9,16	22,0
На активированном щебне	21,6	30,0	18,6	32,4
	53,2	40,2	103,1	47,3

Примечание: в знаменателе приведен прирост прочности бетона на активированном щебне, %.

Качество поверхности экспериментальных изделий оказалось выше чем традиционных – уменьшилось (в 2-3 раза) количество пор на единицу площади.

Литература

1. Бусел А.В., Чистова Т.А., Киселев В.В. Активация крупного заполнителя – резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона / Технология бетонов. 2010. № 11-12 – с.31-33.

2. Лукаш Е.А., Повышение эффективности бетонов за счет модифицирования поверхности наполнителей из техногенного сырья КМА: Дис... канд.тех.наук. – Белгород.,2008. -204с.

3.Макшин А.Н. Активация цементного вяжущего в гидродинамическом диспергаторе и свойства бетона на его основе. Дис... канд.тех.наук. – Новосибирск.,2009. – 152с.

4.Чистова Т.А. Получение химически активированных каменных материалов из кислых горных пород и их применение в дорожном строительстве. Дис... канд.тех.наук. – Минск., 2007.-245с.

5. Евразийский патент № 007651 Способ активации минеральных материалов /Бюллетень Евразийского патентного ведомства. 2006, № 6 – с.173.

Влияние климатических факторов на деградацию автомобильных дорог

Карабаев А.М.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

Республика Узбекистан расположена в центральной части Евразийского континента между 37 и 45° с. ш., 56 и 73° в.д. Общая ее площадь составляет 447,7 тыс. км², из них 78,8 % приходится на равнины, 21,2 % на горы и предгорья. Территория относится к засушливой зоне Средней Азии. Почти четыре пятых территории страны расположены в пределах особенно уязвимых к возможным изменениям климата обширных среднеазиатских полупустынь и пустынь, окаймленных с юго-востока и востока мощными горными системами (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Географическое положение Республики Узбекистан

На севере Узбекистан граничит с пустынями Южного Казахстана, на северо-востоке и востоке граница пересекает отроги хребтов Тянь-Шаня, на юго-востоке Гиссаро-Алая. На юге и юго-западе

граница проходит вдоль Амударьи, разделяющей пустыни Кызылкум и Каракумы, а на западе – по пустынному плато Устюрт [1].

Для территории характерны значительные перепады высот. Самая низкая точка расположена на днище впадины Минбулак (12 м н.у.м.). Наивысшей точкой является вершина Гиссарского хребта - Хазрет Султан с абсолютной отметкой 4463 м.

На территории Узбекистана существует пять природных экосистем: пустынные экосистемы равнин; предгорные полупустыни и степи; речные и прибрежные экосистемы увлажненных территорий и дельт; горные экосистемы.

Южная часть Узбекистана располагается в субтропическом климатическом поясе, северная – в умеренном.

Высокий уровень притока солнечной радиации в сочетании с особенностями подстилающей поверхности и циркуляции атмосферы формирует континентальный тип климата, характеризующийся значительными колебаниями температур воздуха, продолжительным сухим и жарким летом, влажной весной и неустойчивой зимой [1].

Осадки в основном приурочены к весенне-зимнему периоду.

В настоящее время в Узбекистане работает более 80 станций. Обобщение многочисленных исследований и данных наблюдений позволяет достаточно полно охарактеризовать основные климатические зоны и оценить природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан на современном этапе.

На территории Узбекистана можно выделить три основные климатические зоны: зону пустынь и сухих степей, зону предгорий и зону гор, хотя границы между ними выражены не столь четко.

Зона пустынь и степей охватывает всю равнинную территорию Узбекистана – плато Устюрт, пустыня Кызылкум, Каршинская, Дальверзинская и Голодная степи. Количество осадков здесь мало: обычно не превышает за год 200 мм. Зимы, за исключением Устюрта, чаще всего теплые, короткие, с незначительным и неустойчивым снежным покровом.

Зона предгорий опоясывает Тянь-Шанскую и Гиссаро-Алайскую горные системы в интервале высот от 300-400 до 600-1000 м н.у.м. Зима в этой зоне теплее, чем на равнине, устойчивый снежный покров образуется не каждую зиму. Весна начинается в конце февраля – начале марта, но поздние весенние заморозки на

почве возможны до конца апреля, а в некоторых районах даже в мае. Лето менее знойное, чем на равнинной территории, хотя местами максимальная температура воздуха достигает 45–46 °С.

Горная зона лежит выше 600–1000 м н.у.м. Среднее годовое количество осадков практически везде превышает 400 мм, в верхних зонах гор на отдельных наветренных склонах может выпасть более 2000 мм. Осадки выпадают здесь круглый год, но максимум приходится на апрель – май. Устойчивый снежный покров начинается с высоты 800–1000 м. Местами его максимальная толщина превышает полтора метра.

Солнечная радиация. Основным источником возникновения и развития физических явлений и процессов в атмосфере является энергия Солнца. В крайних северных точках Узбекистана на 45°35' с.ш. наибольшая высота Солнца в день летнего солнцестояния достигает почти 68°, а в крайних южных точках на 37°10' с.ш. равна 76°. В день зимнего солнцестояния высота Солнца равна соответственно 21 и 29°. В связи с этим приток лучистой энергии от Солнца в Узбекистане велик [2–4].

Продолжительность солнечного сияния на севере Узбекистана составляет в среднем 2800 ч/год. К югу значения возрастают, и на крайнем юге (Термез) продолжительность солнечного сияния достигает 3050 ч/год.

В зимне-весенний период продолжительность солнечного сияния минимальна не превышает в среднем 80–100 ч в месяц.

Суточная продолжительность солнечного сияния в среднем составляет 8–10 ч. В зимнее время из-за повышенной облачности суточное число часов солнечного сияния несколько менее половины возможного: при продолжительности дня от 8 ч на севере до 9,5 ч на юге оно равно лишь 3–5 ч. Энергетическая освещенность прямой солнечной радиацией на перпендикулярную к лучам поверхность (S) на равнинных станциях в полуденные часы при ясном небе по данным [5–7] колеблется от 0,80 до 0,94 кВт/м². Средние годовые амплитуды составляют 0,10–0,15 кВт/м². На высокогорных станциях (Кызылча) средние многолетние величины S изменяются в пределах 0,94–1,06, а максимальные величины достигают 1,21 кВт/м².

Энергетическая освещенность рассеянной радиацией (D) в 12 ч 30 мин изменяет в среднем в пределах 0,10–0,18 кВт/м².

Количество солнечной радиации, поступающее на горизонтальную поверхность, зависит от высоты Солнца над горизонтом:

$$S' = S \cdot \sin h_0,$$

где h_0 – высота Солнца над горизонтом. В полдень различие между S и S' может достигнуть почти 50 %.

Прямая солнечная радиация (S , S') и рассеянная (D) относятся к коротковолновой части спектра.

Суммарная радиация (Q) определяется общим приходом прямой и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность:

$$Q = S' + D$$

Средние многолетние величины энергетической освещенности суммарной радиацией Q заключены в пределах 0,45–0,96 кВт/м², минимум в январе, максимум в марте–июне.

Когда речь идет не о мгновенных значениях (вернее о минувших), а более длительных интервалах времени (час, сутки, месяц, год), в качестве единиц измерения используются МДж/м² (1 кВт ч/м² = 3,6 МДж/м²).

Как видно из табл. 1.1, годовые суммы прямой и суммарной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе достигают и даже превышают 6000 – 7000 МДж/м², соответственно.

На крайнем юге суммарная радиация около 8000, а в горах (Кызылча) 8350 МДж/м². В условиях средней облачности количество поступающей на земную поверхность радиации существенно меньше. Для суммарной радиации за год эта величина не выше 6500 МДж/м².

Альbedo – величина, характеризующая отражательную способность подстилающей поверхности (A), также имеет ярко выраженный сезонный ход. Наибольшей отражательной способностью обладает свежевывпавший снег. Соответственно зимой в горах отмечаются наибольшие значения (станция Кызылча – 73-81 %), на равнине величина альbedo заметно ниже.

Минимальные значения приходятся на летние месяцы, уменьшаясь до 19–31 %.

Радиационный баланс деятельной поверхности является ведущим компонентом теплового баланса, он определяет величину и знак потоков тепла в воздух и почву, суточный ход испарения и конденсации.

Радиационный баланс складывается из приходных и расходных статей солнечной радиации:

$$B = Q - R - E_{\text{эф}}$$

где R – отраженная коротковолновая радиация, $E_{\text{эф}}$ – эффективное излучение, разность между поступающим к поверхности Земли длинноволновым излучением и собственным длинноволновым излучением Земли.

Величина радиационного баланса за год составляет для северных районов 1885 МДж/м², для южных - 2807, в высокогорных районах около 1424 МДж/м² [9].

Для крайних южных районов Узбекистана и районов, защищенных от холодных вторжений, радиационный баланс весь год положительный. Для крайних северных районов и для большей части территории Узбекистана в зимний период в отдельные годы возможны отрицательные значения от минус 4,19 до минус 29,3 МДж/м² [9].

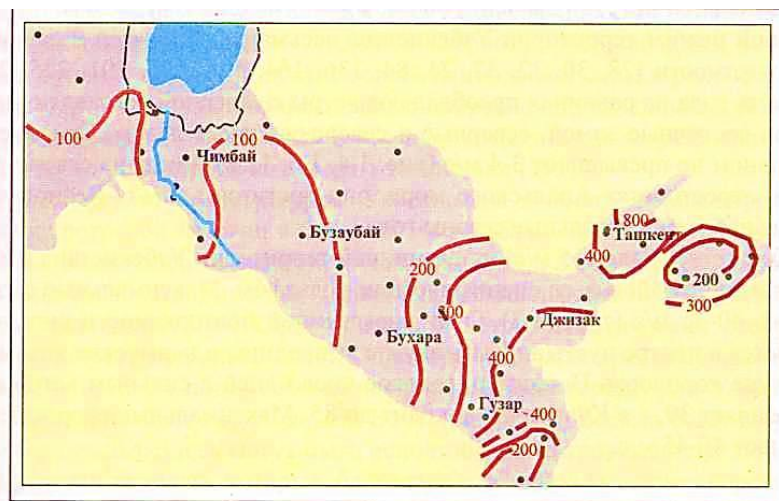


Рис. 1.2. Годовое количество осадков (R , мм) по территории Узбекистана

Таблица 1.1 Суммы прямой радиации () на горизонтальную поверхность при ясном небе [5]

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Каракалпакия	202	295	466	611	768	787	772	672	512	397	244	184	5930
Тахиаташ	237	318	492	613	742	765	740	663	526	410	253	191	5950
Тамды	250	327	508	363	775	794	777	701	550	430	281	211	6240
Ташкент	223	302	488	584	728	745	733	647	497	367	263	149	5726
Фергана	193	263	439	560	688	700	686	604	461	340	216	174	5324
Самарканд	274	344	533	626	744	723	739	656	507	404	283	235	6058
Термез	299	379	542	634	744	729	719	662	528	447	305	269	6257
Кызылча	311	393	595	774	861	843	799	726	574	454	326	272	6938

Переход радиационного баланса от отрицательных значений к положительным происходит в среднем в начале марта. Смена знака осенью отмечается в последней декаде октября начале ноября. Разница между максимальными и минимальными значениями радиационного баланса составляет в зимние месяцы 21-84 МДж/м², а в летние месяцы - до 209 МДж/м²[1].

Большая часть равнин засушлива, особенно на западе. В среднем за год здесь выпадает от 80 до 250 мм (рис. 1.2).

Большая часть равнин засушлива, особенно на западе. В среднем за год здесь выпадает от 80 до 250 мм. В предгорьях их количество меняется от 100 до 500 мм. Еще больше осадков в горах: на наветренных склонах Западного Тянь-Шаня на больших высотах годовая их сумма превышает 2000 мм. Много осадков выпадает и на наветренных склонах Зеравшанского хребта (например, на станции Аманкутан – 960 мм/год). Следует отметить значительные временные колебания годовых сумм осадков [1].

Литература

1. Чуб, В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. – Ташкент: САНИГМИ, 2000. – 252 с.

2. Шилакадзе, Т.А., Бусел, А.В., Каримов, Б.Б. Дорожное строительство: современные решения проблем: учебное пособие. – М.: МПК, 2016. – 272 с.

3. Гезенцев, Л.Б. Пути улучшения структурно-механических свойств асфальтового бетона // Афтореф. дис. ... доктор. техн. наук. – М.: МАДИ, 1964. – 38 с.

4. Каримов, Б.Б., Алиев, А.М. Автомобильные дороги в условиях гор и жаркого климата. Том 1. Учебное пособие. – М.: МПК, 2014. – 335 с.

5. Teltayev, B., Kaganovich, E. Evaluating the Low Temperature Resistance of the Asphalt Pavement under the Climatic Conditions of Kazakhstan. In: 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements, 2012, pp. 211–221; Teltayev, B., E. Kaganovich. Bitumen and asphalt concrete requirements improvement for the climatic conditions of the Republic of Kazakhstan /CD. Proceedings of the XXIVth World Road Congress, 2011, pp. 1–13.

6. Кирюхин, Г.Н., Джуманов, Р.Б. Плюсы и минусы системы проектирования асфальтобетона «суперпейв»: Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. – М.: МАДИ, 2014. С.72–84.

7. Карабаев, А.М. Об открытии низкотемпературного трещинообразования в асфальтобетонном покрытии // Вестник ТашИИТ. – №2/3. – 2017. – С. 17–22.

8. Леонович, И.И. Дорожная климатология: Учебник. – Минск.: БНТУ. – 2005. – 385 с.

9. Бусел, А.В. Ремонт автомобильных дорог: Учебное пособие. – Минск.: Арт Дизайн, 2004. – 208 с.

Щебень из цементогранулята в дорожном строительстве

Ковалев Д.М., Зиневич С.И., Каюмов А.
Белорусский национальный технический университет

Использование вторичного сырья при выполнении дорожных строительно-ремонтных работ позволяет значительно снизить затраты на выполнение этих работ, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Анализ возможности использования цементогранулята (продукта переработки различных поврежденных железобетонных изделий) для дорожных работ выполнен в статье «Цементогранулят как альтернатива природному сырью» (авторы Реут Ж.В. и др.) [1] позволил сделать авторам вывод о возможности использования цементогранулята вместо природных гравийных смесей. В настоящей статье изучается вопрос возможности использования цементогранулята как заменителя щебня при устройстве дорожных одежд.

Стандартные испытания цементогранулята

Для того что бы сделать заключение о возможности использования цементогранулята вместо щебня из горных пород при устройстве дорожных одежд, были выполнены стандартные испытания этого материала.

Зерновой состав и модуль крупности цементогранулята были определены в выше указанной статье авторов Реут Ж.В., Зиневич С.И., Ковалев Д.М. В данной работе определяли следующие характеристики материала: насыпная плотность, плотность зерен, пустотность и дробимость.

Определение насыпной плотности

Насыпную плотность определяли путем взвешивания определенного объема цементогранулята в воздушно-сухом состоянии в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 П 4.17 [2] по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V},$$

где m – масса мерного цилиндра, г;
 m_1 – масса мерного цилиндра с цементогранулятом, г;
 V – объем мерного цилиндра, см³.

Результат испытания приведен в таблице 1.

Таблица 1. Определение насыпной плотности цементогранулята

Наименование материала	Объем цилиндра, см ³	m , г	m_1 , г	Насыпная плотность, г/см ³	Средняя насыпная плотность, г/см ³
Цементогранулят фракции 5-20	10000	1545,0	15455	1,391	1,391
		1545,0	15462	1,391	

Определение плотности зерен цементогранулята

Среднюю плотность зерен цементогранулята в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 П 4.16.1 [2] определяли по формуле:

$$\rho_3 = \frac{m}{m_1 - m_2} \cdot \rho_6$$

Где m – масса пробы в сухом состоянии, г;

m_1 – масса пробы в насыщенном водой состоянии на воздухе, г;

m_2 – масса пробы в насыщенном водой состоянии в воде, г;

ρ_6 – плотность воды, г/см³.

Результат испытания приведен в таблице 2.

Таблица 2. Определение средней плотности зерен цементогранулята

Наименование материала	Плотность воды, г/см ³	m , г	m_1 , г	m_2 , г	Плотность зерен, г/см ³	Средняя плотность зерен, г/см ³
Цементогранулят фракции 5-20	1	1000,0	1095,3	703,4	2,551	2,549
		1000,0	1093,7	701,2	2,548	

Определение пустотности

Пустотность определяют расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности цементогранулята в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 П 4.16.2 [2].

Пустотность цементогранулята, % по объему, определяют по формуле

$$V_{\text{пор}} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z}\right) \cdot 100$$

Где ρ_n - насыпная плотность цементогранулята, г/см³;

ρ_z - средняя плотность зерен цементогранулята, г/см³.

Результат расчета приведен в таблице 3.

Таблица 3. Определение пустотности цементогранулята

Наименование материала	Насыпная плотность, г/см ³	Плотность зерен, г/см ³	Пустотность цементогранулята, %
Цементогранулята фракции 5-20	1,391	2,549	45,43

Определение дробимости

Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 П4.8 [2]. Испытание производилось на цементогрануляте фракции 5-20. Согласно требованиям, он был рассеян на 2 более узких фракции 5-10 и 10-20. Каждая фракция была испытана отдельно.

Дробимость D_p , определяют с точностью до 1 % по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100,$$

где m масса испытываемой пробы щебня (цементогранулята), г;

m_1 масса остатка на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы (цементогранулята), г.

Результат расчета приведен в таблице 4

Таблица 4. Определение дробимости цементогранулята

Наименование материала	Контрольные сита, мм	m, г	m ₁ , г	Др, %	Марка по дробимости
Цементогранулят фракции 5-10	1,25	317,47	256,44	19,22	600
Цементогранулят фракции 10-20	2,5	285,34	237,55	16,75	600

Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что цементогранулят соответствует требованиям, предъявляемым к щебню, для устройства дорожных одежд автомобильных дорог.

На взгляд авторов, использование цементогранулята особенно может быть востребовано при строительстве и реконструкции местных дорог. В настоящее время, как известно, выполняется программа «поднятия» уровня местных дорог, а это около 70 тысяч километров и потребуется огромное количество дорожно – строительных материалов. Использование вторичных ресурсов позволит не только снизить затраты на строительство, но и уменьшит негативное их воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Цементогранулят как альтернатива природному сырью / Ж. В. Реут, С. И. Зиневич, Д. М. Ковалев // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Международной научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – с. 65-70
2. ГОСТ 8269.0–97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

ВМ-технологии при проектировании водопропускных труб в программном комплексе КРЕДО

Кононова Е.И.¹, Шохалевич Т.М.²

¹Компания СП "КРЕДО-ДИАЛОГ" - ООО:

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Проектирование автомобильных дорог сопряжено с решением ряда задач различной степени сложности. Одной из таких задач является расчет конструктивных элементов водопропускных труб. Они предназначены для пропуска под насыпями дорог небольших водотоков, ливневых и талых вод. Непосредственно от их работы зависит не только общее состояние дороги, но и обеспечение охраны окружающей среды.

Разработанный и включённый в единый программный комплекс КРЕДО модуль КРЕДО ТРУБЫ позволяет ускорить ряд действий, оценить принятые решения с помощью информационной модели при проектировании водопропускных сооружений. В модуль изначально заложен механизм технологии информационного моделирования, обладающий потенциалом на дальнейшую перспективу по уровню детализации, пополнению атрибутивной информацией, глубине динамических связей, а также контролю информационных моделей водопропускных труб и их компонентов в составе дорог на всех стадиях их жизненного цикла.

Проектирование водопропускных труб включает следующую последовательность действий:

Расчет максимальных расходов ливневого и талого стоков;

Расчет отверстий труб, определение величины подпора воды перед трубой и скорости воды на выходе;

Конструирование трубы и определение ее длины;

Проектирование укрепления русла и откосов насыпи на входе и на выходе из трубы;

Определение объемов работ, получение спецификаций и создание чертежа.

Решение первых двух задач обеспечивается с помощью программ ГРИС-С и ГРИС-Т соответственно. С остальными задачами успешно справляется программа КРЕДО ТРУБЫ.

При помощи модуля КРЕДО ТРУБЫ пользователь выполняет автоматизированный расчет водопропускных труб на автомобильных дорогах и выпуск необходимых чертежей и ведомостей. Она позволяет конструировать трубы различной сложности, при этом производит проверку заданных условий и сообщает пользователю об ошибках.

Программа КРЕДО ТРУБЫ разработана по техническим нормативным документам Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины и Казахстана.

Программой предусмотрен расчет 11 типов железобетонных водопропускных труб и 3 типов металлических гофрированных.

Конструкция оголовочной части и основания под трубу учитывает тип грунта и зависит от глубины промерзания в данном районе.

Программа КРЕДО ТРУБЫ может работать автономно, как самостоятельное программное обеспечение, в то же время функционал программы полностью включен в систему КРЕДО ДОРОГИ как отдельный модуль и доступен для использования при наличии лицензии.

Рабочая область модуля разделена на несколько областей: окно план, продольное сечение, фасады входного и выходного оголовков, поперечные сечения по средней части, по противofiltrационному экрану, по засыпке оголовка, а также окно 3D-модели трубы. Все окна динамические и при изменении параметров какого-либо элемента конструкции трубы они сразу же обновляются (рис. 1). В окне 3D-модели трубы можно наглядно оценить и проанализировать принятый вариант. При нахождении ошибок и коллизий отредактировать их в кратчайшие сроки.

Для каждой трубы автоматически создается отдельный проект с индивидуальным названием, включающим пикетное положение трубы. Для удобства пользователя, контроля и исключения возможных несоответствий типовых проектов и диаметров труб в системе предусмотрена фильтрация при выборе или вводе нормативного документа, нагрузки либо расхода.

Начало и конец трубы в плане можно задавать интерактивно вручную или внести данные в таблицу. Дальнейшее редактирование

производится при помощи управляющих точек в окне плана. При этом отметки лотка можно определить методом интерполяции, указав слой с созданной поверхностью либо задать значение в окне параметров.

После назначения оголовочного звена, типа фундамента, конструкций входного и выходного оголовка происходит автоматическая раскладка трубы и обновляются все окна системы (рис. 1). Производится автоматическая расстановка отметок в продольном сечении на каждом звене, при этом учитывается строительный подъем.

При проектировании гофрированных сборных труб длина подбирается кратной длинам листов в соответствии с типовыми проектами. При изменении геометрии трубы пересчитывается раскладка средней части. Все элементы средней части при необходимости можно отредактировать в специальном *Конструкторе*. Программой предусмотрено два типа засыпки трубы – однослойная/двухслойная и засыпка в прогале. Проектировщик может выбрать следующие типы укреплений русла и откосов: монолитный бетон, каменная наброска, георешетка со щебнем, габионные конструкции, нетканый синтетический материал.

Укрепления из монолитного бетона, согласно типовым проектам, включают разбивку разделителями на карты.

При этом может учитываться угол поворота трубы. Укрепление русла можно производить по лотку трубы, горизонтально или с заданным уклоном (рис. 2).

Проверку на соответствие нормативным значениям можно выполнить после расчета отметок точек с учетом строительного подъема. Выполняется проверка соответствия нормативным значениям продольного уклона трубы; диаметра/высоты трубы в зависимости от ее длины и категории дороги; максимальной и минимальной высоты засыпки над трубой.

В случае несоответствия проектного решения какому-либо из требований выдается протокол, в котором для каждой проверки описываются фактические данные и предупреждение с рекомендациями, если требования не соблюдены.

Выполнив проектирование элементов трубы, можно перейти к созданию Комплексного чертежа, определив для этого требуемые компоненты: план, продольный разрез, фасады входного и выход-

ного оголовков, поперечные разрезы, спецификация блоков, ведомость объемов работ, таблица основных характеристик, схема строительного подъема.

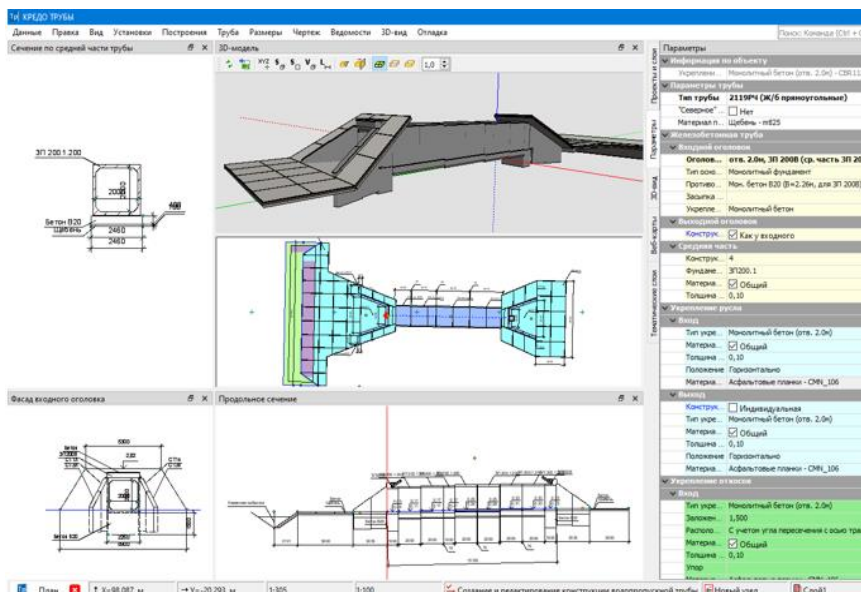


Рис. 1. Рабочее окно программы КРЕДО ТРУБЫ

Спецификация блоков содержит информацию по всем элементам с указанием их семантических свойств (шифр, количеств, вес, объем и т.п.). При необходимости можно выполнить настройку общего вида и перегруппировку столбцов спецификации.

Формирование ведомости объемов материалов и работ производится на основе типовых данных единичных объемов. Геометрические параметры элементов трубы определяются по 3D-телам, что обеспечивает высокую точность расчетов.

При экспорте информационной модели трубы в открытый обменный формат IFC обеспечивается сохранение и передача всех семантических свойств. Таким образом, в любой программе-сборщике BIM модели, можно увидеть сгруппированные объекты из которых состоит труба, все их характеристики и параметры (рис. 3).

**Роль факультета транспортных коммуникаций
в повышении качества
инженерно-технического обеспечения
строительства транспортных сооружений**

Кравченко С.Е., Реут Ж.В., Комадей И.Ю.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Факультет транспортных коммуникаций, являясь ведущим в подготовке специалистов для дорожного хозяйства Республики Беларусь, в своей деятельности основывается на одном из основополагающих документов – ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЕ «ДОРОГИ БЕЛАРУСИ» на 2021 – 2025 годы.

Цель программы заключается в улучшении транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования на основе привлечения инвестиций в транспортную инфраструктуру для удовлетворения потребностей экономики и общества в транспортных связях.

В соответствии с Государственной программой протяженность сети автомобильных дорог общего пользования в Республике Беларусь составляет 87 002 километра, в том числе: республиканские дороги – 15 926 километров, местные – 71 076 километров. Из общей протяженности дорог твердое покрытие имеют 75567 километров (или 86,9 процента), в том числе усовершенствованное покрытие (асфальтобетонное и цементобетонное) – 49 041 километр (или 56,4 процента). В составе сети автомобильных дорог общего пользования имеется 5298 мостов и путепроводов общей протяженностью 187 тыс. пог. метров.

Одним из ключевых направлений, указанных в Государственной программе и имеющих непосредственное отношение к факультету транспортных коммуникаций, является научно-техническое, которое согласно Государственной программе решается силами научно-технических организаций дорожного хозяйства в тесном взаимодействии с научными подразделениями вузовской и академической науки Республики Беларусь. Таким образом, очевидно, что научно-

исследовательская деятельность, осуществляемая на факультете, по дорожной тематике представляет вузовскую науку.

В достижения факультета транспортных коммуникаций можно отнести и то, что в дорожном хозяйстве создан высокий производственный и научно-технический потенциал, сориентированный на решение крупномасштабных задач, что производственно-хозяйственную деятельность осуществляют 18 организаций с 203 структурными единицами и общая численностью работающих составляет 17,5 тыс. человек и что специалисты с высшим и средним специальным образованием составляют одну треть от общей численности работающих в отрасли и что они в своем большинстве являются выпускниками факультета транспортных коммуникаций БНТУ.

Факультет транспортных коммуникаций осуществляет подготовку специалистов для дорожного хозяйства с учетом его запросов и тенденций развития. Этому, в значительной степени, способствуют тесные производственные связи с основными потребителями специалистов, выпускаемых факультетом, которыми являются Главное управление автомобильных дорог Министерство транспорта и коммуникаций РБ и ОАО «Управляющая компания холдинга «Белавтодор» и их структурные подразделения.

И с учетом задач, изложенных в Государственной программе, факультет совершенствует свою учебную и научную деятельность.

Учебная деятельность направлена на совершенствование учебного процесса для повышения качества и эффективности подготовки специалистов в сфере дорожного строительства с использованием дистанционного практико-ориентированного обучения инженера-строителя. При подготовке инженеров-строителей по специальностям 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» и 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» и инженеров по специальностям 1-56 02 01 «Геодезия» и 1-36 11 01 «Инновационная техника для строительного комплекса (по направлениям)», соответствующим современным тенденциям и запросам дорожно-транспортного комплекса, факультет базируется на инновационных подходах. Одним из таких подходов является усиление практической составляющей процесса подготовки инженеров через создание учебно-научно-производственного испытательного полигона и приобретение передвижных лабораторий, в частности дорожных.

Такой подход при подготовке специалистов позволит:

- усилить практикоориентированность подготовки инженеро-дорожников;

- оказывать практическую помощь производству в виде решения некоторых их задач в процессе выполнения магистрантами и аспирантами научных исследований, студентами лабораторных работ и тем самым мотивировать спонсорскую помощь;

- получать практические результаты для реального дипломного и курсового проектирования;

- сократить площади лабораторных помещений, уменьшить финансовые затраты на приобретение лабораторного оборудования.

Для увеличения доли практического обучения студентов и магистрантов, совершенствования организации производственной практики на факультете разработан комплекс мер, включающий:

- создание филиалов кафедр факультета на базе научно-производственных организаций дорожного и коммунального хозяйств и строительной отрасли;

- использование в учебном процессе актуальных программных продуктов;

- расширение мест проведения учебной, производственной и преддипломной практики, с привлечением ведущих организаций имеющих практическую возможность подготовки высококвалифицированных специалистов.

Подготовка студентов дорожно-строительного профиля в настоящее время тесно и неразрывно связана с аудиторными занятиями и практическими занятиями на предприятиях. Это вызвано спецификой дорожного строительства, которое весьма многогранно и строится на опыте предыдущих поколений. Кроме того, в настоящее время в Республике Беларусь и государствах-партнерах отсутствует достаточное количество образовательных онлайн-ресурсов дорожно-строительной тематики, которые бы позволили организовать качественное и всеобъемлющее дистанционное практикоориентированное обучение студентов дорожно-строительного профиля. На факультете для повышения эффективности проведения учебного процесса расширяются практико-ориентированная и дистанционная составляющие по схеме строительная площадка – аудитория (лаборатория), обеспечивающие возможность передачи в режиме онлайн или посредством записей прямых трансляций с воз-

возможностью размещения в системе дистанционного обучения Moodle БНТУ видеоматериалов процесса производства строительных материалов, технологических операций при строительстве реальных объектов: при устройстве земляного полотна, конструктивных слоев дорожной одежды, водопропускных труб, пролетных строений мостов и путепроводов. Приоритетные научные направления и научно-технические и инновационные разработки факультета направлены на достижение целей и задач Государственной программы. Для решения поставленных в Программе задач на факультете планируют научную деятельность по приведенным ниже направлениям. Создание бетонов и конструкций повышенной трещиностойкости и водонепроницаемости для мостов и тоннелей. В данной тематике предполагается исследование вторичных материалов, разработка и испытание составов бетонов, создание BIM-модели и полноразмерной конструкции с повышенными потребительскими качествами. Теоретические и алгоритмические основы автоматизированных технологий строительства и эксплуатации транспортных сооружений. Предполагается разработка алгоритма формирования цифровых картографических баз данных элементов трассы и транспортных сооружений и алгоритма формирования цифровых картографических баз данных элементов трассы придорожной инфраструктуры, а также обеспечение научно-техническим сопровождением по формированию цифровых картографических баз данных в современных условиях.

Разработка инновационных методов получения материалов из строительных отходов и устройства покрытий внутрихозяйственных дорог с применением эффективных технических средств. Реализация этого направления направлена на разработку методов получения дорожно-строительных отходов с применением эффективных технических средств для внутрихозяйственных дорог, разработку технологий и методов устройства покрытий внутрихозяйственных дорог с применением эффективных технических средств с созданием нормативных документов и рекомендаций.

Импортозамещение: технологии, материалы, техника и оборудование для содержания и ремонта местных автомобильных дорог в рамках реализации Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021-2025 гг. Научно-исследовательская деятельность по данному направлению предполагает анализ существующей отечественной

материальной и научно-технической баз для содержания и ремонта местных автомобильных дорог, создание опытного образца сменного оборудования для распределения, перемешивания и планирования смесей при ремонте и устройстве обочин, подборы составов смесей, опытно-промышленная апробация технологии и инженерно-геодезический контроль качества выполнения проектных решений. Результатом работы станет разработка конструкторская документация и промышленного образца сменного оборудования для ремонта и устройства обочин и для устройства кюветов, а также технологических карт производства работ и технических условий на приготовление смесей.

Оборудование для переработки вторичных материальных ресурсов, образующихся в процессе деятельности производственных материалов и технологии их применения при содержании и ремонте местных автомобильных дорог. Анализ существующего мирового и отечественного оборудования по переработке вторичных материальных ресурсов и технологий их применения при содержании и ремонте местных автомобильных дорог позволяет разработать опытный образец по переработке отходов пластмасс и кровельного материала и выполнить опытно-промышленную апробацию технологии применения полученных продуктов при ремонте и содержании обочин. В дальнейшем планируется разработка конструкторской документации и промышленного образца оборудования для переработки отходов пластмасс и кровельного материала, технологических карт на переработку отходов пластмасс и кровельного материала и их применение при ремонте и устройстве обочин с отражением в них инженерно-геодезического контроля качества их выполнения.

Литература

1. <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100212> Государственная программа «Дороги Беларуси» на 2021–2025 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь. – 9 апреля 2021 г. № 212.

Улучшенные щебеночно-мастичные деформационные швы и контроль их качества

Наумовец А.Н. – начальник испытательной лаборатории ГП
«Гордорматериалы»

Введение. Щебеночно-мастичные швы имеют широкое распространение на мостах и путепроводах в Республике Беларусь. Их состояние не всегда удовлетворяет условиям комфортного и безопасного проезда. Это обусловлено тем, что применяемые материалы и традиционная технология их устройства, основанная на раздельном нагреве и распределении мастики и щебня, во многом зависит от температуры окружающей среды, опыта работы исполнителей и не всегда обеспечивает требуемое качество. Даже при хорошем исполнении эти швы не выдерживают возросшей транспортной нагрузки. В связи с этим было предложено дисперсно армировать материал заполнения швов и укладывать геосетку для воспрепятствования пластическим деформациям. Устройство таких швов, особенно в осенне-зимний период, требует применения специальной технологии, а для оценки их качества необходима оперативная оценка свойств материала, уложенного в слой заполнения.

Теоретические предпосылки создания композитного материала для заполнения шва. Деформационные швы заполненного типа являются наиболее уязвимым местом мостовых конструкций, в них сосредотачиваются линейные деформации пролетных строений, что сопровождается существенным повышением напряжений в их элементах, передачей на щебеночно-мастичный материал значительных деформаций, что приводит к быстрому образованию и накоплению недопустимых дефектов [1]. Для повышения устойчивости деформационных швов в условиях действия интенсивной транспортной нагрузки возникла необходимость улучшить физико-механические и реологические свойства щебеночно-мастичного композита.

Механические и другие свойства дисперсно-армированного щебеночно-мастичного материала определяются в первую очередь прочностью связи на границе минеральных материалов с вяжущим

веществом и также сцеплением дисперсной арматуры с компонентами заполнения [2].

В связи с этим основной функцией битумных мастик, применяемых для устройства деформационных швов, является обеспечение сцепления, как с поверхностью минерального наполнителя, так и с армирующими материалами. В органических вяжущих адгезионные качества определяются функциональными группами, входящими в состав молекул: например, гидроксильная - ОН, карбоксильная - СООН, нитрильная – NO₂ и др. Ранее проведенные исследования показали, что такие вяжущие способны к прочной адгезии Е-стекла, которое предлагается в качестве дисперсной арматуры [3].

Макродисперсное армирование битумных композиций [4] позволяет достигнуть долговременного эффекта повышения их работоспособности. Армирование слоев дорожной одежды геосетками [5] позволило уменьшить появление остаточных деформаций в асфальтобетонных покрытиях, поэтому данные технического решения перспективны и для слоев заполнения в щебеночно-мастичных деформационных швах.

Опытно-технологические и внедренческие работы. Долговечность и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичного шва определяется и рациональной технологией производства.

Проблемным вопросом устройства щебеночно-мастичных швов является достижение однородности композиционного материала-заполнителя в предложенной армированной конструкции (рис.1), и оценка качества материала уложенного в слой заполнения.

Для решения поставленной первой задачи была разработана технология приготовления дисперсно-армированных щебеночно-мастичных материалов в комбинированной дорожной машине КДМ-150.

В нее подавали щебень, который нагревали при перемешивании до 180 - 190 0С, после чего загружали рубленое Е-стекла и перемешивание продолжали в течение 5 минут. Одновременно производили разогрев битумно-эластомерной мастики до рабочей температуры на специальном оборудовании беспламенного нагрева при постоянном контроле температурного режима. Затем выполняли загрузку разогретой мастики в котел машины КДМ-150 и продолжали перемешивание до получения однородной массы. Соотношение мастики к щебню составляло 1:3, количество волокна – 0,3 - 0,5

% от массы мастики. Полученная таким образом смесь имела температуру 170 - 180 °С и была достаточно устойчива к перепадам температуры внешней среды при подготовке штрабы деформационного шва.

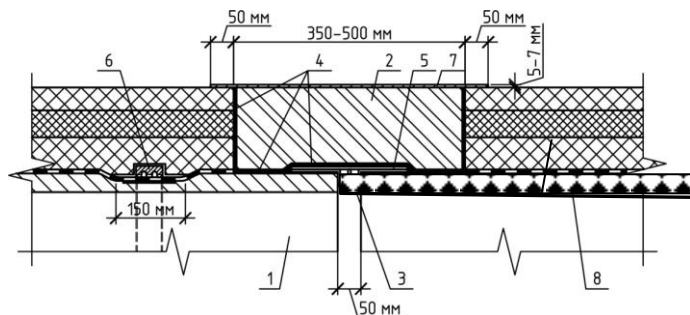


Рис. 1. Деформационный шов на мостовых сооружениях со щебеночно-мастичным заполнением из эластичных армированных композиционных материалов.

1 – пролетное строение; 2 – щебеночно-мастичное заполнение с уложенной геосеткой; 3 – резиновый лоток; 4 – битумно-эластомерная мастика; 5 – металлическая пластина; 6 – дренаж; 7 – слой износа; 8 – гидроизоляция

Полость деформационного шва заполняли щебеночно-мастичной смесью до половины глубины и уплотняли вибротрамбовкой. Поверх устроенного слоя на всю ширину укладывали армирующую прокладку из геосетки, которая надежно фиксировалась в слое материала за счет проникания зерен щебня в ее ячейки.

Далее по устроенной прослойке повторно производили распределение щебеночно-мастичного материала до тех пор, пока шов не будет полностью заполнен до требуемого уровня после уплотнения.

Через 12 часов выполняли подогрев поверхности материала заполнения газовой горелкой до температуры плавления мастики и выполняли подгрунтовку горячей мастикой с расходом 1 кг/м² по поверхности шва и прилегающей зоны дорожного покрытия (по 5 см с каждой стороны) с последующей посыпкой горячей поверхности щебнем фракции 2,5 - 5,0 мм, нагретым до температуры 150 °С - 160 °С, с одновременным уплотнением виброплитой.

Опытно-технологические работы по устройству щебеночно-мастичного деформационного шва с армирующим материалом были выполнены на путепроводе на автомобильной дороге М1/Е30 (км 356+673, московское направление) ноябре 2010 года при темпера-

туре 0оС. На этом объекте применялись: битумно-эластомерная мастика марки МГБЭ Ш-90, рубленое волокно из Е-стекла длиной 12 мм и диаметром 13 мкм, щебень фракций 10 – 15 мм и 2,5 – 5,0 мм. Соотношение мастики к щебню составляло - 1 : 3, количество волокна – 0,3 - 0,5 % от массы мастики. Наблюдение поведением опытного шва под интенсивной транспортной нагрузкой позволило оценить его высокую устойчивость.

Методика оценки качества материала, уложенного деформационный шов. Деформационные швы непосредственно контактируют с асфальтобетонным покрытием, поэтому материал заполнения шва должен воспринимать транспортную нагрузку аналогично, как и рядом расположенный асфальтобетон.

К одним из основополагающих свойств, присущих асфальтобетонам, является способность к вязкой деформации при нагружении. Это реологическое свойство предложено измерять с помощью прибора ИПМ-1 (рис.2), действие которого основано на динамическом воздействии индентора на материал.

Характеристики материала фиксируются параметрами ударного импульса.



Рис. 2. Прибор «ИПМ-1»

Модель взаимодействия индентора с материалом представлена на рисунке 3.

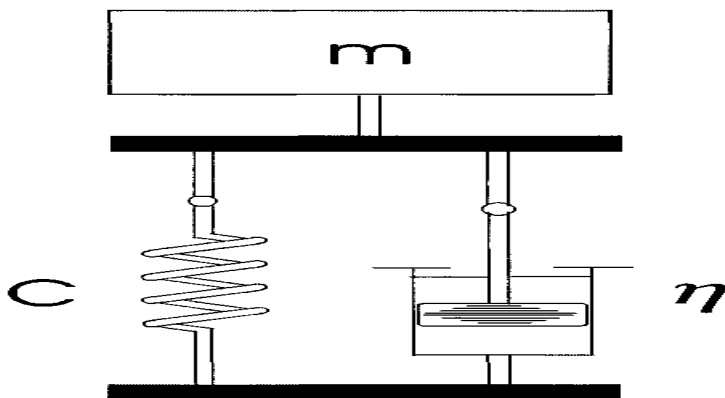


Рис.3. Модель взаимодействия индентора с материалом

В этом случае для ее описания пригодно линейное однородное дифференциальное уравнение вида:

$$m\alpha'' + \eta\alpha' + c\alpha = 0, \quad (1)$$

где m - масса индентора;
 η - коэффициент вязкости;
 c - коэффициент жесткости.

Если рассматривать процесс внедрения индентора как периодическое движение, то, решая уравнение при соответствующих начальных условиях:

$$\alpha_{t=0} = 0, \quad \frac{d\alpha}{dt} \Big|_{t=0} = V_0, \quad (2)$$

где V_0 - предупредная скорость индентора, можно получить уравнение движения:

$$\alpha(t) = \frac{V_0}{\omega} e^{-\eta t} \sin(\omega t), \quad (3)$$

$$p = \frac{\eta}{2m}, \quad \omega = \sqrt{\frac{c}{m} - p^2}. \quad (4)$$

При этом считается, что круговая частота колебаний близка к частоте недемпфированной системы и представляет собой приведенную частоту ударного импульса.

В соответствии с чем коэффициент жесткости материала определяется по формуле:

$$c = \frac{m\pi^2}{t_{\text{уд}}^2}, \quad (5)$$

где $t_{\text{уд}}$ - длительность удара.

Выражение для коэффициента вязкости определится следующим образом:

$$\eta = \frac{m}{t_{\text{уд}}} \ln\left(\frac{V_0}{V}\right), \quad (6)$$

где V - скорость отлета индентора после нарушения контакта.

Представленный метод позволяет получить представление о возможном поведении материала в процессе эксплуатации, определить его преимущества и недостатки, дает возможность изучать сопротивление деформированию в условиях объемного напряженного состояния, характерного для материалов, работающих под действием контактных нагрузок.

На контрольных строительных объектах изучали реологические характеристики асфальтобетона и материала заполнения деформационного шва (рис. 4). Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Результаты испытаний асфальтобетона (прилегающего к шву) и материала в щебеночно-мастичном шве показали, что при сопоставимой энергией деформирования 1,25 Дж у асфальтобетона и 1,17 Дж у материала шва вязкая составляющая энергии деформирования для асфальтобетона составляет 89 % (1,11) от общей энергии, а для

материала шва – 95% (1,11), что свидетельствует о близкой деформационной устойчивости обоих материалов при динамическом нагружении.



Рис. 4. Исследование с помощью прибора ИПМ -1 деформационных характеристик

Таким образом, материал шва и прилегающего асфальтобетона в равной степени воспринимают динамическую транспортную нагрузку. При этом вязкость по Максвеллу материала шва в 2 раза меньше, что позволяет ему деформироваться при переходах температуры без трещинообразования.

Таблица 1. Результаты испытаний методом динамического индексирования на объекте автодороги М-6, путепровод, км 11

Образец и точка деформирования	Покрытие асфальтобетона			Щебеночно-мастичный шов		
Максимальное внедрение, мкм	351,96	400,07	355,51	859,32	652,85	812,83
Время удара, мкс	254,0	277,0	258,0	544,0	552,0	704,0
Время активного этапа удара, мкс	149,43	168,94	144,46	352,53	327,52	341,76
Энергия деформирования, Дж	1,23	1,25	1,28	1,18	1,16	1,17
Энергия упругого деформирования, Дж	0,16	0,12	0,15	0,06	0,06	0,07
Энергия вязкого деформирования, Дж	1,07	1,14	1,13	1,13	1,11	1,10
Максимальное контактное усилие, кН	6,35	5,52	6,22	3,02	3,23	3,08
Контактное усилие при максимальном внедрении, кН	5,24	4,47	5,02	2,04	2,18	2,17
Вязкость по модели Максвеллу, Н*с/м	4688,14	3343,68	3927,10	1693,76	1846,69	1848,93

Кроме того вязкость отражает способность материала к рассеиванию энергии, соответственно в щебеночно-мастичном шве в меньшей степени происходит аккумуляция возникающих напряжений, что позволяет данному материалу надежно воспринимать циклическое воздействие транспортных средств без нарушений, о чем

свидетельствуют длительные наблюдения за поведением швов в условиях интенсивного движения на автодороге М1/Е30 .

Выводы.

Деформационные швы, устроенные по предложенной технологии при низких температурах окружающей среды, доказали свою работоспособность. На них не отмечено недопустимых деформаций и протечек воды. Разработанная технология практически приемлема и может быть реализована в организациях, строящих и эксплуатирующих мосты и путепроводы. Имеющаяся технологическая карта, разработанная для организаций дорожного хозяйства Беларуси, и расценка на выполнение работ позволяют закладывать в проекты устройство и ремонт дисперсно-армированных швов. Предложенная методика оценки качества устроенных швов позволяет контролировать уровень исполнения строительных работ и эксплуатационное состояние деформационных швов.

Литература

1. Деформационные швы автодорожных мостов. Особенности конструкции и работы. Учебное пособие. А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников, В.И. Шестериков, В.И. Макаров. Учебное пособие для студентов специальностей 291000, 291100 ; Саратов 2005.
2. Бусел А.В., Евсикова А.Н. Способы повышения устойчивости деформационных швов к воздействию температуры и транспортной нагрузки», Строительная наука и техника – Министерство архитектуры и строительства РБ, № 5 (38), 2011 – с. 23-26.
3. Патент РБ № 16802 Герметизирующий материал для устройства деформационных швов / Бусел А.В, Наумовец А.Н., Цыганок Ю.М., 2012.
4. Акулич А. В. Структура и свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов // Автореф. диссерт. канд. техн. наук. / БПИ. – Минск, 1987. – 27 с.
5. Смыковский А.И. Усиление асфальтобетонных дорожных покрытий армированием геосетками // Автореф. дисс. канд. техн. наук / БГТУ. – Брест, 2005. – 23 с.

Оценка влияния резиновой крошки на физические и реологические свойства битума

Пахолак Р.
Белостокский Технический Университет
Белосток, Польша

Цель данного исследования – изучение влияния резиновой крошки на физические и реологические свойства дорожного битума 50/70. Количество резиновой крошки составило 10% и 20% от массы базового вяжущего. Реологические свойства в широком интервале положительных температур описаны при помощи сдвигового динамического реометра DSR (Dynamic Shear Rheometer). Представленные экспериментальные результаты показали, что используемый модификатор значительно улучшает высокотемпературные характеристики битума 50/70, расширяет его вязкоупругий диапазон, увеличивает жесткость, позволяет избежать колеобразованья в летний период.

Введение

В настоящее время, в связи с быстрым ростом транспортной отрасли, процесс утилизации использованных автомобильных шин является одной из основных проблем [1]. Каждый год во всем мире выбрасываются миллионы тонн такого рода отходов [2]. Сжигание благодаря низкой стоимости и простоте, является одним из основных видов их ликвидации, что приводит к неконтролируемым выбросам вредных веществ в атмосферу, причиняя ущерб людям, животным и растениям. Именно поэтому в настоящее время внимание ученых с различных научных институтов приковано к этой проблеме [3]. Использование резиновой крошки в асфальтобетонных смесях позволяет в значительной степени решить эту проблему.

Битум, модифицированный резиновой крошкой благодаря своей экологичности и способности улучшать технические характеристики асфальтобетонной смеси успешно применяется в строительстве автомобильных дорог [4]. При добавлении резиновой крошки в вя-

жущее, она не только химически взаимодействует с матрицей битума, но и выступает в качестве заполнителя, который играет значительную роль в общем улучшении эксплуатационных характеристик. Химическое взаимодействие включает набухание частиц резиновой крошки вследствие поглощения более легких по молекулярному весу компонентов вяжущего с последующим процессом деполимеризации и девулканизации [5].

Использованные материалы и программа исследования

В исследовании использовано следующие вяжущие вещества:

- битум 50/70;
- битум 50/70 модифицированный 10% резиновой крошки (обозначение РК-10);
- битум 50/70 модифицированный 20% резиновой крошки (обозначение РК-20).

Образцы вяжущего были подготовлены в соответствии с требованиями EN 58 и EN 12594. Процесс модификации состоял из трех этапов:

1. Нагрев битума 50/70 до температуры 160°C.
2. Добавление резиновой крошки размером 0-0.8 мм в количестве 10% и 20% от массы вяжущего мокрым способом "wet process".
3. Доведение температуры полученного вяжущего до 180°C при постоянном перемешивании лабораторным миксером до получения однородного состояния.

Время перемешивания составило 1 ч при использовании 10% резиновой крошки и 2ч при 20%.

Для оценки основных технических параметров модифицированных вяжущих были проведены следующие испытания: пенетрация, температура размягчения, температура хрупкости по Фраасу, динамическая вязкость.

Реологические свойства модифицированных битумов (фазовый угол δ и комплексный модуль сдвига G^*) описаны при помощи сдвигового реометра DSR.

Результаты испытаний

Подробные результаты испытаний битумных вяжущих используемых в исследовании описаны в публикациях [6,7], а отдельные

технические свойства модифицированных вяжущих представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические свойства модифицированного битума

Исследуемые параметры	Ед. изм.	Вид битума		
		50/70	РК-10	РК-20
Пенетрация	0.1 мм	58.3	40.0	30.5
Температура размягчения	°С	50.8	60.6	74.8
Температура хрупкости	°С	-14.7	-16.1	-26.7
Динамическая вязкость 90°С 110°С 135°С	Па·с			
		11.3	83.6	980.3
		2.2	13.4	119.4
		0.5	2.1	14.0

На основании результатов, приведенных в таблице 1, установлено, что добавление резиновой крошки в значительной мере увеличивает пенетрацию, температуру размягчения и динамическую вязкость базового битума, снижает температуру хрупкости. Данные характеристики указывают на увеличение жесткости базового битума 50/70. Используемый модификатор позволил расширить вязкоупругий диапазон битума на 11,2°С для РК-10 и на 36.0°С для РК-20.

На рисунке 1 и 2 представлены результаты изменения фазового угла δ и комплексного модуля сдвига G^* при использовании РК-10 и РК-20, полученные с помощью прибора DSR.

Проанализировав графики, представленные на рис. 1 и рис. 2, можно заключить, что модифицированный битум имеет более высокий комплексный модуль сдвига G^* и более низкий фазовый угол по сравнению с базовым вяжущим во всем интервале температур. Чем фазовый угол δ будет ближе к нулю, тем в материале будут больше преобладать упругие свойства, чем δ ближе к 90 градусам - тем больше вязкие.

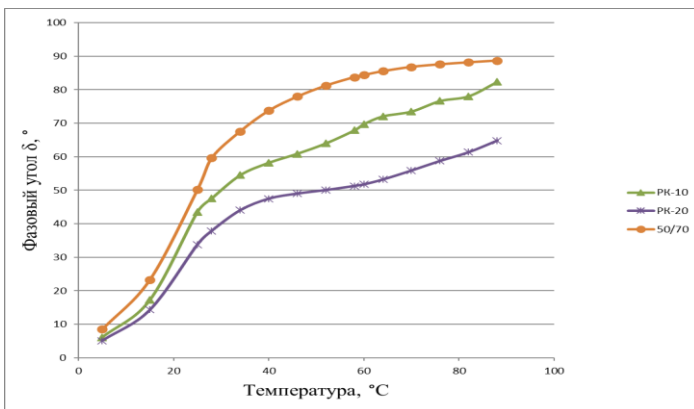


Рис. 1. Фазовый угол сдвига δ

Полученные результаты свидетельствуют о улучшении высокотемпературных характеристик битума, позволяя покрытию переносить большие нагрузки в период высоких летних температур без образования колеи (одного из наиболее распространенных дефектов на дорожном покрытии).

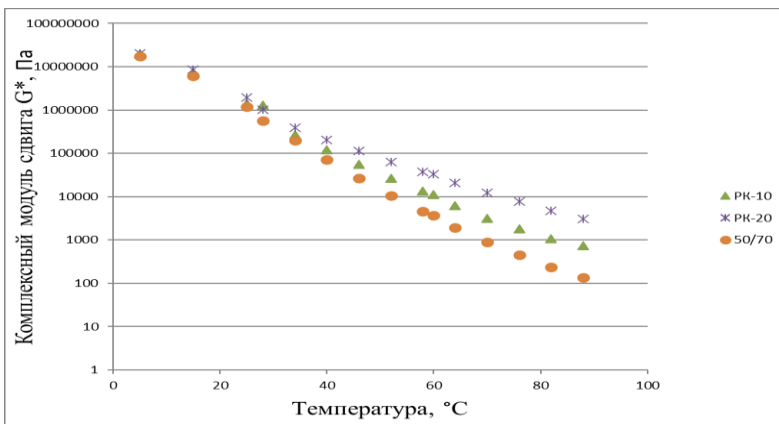


Рис. 2. Комплексный модуль сдвига G^*

Добавление резиновой крошки позволило снизить при температуре 60°C фазовый угол δ на 16% при использовании РК-10 и на 39% при использовании РК-20. Комплексный модуль сдвига G^* при 60°C возрос на 300% и 900% соответственно.

Вывод

На основании проведенных исследований физических и реологических свойств дорожного битума 50/70 модифицированного резиновой крошкой в количестве 10% и 20% от массы вяжущего можно сделать следующие выводы:

1. Модифицированный резиновой крошкой битум обладает более высокой жесткостью по сравнению с чистым битумом 50/70, что позволило расширить его вязкоупругий диапазон на 11.2°C при добавлении 10% резиновой крошки и на 36°C при добавлении 20% резиновой крошки.

2. Модифицированный битум имеет меньший фазовый угол во всем интервале температур по сравнению с 50/70 (на 16% для РК-10, на 39% для РК-20), что свидетельствует о преобладании в нем упругой фазы.

3. Высший комплексный модуль сдвига G^* модифицированного вяжущего свидетельствует о его более низкой температурной чувствительности по сравнению с чистым битумом, что позволит избежать чрезмерного колееобразования в летний период.

Литература

1. Jie, X. U., Yao, Z., Yang, G., & Han, Q. (2020). Research on crumb rubber concrete: From a multi-scale review. *Construction and Building Materials*, 232, 117282..

2. Eisa, A. S., Elshazli, M. T., & Nawar, M. T. (2020). Experimental investigation on the effect of using crumb rubber and steel fibers on the structural behavior of reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 252, 119078..

3. Picado-Santos, L. G., Capitão, S. D., & Neves, J. M. (2020). Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 247, 118577.

4. Willis, J. R., Plemons, C., Turner, P., Rodezno, C., & Mitchell, T. (2012). Effect of ground tire rubber particle size and grinding method on asphalt binder properties. *National Center for Asphalt Technology at Auburn University. Auburn, Alabama*, 47.

5. Huang, J., & Wang, Q. A. (2021). Influence of crumb rubber particle sizes on rutting, low temperature cracking, fracture, and bond

strength properties of asphalt binder. *Materials and Structures*, 54(2), 1-15.

6. Gardziejczyk, W., Plewa, A., & Pakholak, R. (2020). Effect of addition of rubber granulate and type of modified binder on the viscoelastic properties of stone mastic asphalt reducing tire/road noise (SMA LA). *Materials*, 13(16), 3446.

7. Pakholak, R., Plewa, A., & Hatalski, R. (2020). Evaluation of selected technical properties of bitumen binders modified with SBS copolymer and crumb rubber. *Structure and Environment*, 12(1).

Материал противогололедный химико-фрикционный антикоррозионный

Редько А.А.¹, Куприянчик А.А.²

¹ГПО «Горремавтодор» Мингорисполкома

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Наиболее сложной проблемой содержания автомобильных дорог и городских улиц является предотвращение образования на них зимней скользкости. Вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) при гололедице, зимней скользкости повышается в 10 раз, а при снежном накате в 3–4 раза по сравнению с сухой проезжей частью. Зимняя скользкость приводит также к снижению скорости движения транспортных средств в 2–2,5 раза, их производительность уменьшается на 30–40%, себестоимость перевозок увеличивается на 25–30%.

Под воздействием низких температур при условии насыщения растворами противогололедных реагентов наблюдается сверхсуммарное (синергическое) разрушение бетона и коррозия металлических конструкций, эксплуатирующихся на автомобильных дорогах. Бетон искусственных сооружений на городских улицах подвергается совместному действию знакопеременных температур в состоянии насыщения соевым раствором, химической коррозии, растягивающим напряжениям вследствие замерзания воды в порах. Принимая это во внимание, вопрос защиты бетонных и металлических конструкций за счет применения менее агрессивных противогололедных материалов является актуальным.

В настоящее время при зимнем содержании дорог, мостов и тепловых сетей используют химически инертные фрикционные противогололедные материалы, которые обеспечивают снижение зимней скользкости за счет повышения шероховатости снежно-ледяных отложений на дорожных покрытиях. Эти материалы с экологической точки зрения являются наиболее безопасными для окружающей среды, но их недостатком является

относительно быстрый унос их с проезжей части шинами автомобилей и турбулентными потоками воздуха. Дорожники зарубежных стран считают, что применение фрикционных материалов целесообразно при интенсивности движения до 400 – 500 авт./сут. При более высоких интенсивностях этот метод борьбы с зимней скользкостью становится малоэффективным.

Необходимо отметить, что в Республике Беларусь и за рубежом применяют в большинстве случаев химические методы борьбы с зимней скользкостью при минимальных нормах расхода противогололедных материалов.

В Республике Беларусь основной сырьевой базой химических реагентов для создания эффективных противогололедных материалов является РУП «ПО «Беларуськалий» (г. Солигорск), где образуется достаточное количество отходов в виде хлоридов натрия и калия, обеспечивающих потребность дорожных организаций в полном объеме.

Основной проблемой использования этих материалов является их быстрая слеживаемость и мощное коррозионное воздействие на металлические элементы обустройства дорог, транспортных сооружений, на автотранспорт и дорожную технику, а также отрицательное воздействие на объекты окружающей среды.

Учитывая это, в настоящее время ученые многих стран работают над созданием антикоррозионных ПГМ.

Белорусским национальным техническим университетом разработан новый, в своем роде, противогололедный материал – материал химико-фрикционный антикоррозионный (ХФА) [1].

Потребительские свойства

Технология производства ХФА позволяет получать противогололедный материал с высокими потребительскими свойствами:

- обеспечивает достижение длительного противогололедного эффекта за счет высокой фрикционной способности минеральных частиц, удерживаемых на проезжей части;

- плавящая способность растворимой части ХФА превышает в 1,3 раза плавящую способность традиционного противогололедного материала на основе хлористого натрия;

- обладает защитным эффектом от коррозионного воздействия на автомобильную сталь, металлические элементы обустройства

дорог, бетонные и железобетонные конструкции мостов и путепроводов;

- материал экологически безопасен, содержит минеральные удобрения, не оказывает угнетающего воздействия на растительность.

Физико-химические показатели ХФА должны соответствовать требованиям СТБ 1158 «Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог», указанным в таблице 1 [2], а также дополнительным требованиям, указанным в таблице 2 (таблица 3.5 [3]).

Из литературных источников известно, что учитывая потенциал имеющегося на территории Республики Беларусь месторождения доломита (г.п. Руба Витебской области), был предложен новый способ получения противогололедного материала на основе отсевов дробления доломита [4].

Производимый на ПО "Доломит" отсев дробления содержит большое количество мелких частиц фракции менее 0,315 мм (более 15%), которые способны растворяться в концентрированной уксусной кислоте с образованием ацетатов кальция и магния. При этом более крупные частицы доломита могут адсорбировать их на своей поверхности и в порах, обеспечивая затем замедленное растворение при контакте со снежно-ледяными отложениями на дороге [4]. Такой противогололедный материал за счет солей на его поверхности расплавляет лед и проникает вглубь, обеспечивая длительное время повышенную шероховатость дорожного покрытия, требуемую для сцепления с колесами автомобилей.

Под действием колес абразивные твердые частицы доломита интенсивно разрушают слой снега и льда, затем переносятся из освободившейся от зимней скользкости зоны наката на оставшиеся снежно-ледяные отложения, где за счет солей в порах частиц доломита продолжается их плавление.

Таким образом достигается длительный противогололедный эффект за счет миграции по проезжей части пропитанных солями частиц доломита. Поскольку известно, что ацетаты кальция и магния не оказывают коррозионного воздействия на железо, то не требуется применения дорогих ингибиторов коррозии. Данная гипотеза была проверена в лабораторных и производственных условиях и получила свое подтверждение [3,4].

Таблица 1. Требования СТБ 1158 [2] к противогололедному материалу коррозионно-неактивному

Наименование показателя	Требования СТБ 1158
1. Внешний вид	Сыпучая однородная смесь твердых частиц
2. Содержание зерен противогололедного материала, % по массе, не более: - св. 15 мм - св. 10 мм до 15 мм включ. - св. 5 до 10 мм включ.	не допускается 4 10
3. Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе, не более	5
4. Слеживаемость по динамическому плотномеру при температуре 20°C и минус 10°C, число ударов, не более	20
5. Защитный эффект против коррозии стали, %, не менее	80
6. Плавающая способность противогололедного реагента, г/г, не менее	4

Таблица 2. Дополнительные требования к противогололедному материалу ХФА [1]

Наименование показателя	Необходимые требования
1. Содержание водорастворимых веществ, % по массе, не менее	20

2. Содержание ацетатов кальция и магния, % по массе, не менее	4
3. Защитный эффект против коррозии бетона, циклы замораживания-оттаивания, не менее	200
4. Радиоактивность $A_{\text{эфф}}$, Бк/кг, не более	740

Заключение

На основании проведенных исследований и производственной проверки установлено:

- получение материала ХФА технологически приемлемо в условиях производственной базы дорожных организаций;

- противогололедный материал имеет параметры, соответствующие химико-фрикционному материалу по СТБ 1158. При этом он обладает ингибирующими свойствами по отношению к металлу и бетону, а также хорошей сыпучестью (не слеживается, не смерзается);

- наличие частиц отсева доломита способствует увеличению коэффициента сцепления колес автомобиля с обработанной поверхностью дорожного покрытия и предупреждают аквапланирование при таянии снежно-ледяного наката;

- наличие кальций-магниевого ацетата в составе противогололедного материала позволяет существенно снизить время между распределением противогололедного материала по поверхности проезжей части и началом плавления льда на ее поверхности;

- полученный противогололедный материал содержит на 25–30% меньше зерен диаметром 5–10 мм, что позволяет снизить фрикционную нагрузку на кузова автотранспорта;

- слеживаемость полученного противогололедного материала на 11–15% меньше, чем у соли технической, что позволяет лучше распределять противогололедный материал по проезжей части.

- производство материала ХФА экономически целесообразно.

Применение перспективных противогололедных материалов позволит снизить затраты на зимнее содержание автомобильных дорог и объектов улично-дорожной сети, улучшить экологическую обстановку в г. Минске.

Литература

1. Способ получения противогололедного материала : Патент Республики Беларусь №12592 от 06.08.2009.
2. СТБ 1158-2013. Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия. – Госстандарт Беларуси, 2009. – 21 с.
3. Технологический регламент получения и применения материала противогололедного химико-фрикционного антикоррозионного / Н.М. Гурбо, А.А. Куприянчик, Д.А. Бусел. – Минск: ГПО «Горремавтодор МГИ», 2009. – С.16.
4. Бусел, Д.А., Куприянчик, А.А. Эффективный противогололедный материал для зимнего содержания мостов и путепроводов // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – №1. – С.96-99.

Использование местных материалов в конструкциях дорожных одежд

Савуха А.В., Солодкая М.Г.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Продукцией автомобильного транспорта является объем транспортной работы, а ее стоимость определяется себестоимостью перевозок грузов и пассажиров, являющейся важнейшим экономическим измерителем работы автомобильного транспорта. Следовательно, определение экономического эффекта от капиталовложений в дорожное строительство должно, основываться, прежде всего, на определении уменьшения стоимости автоперевозок грузов и пассажиров на участках проектируемых дорог.

Затраты на постройку и последующую эксплуатацию дороги, включая средства, необходимые для выполнения среднего и капитального ремонта, во всех разработанных методах технико-экономического анализа предлагается учитывать в комплексе с транспортными расходами.

Научные исследования и производственный опыт ряда дорожных организаций указывают на принципиальную возможность широкого использования местных дорожно-строительных материалов при строительстве экономичных и долговечных дорожных одежд на автомобильных дорогах различных категорий.

Конструктивные схемы дорожных одежд должны быть объединены по степени капитальности в равнопрочные группы с одинаковыми для каждой группы эквивалентными модулями деформации [1].

Для каждой группы дорожных одежд, с учетом категории дороги, принят требуемый эквивалентный модуль деформации, соответствующий легкому и среднему автомобильному движению [2]. Дополнительно учитываются данные о строительной стоимости и затратах привозных и местных материалов.

Данные о ежегодных дорожно-эксплуатационных расходах, отчисления на восстановление и переустройство дорог и себестоимо-

сти перевозок, впредь до накопления данных о службе дорожных одежд с местными материалами, можно получить из таблиц 2–5, помещенных в работе Н.Ф. Хорошилова [3].

Выявление технико-экономической целесообразности применения местных материалов должно начинаться на стадии конструирования дорожной одежды.

Основным критерием допустимости применения местного материала в соответствующем конструктивном слое является равнопрочность рассматриваемых конструкций дорожных одежд или отдельных конструктивных слоев, устраиваемых из местных и привозных материалов.

Согласно теории прочности нежестких одежд, равнопрочными считаются те конструктивные слои или многослойные системы, которые обладают одинаковой жесткостью и распределяющей способностью при действии одинаковых нагрузок. Для равнопрочных систем должно существовать равенство их эквивалентных модулей деформации, т. е.

$$E_{\text{экв}}^M = E_{\text{экв}}^n, \quad (1)$$

где $E_{\text{экв}}^M$ – эквивалентный модуль деформации конструкции с местным материалом;

$E_{\text{экв}}^n$ – то же с привозным материалом.

Эквивалентный модуль деформации многослойной системы зависит от модулей деформации каждого слоя, толщины слоев и модуля деформации грунтового основания.

Используя принцип эквивалентности систем, можно заменять отдельные конструктивные слои дорожной одежды, устраиваемые из определенных материалов, эквивалентными по жесткости слоями из других материалов, увеличивая или уменьшая их толщину, в зависимости от прочностных характеристик используемых материалов.

Толщина эквивалентного слоя, приведенного к материалу грунтового основания, вычисляется по формуле профессора Г.И. Покровского [4].

$$h_{\text{экв}} = h \cdot 2,5 \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} \quad (2)$$

где $h_{\text{экв}}$ – толщина эквивалентного слоя;

h – толщина слоя материала с модулем деформации E ;

E_0 – модуль деформации грунта основания.

Для случая применения привозного материала толщина эквивалентного слоя определяется по формуле:

$$h_{\text{экв}}^n = h \cdot 2,5 \sqrt{\frac{E_n}{E_0}} \quad (3)$$

Аналогично для местного материала:

$$h_{\text{экв}}^m = h \cdot 2,5 \sqrt{\frac{E_m}{E_0}} \quad (4)$$

Исходя из условия равнопрочности конструкций с местными и привозным материалом, можно написать основное условие технической целесообразности в следующем виде:

$$h_{\text{экв}}^m = h_{\text{экв}}^n \quad (5)$$

Стоимость устройства единицы площади основания в общем случае будет равна:

$$S = A + hc \quad (6)$$

где A – расходы на устройство 1м^2 основания, не зависящие от вида каменного материала,

h – толщина слоя в м,

c – стоимость 1м^3 материала франко-трасса.

Тогда:

$$\begin{aligned} S_m &= A_1 + h_m c_m \quad \text{и} \\ S_n &= A_2 + h_n c_n \end{aligned} \quad (7)$$

Критерий экономической целесообразности использования местного материала может быть записан в виде неравенства

$$\begin{aligned} S_m &\leq S_n \\ A_1 + h_m c_m &\leq A_2 + h_n c_n \quad \text{Положив } A_1 \approx A_2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\frac{h_n}{h_m} \geq \frac{C_m}{C_n} \quad (9)$$

Исходя из выражений (8), (9), будем иметь

$$h_m \cdot 2,5 \sqrt{\frac{E_m}{E_0}} = h_{\text{эКВ}}^m = h_n \cdot 2,5 \sqrt{\frac{E_n}{E_0}} \quad (10)$$

$$\frac{h_n}{h_m} = 2,5 \sqrt{\frac{E_m}{E_n}} \quad (11)$$

Подставляя в выражение (11) значение $\frac{h_n}{h_m}$ будем иметь в окончательном виде нужное для технико-экономических сравнений уравнение:

$$\frac{C_m}{C_n} \leq 2,5 \sqrt{\frac{E_m}{E_n}} \quad (12)$$

В полученном уравнении значения $\frac{C_m}{C_n}$ могут изменяться от 1 до

0. Практические пределы изменяемости этого отношения уже значительны.

Границы предельно допустимых значений приведены в таблице 1.

Таблица 1

$\frac{C_m}{C_n}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
$\frac{E_m}{E_n}$	1	0,768	0,606	0,410	0,279	0,177	0,101

Для производства технико-экономического сравнения необходимо знать расчетные модули деформаций сравниваемых материалов. Расчетные значения модулей деформации зависят не только от свойств материала, но и от условий увлажнения, и дренирования, режима промерзания и оттаивания. При назначении расчетных модулей деформации необходимо пользоваться соответствующими таблицами и рекомендациями инструкции по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа.

Приводимые в таблице значения модулей не могут учесть все многообразие условий и расширяющийся ассортимент местных материалов. В некоторых случаях возникает необходимость определения расчетного модуля деформации местного материала экспериментальным путем. При этом следует иметь в виду, что в процессе эксплуатации дороги материал конструктивного слоя будет измельчаться и изменять свою первоначальную прочность, оцениваемую модулем деформации. Поэтому величину расчетного модуля деформации рекомендуется определять непосредственно в полевых условиях на существующих участках дороги, построенных из этих материалов.

Сравнение сводится к соответствующим полученным численным значениям $\frac{E_m}{E_n}$ и $\frac{C_m}{C_n}$. Если значение в зоне технико-

экономического обоснования, то местный материал можно использовать в проектируемой конструкции дорожной одежды.

Литература

1. Транспортно-эксплуатационная оценка основных элементов автомобильных дорог при разработке проектно-сметной документации / Н.Ф. Хорошилов //Труды СоюздорНИИ. – М., 1968. – Вып. 19.
2. Коганзон, М.С. Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа / М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев. – М., 1990.
3. Семенов, В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. – М., 1989.
4. Горельшев, Н.В. и др. Материалы и изделия для строительства дорог: Справочник. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с.

Обеспечение сохранности автомобильных дорог в летний период в условиях Республики Узбекистан

Садиқов И.С., Ашуrow Ф.Б.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

В статье приводится летнее ограничение движение тяжеловесных грузовых автомобилей в летний период в Республике Узбекистан. Экспериментально установлена критический температурный предел на поверхности асфальтобетонного покрытия в жарком климате, который влияет на прочность покрытия. В результате исследования было рекомендовано проводить летнее ограничение движение тяжеловесных грузовых автомобилей в период с мая по сентябрь.

Ключевые слова. *Температура покрытия, максимальная расчетная температура покрытия, значение стандартного отклонения температуры.*

Обследования показали, что в составе транспортных потоков от 10 до 25% грузовых автомобилей имеют осевые нагрузки, превышающие допустимые пределы. Американской ассоциацией сотрудников дорожных организаций (AASHTO) в результате проведения натурных испытаний было установлено влияние перегрузок на долговечность дорожной одежды. Это влияние пропорционально превышению фактических нагрузок над допустимыми примерно в степени 4,5, т.е. с увеличением нагрузки на одну треть долговечность нежесткой дорожной одежды уменьшается приблизительно в 4 раза. Двукратное увеличение нагрузки на одиночную ось приводит к уменьшению долговечности дорожной одежды в 24–25 раз. Таким образом, данное увеличение осевых нагрузок транспортных средств является разрушительным для дорожных одежд.

В результате проведенных во Франции исследований установлено, что перегруженные оси увеличивают агрессивное воздействие на нежесткие дорожные одежды более, чем на 40%, на

полужесткие дорожные одежды - более чем на 88%. Количество автомобилей с перегруженными осями рекомендовано снизить, если нет возможности отказаться от них полностью. Снижение уровня разрушающего воздействия от движения грузовых автомобилей на 25% позволяет получить ежегодную экономию в размере 80 млн. франков [1].

В декабре 2020 года проведен весовой контроль грузовых автомобилей в Ташкентской области Республики Узбекистан. Всего в декабре проведен весовой контроль 583 автомобиля. Перегруженные автомобили составили 238 единиц (41%)[2].

Чрезвычайно жаркие летние температуры наблюдаются летом по всей стране, особенно в южных и пустынных регионах Республики Узбекистан. По мере повышения температуры воздуха поверхность дорожного покрытия также будет иметь значительно более высокую температуру достигая 70°C. В результате движение тяжеловесных грузовых автомобилей отрицательно сказывается на прочности асфальтобетонного покрытия. Для этого рекомендуется ограничить движение грузовиков на определенное время в жаркий летний период.

В России с 5 июля вступят в силу летние ограничения на грузовые автомобили, а это означает при температуре воздуха выше 32°C грузовики могут ездить по федеральным дорогам только в ночное время.

В Беларуси временные ограничения на нагрузку транспортных средств, движущихся по дорогам общего пользования, вступят в силу с 1 июля по 20 сентября 2020 года, ограничения действуют только при температуре воздуха выше 25°C, с 11 до 20 часов - максимальной. допустимая на ось транспортных средств на дорогах с асфальтобетонным покрытием, допустимая нагрузка не должна превышать 6 тонн.

С 1 июня в Украине запретят большегрузный транспорт при температуре выше 28°C.

В Германии летние ограничительные меры распространяются на грузовики с максимальной массой более 7,5 тонны и прицепы независимо от их веса. Запрет действует каждую субботу с 6 июля по 31 августа с 7:00 до 20:00.

Запреты не распространяются на грузовики, перевозящие следующие виды транспорта:

комбинированные грузовые перевозки (автомобильный и железнодорожный) от отправителя до ближайшей станции погрузки или от ближайшей станции разгрузки до получателя, но только на расстояние не более 200 км;

комбинированные грузоперевозки (транспортировка и экспорт) между пунктом погрузки и разгрузки и портом не более 150 км; транспортировка новой продукции и сопутствующие грузы;

молоко и молочные продукты, мясо и мясопродукты, рыба, живая рыба и переработанные рыбные продукты, скоропортящиеся фрукты и овощи.

В Польше введение временных ограничений на нагрузку автотранспорта в 2020 году осуществлялось с 1 июля по 20 сентября. При движении по дорогам государственного значения с асфальтобетонным покрытием максимально допустимая нагрузка на ось транспортных средств не должна превышать 6 тонн с 11:00 до 20:00, когда дневная температура воздуха превышает 25°C.

Эти ограничения не распространяются на следующее:

платные дороги;

автомобильные дороги, по которым грузовые автомобили обязаны проезжать транзитом через территорию Республики Беларусь в транспортных средствах, предназначенных для международных автомобильных перевозок, указанных в перечне в соответствии с приложением 1 к постановлению Совета Министров Республики Беларусь Беларусь No 171 от 25 марта 2020 года.

Хорватия – 10 июня с 15:00 до 23:00 и 11 июня с 02:00 до 11:00. Запрет распространяется на грузовики общей массой более 7,5 тонны, а также на прицепы длиной более 14 метров.

Австрия – 11 июня с 00:00 до 22:00. Ограничение распространяется на грузовики общей массой более 7,5 тонны.

Италия – 11 июня с 00:00 до 10:00. Запрет распространяется на грузовики общей массой более 7,5 тонны [6].

При определении периода ограничения летом на территории Республики Узбекистан были произведены следующие расчеты.

Максимальная температура асфальтобетонного покрытия рассчитывается на глубине 2 см, исходя из средней температуры воздуха в самый жаркий семидневный период [3].

Российский ученый-исследователь С.С. Мордвин также провел исследование изменения прочности дорожной одежды в

зависимости от температуры в российских условиях. Подобные измерения были проведены в Узбекистане в условиях жаркого климата, и результаты были сопоставлены.

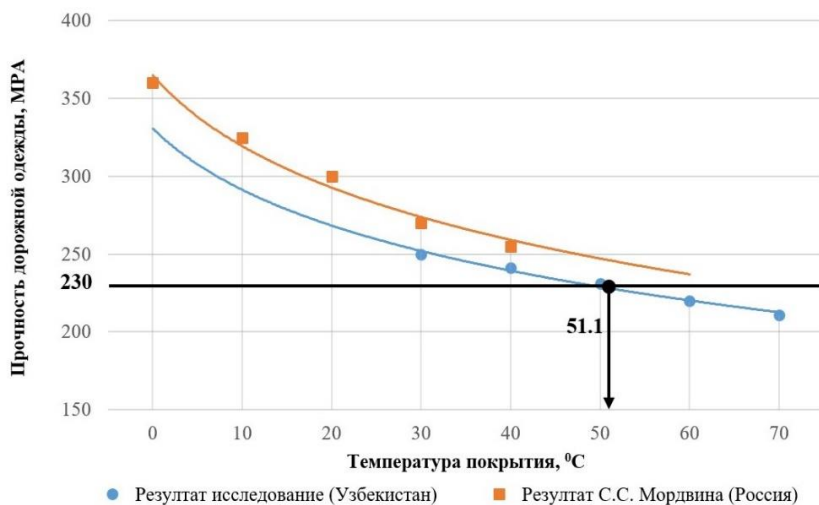


Рис. 1. Зависимость температуры покрытия от его прочности

Из этого рисунка видно, что при достижении температуры покрытия 51.1°C наблюдается снижение необходимого значения прочности. На этом графике видно, что в исследовании, проведенном С.С.Мордвином, температура на поверхности асфальтобетонного покрытия не превышала максимум +50°C, а в условиях Узбекистана эта температура достигала +70°C.

Значение температуры покрытия в соответствии с температурой воздуха выражается по следующей формуле [4]:

$$T = 54,32 + 0,78 \cdot T_{cp} - 0,0025(Lat)^2 - 15,14 \log_{10}(H + 25) + Z \cdot (9 + 0,61 \cdot s^2)^{0,5} \quad (1)$$

здесь: T – максимальная расчетная температура покрытия, °C;
 T_{cp} – средняя температура воздуха, °C;
 Lat – долгота, °C;

H – глубина покрытия поверхности, мм;

Z – табличное значение стандартного нормального распределения (98 % для вероятности $Z=2,055$; 50 % для вероятности $Z=0$);

s – стандартное отклонение семидневной температуры.

Значение стандартного отклонения семидневной температуры рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(T_i - T_{cp})^2}{n-1}} \quad (2)$$

здесь: n – количество лет наблюдения;

T_{cp} – средняя температура воздуха, °С;

T_i – (i) семидневная температура воздуха в год наблюдения, °С.

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \frac{(T_i - T_{cp})^2}{2-1}} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \frac{(41-40)^2}{2-1}} = 1 \quad (3)$$

В зависимости между максимальной температурой дорожного покрытия и температурой воздуха по выражению (1) следует, что температура воздуха составляет 24°С, что соответствует температуре на критическом пределе прочности асфальтобетного покрытия, полученные в результате экспериментальных исследований. В действующих нормативных документах прочность асфальтового покрытия на упругий изгиб рассчитывается при температуре покрытия 50 °С[5].

Летом на территории Республики Узбекистан наблюдается высокая температура воздуха. По данным официального сайта www.world-weather.ru, результаты измерения температуры воздуха в Республике Каракалпакстан в мае – сентябре 2020 года показаны графически.

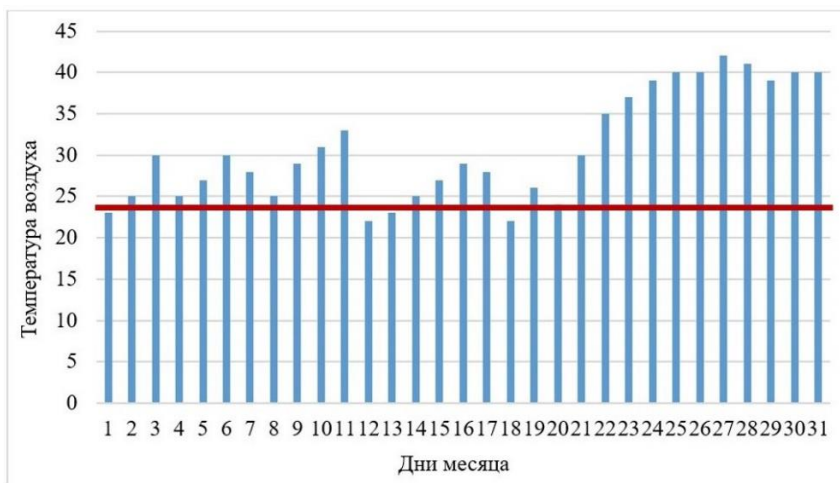


Рис. 2. Температура воздуха в мае месяце в автономной Республике Каракалпакстан

Аналогичный анализ был проведен в последующие месяцы.

На основании результатов экспериментальных исследований разработаны рекомендации по ограничению движения грузовых автомобилей летом в следующие периоды, когда температура воздуха выше 24 °С на примере в автономной Республике Каракалпакстан:

- Май (часов 10⁰⁰-19⁰⁰);
- Июнь (часов 9⁰⁰-20⁰⁰);
- Июль (часов 9⁰⁰-21⁰⁰);
- Август (часов 10⁰⁰-19⁰⁰);
- 01.09.2021-16.09.2021 (часов 11⁰⁰-18⁰⁰).

Таким образом, исходя из опыта развитых стран, на основании результатов экспериментальных исследований разработаны рекомендации по ограничению движения грузовых автомобилей летом на примере в автономной Республике Каракалпакстан.

Литература

1. «Информационный центр по автомобильным Дорогам», “Обеспечение сохранности автомобильных дорог,” 2006.

2. Ф.Б.Ашуров, проф.И.С.Садиков, “Автомобиль йўллариди транспорт воситаларининг вазн ўлчамларини назорат қилиш натижалари таҳлили.” Политехнический Джишакская институт, 2021.

3. М.М.Рябинина, “Влияние погодно-климатических условий на состояние дорожных покрытий,” vol. 10, no. 53, pp. 2014–2018, 2018.

4. ОДМ218.4.036-2017, “Методические рекомендации по приготовлению асфальтобетонных смесей, их укладке, а также приемке выполненных работ, основанные на методологии «superpave»,” 2017.

5. Ф.Б.Ашуров, проф.И.С.Садиков, “Особенности влияния температуры дорожного покрытия на прочность дорожной одежды в условиях жаркого климата Республики Узбекистан.” Настоящий сертификат подтверждает публикацию материала в международном научно-образовательном электронном журнале “Образование и наука в XXI веке”, Ташкент 2021.

6. <https://trans.info/ru/letnie-zapretyi-dvizheniya-gruzovikov-v-2021-godu-posmotrite-gde-i-v-kakie-dni-oni-budut-obyazyivat-243275>

Влияние минерального порошка, полученного из горных пород, на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей

Садиков И.С., Буриев Ш.Х.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

В статье показано, что плотность мелкозернистой горячей плотной асфальтобетонной смеси с добавлением сланцевого минерального порошка увеличивается, показатель водопоглощения асфальтобетонной смеси снижается, а прочность на сжатие и сдвиг увеличивается.

Ключевые слова: сланцевый минеральный порошок, минеральный порошок, мелкозернистый горячий плотный асфальтобетон, гидрофобизатор.

Сегодня проблема повышения производства и качества дорожного строительства в стране приобретает большое значение. Большинство дорог общего пользования имеют твердое покрытие, и растет спрос на строительство и реконструкцию асфальтовых покрытий. В своей научной работе многие исследователи сосредоточили внимание на минеральном порошке в асфальтобетонной смеси в качестве наполнителя лишь небольшой части, то есть для обеспечения плотности покрытия [1, 2]. В таких случаях цемент и порошок, полученные дроблением обычных камней, добавляют в состав производимого в республике мелкозернистого горячего плотного асфальтобетона. Эти добавленные материалы заполняют мелкую пористость между крупнозернистыми и мелкими заполнителями в асфальтобетонной смеси, но не служат для увеличения прочности асфальтобетонной смеси, повышения активности вяжущего. ГОСТ16557-2005 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей» Т.У., в результате низкого производства минеральных порошков, соответствующих требованиям таблицы 1 нормативного документа, в некоторых

случаях их не добавляют вообще, что приводит к снижению срока службы асфальтобетонной смеси.

Одним из основных отличий при приготовлении мелкозернистых горячих плотных асфальтобетонных смесей и крупнозернистых горячих пористых асфальтобетонных смесей является добавление в эту плотную асфальтобетонную смесь минерального порошка [5,6]. Другими словами, минеральный порошок, добавляемый в асфальтобетонную смесь, увеличивает плотность смеси, увеличивает ее водопроницаемость, водостойкость и активность вяжущего, улучшает вязкость минеральной части смеси и увеличивает прочность смеси.

Лабораторные испытания минерального порошка из сланцевых пород Самаркандской области Республики Узбекистан проводились в соответствии с ГОСТ 16557-2005 «Минеральный порошок для асфальтобетонных и органоминеральных смесей». по сравнению с требованиями нормативного документа. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

№	Названия индикаторов	Единица измерения	Значение индикаторов		
			Нормативное значение	Полученное среднее значение	Совместимость с МХ
1	Естественная влажность	%	0-1,0	0,8	-
2	Зерновой состав, мм	1,25	Не менее 100	99,6	совместим
		0,315	Не менее 90	91,7	совместим
		0,071	Не менее 80	81,2	совместим
3	Плотность	г/см ³	не нормиров.	2,6	совместим
4	Пористость, не менее	%	30	28,9	совместим
5	Набухание образцов из смеси порошка с битумом		1,8	1,6	совместим

Минеральный порошок сланцевый продукт марки МП-1 соответствует требованиям нормативного документа ГОСТ16557-2005 «Порошок минеральный для асфальтобетона и органоминеральных смесей» Т.У.

Минеральный порошок из сланцевых пород - это активированный минеральный порошок типа МП-1. Минеральный порошок из сланцевых пород увеличивает вяжущую активность асфальтобетонной смеси. Сланцевые породы встречаются на территории Самаркандской области и села Карасой Ш. Рашидовского района Джизакской области. Минеральный порошок из сланцевых пород получают путем дробления и формования этих сланцевых пород [3, 4]. Минеральный порошок из сланцевых пород, отвечающий требованиям таблицы 1 нормативного документа ГОСТ16557-2005 по зернистому составу, увеличивает среднюю плотность смеси за счет заполнения мелких пор между крупнозернистым заполнителем и мелкозернистым заполнителем песком. Минеральный порошок, полученный из сланцевых пород, улучшает связывание минеральной части с битумом в композиции за счет высокой степени связывания поверхности с битумом.

Одним из основных компонентов асфальтобетона является минеральный порошок, который составляет более 90% общей площади поверхности минеральных зерен. Согласно [1], минеральный порошок в асфальтобетоне выполняет две функции: инертный материал заполняет зазоры между щебнем и песком и действует как связующее между вяжущим и инертным вяжущим, что в основном увеличивает физико-механические свойства асфальто-бетонной смеси [2, 3].

Физико-механические свойства мелкозернистых горячих асфальтобетонных смесей типа Б с добавлением минерального порошка из известняка Ташкентской области и минерального порошка из аззикрета, производимого на аэродромах Ферганской области по ГОСТу 9128-2013 Т.Ю.

Исходя из требований нормативного документа, результаты минеральных исследований, полученные из сланцевой породы, сравнивались с результатами испытаний (таблицы 2, 3, 4).

Таблица 2. Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси с минеральным порошком из аззикрета

Средняя плотность	Водонасыщение		Предел прочности при сжатии, при температуре 50°С		Предел прочности при сжатии, при температуре 20°С,		Водостойкость	
	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец
Состав 1 - минеральный порошок, полученный из аззикрета. 8,1 % Битум 5,6%								
2,35	1,5-4,0	4,0	Не менее 1,1	1,25	Не менее 2,5	2,78	Не менее 0,85	0,92

Таблица 3. Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси с минеральным порошком из известняка

Средняя плотность	Водонасыщение		Предел прочности при сжатии, при температуре 50°С		Предел прочности при сжатии, при температуре 20°С,		Водостойкость	
	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец
Состав 2. Добавляется минеральный порошок, полученный из известнякового материала.								
2,32	1,5-4,0	4,8	Не менее 1,1	0,95	Не менее 2,5	2,58	Не менее 0,85	0,95

Таблица 4. Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси с минеральным порошком из сланцевой породы

Средняя плотность	Водонасыщение		Предел прочности при сжатии, при температуре 50°С		Предел прочности при сжатии, при температуре 20°С,		Водостойкость	
	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128 -13	образец	ГОСТ 9128-13	образец	ГОСТ 9128-13	образец
Состав 3. Добавлен минеральный порошок из сланцевой породы. 4,1%								
2,38	1,5-4,0	3,1	Не менее 1,1	1,24	Не менее 2,5	3,14	Не менее 0,85	0,98

Как видно из приведенной выше таблицы, по физико-механическим свойствам, водостойкости, водопроницаемости, прочности на сжатие и средней плотности минерального порошка из аззикрета и минерального порошка из известняка с образцами мелкозернистого горячего плотного асфальтобетона мы можем видеть, что он высокий.

В летние месяцы в Узбекистане, когда температура воздуха составляет 45⁰-50⁰ градусов тепла, температура на наших асфальтовых покрытиях поднимается до 65⁰-70⁰ градусов тепла. Поэтому были проведены лабораторные испытания на прочность на сжатие и сдвиг мелкозернистых горячих плотных асфальтобетонных смесей при лабораторных температурах 60⁰ С и 70⁰ С, результаты которых представлены в таблице 5.

Добавление минерального порошка из сланцевых пород в состав мелкозернистого горячего плотного асфальтобетона увеличивает плотность смеси, активность вяжущего и улучшает ее вязкость относительно минеральной части смеси. Добавление минерального порошка из сланцевых пород в мелкозернистую асфальтобетонную смесь горячей плотности, которая наносится на верхний слой покрытия, увеличивает водопоглощение, водостойкость и прочность смеси.

Таблица 5

№	Состав асфальтобетонной смеси	Предел прочности при сжатии, при температуре 60°C	Предел прочности при сжатии, при температуре 70°C	Сдвигоустойчивость, МПа
1	Состав 1 Минеральный порошок, полученный из аззикрета	0,96	0,71	0,72
2	Состав 2 Минеральный порошок из известнякового материала	0,92	0,738	0,75
3	Состав 3 Минеральный порошок из сланцевой породы	1,12	0,96	0,84

За счет добавления минерального порошка из сланцевых пород в смесь мелкозернистого горячего асфальтобетона типа Б, благодаря высокой прочности на сжатие и сдвиг при температурах 600С, 700С, в жаркие летние дни в республике Узбекистан предотвращает возникновение в результате таких дефектов, как продольные и поперечные неровности.

Согласно полученным результатам, при добавлении минерального порошка из сланцевых пород в количестве 4,1% в асфальтобетонную смесь, приготовленную из минерального порошка из аззикрета, добавлено 0,8%, в асфальтобетонную смесь с минеральным известняком - 0,6% вязкого битума. порошок. и мы экономим половину минерального порошка. Это приводит к удешевлению производимой асфальтобетонной смеси.

Литература

1. проф. Содиқов И.С. ва Ш.Буриев “Сланецли минерал кукунларнинг асфальтобетон қоришмалари мустаҳкамлиги таъсири” ТАЙЛҚЕИ 2019 й.

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

3. Александр Юрьевич к. т.н., доцент кафедры транспорта и дорожного строительства УГЛТУ «Минеральный порошок как средство стабилизации и армирования асфальтобетонных смесей»

4. Товбоев Б.Х. ва Умирзоков З.А. «Асфальтобетон қоришмаларини физик-механик хоссаларига минерал қуқунни таъсири»

5. Печеный Б.Г. Оптимизация технологии приготовления асфальтобетонных смесей / Б.Г. Печеный, Е.А. Данильян // Дорожная техника, 2012. – С. 12–15.

6. Иноземцев С.С. Выбор минерального носителя наноразмерной добавки для асфальтобетона / С.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Вестник МГСУ. – 2014. – № 3. – С. 158–167.

Оценка экономической эффективности применения сероасфальтобетона в условиях Республики Узбекистан

Садилов И.С., Маматмуминов А.Т.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

Наши асфальтобетонные дороги быстро приходят в негодность в жарком климате. Чтобы избежать этих недостатков, дороги с сероасфальтобетонными покрытиями являются наиболее оптимальным вариантом.

Большая часть битума, импортируемого в Узбекистан, импортируется из соседних и развитых стран. Добавление серы в битум для решения этих проблем и улучшения качества дорог в нашей стране дает хорошие результаты.

Сера естественным образом встречается в естественной среде и входит в десятку самых распространенных элементов земной коры. Сегодня, когда потребление топлива растет во всем мире, сера производится как побочный продукт при добыче нефти и газа, который используется в качестве связующего в композитных строительных материалах, таких как асфальт и бетон [1]. Сера, которую мы используем сегодня, – это местное сырье. Местным сырьем являются отходящие газы Мубарекского газоперерабатывающего завода в Кашкадарьинской области. У него много резервов. Сегодня 1 тонна местного сырья стоит 69 тысяч сумов. Это более дешевая цена, чем битум.

Битум - это материал, обеспечивающий сцепление материалов в асфальтобетонной смеси. Битум составляет 5-6,5 % от массы асфальтобетонной смеси типа Б [2].

В предлагаемой нами смеси сера и битум добавляются в соотношении 20/80 %. Сегодня стоимость 1 тонны битума составляет 4 миллиона 200 тысяч сумов.

Если вместо битума в асфальтобетоне использовать серобит, мы сэкономим 20 % битума. Если модификатор, содержащий серобит, объединяет стоимость ОГК с серой, то стоимость 1 тонны модифицированной серы составляет 100 тысяч сумов. Что касается расче-

тов, то процент битума в 1 тонне серобита составляет 80 %, что составляет 3 миллиона 360 тысяч сумов. Процент серы – 20 %. Таким образом, стоимость 1 тонны серобита составляет 3 миллиона 380 тысяч сумов.

Асфальтобетон содержит 5,5-6 % битума. После добавления серы к содержанию битума процент битума снижается до 4,4-4,8 %.

Определяем расход материалов на дорожное покрытие. В этом случае объем материала мелкозернистого сероасфальтобетона определяем по формуле 1:

$$V = B \cdot L \cdot h \cdot K_z \cdot K_y, \quad \text{м}^3 \quad (1)$$

здесь:

B — ширина дороги, м;

L — протяженность дороги (на 1 км), м;

h — толщина слоя, м;

K_z — коэффициент плотности материала в зависимости от типа материала;

K_y — коэффициент потери (расточительства) материала получается в зависимости от вида материала [3].

I_a – расход материалов для мощения по категории шоссе будет следующим:

$$B = 18,5 \text{ м};$$

$$L = 1000 \text{ м};$$

$$h = 0,05 \text{ м};$$

$$K_z = 1,2;$$

$$K_y = 1,01.$$

$$V = 18,5 \cdot 1000 \cdot 0,05 \cdot 1,2 \cdot 1,01 = 1121,1 \text{ м}^3$$

По результатам нашего эксперимента плотность сероасфальтобетона $\rho = 2,31 \text{ г/см}^3$ (т/м^3). Здесь мы рассчитаем, сколько тонн сероасфальтобетона расходуется на 1 км дороги, используя формулу 2:

$$Q = \rho \cdot V, \text{ тонна} \quad (2)$$

здесь:

Q – Общий вес сероасфальтобетона на 1 км дороги, т;

ρ – плотность сероасфальтобетона, т/м³;

V – Расход материалов дорожного покрытия по дороге Ia категории, м³.

$$Q = 2,31 \cdot 1121,1 = 2589,74 \text{ т.}$$

По общим оценкам, на 1 км трассы потребуется 2589,74 тонны сероасфальтобетонной смеси.

По результатам нашего эксперимента в сероасфальтобетонную смесь добавлено 6 % серобита. На 1 тонну сероасфальтобетонной смеси добавляют 60 литров серобита. Стоимость 1 тонны битума составляет 4 миллиона 200 тысяч сумов. Стоимость 1 тонны серобита составляет 3 миллиона 360 тысяч сумов.

Сегодня стоимость 1 тонны асфальтобетонной смеси составляет 496 000 сумов. По оценкам, стоимость 1 тонны сероасфальтобетонной смеси составит 396,8 тыс. сумов.

Если проанализировать результаты, то на 1 км дороги потребуется 2589,74 тонны смеси. Стоимость строительства 1 км асфальтированной дороги составляет:

$$\sum_{\text{асф.}} = 2589,74 \cdot 496000 = 1 \text{ млрд } 284 \text{ млн } 511 \text{ тыс. сумов.}$$

Стоимость строительства 1 км асфальтированной дороги составляет:

$$\sum_{\text{с.асф.}} = 2589,74 \cdot 396800 = 1 \text{ млрд } 27 \text{ млн } 609 \text{ тыс. сумов.}$$

Если подсчитать полученные результаты, то дороги с сероасфальтированным покрытием строятся дешевле, чем дороги с асфальтовым покрытием. Какая прибыль будет получена от строительства 1 км дороги с сероасфальтобетонным покрытием от шоссе с асфальтовым покрытием по формуле 3:

$$\sum_{\text{польза}} = \sum_{\text{асф}} - \sum_{\text{с.асф.}} \quad (3)$$

$$\sum_{\text{польза}} = 1284511000 - 1027609000 = 256 \text{ млн } 902 \text{ тыс. сумов.}$$

Из полученных расчетов можно сказать, что дороги с сероасфальтированным покрытием более рентабельны. Кроме того, дороги с сероасфальтированным покрытием физически и механически более эффективны, чем дороги с асфальтовым покрытием. Дороги с сероасфальтированным покрытием также можно строить в жарком климате [4].

При расчете экономической эффективности было обнаружено, что предлагаемые нами дороги с сероасфальтированным покрытием намного дешевле и качественнее, чем дороги с асфальтовым покрытием. Строительство 1 км асфальтированной дороги обойдется в 256 млн 902 тыс. сум.

Литература

1. Исследование модифицированного серного бетона для достижения промышленной устойчивости. Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. Бекназаров Х.С. [и др.]. 2019. №5(62). URL:
2. ГОСТ 9128-13. “Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон”, Технические условия, Москва, 2013, 42 стр.
3. ГОСТ 12801-98. “Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства”. Методы испытаний, Москва, 1998, 67 с.
4. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации, ПНСТ 191-2017 «Смеси сероасфальтобетонные дорожные и сероасфальтобетон», Москва, 2017, 22 с.

Методика планирования туристических дорог с учетом требования транспорта

Садилов И.С., Турсунбоев Ф.А.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

В статье рассматривается важность автомобильных дорог в развитии туризма в Узбекистане, создание объектов дорожной и дорожной инфраструктуры, создание сети удобных транспортных маршрутов по достопримечательностям и культурным объектам, организация туристических дорог в стране и предложения даны.

Ключевые слова. туризм, автомобильные дороги, туристический поток, придорожная инфраструктура, зоны короткого отдыха.

Одна из основных задач сегодня – изучение и анализ достижений, проблем и недостатков экономики страны в процессе либерализации экономики и углубления реформ, а также дальнейшее совершенствование методов экономического развития за счет эффективного использования передовых и зарубежных опытов.

В нашей стране поток туристов сосредоточен в основном в районах, где есть исторические памятники, а также в районе сезонного отдыха (горные и красивые пейзажи).

Эти автомобили являются одним из основных транспортных средств, которыми пользуется население нашей страны и туристы, посещающие Узбекистан. Автомобиль обеспечивает свободу и скорость туристической группы, расширяет возможности для активного знакомства с регионом, делает поездку более содержательной и насыщенной различными впечатлениями.

Трасса – рабочее место водителя. Поэтому водителям важно изучить требования дороги и иметь представление о ее скорости.

Происходящие в нашей стране изменения и развитие туризма требуют увеличения и развития туристических маршрутов в нашей стране [1].

Туристические маршруты являются одним из основных средств привлечения туристов к достопримечательностям, соединения туристов с достопримечательностями, обеспечения туристов отдыхом и досугом. По сравнению с обычными дорогами и городскими дорогами туристические дороги в основном предназначены для обслуживания туризма. Это означает, что сеть туристических маршрутов должна обслуживать туристов, в то время как обычные дороги предназначены для обслуживания населения и создания благоприятных условий для повседневных поездок. С точки зрения загруженности туристических маршрутов, туристические маршруты в основном предназначены для обеспечения комфортных условий передвижения для пользователей пассажирского транспорта [2].

В настоящее время одним из основных вопросов рационального и точного прогнозирования спроса на туристические магистрали для туристических направлений является планирование туристов и оптимизация дорожной сети.

Туристические потоки - это путешественники, которые используют дороги с учетом многих важных факторов, влияющих на выбор туристического направления, таких как легкость передвижения, стоимость дорожных ландшафтов, туристическая ценность, привлечение туристов и запланированная и созданная туристическая ценность для привлечения туристов [3].

Туристы обычно планируют свои маршруты, соединяя несколько туристических направлений и создавая туристическую цепочку. При этом водители выбирают желаемую скорость движения в высоких условиях для повышенного комфорта и комфортного передвижения. Его ценность зависит от многих факторов, включая цель поездки, расстояние, состояние водителя, квалификацию и опыт, состояние дорожного покрытия, геометрические элементы и решения по планировке дороги.

Отклонение от требуемых условий движения (например, неспособность своевременно добраться до пункта назначения) вызывает у водителя чувство снижения комфорта и удобства, а

иногда и раздражительность, что может привести к непоправимым ошибкам и дорожно-транспортным происшествиям [4]. С учетом вышеперечисленных требований были разработаны индексы оценки туристических ресурсов. Туристическая ценность дорог в основном оценивается по визуальной ценности, природной ценности, исторической ценности, развлекательной ценности, культурной ценности, оценке туристических ресурсов и оценке согласно характеристическому анализу ресурсов [1] (Таблица 1).

Туристические маршруты предназначены для обеспечения доступа к красивым местам и туристическим достопримечательностям и соединения с ними, обеспечения инфраструктуры для туристических транспортных средств и пешеходов, связи туристических достопримечательностей или придорожных туристических направлений с туристической ценностью, а также обеспечения доступа к вспомогательным объектам, объектам обслуживания, интерпретации информации и ландшафтные объекты. Чтобы в полной мере использовать функцию туристических маршрутов, необходимо дальнейшее улучшение конфигурации, качества и уровня обслуживания объектов обслуживания на туристических маршрутах.

К основным объектам обслуживания туристической магистрали относятся здания для приема пищи и отдыха туристов, места для временной стоянки транспортных средств, оборудование для обеспечения безопасности дорожного движения, дорожные знаки и системы интерпретации и т. д. Транспортные средства на туристической трассе будут состоять в основном из легковых автомобилей и микроавтобусов с небольшой пассажиреместимостью.

Методика организации транспорта по туристической магистрали очень разнообразна - ее можно разделить на три основных типа: первый - туристический автобус, который в основном обслуживает местных туристов, являющийся основным видом туристического потока на магистрали; второй - туристический автобус, используемый для встречи индивидуального туриста; третий - частные автомобили.

Таблица 1. Определения индексов оценки туристических ресурсов

Индекс оценки	Определение
Визуальная ценность	Природные и искусственные ландшафты вдоль туристической тропы могут улучшить впечатления от просмотра. Такие пейзажи могут подарить путешественникам приятные и запоминающиеся впечатления от просмотра. К таким ландшафтам относятся рельеф, водоток, растительность и искусственные ландшафты.
Природная ценность	Возможности, которые не смешиваются искусственно в визуальной среде. Эти особенности включают геологическую структуру местности, естественно сохранившиеся пейзажи, прекрасный вид на набережную, места для наблюдения за растениями и дикой природой.
Историческая ценность	Пейзажи, созданные в прошлом, которые могут быть четко связаны с элементами природы или искусственными ландшафтами, и их историческое значение могут быть использованы для того, чтобы туристы оценили их. Исторические музеи, в которых хранятся исторические здания, жилые дома и артефакты, сохранившиеся в древности, созданные в результате деятельности человека.
Ценность развлечения	В основном его производят на развлекательные мероприятия под открытым небом. Такие мероприятия связаны с окружающей природой и культурой и носят сезонный характер, например: конкурсы, организация развлекательных мероприятий.
Культурная ценность	Это включает демонстрацию традиционных обычаев местных народов, включая музыку, танцы, церемонии, фестивали, речи, специальные мероприятия, местные стили строительства, этнические обычаи и многое другое.

При планировании туристических маршрутов дороги с указанными выше характеристиками в регионе признаются «туристическими маршрутами», к которым относятся дороги международного, государственного, местного значения. Планирование туристических дорог сосредоточено на улучшении региональной дорожной сети, повышении плотности дорожной сети, повышении удобства и связанности туристических ресурсов, а также улучшении качества услуг для удовлетворения растущих потребностей туризма [4].

Одна из важных функций туристических маршрутов - соединять разрозненные точки туристического потока, чтобы туристы

проходили через дорожную инфраструктуру от места отправления до места назначения.

Туристическая магистраль позволяет туристам увидеть окружающие туристические ресурсы, удовлетворяя при этом удобство и безопасность передвижения по дороге. Это дает автомагистралям больше функций экологии, отдыха, эстетики и культуры в дополнение к транспорту. Таким образом, объем планирования и проектирования туристических маршрутов будет охватывать не только автомагистрали, но и расширять поле зрения вокруг проекта и туристических зон (коридоров), к которым можно получить доступ через систему дорог. Необходимо изучить и организовать существующие функции по организации и реализации благоприятной транспортной среды на туристических дорогах с учетом требований.

Литература

1. I.S.Sodiqov, F.A.Tursunboyev „Требования к подъездным автомобильным дорогам мест массового отдыха" журнал Транспорт Шёлкового Пути. №4, 2020.
2. Zhen-Guo Liu¹ and Tian-Tian Zhang „Layout Planning Methods of Tourism Road Considering Tourism Value and Traffic Demand " International Conference on Transportation and Development 2020.
3. Dong Xin*, Yongxin Wang, Quanliang Xu, Hai Yan and Anqi Lv „ Study of the Planning and Design of Tourism Highways Based on Green Ecological Concept" E3S Web of Conferences 165, 04064 (2020).
4. I.S.Sodiqov, F.A.Tursunboyev,A.G.Djumayev , A.A Terpak, Road design requirements for recreational zones. Solid State Technology Volume: 64 Issue: 2 Publication Year: 2021.

Системные проблемы и недостатки в благоустройстве дорог и улиц

Садилов И.С., Эргашова М.З.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

В статье рассматриваются проблемы и недостатки благоустройства дорог и улиц. Приводится обзор опыта по ландшафтному дизайну и озеленению зарубежных стран. Анализируются имеющиеся проблемы и недостатки разделяя на несколько категорий.

Ключевые слова: ландшафтный дизайн, аллеи, парки, центральные улицы, государственно-частное партнерство, микроклимат, экология.

Автомобильные дороги занимают огромное место не только в некоторых регионах, но и в социально-экономическом развитии всего государства. Неудивительно, что “дороги – это кровеносные сосуды государства” [1]. Одной из главных проблем на сегодняшний день является организация благоустройства и озеленения на научной основе. Санитарно-гигиеническая роль ландшафтных зеленых насаждений, высаженных особенно на окраинах автомобильных дорог, высока в повышении условий жизни населения до уровня почвы, обеспечении их отдыха, улучшении санитарного состояния территорий, создании микроклимата и создании здоровой зеленой зоны [2].

Благоустройство жилых массивов, городов, районов, поселков, улиц - это одно из основных средств благоустройства.

Внешний вид жилых массивов – один из важных показателей уровня социально-экономического развития страны. Вопросы благоустройства жилых массивов становятся все более важными в развитии общества, особенно за счет планирования городов на основе новых подходов в соответствии с принципами “Город для людей”, “Креативный город”, “Умный город”.

Ландшафтный дизайн и озеленение в развитых странах Европы входят в число приоритетов государства. В этих странах эта работа ведется в основном на городском и районном уровнях при непосредственном участии населения и бизнеса. Кроме того, широко распространена организация различных акций, проектов и специальных программ с участием граждан зарубежных стран.

В связи с актуальностью вышеперечисленных вопросов систематически изучались законодательство в области благоустройства и озеленения, правоприменительная практика и состояние проводимых работ. Согласно результатам анализа, в стране существует ряд системных проблем и недостатков, которые препятствуют достижению высокой эффективности этой работы. Выявленные проблемы и недостатки были разделены на несколько категорий.

- *Ограниченные источники финансирования*

Работы по благоустройству и озеленению в республике Узбекистан осуществляются за счет средств, выделяемых из местного бюджета, иными словами, за счет средств налогоплательщиков. При этом собственники земли и землепользователи не берут на себя никаких обязательств по благоустройству прилегающих к ним территорий.

В зарубежном опыте прослеживается практика возложения на землевладельцев, землепользователей и арендаторов обязанности благоустройства и озеленения прилегающих к своей недвижимости территорий. В частности, в Нью-Йорке (США) юридические лица обязаны проводить работы по благоустройству и благоустройству территорий, прилегающих к их недвижимости. В Южной Корее строительным компаниям разрешено возводить здания и сооружения при условии благоустройства и озеленения.

Ограниченные источники финансирования, в свою очередь, препятствуют найму квалифицированных специалистов, так как зарплаты ландшафтного персонала очень низкие.

Летом среднее дерево может производить количество кислорода, необходимое для дыхания трех человек каждый день, а 10 гектаров зеленой растительности могут удовлетворить потребности людей в кислороде на площади 300 [3].

При воспламенении 10 литров топлива в двигателе автомобиля в воздух попадает 2–4 г свинца. За 10 лет одна машина выбрасывает в

атмосферу 10 кг металла. Наблюдения показывают, что за период вегетации дерево может накапливать свинца столько же, сколько в 130 л бензина [4]. Помимо положительного влияния зеленых насаждений на экологическую ситуацию в регионах, они отрицательно сказываются на финансово-экономической ситуации.

– ***Точная площадь районов, подлежащих благоустройству в нашей республике, не уточняется***

Состояние паспортов благоустроенных территорий находится в неудовлетворительном состоянии. Результат анализа показал, что размер фактических благоустроенных территорий был в несколько раз больше, чем площади, зафиксированные в паспорте.

Некоторые типы территорий, в частности, центры населенных пунктов (аллеи, парки, центральные улицы) частично благоустраиваются департаментами благоустройства, государственными органами, населением и хозяйствующими субъектами, в то время как остальные территории находятся в запущенном состоянии.

Существует проблема острой нехватки мусорных ящиков в жилых районах населения районов (городов), а также в общественных местах (площади, улицы, парки, парки, вокзалы, аэропорты, рынки, остановки городского транспорта и т.д.), а также не введены требования к мусорным ящикам, их разработке, пошаговым схемам размещения.

– ***Превышение загруженности***

Загруженность отделов благоустройства в 3-4 раза превышает их существующий потенциал, что негативно сказывается на качестве их работы.

Также существует чрезмерная нагрузка на персонал, обеспечивающий исправное состояние точек уличного освещения. Согласно норме, 1 сотрудник должен в среднем обходить 500 точек освещения за 1 день и заменять устаревшие осветительные лампы. Однако текущая средняя нагрузка составляет 850 точек освещения, что почти в 1,5 раза выше установленной нормы [5].

– ***Осиротевшие деревья***

В последнее время в социальных сетях распространились новости и видеоролики о незаконных рубках леса в разных частях страны. В результате деятельности человека и прямого воздействия

на природу атмосфера ежегодно наполняется токсичным углекислым газом и другими газами.

Выхлопные газы электростанций, заводов и автомобилей являются основными факторами загрязнения воздуха. По данным ученых, в период с 2000 по 2010 год самое сильное накопление парниковых газов в атмосфере наблюдалось за последние 30 лет [6]. В 2017 году их плотность в воздухе достигла рекордного уровня. Это настоящая трагедия для человечества. Потому что людям определенно нужен свежий воздух, чтобы жить и дышать. Один из лучших способов добиться этого - использовать деревья.

Одно дерево производит достаточно кислорода, чтобы четыре человека могли дышать в год. Но одна машина может «переварить» такое количество кислорода всего за одну минуту. Поэтому важно сажать больше деревьев в городских условиях. Он смягчает экологическую среду и создает благоприятный микроклимат. Деревья в городах снижают летнюю температуру на 3-4 градуса, снижая шум до 10-12 децибел. Деревья, посаженные в пустынной местности, предотвращают перемещение песка и соли, создавая почву для укоренения растений. Деревья, растущие вдоль канав, предотвращают чрезмерное проникновение воды в землю и повторное засоление почвы.

Наша страна - одна из стран с малыми ресурсами деревьев. Потому что в условиях Узбекистана не так много густых, больших лесов. Уровень лесного покрова в стране составляет всего 7,5%.

Раньше в городское управление по благоустройству входили специальные центры борьбы с болезнями деревьев и вредителями. Сейчас, в отсутствие этих центров, здоровый рост деревьев не контролируется должным образом.

За первые шесть месяцев 2021 года в стране было совершено 2597 нарушений, связанных с незаконной вырубкой деревьев и кустарников, в результате чего растительному миру нанесен ущерб на 6,7 млрд сумов. К сожалению, в результате выявленных нарушений было незаконно вырублено 2407 ценных деревьев, 2109 малоценных деревьев, 1744 м³ кустарников [7]. Например, с начала 2021 года при анализе случаев незаконных рубок и порчи деревьев и кустарников по областям, Республика Каракалпакстан - 1065, Самарканд - 609, Кашкадарья - 534, Навои - 349, Ташкентская область - 344. с [8]. Депутат Олий Мажлиса Расул Кушербаев

объявил, что цена 109 срубленных кустарников в городе Денов составляет не 65 миллионов сумов, а 995 миллионов сумов (Рис. 1). В постановлении Кабинета Министров от 17 января 2019 года “О дальнейшем совершенствовании порядка выдачи разрешений в области регулирования и использования деревьев и кустарников на землях, не относящихся к Государственному лесному фонду”, установлено, что вырубка деревьев на территории Узбекистана без разрешения является незаконной.

В нашей республике на балансе департаментов благоустройства и озеленения находится в общей сложности 4522 техники, из которых 888 находятся в плохом состоянии или 20%.

80% оборудования в плохом состоянии морально устарело (ТТЗ-80, Газ 53-12, Маз, ЗИЛ, 1980/90 г.в.), что требует больших денежных средств на их обслуживание, что в свою очередь приводит к неэффективному использованию ресурсов. Остальное оборудование состоит из автомобиля Damas и автобуса Isuzu, предназначенного только для перевозки персонала. Существующие автомобили не оснащены оборудованием GPS. В результате отсутствует механизм удаленного мониторинга трафика (Рис. 2).



Рис 1. Срубленные деревья в Денау

– *Отсутствие контроля в работе по благоустройству и озеленению, а также устаревшие методики.*

Не принимались меры по укреплению материально-технической базы отделений и увеличению материального обеспечения их коллектива. В частности, отсутствуют внебюджетные фонды, позволяющие аккумулировать средства для укрепления материально-технической базы.

Сегодня, в период инновационного развития в стране, в период, когда значительно повышается эффективность современного оборудования и экономятся ресурсы, большая часть работ по благоустройству по-прежнему выполняется с помощью ручного труда.



Рис. 2. Фотографии с процесса благоустройства и озеленения

Благоустройство территории обычно проводится в утренние часы пик, вызывая неудобства и опасность для участников дорожного движения, и отсутствует механизм мониторинга территорий, позволяющий существенно сэкономить время, материальные и трудовые ресурсы, а также улучшить качество озеленения.

– *Отсутствуют элементы государственно-частного партнерства, аутсорсинга и общественного контроля.*

Отсутствие элементов государственно-частного партнерства ограничивает возможность привлечения дополнительных эффективных ресурсов. Внедрение данного партнерства на основе особых требований позволит привлечь материально-технические и трудовые ресурсы частного сектора. При этом работы по благоустройству и озеленению не передаются на аутсорсинг субъектам хозяйствования. Такое сотрудничество позволит существенно сэкономить на качестве работы и трудовых ресурсах. В этой связи примечателен опыт Южной Кореи, где работы по озеленению и благоустройству были поручены частному сектору. В этой стране предприятия, специализирующиеся на охране природы и зеленых насаждений, получают право проводить работы по

благоустройству города на конкурсной основе, финансируемой из местных бюджетов [5].

Отсутствует действенный общественный контроль на местах, повышающий заинтересованность населения в обеспечении свободы и порядка, а также электронная площадка, позволяющая активно взаимодействовать с населением в режиме реального времени.

В организации вышеуказанной работы важно участие не только профильных организаций, но и населения.

Следует отметить, что такая работа заключается не только в очистке улиц, но и в создании экологически чистой среды для населения, включая городскую архитектуру и живописный ландшафтный дизайн с учетом архитектурных и климатических условий региона. Создание благоприятных экологических и санитарных условий в населенных пунктах, в свою очередь, требует привлечения таких специалистов, как ландшафтный дизайн, ирригация, инженерия.

Литература

1. В.Ф. Бабков, О.В. Андреев “Автомобил йўлларини лойиҳалаш” Ташкент, 2011.
2. М.З. Эргашова, “Шаҳар кўча ва йўлларини иссиқ иқлим шароитида кўкаламзорлаштириш хусусиятлари (Термиз мисолида)” 2021.
3. И.С.Содиқов, К.Х.Азизов, А.Х.Ўроқов “Автомобиль йўлларини ободонлаштириш ва жиҳозлаш”, Тошкент, 2017.
4. И. Кузмичёв, В. Печеницин “Озеленение городов и сёл Узбекистана” Ташкент, 1979.
5. <https://www.gazeta.uz/obodonlashtirish>.
6. <http://marifat.uz/marifat/ruknlar/manaviat/3853.htm>.
7. <https://qalampir.uz/uz/news>.,<https://kun.uz/79589855>

Обнаружение дефектов дорожного покрытия с помощью модели машинного обучения

Уроков А.Х., Соаталиев Р.Р.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Узбекистан

В процессе эксплуатации автомобильных дорог под воздействием нагрузок от транспортного средства и погодноклиматических факторов на дорожном покрытии возникают и развиваются дефекты различного вида. В связи с тем, что выявление таких дефектов по всей сети и отслеживание их развития требует большого количества ресурсов и времени, автоматизация этого процесса и применение искусственного интеллекта во всем мире приобретает все большую актуальность. [1].

На сегодняшний день проведены определенные работы по автоматизации обнаружения дефектов поверхности покрытия с применением искусственного интеллекта [2, 3, 4, 5].

В этой статье с помощью инструмента Teachable Machine компании Google разработана модель, которая идентифицирует дефекты поверхности дорожного покрытия и классифицирует их. Teachable Machine – это легкий способ создать модель машинного обучения для своего сайта, приложения или другого ресурса. С инструментом справится даже новичок без навыков программирования. Чтобы использовать этот инструмент teachablemachine.withgoogle.com необходимо обучить модель и проверить созданную модель с помощью одной из 3 областей (изображения, голоса и различные движения), доступных через веб-сайт. Чтобы создать модель, которая идентифицирует и классифицирует дефекты поверхности дорожного покрытия, нам необходимо сначала обучить модель. Для этого нам понадобится набор изображений (dataset) для каждого типа дефекта по классификации [6]. В этой статье были отобраны трещины, колееобразование и выбоины из наиболее распространенных дефектов твердости в дорожных покрытиях.

Интерфейс Teachable machine (рис.1) разработан достаточно просто, что делает его удобным для пользователя. Для создания модели, детерминирующей и описывающей дефекты поверхности покрытия, выбирается раздел создания проекта по чертежам.

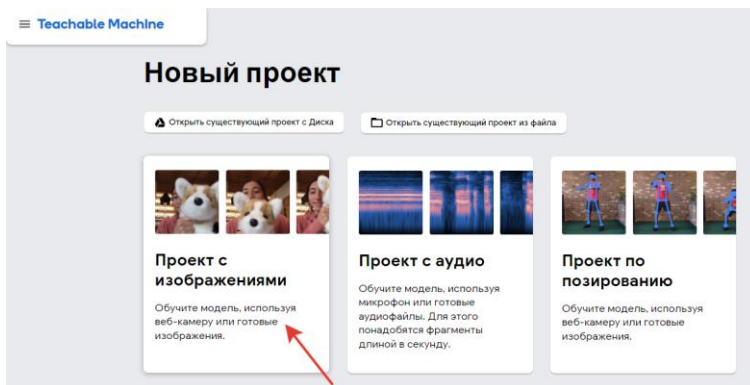


Рис. 1. Интерфейс Teachable Machine

После выбора раздела создания проекта через картинки появится окно, показанное на рисунке 2 ниже.

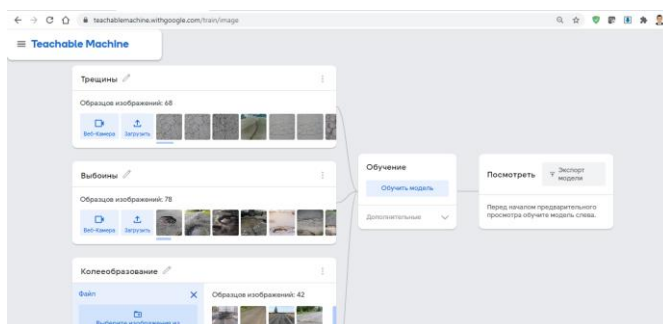


Рис. 2. Ввод готового набора изображений (dataset) по типу дефекта для обучения модели и окно запуска модели

На изображении 2, приведенном выше, мы видим, что в model загружаются предварительно собранные изображения из памяти компьютера 68, 78, 42 шт. в соответствии с трещинами, колееобразование и выбоины соответственно. После этого нажимается

кнопка обучит модель и модель учится определять тип дефекта с помощью загруженных изображений. Процесс обучения в зависимости от количества загруженных изображений может занять несколько минут. После завершения процесса обучения, готовый модель можно скачать в форматах tensorflow.js, tensorflow(python), tensorflow.lite нажав на кнопку «загрузить модель». Модель, созданная выше, скачано в формате tensorflow.js. В модель можно войти по по ссылке [7]. При загрузке изображение покрытые с дефектами в эту модель, он определит тип дефекта в покрытии (рис.3).

Точность модели, созданной в процессе использования инструмента Teachable machine, зависит от количества и состояния загружаемых изображений для обучения модели. Чем больше количество снимков и чем больше дефектов нанесено на изображение в разных ситуациях, тем выше точность модели

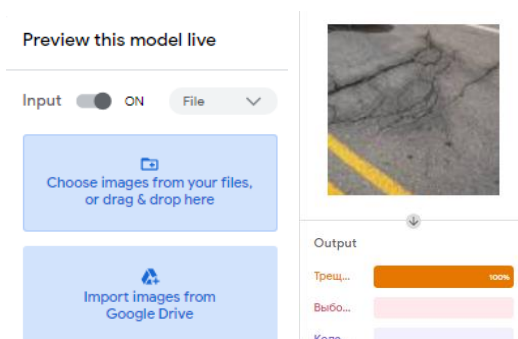


Рис. 3. Определение типа дефекта покрытия по созданной модели

Рассматриваемый выше инструмент Teachable Machine можно использовать для быстрой оценки транспортно-эксплуатационного состояния сети автомобильных дорог с помощью машинного обучения.

Литература

1. А.Х. Уроков, Р.Р. Соаталиев “Возможности измерения и визуализации ровности покрытия автомобильных дорог на основе смартфонов в Узбекистане” Сборник международной научно-

технической конференции “Транспорт: актуальные задачи и инновации”. 2021 г., 301-304 стр.

2. Chatterjee, Sromona; Saeedfar, Pouya; Tofangchi, Schahin; and Kolbe, Lutz, "INTELLIGENT ROAD MAINTENANCE: A MACHINE LEARNING APPROACH FOR SURFACE DEFECT DETECTION" (2018). *Research Papers*. 194. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rp/194

3. Chen, S. Y., Zhang, Y., Zhang, Y. H., Yu, J. J., Zhu, Y. X. Embedded System for Road Damage Detection by Deep Convolutional Neural Network. *Mathematical Biosciences and Engineering*, Vol. 16, No. 6, 2019, pp. 7982–7994.

4. Chun, C., Ryu, S. K. Road Surface Damage Detection using Fully Convolutional Neural Networks and Semi-Supervised Learning. *Sensors*, Vol. 19, No. 24, 2019, p. 5501.

5. WENMING CAO, QIFAN LIU, and ZHIQUAN HE. Review of pavement defect detection methods January 2020 *IEEE Access* PP(99):1-1

6. ГОСТ 33180-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню летнего содержания.

7. https://teachablemachine.withgoogle.com/models/CAL_mr6Lo/

8. Hiroya Maeda, et al. "Road Damage Detection Using Deep Neural Networks with Images Captured Through a Smartphone", 1801.09454, arXiv, 2018

**Методы определения коэффициента сцепления
и целесообразность использования
портативных приборов**

Ходан Е.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Основным фактором, влияющим на безопасность движения при взаимодействии колеса с дорожным покрытием, является коэффициент сцепления, зависящий от погодных условий, качества материала покрытия и эксплуатации автомобильной дороги.

Сила сцепления дорожного покрытия с шинами машин определяется по отношению вертикальной силы, действующей на колесо, к горизонтальной силе, действующей в зоне контакта шины с покрытием. Для водителя сцепные качества дорожного покрытия - критерий того, насколько быстро можно остановить автомобиль. Для инженера-проектировщика - это важная с точки зрения безопасности характеристика поверхности дорожного покрытия, которую необходимо учитывать при выборе исходных материалов и конструкции. В контексте управления состоянием дорожных покрытий, сцепные качества дорожного покрытия - это критерий его эксплуатационного состояния. После уменьшения коэффициента сцепления ниже минимального приемлемого (безопасного) уровня покрытие уже не может осуществлять свою функцию. При анализе жизненного цикла с точки зрения эксплуатационных характеристик дорожного покрытия следует учесть необходимые затраты на восстановление коэффициента сцепления в какой-то определенный момент. Все это предопределяет важность методов прогнозирования тенденций снижения коэффициента сцепления как для проектировщиков, так и для эксплуатационных служб.

Измерению сцепных качеств покрытия и разработке соответствующих устройств посвящены многочисленные исследования. Для определения сцепных качеств дорожного покрытия в мировой практике используется несколько методов, которые можно разделить на 4 категории:

1. Методы измерения сцепления в режиме скольжения полностью заблокированного колеса прицепного устройства по увлажненной поверхности, такие как *VTI Saab Friction Tester (SFT) (рис.1а)*, *The Griptester device (рис.1б)*, *The Swedish skiddometer BV11 (рис.1в)*, *Norsemeter Roar friction measurement trailer*, ПКРС-2у (рис.1г).

2. Режим углового поворота вокруг вертикальной оси. В данном случае шины работают в режиме, отличающемся от режима заблокированного колеса, например, для определения бокового коэффициента трения. Среди зарубежных приборов для оценки коэффициента сцепления следует выделить *ходовую лабораторию SCRIM*, разработанную Транспортной и дорожной исследовательской лабораторией Великобритании, представляющая собой устройство для измерения трения в режиме углового поворота вокруг вертикальной оси.

а)



б)



в)



г)



Рис. 1. Установки для оценки коэффициента сцепления блокированием колеса

3. Портативные устройства для измерения коэффициента сцепления. Эти устройства можно использовать как в лабораторных, так и в полевых условиях. В качестве примеров можно привести портативное устройство для замера сцепления колес с поверхностью (*British Portable Tester*), скидометр (*California Skid Tester*) и устройство для тяговых испытаний (*Keystone Drag Tester*), ППК-МАДИ (рис.2а), ИКСн (рис.2б), *Portable Skid Resistance Tester SRT* (рис.2в), *VTI Portable Friction Tester (PFT)* (рис.3), *Dynamic Friction Tester* (рис.2г) и др.

4. Методы измерения с использованием автомобиля. Автомобиль, оснащенный для торможения диагональной парой колес, измеряет расстояние, пройденное с момента движения при определенной скорости до момента полной остановки.

Эти устройства обычно наиболее чувствительны к микротекстуре.

Большинство измерений для покрытий в условия эксплуатации осуществляется с помощью двух первых методов, а для лабораторных измерений применяются портативные устройства.

Участки дорог, на которых невозможно обеспечить установленную нормами безопасную скорость движения транспортного средства и не позволяющих выполнять измерения передвижными лабораториями, а также на участках с дефектностью 3-го уровня допускается применять портативные приборы для измерения коэффициента сцепления. Эти участки классифицируют как участки со стесненными условиями проведения работ.

Более удобно и надежно работать с помощью переносного маятникового прибора, например, прибора «SRT», который измеряет коэффициент сцепления между контактной площадкой, установленной на конце качающегося маятникового рычага и поверхностью дороги на определенном пути сцепления.

Контактная площадка представляет собой алюминиевую пластину размером 1525 мм, на которую наклеена протекторная резина. Измерения можно проводить как в натуральных условиях на дороге, так и в лабораторных условиях. Испытания производятся согласно СТБ EN 13036-4-2011 [1]. Согласно стандарту производится измерение сопротивления поверхности скольжению/заносу с использованием устройства (маятникового прибора), которое остается в стационарном положении в ходе испытания.

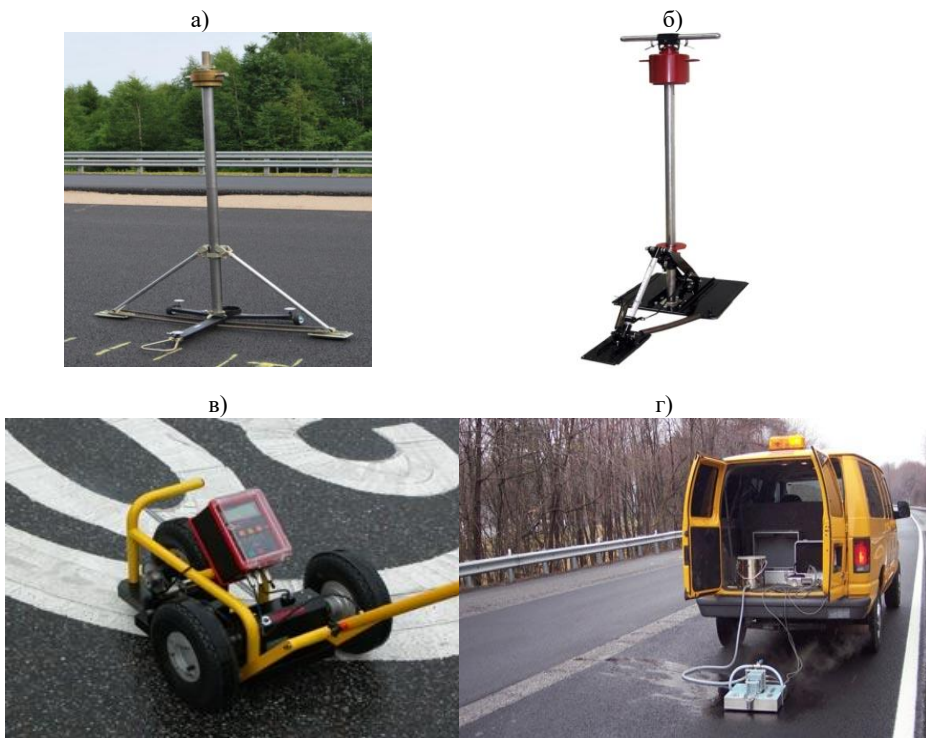


Рис. 2. Портативные устройства для измерения коэффициента сцепления



Рис. 3. Portable Skid Resistance Tester (SRT)

Рассматриваемый метод обеспечивает измерение сопротивления участка поверхности (примерно $0,01 \text{ м}^2$) скольжению/заносу. Это необходимо учитывать при рассмотрении применимости способа

измерения поверхности, имеющей неоднородные характеристики покрытия: гребни, бороздки или шероховатую фактуру (макрошероховатость более 1,2 мм).

В статье Гончаровой М.А. рассмотрены возможности применения DIN EN 13036-4 Характеристики дорожного и аэродромного покрытия. Методы испытаний. Часть 4. Метод измерения сопротивления скольжению. Испытание маятниковым прибором для оценки коэффициента сцепления дорожной разметки [2]. Стандарт может быть полезен для контроля сцепных свойств дорожной разметки, аэродромных покрытий, экспертизе дорожно-транспортных происшествий или для дополнительной оценки эффективности выполнения и оценке качества дорожных работ.

Использование данной установки в соответствии с СТБ EN 13036-4-2011 целесообразно для оценки изменения коэффициента сцепления после истирания асфальтобетонных образцов различных типов согласно ДМД 33200.007-2020 [3] на лабораторном круге истирания для определения асфальтобетонных смесей, устойчивых к деструкции.

Литература

1. СТБ EN 13036-4-2011. Характеристики дорожного и аэродромного покрытия. Методы испытаний. Часть 4. Метод измерения сопротивления поверхности скольжению/заносу. Испытания маятниковым прибором.

2. Гончарова М.А., Бондарев Б.А., Акчурин Т.К. Определение коэффициента сцепления колес автотранспорта с дорожной разметкой // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/37SATS319.pdf>

3. ДМД 33200.007-2020. Рекомендации по обеспечению устойчивости асфальтобетонных смесей к деструкции.

Статический расчет прочности нежесткой дорожной одежды при возведении насыпи на слабом основании

Шишко Н.И., Гатальский Р.К.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Проектирование конструкции дорожной одежды связано со многими факторами, воздействие которых оказывает влияние на условия работы дорожной одежды.

При проектировании конструкции дорожной одежды для участков автомобильных дорог, возводимых на слабых грунтах, необходимо учитывать условия совместной работы системы *слабый грунт – насыпь – дорожная одежда*.

Расчет прочности дорожной одежды производят из условия, что упругий вертикальный прогиб на поверхности покрытия не превышает предельно допустимых значений.

Требуемое значение модуля упругости на поверхности насыпи $E_{н\text{ общ}}^{mp}$, возводимой на слабом основании, определяется по таблице 1 на основе известных отношений $H_{до}/D$ и $E_{общ}/E_{ср до}$,

где $E_{общ}$ – общий требуемый модуль упругости на поверхности покрытия, МПа;

$E_{ср до}$ – средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа;

$$E_{ср.до} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = \frac{\sum_i^n E_i h_i}{H_{до}} \quad (1)$$

где $H_{до}$ – толщина дорожной одежды, см;

D – диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля, см;

h_1, h_2, \dots, h_n – толщина конструктивных слоев дорожной одежды, см;

E_1, E_2, \dots, E_n – модули упругости конструктивных слоев дорожной одежды, МПа.

Проектируемая насыпь на основании из болотного грунта должна иметь достаточную толщину, чтобы обеспечить заданную прочность дорожной одежды. Соблюдение этого требования возможно,

если фактический модуль упругости системы **насыпь – болотный грунт** равен требуемому модулю упругости ($E_{н\ общ}^{mp}$), полученному по результатам расчета дорожной одежды.

Фактический модуль упругости на поверхности насыпи (модуль упругости системы **насыпь — болотный грунт**) определяют по формуле:

$$E_{н\ общ}^{\phi} = \frac{E_n \cdot E_m}{E_m \cdot m + E_n K \cdot n \cdot \eta} \quad , \quad (2)$$

где E_n – модуль упругости грунта насыпи, МПа;

E_m – модуль упругости болотного грунта, уплотненного массой насыпи, который определяют по данным компрессионных или штамповых испытаний, МПа.

Таблица 1. Общий модуль упругости на поверхности насыпи

$\frac{E_{ср.до}}{E_{н\ общ}^{mp}}$	$E_{общ} / E_{ср.до}$ для значений $H_{до} / D$															
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
7	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,33	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
8	0,26	0,28	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42
9	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,35	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,40
10	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
11	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37
12	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36
13	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35
14	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34
15	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
20	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29

Для торфяных грунтов E_m допускается определять по экспериментальной зависимости $E_m = f(\rho_d; \lambda_{сж})$, приведенной на рисунке 1 (ρ_d – плотность сухого торфа в природном залегании (средневзвешенное значение по слоям слабого (болотного) основания), г/см³;

$\lambda_{сж}$ – относительная деформация сжатия торфа, уплотненного массой насыпи);

m – коэффициент, учитывающий относительную толщину насыпного слоя h'_n/D (таблица 2).

Таблица 2. Коэффициент m

h'_n/D	0,2	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
m	0,198	0,496	0,658	0,761	0,817	0,854	0,876	0,892
h'_n/D	4	5	6	8	10	12	16	20
m	0,907	0,925	0,938	0,953	0,963	0,968	0,977	0,988

Здесь h'_n — толщина насыпного слоя, исчисляемая от низа дорожной одежды до подошвы насыпи

$$h'_n = h + S_{общ} - H_{до} , \quad (3)$$

где D – диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса расчетного автомобиля;

h – высота насыпи;

$S_{общ}$ — осадка слабого основания;

$H_{до}$ – толщина дорожной одежды;

K – комплексный коэффициент, учитывающий конечные размеры слоя торфа и распределяющую способность насыпи.

Коэффициент K определяют по графику (рисунок 2 а) в зависимости от отношений h'_n/D и h'_m/D ($h_m = H - S_{общ}$, где H – глубина болота);

η – коэффициент изменения контактного напряжения в слоях различных жесткостей, зависящий главным образом от отношения жесткостей, выражаемых модулями упругости.

Численные значения коэффициента η как функции отношения E_n/E_m для $h'_n \geq 2D$ определяют по графику (рисунок 2 б);

n коэффициент, значения которого принимают по таблице 3.

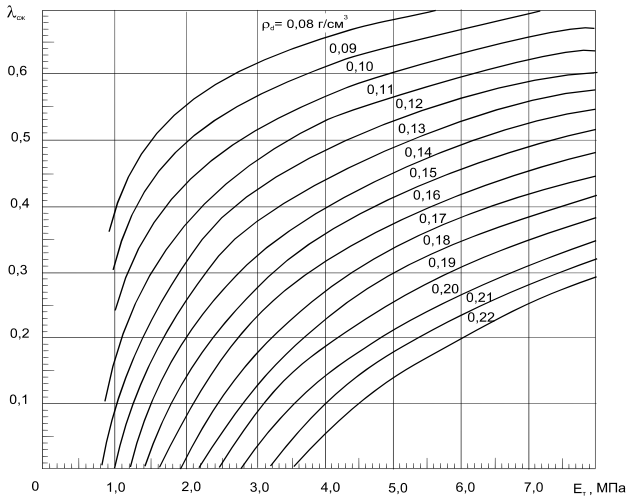
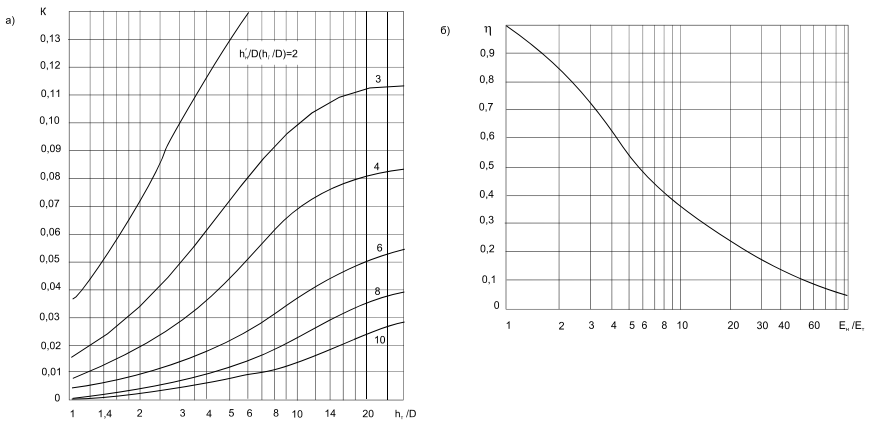


Рис. 1. Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания



а) коэффициент K ; б) коэффициент η

Рис. 2. — Номограмма для определения модуля упругости торфяного основания

Таблица 3. Коэффициент n

h'/D	$\leq 2,5$	3,0	3,5	4,0	4,5	$\geq 5,0$
n	5	4	3	2	1,5	1,3

Если условие достаточной толщины (прочности системы **(насыпь — болотный грунт)** $E_{н\ обшц}^{\phi} > E_{н\ обшц}^{mp}$) не выполняется, необходимо увеличивать высоту насыпного слоя, производя расчет по определению осадки насыпи, а затем проверить выполнение условия статической прочности нежесткой дорожной одежды при возведении насыпи на слабом основании заново.

**Секция
«Геодезия и аэрокосмические
геотехнологии»**

Технология обработки данных лазерного сканирования и перспективы ее использования в учебном процессе

Рак И.Е, Кашура В.Н., Кукс Д.Ф.

Белорусский национальный технический университет,
СП «Кредо- Диалог» ООО.

Лазерное сканирование, как вариант получения цифровой съемки окружающей среды в виде 3D-модели, все чаще и чаще используется сегодня в практике геодезиста. И это, не смотря на высокую стоимость лазерных сканеров. Связано это с тем, что использование лазерного сканера позволяет повысить эффективность работы на сложных промышленных объектах, на архитектурных памятниках при их реставрации, при наблюдениях за деформациями и осадками различных сооружений, для мониторинга технического состояния автомобильных и железных дорог. Технология 3D-сканирования дорогая, но цена на нее постепенно падает за счет того, что 3D-сканеров стали производить больше и они уже не являются редкостью.

Облако точек, полученные в результате 3D-сканирования, представляет из себя массив отметок, имеющих нерегулярную плотность с различными трёхмерными координатами: X, Y, Z. Кроме координат каждая точка облака так же может иметь и иные параметры, такие как: цвет, интенсивность, угол сканирования, время, класс и ячейки для параметров, которые будут присвоены программой в процессе обработки. Облака точек могут быть записаны в различных форматах, в зависимости от прибора, которым было произведено сканирование, однако общепринятыми являются файлы форматов: xml, las, laz и txt.

Цвет точки получают из фотоизображений. В зависимости от метода и используемого оборудования – это осуществляется непосредственно во время съёмки за счёт программного обеспечения мобильного или стационарного сканера, либо в процессе пост обработки данных. Одновременно с этим происходит и процесс формирования сферических фотоизображений. При фотосъёмке, точки

получают цвет в процессе формирования облака. Параметр записывается в общепринятом, для электронной техники, формате RGB.

Крайне важным параметром является интенсивность – измеренная сканером сила отражённого лазерного луча, данный параметр позволяет в значительной степени ускорить процесс обработки и распознавания объектов.

Время соответствует моменту испускания импульса, однако регистрируется далеко не всеми приборами. Отметкам в процессе постобработки может быть присвоено значение, соответствующее времени фотографирования ближайшего к точке фотоизображения, поскольку регистрация данного параметра увеличивает энергозатратность прибора, и количество занимаемой облаком точек памяти, а используется данный параметр далеко не во всех случаях. [1], [2], [3, с. 16], [4]

В настоящее время не существует каких-либо нормативных документов, регламентирующих и стандартизирующих процесс обработки облаков точек. Обилие различного оборудования и методов дают абсолютно разные данные, имеющие разную плотность и разную степень предобработки. Кроме того, на технологический процесс значительно влияет и программное обеспечение, в котором обрабатываются данные.

Можно выделить более двенадцать программных продуктов, позволяющих обрабатывать результаты сканерной съёмки. [5, с. 64].

Перечень программных продуктов их разработчики и приближительная стоимость указаны в таблице 1.

Таблица 1. Перечень программных продуктов их разработчики и стоимость.

Продукт	Разработчик	Цена, долл. США
1	2	3
КРЕДО 3D СКАН	Кредо-Диалог	2213
TerraSolid	Terrasolid Oy	2053 - 6158
LEICA Cyclone/3D Reshaper	Leica Geosystems/ Technodigit/Hexagon	от 3420
PointCab	PointCab GmbH	1811 - 6617

Продолжение таблицы 1

1	2	3
TopoDOT	Certainty 3D	7500 – 17500
ReCap + ReVit	Autodesk	1923
NanoCAD	Нанософт	1838
VisionLidar	GeoPlus	9122
IndroCAD	ИндорСофт	...
MAGNET Collage	Topcon	...
OrbitGT	Orbit GeoSpatial Technologies	...
RIEGL Software Packages	RIEGL Laser Measurement Systems GmbH	...

Некоторые комплексы включают в себя отдельные программы, фрагментированные по этапам технологического процесса либо по предназначению (перечню решаемых задач). Как видно из таблицы, цены на программные продукты варьируются, так же варьируются функциональные возможности и качество обработки данных.

В общем случае схема обработки может выглядеть следующим образом на рисунке 1.

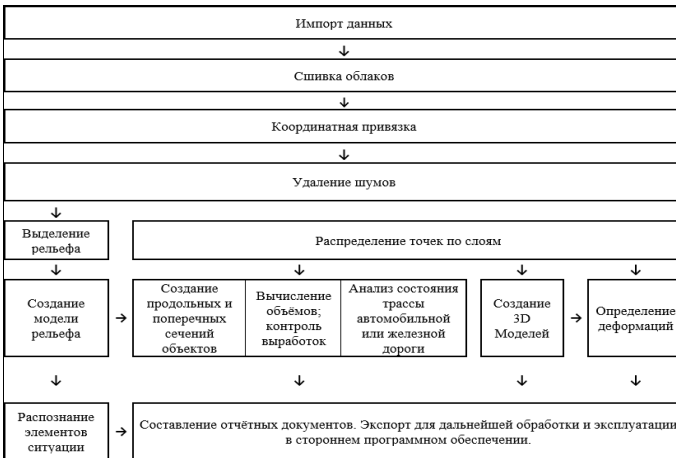


Рис. 1. Общая технологическая схема обработки облака точек

На этапе импорта осуществляется трансформация облака точек из его изначального формата, в формат, используемый данным программным продуктом.

Сшивка облаков, (в некоторой литературе встречаются такие определения как «уравнивание» и «регистрация сканов») заключается в том, что точки, снятые с разных станций, проездов, облётов или записанные в разные файлы объединяются в одно облако по общим точкам, иногда маркам.

Координирование облака осуществляется по точкам, координаты которых известны, в некоторых программах можно сразу же задать определённую систему координат и осуществить привязку веб-карты и фотоизображений. Сшивка и координирование так же может осуществляться до импорта, в программном обеспечении сканирующего оборудования.

В процессе удаления шумов из облака исключаются (отправляются в отдельный слой, либо удаляются) точки, которые мешают процессу выделения рельефа и иных выделяемых объектов, созданию 3D моделей(мершей). Удаление шумов так же может производиться до сшивки на разных сканах.

В процессе классификации, точки, принадлежащие различным объектам, зданиям, деревьям, дорожным знакам, ЛЭП и др. распределяются по слоям с соответствующими номерами, в файлах LAS в международной классификации за определёнными номерами закреплены определённые объекты. Например, точки в параметре классификации имеющие номер 6, принадлежат зданиям. При этом имеется более двухсот не зарезервированных номеров, пользователь сам решает каким объектам будет соответствовать тот или иной номер точки.

Рельеф выделяется с использованием определённых алгоритмов и комбинаций.

Формирование рельефной модели может осуществляться различными способами на основании рельефных точек. Самым удобным является создание DEM-модели – матрицы высот в растровом виде.

Программные обеспечения как правило позволяют создавать любые виды сечений и профилей и работать с ними.

Вычисление объёмов, горных выработок может осуществляться путём сравнения участка на двух облаках точек, снятых в разное

время, либо как разность двух моделей рельефа или двух 3D-моделей, таким же образом осуществляются и определения деформаций объектов. В автоматическом режиме может производиться анализ дорожных и железнодорожных объектов, если параметры их элементов известны (разметка, ширины, откосов, кюветов и т.д.).

Создание 3D-моделей (в некоторой литературе используется понятие «мерш») осуществляется по точкам, имеющим один и тот же класс и изолированным от остального облака, программы позволяют создавать крайне подробные модели памятников архитектуры и монументов.

Распознавание элементов ситуации может осуществляться в автоматическом, полуавтоматическом (когда программа требует подтверждения её действий) и ручном режимах, при этом дешифрируемые объекты сразу же получают высотные отметки из модели рельефа. Для этого процесса очень удобно использовать разрез по облаку.

Заключительным этапом является формирование отчётных ведомостей и экспорт полученных в программе данных: сшитых, отфильтрованных, закоординированных и классифицированных облаков, топографических объектов, рельефных моделей и 3D-моделей для дальнейшей обработки в сторонних программах. [2], [3, с. 17], [4, с. 242]

На сегодняшний момент кафедра «Геодезии и аэрокосмические геотехнологии» не имеет в своем парке приборов лазерного сканера и достаточное количество компьютеров, что не дает возможность обеспечить проведение занятий с использованием лазерного сканера в учебном процессе групп разных специальностей.

Так, технологии создания 3D-моделей и изучение процессов их обработки, могли бы быть включены в учебные программы специальностей, изучающих геодезию, следующих факультетов:

ПГС – создания обмерных планов зданий и сооружений (спекурс)

ФЭС – быстрая оцифровка и документирование инженерных коммуникаций.

ФТК – для оценки текущего состояния покрытий, для получения моделей многолетних конструкций, например, мостов (спекурс).

АФ – создание обмерных чертежей разрушающихся памятников архитектуры.

ФГДЭ – подсчет объемов вынутых пород в карьере.

Озвученные задачи, само собой, должны быть включены в учебные программы дисциплин, изучаемых нашими выпускниками-геодезистами.

Литература

1. Возможности сканирующей системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://works.doklad.ru/view/wdKxs0A3M_0/all.html - Дата доступа: 09.05.2021.
2. Данные лазерной съемки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm> – Дата доступа: 14.05.2021.
3. Сарычев Д.С. Обработка данных лазерного сканирования. САПР и ГИС автомобильных дорог №1(2), 2014.
4. Особенности предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования. УДК 528.4 DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-239-248
5. Н.Н. Алексеенко. Применение технологии лазерного сканирования в различных отраслях и на различных этапах жизненного цикла объектов. Вестник МГСУ 2/2016.

Болеслав Статковский – выдающийся строитель путей сообщения Кавказа

Мкртычян Владимир Ваганович
Белорусский национальный технический университет.

Кавказ был мало изучен во второй половине 19 в., но вызывал к себе повышенное внимание как важнейший стратегический регион с богатой природой, историей и культурой. Первостепенной задачей было изучение этого края и строительство дорог в этом регионе.

В такой горной стране, как Кавказ, выполнение работ по строительству путей сообщения было весьма затруднительным. Помимо трудностей природного характера, наблюдалось ненадежное политическое положение в том крае.



Рис. 1. Болеслав Игнатьевич Статковский

Многие представители нашей страны, имеющие белорусские корни, принимали участие в исследовании этого горного края.

Особое место среди них по праву занимает выходец из Пинска известный исследователь Кавказа, инженер, писатель, начальник

Кавказского округа путей сообщения Болеслав Игнатьевич Статковский.

Родился он в 1825-м в семье известного шляхтича Болеслава Игнатьевича Косцеша-Статковского. Образование получил в Пинской гимназии и в 1844 году поступает в Санкт-Петербургский институт корпуса инженеров путей сообщения. Через три года инженер Болеслав Статковский в возрасте 22 года получает назначение на Кавказ, где заместителем в это время был граф М.С.Воронцов. Статковский проявив прекрасные профессиональные и организаторские способности и ему было поручено проектирование, стратегически очень важной Военно-грузинской дороги. По его проекту и под его непосредственным руководством дорога была построена.

В августе 1861 года Военно-грузинская дорога была открыта. На Земомлетском подъеме в так называемую «Белую скалу» была врезана медная плита, надпись на которой гласила, что шоссе сооружалось по проекту подполковника Б. Статковского.



Рис.2. Военно-грузинская дорога

Военно-Грузинская дорога имела важное государственное значение. Она стала источником вдохновения многих выдающихся представителей литературы и искусства. Могучей природе Кавказа отдали дань восхищения И. Чавчавадзе, А. Пушкин, Л. Толстой,

А. Грибоедов, А. Чехов, В. Маяковский, А. Рубинштейн,
И. Айвазовский

Он принимали самое активное участие и в строительстве первой очереди Закавказской железной дороги. Он впервые провел тахеометрическую съемку на изысканиях Кавказской железной дороги. Он разработал подробные указания по трассированию железных дорог, подверженных снежным лавинам, обвалам и селевым потокам.

Он является основоположником российского селеведения и был один из первых, кто подал идею о пересечении Главного Кавказского хребта железной дорогой.

С 1889 по 1898 г.г., Болеслав Игнатьевич Статковский возглавлял Кавказский округ путей сообщения, но не оставлял исследовательской работы, и в технических журналах того времени, периодически, выходили его научные статьи.

Его труды не потеряли своего значения до настоящего времени.

Опыт измерения вертикальности стен электронным тахеометром

Михайлов В.И., Кононович С.И., Куприенко Н.О.
Белорусский национальный технический университет,
ЗАО «Экомир»

При строительстве новых, реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений часто возникает необходимость в измерении отклонений стен от вертикальной плоскости (фасадной съемки), оценки геометрии реконструируемых отдельных частей фасада. В ряде случаев представляет интерес проверка стены на наличие выпуклостей и вмятин. Существующие традиционные геодезические способы основаны на применении отвесов или бокового нивелирования. Их применение требует наличия строительных лесов, характеризуется большой трудоемкостью и сложностью в организации работ. Поэтому эту задачу можно выполнить при помощи электронного тахеометр с безотражательным режимом измерений (Рис. 1).

Классическое решение подобных задач современными методами предполагает применение наземных лазерных сканеров. Однако, учитывая экономические аспекты использования наземного лазерного сканера и тот факт, что значительное количество строящихся и реконструируемых зданий не требует столь тщательного подхода к проведению фасадных съемок, в ряде случаев гораздо выгоднее обойтись методами классической геодезии для получения трехмерных моделей фасадов зданий, а также внутренних конструкций и интерьеров. Электронный тахеометр сегодня – это продукт высоких технологий, объединяющий в себе последние достижения электроники, точной механики, оптики, материаловедения и других наук. Тахеометр или, так называемый на английском языке *total station*, предназначен для измерения расстояний, а также вертикальных и горизонтальных углов. Эти первичные измерения служат основой для последующих, подчас сложных вычислений, производимых встроенным или внешним контроллером. Точность измерения определяют блоки или модули измерения углов, расстояний и модуль компенсатора.



Рис. 1 Электронный тахеометр серии Leica TPS 1200

Размер измеряемого помещения спортивного манежа «Стайки» составлял 53,3 на 35,2 метра, высота измеряемых стен – 12 метров. Тахеометр устанавливается в произвольной точке, удобной для установки прибора и обеспечивающей возможность наблюдения всех стен помещения. Точка не закреплялась временными знаками. Все наблюдения выполнялись с этой позиции, не меняя положения тахеометра. Это позволило исключить погрешности, возникающие при создании опорной сети и существенно сократить время выполнения полевых работ.

Измерения выполнялись в относительной системе координат. Точка установки тахеометра имела нулевые координаты ($X = 0$, $Y = 0$, $H = 0$). Ориентация тахеометра – задавалась произвольной. Каждая стена сканировалась с верхней точки до пола с интервалом 1м по вертикали. Шаг сканирования по горизонтали принимался равным несколько метров. (Вообще говоря, шаг сканирования по вертикали и горизонтали может быть произвольным и определяется, как правило, размерами неровностей, которые мы хотим выявить). Встроенный в тахеометр лазерный указатель позволял непосредственно на стене наблюдать точку, координаты которой снимались. Результаты измерений записывались в оперативную память тахеометра. Погрешность измерения координат точек поверхности стены не превосходила 3 мм. По результатам измерений строилась трех-

мерная цифровая таблица или 3D модель в единой планово-высотной системе координат.

Обработка и анализ результатов измерений выполнялись в программном комплексе LISCAD Plus, который получил значительно меньшее распространение в Белоруссии по сравнению с программными продуктами CREDO [2].

LISCAD Plus – это пакет из интегрированных программных модулей, разработанный, в первую очередь, для геодезистов и инженеров и позволяющий на основе полевых измерений получить окончательные отчетные материалы. LISCAD реализован по модульному принципу. Нами использовались два основных модуля – вычисления и моделирование.

На Ошибка! Источник ссылки не найден.2 приведен общий вид 3D модели, созданной в модуле “Моделирование” программного комплекса LISCAD Plus на основе координат зарегистрированных точек результатов измерений.

Для того чтобы для каждой стены манежа получить ее профиль, по сути, нужно создать разрезы цифровой модели. Для этого необходимо поочередно плоскость фасада каждой из стен «положить» горизонтально (в плоскость XY), так как она находится в произвольной вертикальной плоскости.

Изначально тахеометр у нас был ориентирован произвольным образом. Поэтому, для наглядности и упрощения анализа данных, в модуле “Вычисления” выполнены разрезы цифровой модели и каждая стена помещена в отдельный проект. Далее были выполнены преобразования координат для каждой стены. Система координат ориентировалась таким образом, чтобы ось X была расположена горизонтально, строго вдоль стены сооружения, ось H – вертикально вдоль фасада, а ось Y дополняла систему координат до «левой».

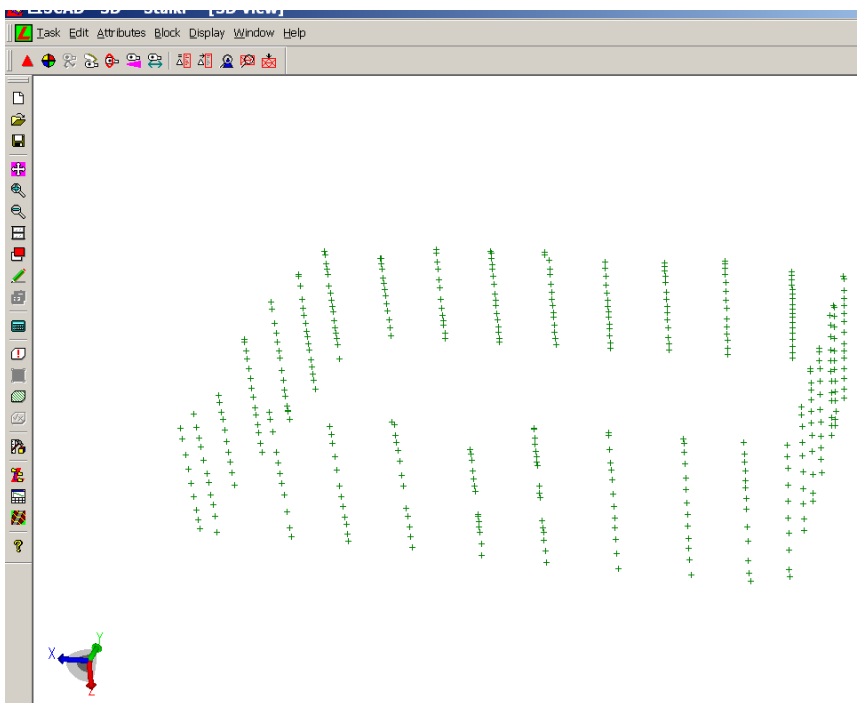


Рис.2. 3D модель спортивного манежа «Стайки»

Следует отметить, что выбор направления для оси X (и последующий поворот всех измерений на этот угол) имеет существенное значение для последующей интерпретации данных. Так, предлагаемая автором [3] перед началом работ обратная засечка по углам снимаемой стены здания и последующее присвоение одному из углов координаты $(0, 0)$, а противоположному $-(l, 0)$, где l – ширина фасадной части не гарантирует корректного направления, поскольку точки обратной засечки могут находиться на дефектных участках стены и, кроме того, для углов зданий присущи максимальные погрешности измерений в безотражательном режиме. Построение оси по методу наименьших квадратов (направление выбирается исходя из минимального усредненного отклонения координат точек от оси) дает отклонения с разными знаками, поскольку точки могут находиться по разные стороны относительно оси. Авторами использовался визуальный метод определения направления оси X. Ось X выби-

ралась таким образом, чтобы она проходила через две точки стены, а все остальные точки (за исключением явных выбросов) находились, например, выше самой оси. Тогда координата Y соответствует отклонению точки от построенной плоскости стены. Причем все отклонения будут с одинаковым знаком.

Таким образом, преобразовав координаты точек в соответствии с выбранным направлением и осуществив перенос начала координат в одну из точек, по которой строили линию, получим, что точка начала линии соответствует координатам $(0, 0)$, окончание линии - $(L, 0)$, где L – длина стены помещения. Все эти операции (поворот и смещение) выполняются штатными средствами LISCAD Plus в программном модуле “Вычисления”. На рис 3 приведен фрагмент построенной оси X и отклонение от вертикали (17 мм, Offset – 0,017) для измеренной точки с идентификатором 510. Сведенные в таблицу координаты преобразованных точек являются исходными данными для разработки проектно- сметной документации. По ним можно строить профили отклонения стены от вертикали. На **Ошибка! Источник ссылки не найден.** 4 приведен пример такого построения, выполненный в табличном редакторе Excel. (Здесь по оси X приведено отклонение от вертикали, по оси Y – высота стены, в метрах.)

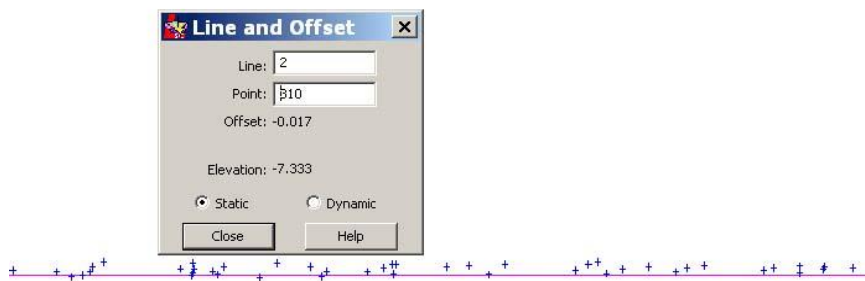


Рис.3 Отклонения точек от вертикальной плоскости

Недостатком такого построения, как на **Ошибка! Источник ссылки не найден.**4, является визуализация отклонения только по одной линии. Для отображения общей картины неровностей по поверхности стены были построены изолинии. Для этого плоскость стены «положили» горизонтально (в плоскость XY). Процедура вы-

полняется просто стандартными функциями LISCAD Plus: в головном меню модуля “Вычисление” выбираем пункт “Редактирование”, в нем – “Замена осей”, далее в выпадающем меню меняем оси Н и У местами. В преобразованной системе координат отклонения от вертикали становятся высотами точки. Далее в модуле Моделирование выполняем стандартную процедуру построения изолиний. Для наглядности, основные изолинии проводим через 5 сантиметров, дополнительные – через 2 сантиметра.

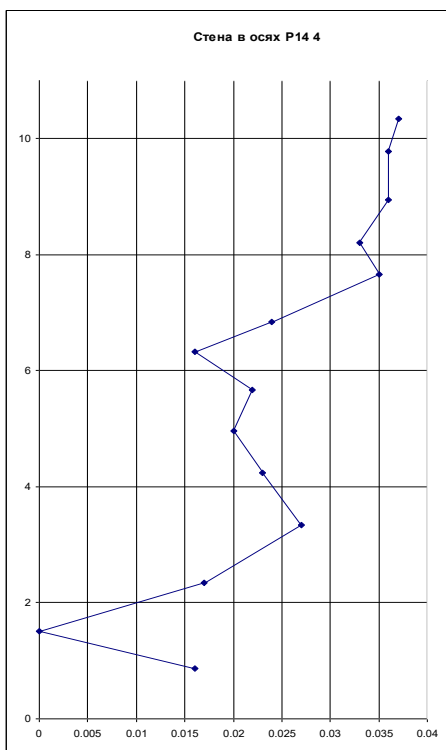


Рис.4. Вертикальный профиль стены по оси P14

Таким образом, по результатам измерений создана цифровая модель отклонения стен обследуемого помещения от вертикальной плоскости. При этом было установлено, что в спортивном манеже стена 1 длиннее стены 3 в среднем на 100 мм, а максимальные от-

клонения от вертикали стены 2 достигают до 150 мм и более). В табличном редакторе Excel построены графики по вертикальным линиям сканирования (**Ошибка! Источник ссылки не найден.** 4), для визуализации создан “рельеф” стены (Рис. 5).

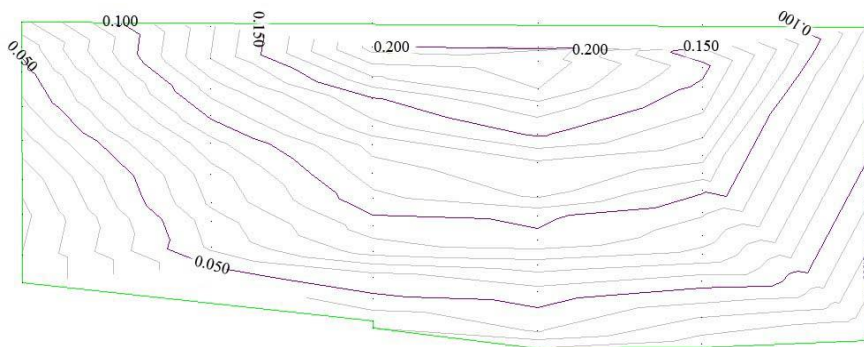


Рис.5 “Рельеф” стены 2 спортивного манежа

В заключение, можно отметить следующие преимущества в определении вертикальности стен с использованием электронного тахеометра:

1. Оперативное и высокоточное выполнение натуральных измерений
2. Возможность получения цифровой модели стены с требуемой дискретностью
3. Автоматизированная обработка и интерпретация данных в специализированном программном комплексе LISCAD Plus.

Литература

1. Руководство по эксплуатации TPS 1200-01. Версия 4.0. Перевод с английского / - Switzerland: Heerbrugg, 2005. 246 с.
2. Съёмка фасадов зданий и обработка полученных результатов с помощью программных продуктов CREDO III/ А.В. Спицын, Чернявцев А.А // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования -2004 -№ 12 с. 27-31.
3. Съёмка фасадов зданий с помощью электронных тахеометров/ Д.А. Валтонен // Геопрофи –2010- № 1 -с. 25-29.

Исследование экономической эффективности, при работе с GPS приемником Topcon HIPER V, по установлению границы земельных участков

Кашура В.Н., Рак И.Е., Шмыговский Ю.В.

Белорусский национальный технический университет,
Пружанский филиал РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру»

Геодезические измерения, по установлению границ земельного участка выполнялись спутниковыми методами в режиме кинематики реального времени RTK с использованием сети ПДП ССТП РБ GPS приемником Topcon HIPER V, а также с использованием электронного тахеометра Focus 8 от исходных пунктов полигонометрии для дальнейшего сравнения, времени выполнения геодезических работ, для исследования экономической выгоды в целях приобретения спутникового оборудования.

Работы по установлению границы земельного участка геодезическими способами включают:

- рекогносцировку местности;
- перенесение на местность границы земельного участка;
- закрепление точек поворота границы земельного участка на местности;
- проведение необходимых геодезических измерений с целью определения координат точек поворота границы земельного участка и осуществления их связи (привязки) с твердыми объектами местности;
- оформление и подписание акта.

Измерения по определению координат точек поворота границы землепользования GPS приемником Topcon HIPER V выполнялись в следующей последовательности:

- установка GPS приемника на точке;
- включение и введение на приемнике PIN-кода SIM-карты;
- включение модема приемника;
- аутентификация - выполнение запроса по GSM-каналам о доступе к корректирующим RTK-поправкам;

- инициализация, при использовании двухчастотного приемника необходимо от 1,0 до 1,5 мин.

- введение исходных данных;

- измерения и запись полученных координат в базу данных контроллера;

- выполнение повторного наблюдения, для контроля первоначально полученных координат первой точки поворота границы землепользования.

GPS-измерения выполнялись 1 исполнителем.

Для определения координат точек поворота границы землепользования, с использованием электронного тахеометра Focus 8, работы выполнялись 2 исполнителями по следующей схеме:

- установка тахеометра на точке;

- создание рабочего проекта в меню тахеометра;

- выбор режима работы с введением исходной информации;

- измерения и запись полученных координат в базу данных тахеометра.

Обработка данных полученных GPS приемником выполнялась на персональном компьютере в программном обеспечении MAGNET Tools. Обработка данных электронного тахеометра выполнялось на компьютере при помощи программы tGeodesy.

Работы выполнялись на базе Пружанского филиала РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру», в соответствии с «Инструкцией о порядке деления, слияния земельных участков и проведении работ по установлению (восстановлению) и закреплению границы земельного участка, а также по изменению границы земельного участка» и «Руководством по использованию глобальных навигационных спутниковых систем при выполнении работ по технической инвентаризации и проверке характеристик недвижимого имущества»

Для исследования экономической эффективности, при работе с GPS приемником Topcon HIPER V, по установлению границы земельных участков были составлены сметы, для получения информации о разнице в стоимости услуг по установлению границ земельных участков, выполняемых способом спутниковых наблюдений (смета 1) и способом прокладки теодолитного хода электронным тахеометром (смета 2).

Сметы составлены на основании «Тарифов на землеустроительные работы, выполняемые по договорам с юридическими лицами, физическими лицами, индивидуальными предпринимателями», утвержденных приказом директора РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» от 27.05.2015 года № 62 (в редакции приказа от 30.12.2016 № 257). И приказа № 60 от 02.11.2020 об установлении повышающего коэффициента 1,443 к настоящим тарифам.

Сметы для получения информации о разнице в стоимости услуг по установлению границ земельных участков выполняемых способом спутниковых наблюдений «смета 1» и с прокладкой теодолитного хода электронным тахеометром с измерением углов и длин линий для определения координат поворотных точек границы «смета 2».

Смета 2 составила - 490р. 90к. с НДС, смета 1 - 401р12к с НДС. Изучив все пункты обеих смет, было установлено, что подготовительные и камеральные работы по стоимости одинаковые в обеих сметах. Существенная разница оказалась в стоимости полевых работ:

- прокладка теодолитного хода и измерение углов и длин линий для определения координат поворотных точек границы составляет в сумме 179р. 83к. с НДС.

- геодезическое определение точек с помощью приемника GPS составляет 90р.05к.

Время, затраченное на получение координат участка методом спутниковых наблюдений, составило 10 минут, электронным тахеометром с замыканием на исходный пункт 50 минут.

В результате расчетов было определено, что за один рабочий день полевых работ, способом GPS-измерений можно выполнить работы по установлению границ землепользований в среднем около 10 участков, тахеометром - около 5.

За 2020 год, в РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» Пружанский филиал, было сделано спутниковым оборудованием 230 землеустроительных дел по установлению границ земельных участков. Согласно смете 1 в среднем организация получила за год 95257р. 60к с НДС. Тахеометром же, аналогичные работы удалось бы произвести в 46 случаях, а это составляет 22581р. 40к.

В итоге, на основании выполненных расчетов, установлено, что работы, выполненные методами GPS-измерений дешевле на 18%, а доход организации - исполнителя за год превысил 400%.

Произведенные расчеты показали, что выполнение полевых работ методом спутниковых измерений происходит в 5 раз быстрее, а стоимость работ на 18% дешевле, что является плюсом как для заказчиков, так и организаций-исполнителей.

Литература

1. Инструкции о порядке деления, слияния земельных участков и проведении работ по установлению (восстановлению) и закреплению границы земельного участка, а также по изменению границы земельного участка от 30 сентября 2016 г. N 18, Минск – 2016.— 31с.
2. Геопортал ЗИС [Электронный ресурс].—Режим доступа <https://gismap.by/> (дата обращения: 20.04.2021).
3. Руководство пользователя геопортал – Минск 2019. – 27 с.
4. Перевычисление координат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geo.by/> (дата обращения: 21.04.2021).
5. Порядок оказания услуг – [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://geo.by/uploads/SSTP/Services/January2020_SSTP/YclygiOkazaniya.pdf
6. Руководство пользования Focus 8 [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.artosoft.by/product/takheometr-focus-8> (дата обращения: 22.04.2021).
7. Topcon Hiper V руководство по эксплуатации – Режим доступа: [Manual-Topcon-Hiper-V.pdf](#)
8. Topcon Positioning Systems, Inc.Декабрь, 2012 Справочное руководство – Режим доступа: [MAGNET_Field_-_Russian_Help_Manual.pdf](#)
9. ГКНП 10-013-2012.Руководство по производству съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов: — Минск, 2012 – 41с.

Особенности проведения турниров по решению геодезических задач на высокоуровневых языках программирования

Будо А.Ю., Прудников М.К., Сергачев А.А.
Белорусский национальный технический университет

При проведении соревнований по программированию в задачах часто требуется написать программу на одном из высокоуровневых языков, которая считывает входные данные из указанного файла (или со стандартного потока ввода) в определённом формате, обрабатывает их в соответствии с постановкой задачи и выводит результат в определённом формате в указанный файл (на стандартный поток вывода). Существует большое количество систем для проведения турниров, олимпиад, соревнований и других мероприятий подобного рода, в которых необходима автоматическая проверка программ. *Ejudge* является одной из таких систем и может применяться для проведения олимпиад и поддержки учебных курсов.

4 апреля 2021 впервые в истории кафедры «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» состоялся турнир по решению задач различной сложности в сфере обработки геопространственных данных. Для участия были приглашены студенты 2 и 3 курса специальности «Геодезия». Турнир состоял из 10 задач. Общее время проведения составило 100 минут и выбиралось из расчёта, что в среднем на каждую задачу студент потратит 10 минут.

Рассмотрим ключевые особенности этапов подготовки и проведения прошедшего турнира.

Поиск задач. Главным нюансом этого этапа является необходимость подобрать такие задачи, которые будут удовлетворять следующим критериям:

– Задача должна что-то рассчитывать. То есть, задачи вида «Измерить...», «Определить по карте...» не подойдут.

– Простота расчёта. Намного проще оценить знания, если разбить одну большую задачу на несколько маленьких.

Таким образом, задача уравнивания нивелирной сети параметрическим способом явно не подойдёт из-за своей обширности. Вот несколько задач из турнира: обратная геодезическая задача, прямая

геодезическая задача, определение обратного азимута, определение меридиана по номеру зоны.

Написание решений к задачам. При подготовке турнира каждую задачу необходимо решить, чтобы иметь эталонное решение, на основании которого будут генерироваться тесты. На этом этапе важно предусмотреть, что компиляторы системы ejudge в некоторых ситуациях могут работать не так, как, например, встроенный компилятор Visual Studio, если он используется для эталонного решения.

Регистрация участников. Для регистрации участники турнира должны были подключиться к локальной сети, в которой находится компьютер организатора, где был развернут сервер ejudge. Ссылка на турнир, для удобства, была размещена на главной странице сайта кафедры. После регистрации всех участников организатор начинает турнир.

Критерии оценивания. Турнир проводился по правилам ACM ICPC. Проверка решений выполнялась во время турнира. Решение оценивалось как «принято»/«не принято». Во время турнира участникам была доступна таблица текущих результатов. За решение задач начислялись штрафные баллы в зависимости от количества неудачных попыток и времени, прошедшего от начала турнира. Также нами был выставлен предел количества попыток на успешную сдачу задания – 5.

В результате проведения турнира по программированию, решив 5 задач из 10, первую тройку мест разделили два студента 2 курса и студент 3 курса. Итогом турнира является турнирная таблица, представленная на рис. 1. Во время проведения турнира первое место постоянно изменялось. Было увлекательно наблюдать, кто держит первенство (наиболее долго первое место удерживал студент третьего курса). Все решения участников сохраняются в отдельном контексте системы ejudge. Это полезно для того, чтобы была возможность в дальнейшем разобрать со студентами задачи и провести «работу над ошибками».

Contest "Geodetic Contest 2021" - [1:40:00], finished

Last success: 1:39:27, Даниил, I.

Last submit: 1:39:35, gushchina, G.

Place	User	Total	Penalty
1	Даниил	5	257
2	ishkroinka	5	289
3	Avhurskiy	5	305
4	Navarich	5	352
5	Smoyzh	5	407
6	Rogozhnikov	4	173
7	gushchina	4	176
8	Konopelko	4	226
9	ilyahotkin	4	248
10	Karlavenko	4	255
11	Анастасия	3	116
12-13	vlad	3	155
12-13	Budkevich	3	155
14	Berezovik	3	157
15	parivonchik1	3	165
16	Sazanovets	3	261
17	mishadavid	2	18
18	parivonchik	0	0
	Total:	112	
	Success:	65	
	%:	58%	

Рисунок 1 – Таблица итогового рейтинга после проведения турнира



Рисунок 2 – Фотоиллюстрация проведения турнира

При проведении будущих турниров имеет смысл создавать сервер со статическим IP-адресом и доступом через интернет. Это даст

возможность привлечь большее количество участников турнира. Подобные соревнования могут привлечь организации-спонсоров (работодателей), которые смогут предоставлять свои задачи для турниров. Более того, появится возможность проверить способности участников из всей страны и лучших пригласить к себе на работу либо на испытательный срок. Также возможности системы *ejudge* можно использовать для проверки расчётов и знаний студентов на изучаемых дисциплинах. Это упростит и ускорит работу преподавателей.

Маркшейдерское обеспечение армирования стволов при строительстве нежинского горно-обогатительного комбината

Мысливчик Е.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Долбик С.М., Мысливчик Ю.А.

Redpath Deilmann GmbH

В ближайшие годы в Любанском районе Минской области будет запущено в эксплуатацию второе предприятие в Республике Беларусь по добыче калийной руды и производству калийных удобрений мощностью до 2 млн тонн хлорида калия в год.

Строительство горно-обогатительного комбината началось в 2016 году. В рамках данного проекта предусмотрено сооружение следующих объектов: горнодобывающий комплекс, обогатительная фабрика, газотурбинная электростанция для собственных нужд, железнодорожная, автодорожная, жилищная и другая инфраструктура. Возведение объекта реализует ИООО «Славкалий» с участием китайской генподрядной компании энергетического профиля «China State Energy Engineering Corp.».

На всех стадиях строительства маркшейдерская служба производит соответствующие разбивочные работы и контрольные измерения при установке оборудования, принимает решения о проведении рихтовочных работ, обеспечивая тем самым монтаж технологического оборудования с допустимыми отклонениями.

В общем комплексе строительства современного горнодобывающего предприятия с подземным способом разработки наиболее ответственным сооружением является шахтный ствол с армировкой, обеспечивающей направленное движение подъемных сосудов. Армированием стволов называют установку расстрелов и проводников, устройство лестничных отделений, прокладку трубопроводов и кабелей. Армирование оказывает существенное влияние на определение диаметра ствола, его стоимости, сроков строительства, а также на производительность, надежность и экономичность работы подъемных установок. Надежная работа шахтного подъема зависит от обеспечения надлежащего расположения элементов подъема при

монтаже и соблюдении правильного соотношения в процессе эксплуатации.

Первоначально выполняется разработка проекта производства работ по армированию ствола.

Подготовительные работы по армированию выполняются непосредственно в стволе и копре и включают в себя: контрольную маркшейдерскую съемку стен ствола и составление продольного разреза ствола и его поперечных сечений на разных глубинах; разборку разгрузочной площадки в копре; перестановку шкивов на подшивной площадке; монтаж шкивов для канатов подвесной люльки; демонтаж и выдачу из ствола проходческого оборудования; подъем в устье ствола подвесного полка и переоборудование его; установку в 1,5- 2 м ниже нулевой рамы с поднятого к устью ствола переоборудованного подвесного полка контрольного яруса расстрелов; установку лебедок для маркшейдерских отвесов и специальных балок для фиксации нитей отвесов.

Для выполнения работ, обеспечивающих монтаж армировки стволов для установки подъема, маркшейдерская служба руководствуется проектными чертежами поперечного сечения ствола, размещения монтажного оборудования, расположения лебёдок, сопряжения ствола с околоствольным двором II Калийного горизонта, и составляет на основе вышеперечисленного маркшейдерский проект расположения армировочных отвесов и закрепления их точек на первом контрольном ярусе армировки.

Для фиксации в стволе разбивочных вертикальных осей применяют свободные (подвижные) армировочные отвесы. Число отвесов и их размещение в сечении ствола определяется в соответствии с расположением расстрелов и проводников в ярусе: в данном случае используется восемь маркшейдерских отвесов, которые опускаются по периметру армировочного полка, а также в средней его части. Схема расположения отвесов приведена на рисунке 1.

Группа вспомогательных расстрелов, перпендикулярных главному, устанавливается по отвесам, расположенным у каждого расстрела. Главный расстрел устанавливают по отвесам вспомогательных расстрелов с помощью горизонтальных шаблонов и/или измерительной рулетке.

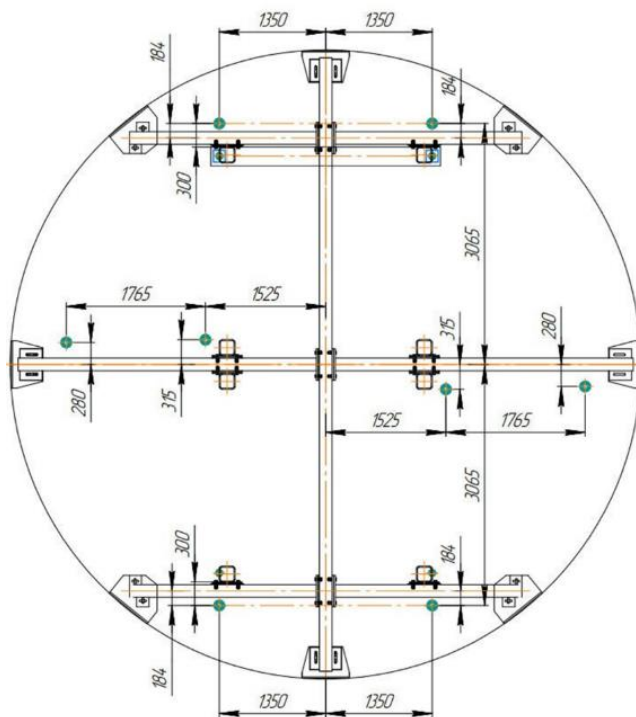


Рис.1. Схема расположения отвесов в стволе.

Предусматривается следующая общая технологическая последовательность выполнения маркшейдерских измерений:

1. На ярусах 1, 2 и 3 армировочного полка, выполняется разметка для установки опорных стульев расстрелов армировки.
2. На опорные стулья устанавливается главный расстрел.
3. Главный расстрел выставляется в горизонтальной плоскости при помощи измерительных рулеток от существующих соседних отвесов.
4. Далее выполняется спуск и установка двух центральных вспомогательных расстрелов.
5. Выполняется установка и позиционирование центральных вспомогательных расстрелов.

6. Спускаются и устанавливаются остальные вспомогательные расстрелы. Расстрелы позиционируются при помощи местного шаблона и/или измерительной рулетки.

7. Спуск и установка проводников выполняется после выполнения выше описанных операций. Проводники выставляются группой по четыре. Установку и положение проводников проверяют при помощи специально разработанных шаблонов.

Проектирование наземной фотограмметрической съёмки

Радцевич Е.И., Кабацкий А.В., Куприенко Н.О.
Белорусский национальный технический университет

Актуальной проблемой в настоящее время является совершенствование инфраструктуры и цифровизация сферы культуры. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 января 2021 г. № 53 утверждена Государственная программа «Культура Беларуси» на 2021-2025 гг., которая направлена на реализацию приоритетов социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы и решение задач государственной политики в сфере культуры. В рамках Государственной программы продолжают работы по строительству, реставрации, реконструкции, капитальному ремонту объектов инфраструктуры сферы культуры, в том числе памятников архитектуры, формирование цифрового культурного контента, создание электронных каталогов историко-культурных и природных памятников Республики Беларусь.

В настоящее время существуют различные методы получения трехмерных моделей объектов культурного наследия. Самым известным и распространенным, безусловно, является метод наземного лазерного сканирования, но процесс редактирования трехмерной модели требует много времени, а также использование оборудования для лазерного сканирования является дорогостоящим и требует определенного навыка работы. Более дешевым и простым методом получения трехмерной модели объекта является метод наземной фотограмметрической съёмки, который заключается в получении метрической информации об объекте по его изображениям на снимках.

Методы наземной фотограмметрии применяются для решения многих задач в различных областях науки и производства. Одной из основных задач фотограмметрии в архитектуре является выполнение архитектурно-строительных обмеров путём составления фотопланов с целью реконструкции и реставрации зданий, а также в научно-исследовательских целях.

Фотоплан может состоять из одного или нескольких трансформированных снимков, по которым можно выполнять обмеры сооружений, состоящих, в основном, из плоских элементов и крупных форм на одну или несколько плоскостей. Если объект имеет сложную форму, то выполняется ортофототрансформирование – создание ортогональной проекции объекта на заданную плоскость с использованием цифровой модели объекта.

На стадии проектирования наземной фотограмметрической съемки всегда встает вопрос: какое количество съемочных станций необходимо и как их расположить для конкретной камеры, которая в свою очередь имеет своё фокусное расстояние и формат кадра, чтобы выполнить съемку всего объекта при минимальном количестве точек фотографирования и обеспечить заданную точность определения координат точек объекта по снимкам.

В случае, когда требуется получить координаты точек только в одной плоскости, например, плоский фасад здания, достаточно выполнить съемку с одной точки фотографирования и построить ортофотоснимок. В других случаях, когда необходимо получить трёхмерную модель объекта, съёмку выполняют с базиса (базисов) фотографирования, получив одиночную стереопару, маршрут или блок снимков. В этих случаях, как правило, применяется нормальный случай съёмки. Если объект предполагается изучать только по точкам, предварительно замаркированным на объекте, то можно выполнять конвергентную съёмку с целью повышения точности определения координат точек объекта. Для высоких объектов можно запроектировать съёмку с наклоном оптических осей или с вертикальных базисов фотографирования и т.д. В общем случае для каждого объекта будет своя схема съёмки.

При съемке протяженных объектов целесообразно производить маршрутную или блочную съемку объекта.

В маршрутной съемке из смежных снимков маршрута, формируется стереопары снимков нормального или равнонаклонного случаев съемки. При этом съемка выполняется таким образом, чтобы у смежных стереопар имелась область так называемого тройного перекрытия. Для этого съемку выполняют таким образом, чтобы смежные снимки в маршруте перекрывались по направлению маршрута приблизительно на 60%.

В случае, если при проведении маршрутной съёмки объект изображается на снимках по высоте не полностью, производят блочную (многомаршрутную) съёмку, в которой выполняют дополнительную маршрутную съёмку объекта, формируя один или несколько параллельных первому маршрутов с поперечным перекрытием маршрутов не меньше 20-30%.

При выполнении наземной стереофотограмметрической съёмки могут возникнуть участки объекта, которые не изобразились на стереопаре снимков – «мертвые зоны». Чтобы избежать образования «мёртвых зон» производят съёмку с дополнительных базисов фотографирования.

При выборе схемы съёмки всегда приходится решать три основные задачи:

1. Обеспечить заданную точность определения координат точек объекта при минимальном количестве станций фотографирования (снимков).

2. Покрыть съёмкой весь изучаемый объект, чтобы отсутствовали «мертвые зоны».

3. Обеспечить дешифрируемость объектов по снимкам.

Для обеспечения заданной точности определения координат точек объекта (m_x, m_y, m_z), необходимо рассчитать базис фотографирования и максимальное отстояние камеры от объекта.

Базис фотографирования b вычисляют в масштабе снимка, задаваясь продольным перекрытием P_x между снимками:

$$b = \frac{l_x(100\% - P_x)}{100\%} \quad (1)$$

Здесь l_x – формат снимка вдоль оси x .

Затем необходимо вычислить максимальное отстояние Z , при котором будет обеспечена заданная точность определения координаты Z (вдоль оптической оси камеры) точек объекта, используя следующую формулу:

$$Z = \frac{b}{m_p} m_z \quad (2)$$

где m_p – средняя квадратическая ошибка измерения продольных параллаксов по снимкам.

Соответствующее значение базиса фотографирования на местности можно вычислить по формуле:

$$B = \frac{Z}{f} b \quad (3)$$

где f – значение фокусного расстояния съёмочной камеры.

Если при выполнении съёмки придерживаться значений отстояния и базиса фотографирования, то при фотограмметрической обработке таких снимков точность определения координаты Z не будет ниже заданной m_z , а точность определения координат m_x, m_y , точечек объекта будет заведомо выше, чем m_z .

Для выполнения внешнего ориентирования фотоснимков необходимо выполнить геодезическое обоснование. В качестве опорной информации при фотограмметрической обработке наземных снимков используют координаты опорных точек и центров проекции снимков, значения угловых элементов внешнего ориентирования снимков. Как известно, для одиночного снимка необходимо не менее трех планово-высотных точек, а для модели минимальным количеством является двух планово-высотных плюс одна высотная точка. Минимальное количество опорных точек позволяет определить элементы внешнего ориентирования без оценки точности этого определения. Рекомендуется производить избыточные измерения.

При геодезическом определении координат можно использовать метод тахеометрической съёмки с помощью тахеометров с угловой точностью 3-5" и обеспечивающими линейную точность 1-2 см прямыми измерениями в безотражательном режиме или угловыми засечками, которые дают точность порядка 1-2 мм.

В случае отсутствия тахеометра применяется геодезическая рулетка, с помощью которой можно измерить расстояния с точностью до 1-2 мм. В таком случае, опорные точки должны располагаться на сооружении по вертикальным и горизонтальным линиям относительно друг друга, причём все измеряемые точки должны принадлежать одной плоскости.

В большинстве случаев при выполнении наземной стереофотограмметрической съёмки используют нормальный случай съёмки. Предрасчет точности определения координат точек объекта по стереопаре снимков нормального случая съёмки выполняют по формулам:

$$m_x = \frac{Y}{f} m_x', \quad m_y = \frac{Y}{f} m_y', \quad m_z = \frac{Y}{b} m_p. \quad (4)$$

где m_x , m_y , m_p — средние квадратические ошибки измерения координат и продольных параллаксов точек снимков,

Для выполнения наземных фотограмметрических съёмок применяются метрические фотокамеры, так же допускается использовать профессиональные и любительские. Главная особенность метрических камер – жестко укрепленные на корпусе фотокамеры объектив и светоприёмная матрица, обеспечивая, таким образом, постоянство элементов внутреннего ориентирования камеры, которые определяют на заводе-изготовителе, включая параметры фотограмметрической дисторсии. Любительские и профессиональные цифровые фотокамеры должны быть предварительно подвергнуты процедуре фотограмметрической калибровки, в результате которой определяются элементы внутреннего ориентирования фотокамеры, включая параметры фотограмметрической дисторсии объектива фотокамеры.

Фотограмметрическая калибровка цифровых фотокамер производится по снимкам пространственного тест-объекта, который представляет собой пространственное поле маркированных точек. Определение параметров внутреннего ориентирования фотокамер, т.е. их фотограмметрическая калибровка по снимкам пространственного тест-объекта, основано на совместном решении системы уравнений коллинеарности, составляемых для каждого измеренного на цифровом снимке изображения точки тест-объекта.

С целью повышения надёжности и точности определения параметров внутреннего ориентирования калибруемых камер, производят съёмку тест-объекта многократно с поворотом камеры вокруг оптической оси объектива на 180° и определяют искомые парамет-

ры в результате совместной обработки измерений, выполненных по всем полученным снимкам.

Критерием оценки точности проведённой фотограмметрической калибровки цифровой камеры и, как следствие, критерием пригодности камеры для выполнения фотограмметрических определений являются значения остаточных погрешностей координат измеренных на снимке точек, значения которых в зависимости от типа калибруемой фотокамеры должны лежать в пределах от 0,15 до 0,5 пикселя.

Применение обычной цифровой камеры вместо лазерного сканера значительно сокращает стоимость работ, облегчает вес оборудования в процессе производства полевых работ, а также использование доступных программных продуктов для обработки снимков и превращения их в трехмерную модель из «облака точек» сокращает время обработки.

Также в настоящее время стало актуально комбинировать методы получения трехмерных моделей. Совместная обработка данных лазерного сканирования и наземной фотограмметрической съёмки обеспечивает полный охват и максимизирует зону покрытия. Кроме того, благодаря сканированию с высоким разрешением и текстуре на изображениях это решение обеспечивает наилучшие результаты с точки зрения точности и уровня детализации.

Литература

1. О Государственной программе «Культура Беларуси» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 янв. 2021 г., № 53 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – № 5/48756. – С.1–4.
2. Беккер Р., Бенинг В., Эфкеман К. Комбинированная оценка данных лазерного сканера и фотограмметрических снимков // *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. – 2004. – № 129. – С. 347-355.
3. Михайлов, А.П. Фотограмметрия : учебник для вузов / А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев; под общ. ред. А.Г. Чибуничева. – М. : Изд-во МИИГаик, 2016. – 294 с.

4. Скрыпичина, Т.Н. Лабораторный практикум по дисциплине «Наземная фотограмметрия» и «Основы архитектурной фотограмметрии» : учебное пособие / Т.Н. Скрыпичина, С.Б. Макаров. – М. : МИИГАиК, 2017. – 76 с.

Технология выполнения сканирования плоскости с использованием тахеометра Leica TS16 A R500 (2'')

Рак. И.Е., Кабацкий А.В., Куприенко Н.О.
Белорусский национальный технический университет

Фасадная съемка является одной из самых востребованных услуг в геодезии. Задача съемки – определение пространственных координат и геометрических размеров конструктивных элементов здания.

Итоговая стоимость и время фасадной съемки во многом зависит именно от оборудования, которое необходимо использовать для ее осуществления. Тот или иной прибор выбирается, согласно особенностям здания и окружающей обстановки, а также в зависимости от поставленных задач.

Leica TS 16 (рис 1) – роботизированный тахеометр с сервоприводами. Тахеометр имеет все возможные современные коммуникационные устройства, такие как слот для карт памяти SD, разъем USB, WLAN и Bluetooth.



Рис. 1. Тахеометр Leica TS 16

Данный роботизированный тахеометр помимо стандартных функций электронного тахеометра обладает возможностью:

- дистанционного управления на расстоянии до 1000 метров;
- сканирование по сетке в автоматизированном режиме (фасадная съемка, сканирование поверхностей, дорог, покрытий);
- возможность поиска, захвата и слежения за отражателем;
- возможность производить работу одним специалистом;
- работа в условиях с недостаточной видимостью или в темноте
- ведение цифрового абриса в полевом ПО.

Функция сканирования по сетке (рис. 2), встроенная в программное обеспечение тахеометра Leica TS16 (2"), поможет при фасадной съемке, сканировании поверхностей дорог и при съемке покрытий. При этом, часть работы можно выполнить без дорогостоящего сканера.

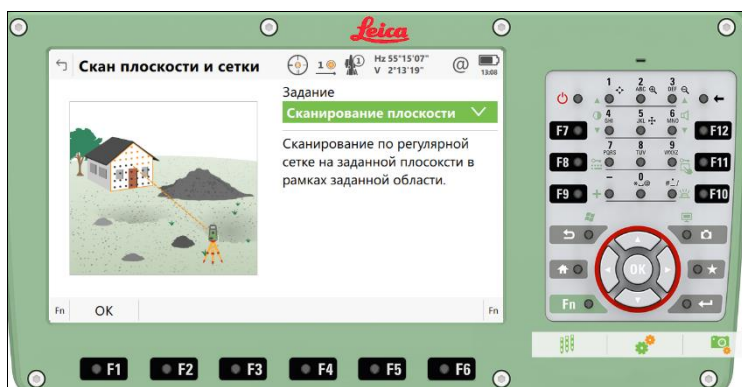


Рис. 2. Интерфейс режима «Сканирования плоскости и сетки»

В данном режиме есть возможность выбора границы прямоугольной области. Область можно задать как по точкам с известными координатами, так и путем наведения на точки местности.

Шаг сетки можно задавать как в линейных величинах, так и угловых. Тахеометр определяет расстояние до объекта сканирования, а затем рассчитывает необходимое количество точек, для построения сетки с заданным шагом.

Затем прибор в автоматическом режиме начинает выполнять сканирование заданной области. Тахеометр позволяет выполнять измерения со средней скоростью 40 точек в минуту.

В результате выполнения съемки, можно получить файл с координатами точек в самых востребованных обменных форматах (ASC II, DXF, RAW, XML) и передать его для дальнейшей обработки в современных геодезических программах (рис. 3).

Из недостатков данного способа можно выделить следующее:

- способ мало применим для объектов, с большим количеством элементов из стекла, так как тахеометр не может правильно определить расстояние до точки в безотражательном режиме;
- с увеличением требований к точности измерений повышается время измерения тахеометра на одну точку;
- отсутствие камеры у тахеометра; в результате выполнения работы можно получить файл с координатами точек, однако отсутствует возможность совместить сетку точек с изображением в поле-вом режиме.

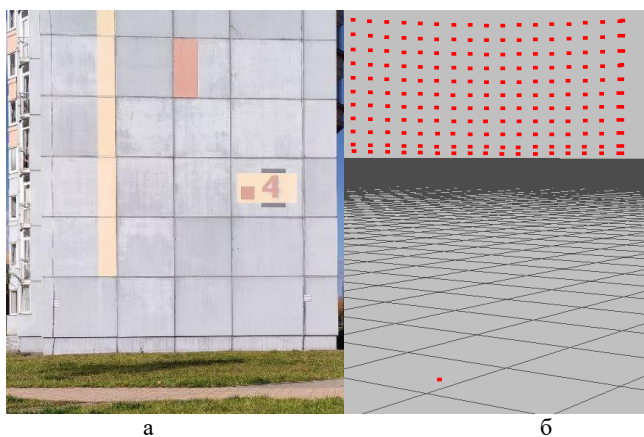


Рис. 3. Сканирование стены жилого здания:
а – стена жилого здания, б – результат
обработки в программе КРЕДО 3D СКАН

**Секция
«Математические методы
в строительстве»**

Теорема Пифагора в n -мерном пространстве

Акимов В.А., Новиков А.А.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе непредвзято затрагивается вроде бы известная тема на предмет «Ну кто не знает теорему Пифагора?». Ответ: «Да ее все со школы знают». А вот тут то и начинается нечто новое и необычное. Своего рода переход от школьной геометрии к аналитической с элементами векторной алгебры. Это своего рода игра, но очень необычная с элементами новизны и фантазии. В конечном итоге такой подход закрепляет проходимый материал, пробуждает интерес и развивает творческий подход к изучению математики в целом.

Для случая $n = 2$ она изучается в школе и практически всем знакома. Пусть теперь $n = 3$. Сделаем наглядный сопровождающий рисунок Теорема Пифагора звучит очень просто.

ТЕОРЕМА: Квадрат площади произвольного треугольника в трехмерном пространстве равен сумме квадратов его проекций на координатные плоскости. То есть

$$s^2 = s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 \quad (1)$$

Формально эту теорему можно доказать следующим образом.

Очевидно, что: $s_x = s \cos \alpha$, $s_y = z \cos \beta$, $s_z = s \cos \gamma$ и тогда

$$s^2 = s^2 (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma)$$

Так как $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$, то теорема доказана.

Это формальное доказательство не является наглядным. Для большей убедительности приведем численный пример. Рассмотрим произвольный треугольник (рис. 1) со сторонами

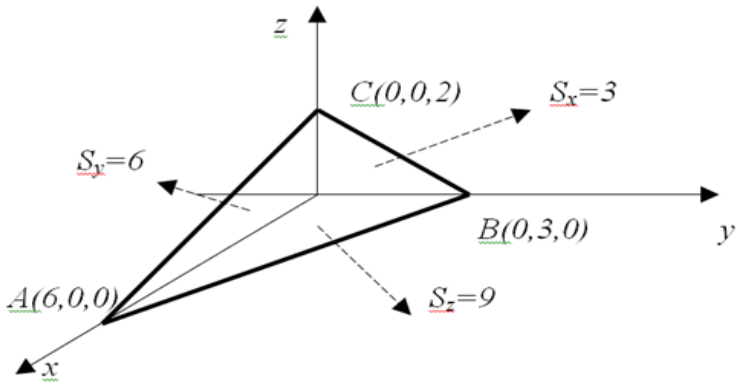


Рис. 1

$$AB = \sqrt{6^2 + 3^2} = \sqrt{45}, \quad BC = \sqrt{2^2 + 3^2} = \sqrt{13}, \quad CA = \sqrt{2^2 + 6^2} = \sqrt{40}.$$

На рисунке 1 также показано $s_x = 3$ $s_y = 6$ $s_z = 9$.

По формуле Герона

на

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{1}{16}(\sqrt{45} + \sqrt{13} + \sqrt{40})(-\sqrt{45} + \sqrt{13} + \sqrt{40})(\sqrt{45} - \sqrt{13} + \sqrt{40})(\sqrt{45} + \sqrt{13} - \sqrt{40}) = \\ &= \frac{1}{16}(-45 + 13 + 2\sqrt{40}\sqrt{13} + 40)(45 - 13 + 2\sqrt{40}\sqrt{13} - 40) = \\ &= \frac{1}{16}(2\sqrt{40}\sqrt{13} + 8)(2\sqrt{40}\sqrt{13} - 8) = \frac{1}{16}(4 \cdot 40 \cdot 13 - 64) = 126 \quad s = \sqrt{126} = 3\sqrt{14}. \end{aligned}$$

С другой стороны $s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 = 3^2 + 6^2 + 9^2 = 126$.

Таким образом, соотношение (1) выполняется. Таких примеров можно привести множество. Очевидно, что теорема остается в силе при произвольном параллельном переносе системы координат в другую точку (смотри рисунок 2). Кстати, это утверждение распространяется и на классическую теорему Пифагора.

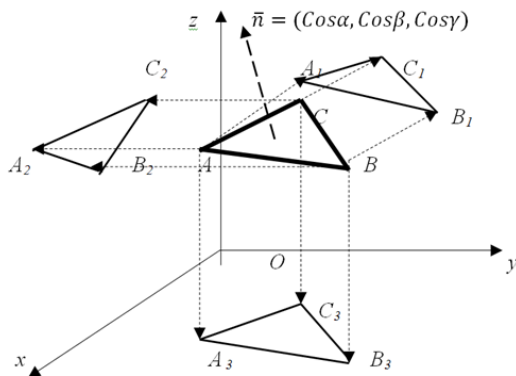


Рис. 2

Теперь, наряду со школьными вычислениями изложим эту теорию на базе математики для студентов, как правило, изучающих аналитическую геометрию на 1 курсе в 1 семестре.

1 способ

Итак, запишем уравнение плоскости, проходящей через 3 точки $A(6;0;0)$, $B(0;2;0)$, $C(0;0;3)$

$$x + 2y + z - 6 = 0.$$

Отсюда находим $\cos \alpha = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2}} = \frac{1}{\sqrt{14}}$. Аналогично $\cos \beta = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \frac{2}{\sqrt{14}}$; $\cos \gamma = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \frac{3}{\sqrt{14}}$.

Легко увидеть, что $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$.

И тогда $s_x = s \cos \alpha = 3\sqrt{14} \cdot \frac{1}{\sqrt{14}} = 3$; $s_y = s \cos \beta = 3\sqrt{14} \cdot \frac{2}{\sqrt{14}} = 6$;

$s_z = s \cos \gamma = 3\sqrt{14} \cdot \frac{3}{\sqrt{14}} = 9$.

Соотношение (1) конечно выполняется.

2 способ

Известно [1 стр.61]

$$s = \frac{1}{2} |\overline{[AB, AC]}| = \frac{1}{2} \operatorname{mod} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_B - x_A & y_B - y_A & z_B - z_A \\ x_C - x_A & y_C - y_A & z_C - z_A \end{vmatrix}.$$

С учетом: $y_A = z_A = 0$; $x_B = z_B = 0$; $x_C = y_C = 0$

$$x_A = 6 \quad y_B = 3 \quad z_C = 2,$$

получим:

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{2} \operatorname{mod} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -x_A & y_B & 0 \\ -x_A & 0 & z_C \end{vmatrix} = \frac{1}{2} \sqrt{(y_B z_C)^2 + (z_C x_A)^2 + (x_A y_B)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{6^2 + 12^2 + 18^2} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot \sqrt{1^2 + 2^2 + 3^2} = 3\sqrt{14} \end{aligned}$$

Мы непосредственно убеждаемся в том, что вычисления, проводимые по школьной формуле Герона, а также 1 и 2 способами методами аналитической геометрии дают один и тот же результат.

Теперь перейдем к 4-х мерному пространству. Формально будем предполагать, что плоскость пересекает координатные оси в четырех точках $A(6;0;0;0)$ $B(0;3;0;0)$ $C(0;0;2;0)$ $D(0;0;0;1)$.

Теперь теорема Пифагора в четырехмерном пространстве принимает вид:

$$s^2 = s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 + s_u^2 \quad (2)$$

Вычисления проводим методом математической индукции по аналогии с 3-мерным пространством (рис.3), итак:

$$s_x^2 = s_{ABCD} \quad s_y^2 = s_{\Delta ABD} \quad s_z^2 = s_{\Delta ACD} \quad s_u^2 = s_{\Delta ABC} = 126$$

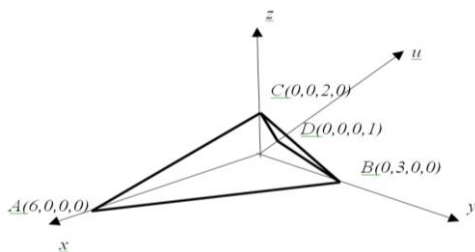


Рис. 3

И так далее для пространств больших размерностей. Так, например, для 6-мерного пространства

$$s^2 = s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 + s_u^2 + s_v^2 + s_w^2 \quad (3)$$

ТЕОРЕМА. Квадрат площади произвольного треугольника в n мерном пространстве равен сумме квадратов n его проекций на $n-1$ мерные пространства.

Получается своего рода матрешка – каждая «плоскость» в n мерном пространстве проецируется на n гиперплоскостей для которых верна данная обобщенная теорема. Все направления осей будем пока считать положительными.

Вернемся к численному примеру и доведем соответствующие вычисления до конца. Итак

$$\begin{aligned} s_y = s_{\Delta ACD} &= \frac{1}{2} |\overline{[CA, CD]}| = \frac{1}{2} \text{mod} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{k} & \vec{l} \\ x_A - x_C & z_A - z_C & u_A - u_C \\ x_D - x_C & z_D - z_C & u_D - u_C \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{(z_C u_D)^2 + (u_D x_A)^2 + (x_A z_C)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(2 \cdot 1)^2 + (1 \cdot 6)^2 + (6 \cdot 2)^2} = \sqrt{46}, \\ s_z = s_{\Delta ABD} &= \frac{1}{2} |\overline{[BA, BD]}| = \frac{1}{2} \text{mod} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{l} \\ x_A - x_B & y_A - y_B & u_A - u_B \\ x_D - x_B & y_D - y_B & u_D - u_B \end{vmatrix} = \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{(y_B u_D)^2 + (u_D x_A)^2 + (x_A y_B)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(3 \cdot 1)^2 + (1 \cdot 6)^2 + (6 \cdot 3)^2} = \frac{3\sqrt{41}}{2}. \end{aligned}$$

Ранее было вычислено

$$s_u = s_{\Delta ABC} = 3\sqrt{14}.$$

$$\text{Тогда получим: } s^2 = s_x^2 + s_y^2 + s_z^2 + s_u^2 = \frac{49}{4} + \frac{184}{4} + \frac{369}{4} + \frac{504}{4} = 276.5.$$

А теперь выведем упрощенную формулу для 4-х мерного пространства. Предварительно определяем

$$\begin{aligned}
s_{\Delta ABC}^2 &= \frac{1}{16} (\sqrt{x_A^2 + y_C^2} + \sqrt{y_C^2 + z_B^2} + \sqrt{z_B^2 + x_A^2}) (-\sqrt{x_A^2 + y_C^2} + \sqrt{y_C^2 + z_B^2} + \sqrt{z_B^2 + x_A^2}) \\
& (\sqrt{x_A^2 + y_C^2} - \sqrt{y_C^2 + z_B^2} + \sqrt{z_B^2 + x_A^2}) (\sqrt{x_A^2 + y_C^2} + \sqrt{y_C^2 + z_B^2} - \sqrt{z_B^2 + x_A^2}) = \\
&= \frac{1}{4} (z_B^2 + \sqrt{y_C^2 + z_B^2} \sqrt{z_B^2 + x_A^2}) (-z_B^2 + \sqrt{y_C^2 + z_B^2} \sqrt{z_B^2 + x_A^2}) = \\
&= \frac{1}{4} [(y_C^2 + z_B^2)(z_B^2 + x_A^2) - z_B^4] = \left(\frac{x_A y_C}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_C z_B}{2}\right)^2 + \left(\frac{z_B x_A}{2}\right)^2
\end{aligned}$$

Так как рассматриваемые треугольники прямоугольные, то эта формула является очевидной. Далее нетрудно установить:

$$\begin{aligned}
s_x^2 &= s_{\Delta BCD}^2 = s_{\Delta BOC}^2 + s_{\Delta COD}^2 + s_{\Delta DOB}^2 & s_y^2 &= s_{\Delta ABD}^2 = s_{\Delta AOB}^2 + s_{\Delta BOD}^2 + s_{\Delta DOA}^2 \\
s_z^2 &= s_{\Delta ACD}^2 = s_{\Delta AOC}^2 + s_{\Delta COD}^2 + s_{\Delta DOA}^2 & s_u^2 &= s_{\Delta ABC}^2 = s_{\Delta AOB}^2 + s_{\Delta BOC}^2 + s_{\Delta COA}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s^2 &= 2(s_{\Delta AOB}^2 + s_{\Delta AOC}^2 + s_{\Delta AOD}^2 + s_{\Delta BOC}^2 + s_{\Delta BOD}^2 + s_{\Delta COD}^2) = \\
&= 2\left[\left(\frac{x_A y_B}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_A z_C}{2}\right)^2 + \left(\frac{x_A u_D}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_B z_C}{2}\right)^2 + \right. \\
&\quad \left. + \left(\frac{y_B u_D}{2}\right)^2 + \left(\frac{z_C u_D}{2}\right)^2\right] = 2(81 + 36 + 9 + 9 + \frac{9}{4} + 1) = 276.5
\end{aligned}$$

Результат совпадает. По существу – это одна и та же формула. Итак, получили теорему:

Квадрат площади треугольника в четырехмерном пространстве равен удвоенной сумме квадратов половины попарного произведения координат, на которых он построен.

Литература

1. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс. /Д.Т. Письменный-15-е издание. – Москва: Айрис - пресс, 2018.-602 с.

О создании видеоуроков по высшей математике

Бачило Е.Д.

Белорусский национальный технический университет

С развитием информационных технологий появилась возможность изменить и дополнить классическую форму преподавания. Возникли новые, более перспективные формы обучения студентов. Одной из самых популярных и эффективных форм стал видеоурок.

Видеоурок – небольшой учебный ролик, который отличается богатым видеорядом, различными видами съемки, продуманным сценарием и монтажным планом.

Цель видеоурока – освоение учащимися учебных программ с использованием дистанционных технологий с целью формирования у учащихся навыков творческого мышления, самостоятельности в организации собственной деятельности.

Такая форма обучения имеет множество плюсов. Для преподавателя это возможность поделиться знаниями без посещения аудитории, планировать время обучения, не дублировать определенный материал в разных группах. Для студентов – не конспектировать получаемую информацию, многократно пересматривать изучаемый материал, комментировать и задавать вопросы, оставаясь неузнаваемым.

В процессе проведения обучения в такой форме используются все основные типы информационных услуг, а компьютерные программы дают преподавателю осуществлять контроль уровня усвоения учащимися учебного материала.

Качественный обучающий ролик под силу сделать каждому. Для этого достаточно видеокамеры и микрофона. Но каждый шаг такого видео должен быть очень хорошо продуман. Видео должно быть коротким (не более 7 минут), предельно понятным и содержать максимальное количество полезной информации.

Важно определить целевую аудиторию. Об этом можно сообщить в начале вашего ролика. Это поможет избежать негативных комментариев и привлечет только тех, для кого предназначена информация.

Необходимо хорошо продумать и структурировать выступление, сконцентрировать суть и убрать лишнее. Тем самым вы избежите ненужных пауз, междометий и сократите время.

В одном видео невозможно рассмотреть все сопутствующие вопросы, поэтому делите информацию на части и делайте ссылки на другие ролики, связанные с этим.

Итак, создание видеоурока можно разбить на несколько этапов:

1. Подготовительный этап.

Выбрать тематику урока, название, подготовить сценарий (последовательность излагаемого), музыкальный материал, написать текст, подобрать картинки, формулы, составить схемы, таблицы.

Создание текста – самая важная задача. Текст должен быть понятным, хорошо восприниматься.

Для подготовки иллюстрационного материала могут помочь такие программные продукты как Paint.net (ссылка: paintnet.ru/download) и Geogebra (ссылка: geogebra.org/download?lang=ru).

2. Запись звука.

Записать звук в аудиоредакторе. Отредактировать аудиозапись (убрать шум, скорректировать тембр, настроить громкость).

Для этих целей подойдет, например, аудиоредактор Audacity (ссылка: <http://www.Audacitybeam.org/download/lang=ru>).

3. Запись видео.

Записать видео с экрана. Смонтировать видео в редакторе.

Специальная программа UVScreenCamera поможет вам в этом. Для редактирования снятых видеоматериалов можно использовать ВидеоШОУ. Приложение позволит качественно обработать ролики: обрезать лишние фрагменты, добавить заставку, разместить красочные изображения и презентации, записать озвучку и многое другое. Скачайте редактор и опробуйте все возможности, которые он предлагает.

4. Экспорт видео.

Сохранить видео в нужном формате. Разместить в интернете.

Литература

1. Чалиев А.А. Видеоурок как перспективная информационная технология обучения в ВУЗах // Современные проблемы науки и образования. – 2014.
2. Ваховский Р. Как создать видеоурок (Электронный ресурс//Учебник).
3. Тангиров Х. Э., Маматкулова У. Э. Использование электронных образовательных ресурсов в индивидуализации учебного процессе // «Инновационные подходы в современной науке» сб. ст. по материалам LX междунар. науч.-практ. конф. – № 24 (60). – М., Изд.«Интернаука»,2019.

Расчет шарнирно-соединенных прямоугольных плит дорожного покрытия

Босаков С.В., Козунова О.В.

¹Белорусский национальный технический университет

В работе рассматривается задача статического расчета шарнирно – соединенных в отдельных точках прямоугольных серийных плит дорожного покрытия типа ПАГ на комбинированном (трех-слойном) основании на произвольную внешнюю вертикальную нагрузку. Комбинированное основание моделируется следующим образом: верхний слой является основанием Винклера и расположен на двухслойном основании Когана. Расчет шарнирно-соединенных плит на этой модели упругого основания выполнен смешанным методом строительной механики с использованием способа Жемочкина на нагрузку от центрально приложенного колеса машины. При этом учитывается собственный вес каждой плиты. Смежные плиты соединяются цилиндрическими шарнирами в двух точках.

Статический расчет численно реализуется при помощи компьютерной программы «Mathematica» и в результате приводятся: поперечные силы в соединительных шарнирах, усилия в связях Жемочкина и осадки центров плит.

Актуальность проблемы. Преимущества и недостатки цементно-бетонных дорожных покрытий. Вопросы расчета шарнирно-соединенных конструкций (балок и плит) на упругом основании до настоящего времени не исследован в полной мере. Авторам известны работы Б.Г. Коренева [1], Р.В. Серебряного [2], И.А. Симвулиди [3], Г.Я. Попова[4], А.Г. Юрьева [5], в которых различными методами проведены теоретические исследования по расчету шарнирно-соединенных балок и плит на упругом основании.

В настоящее время в дорожном строительстве используются две технологии: 1) с использованием традиционных асфальтобетонных покрытий, в которых связующее вещество – битум; 2) использующие цементно-бетонные покрытия, в которых применяется так называемый дорожный бетон. Эти технологии предполагают устройство дорог сплошным образом в монолитном исполнении

(магистральные дороги – автобаны, распределительные дороги общего значения).

Если говорить *об очевидных преимуществах*, то у дорог из цементобетона колея значительно меньше, так как бетон по своей структуре тверже (прочнее) асфальта. Именно поэтому он не подвержен деформациям при воздействии нагрузок и повышенных температур, что препятствует образованию колеи. В темное время суток на такой дороге лучше видимость, ведь сам материал обладает лучшим светоотражающим эффектом.

Если говорить *о недостатках*, то цементобетонные дороги несколько более шумные, так как более пористый и пластичный асфальтобетон лучше поглощает шумы. Исследования показывают, что уровень шума при движении по бетонной дороге составляет от 2 до 4 децибелов. Для сравнения: разговор между людьми проходит со звуком в 60–70 децибелов.

Большая доля дорожного строительства (до 18 %) в Республике Беларусь приходится на проектирование и строительство *автодорог местного значения, лесных временных дорог*. Такие дороги проектируют, как правило, как *дороги со сборно-разборным дорожным покрытием* (СРДП), состоящие из гибких элементов (ж/б плит, деревянных щитов, металлических элементов), шарнирно-соединенных между собой.

В дорожном строительстве в качестве сборно-разборных элементов дорожных покрытий *через водные преграды* широко используются плавучие опоры (понтонеры), которые могут моделироваться как шарнирно-соединенные жесткие плиты. Статический расчет таких плит (понтонеров) на упругом основании Винклера был рассмотрен ранее авторами в работе [6]. В работе [7] приводится модель трехслойного упругого основания для расчета изолированной дорожной или аэродромной плиты.

В работе [8] одним из авторов был предложен общий подход для расчета шарнирно соединенных прямоугольных гибких плит на слоистом основании, который использован в данной работе для расчета шарнирно соединенных прямоугольных серийных плит типа ПАГ на искусственном основании. Эта методика базируется на смешанном методе строительной механики [9] и способе Жемочкина [10], которые позволяют с единых позиций рассчитывать шарнирно – соединенные плиты любой формы и жесткости на различ-

ных моделях упругого основания на произвольную вертикальную нагрузку.

Численная реализация предлагаемого подхода выполнена на семи шарнирно-соединенных прямоугольных гибких плитах на трехслойном основании.

Теория расчета, постановка задачи и алгоритм расчета. В статическом расчете рассматривается система из N_p шарнирно-соединенных в двух точках прямоугольных плит конечной жесткости на комбинированном (трехслойном) упругом основании под действием внешней нагрузки (рисунок 1). Крайние плиты считаются шарнирно опертыми с одной стороны на неподвижное основание.

Каждая плита разбивается на одинаковые прямоугольные участки и в центре каждого участка ставится вертикальная связь, через которую осуществляется контакт плиты с упругим основанием. Считается, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка. Полученную статически неопределимую систему решаем смешанным методом строительной механики [9], приняв за неизвестные усилия в введенных связях, линейные и угловые перемещения защемлений в центре каждой плиты и поперечные силы в соединительных шарнирах. На рис.2 приводится фрагмент основной системы для трех слева крайних плит.

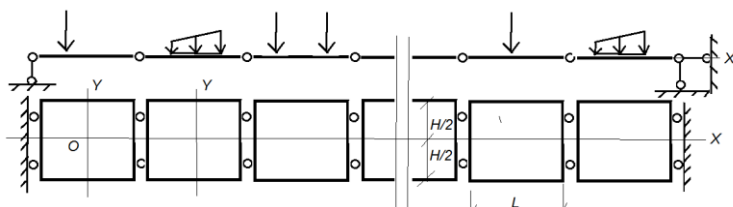


Рис. 1. Заданная система шарнирно-соединенных прямоугольных плит дорожного покрытия

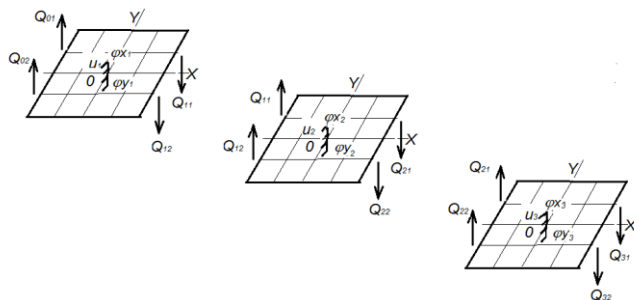


Рис.2. Левый фрагмент основной системы

Если обозначить число плит через Np , то общее число неизвестных усилий в связях Жемочкина, линейных и угловых перемещений введенных защемлений на плитах и поперечных сил в шарнирах для расчета этой системы плит выразится формулой

$$Np(m + 3) + 2Np + 2. \quad (1)$$

Результаты расчета. Расчеты выполнялись для системы из 7 шарнирно-соединенных дорожных железобетонных плит типа ПАГ размерами 4м x 3м x 0,18м из тяжелого бетона $C^{20/25}$ на комбинированном (трехслойном) основании со следующими характеристиками основания (рисунок 3):

$$E_2 = 25 \text{ МПа}; \nu_2 = 0.2; h_2 = 0.25 \text{ м};$$

$$E_1 = 15 \text{ МПа}; \nu_1 = 0.25; h_1 = 0.5 \text{ м};$$

$$E_0 = 12 \text{ МПа}; \nu_0 = 0.35.$$

Вторая, четвертая и шестая плита нагружены симметричной нагрузкой $R = 67,5 \text{ кН}$. Собственный вес каждой плиты - 54 кН. Принята разбивка каждой плиты на 6x5 равных прямоугольных участков.

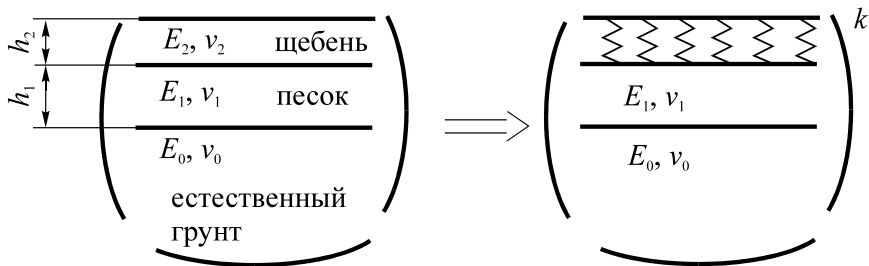


Рис.3. Модель трехслойного основания

На рисунках 4, 5 приведены результаты расчета шарнирно-соединенных гибких плит дорожного покрытия: распределение поперечных сил в соединительных шарнирах, осадки центров плиты, усилия в связях Жемочкина

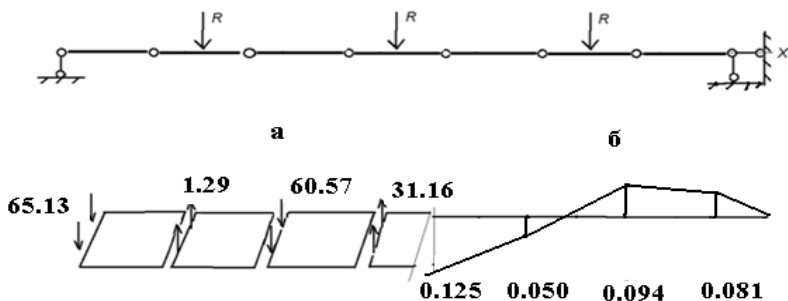


Рис.4. Результаты статического расчета шарнирно-соединенных гибких плит дорожного покрытия:

- а - распределение поперечных сил в соединительных шарнирах (кН);
- б - осадки центров плиты (мм).

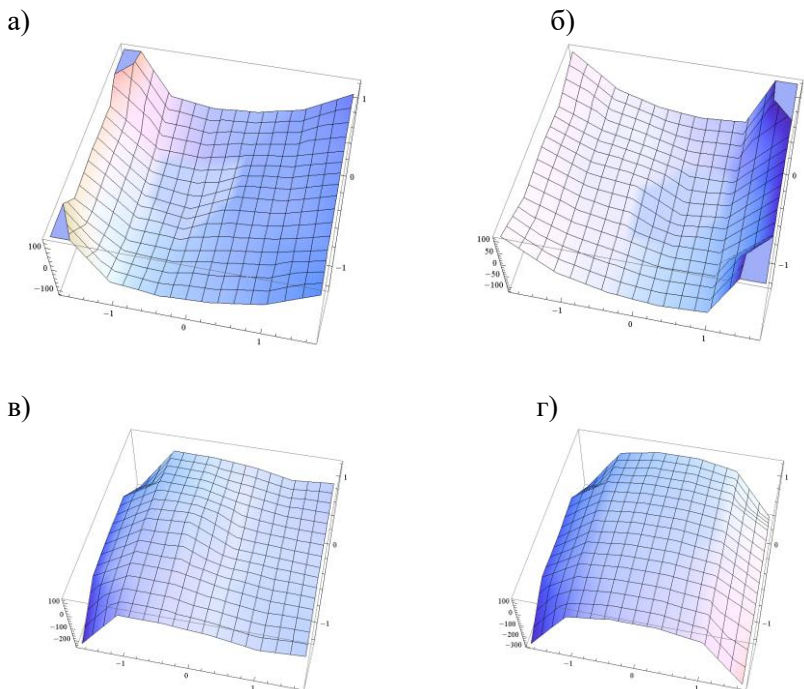


Рисунок 5 – Результаты статического расчета шарнирно-соединенных гибких плит дорожного покрытия: усилия в связях Жемочкина (кН)
 а) в первой слева плите; б) во второй слева плите; в) в третьей слева плите; г) в центральной плите.

Выводы. В работе получила развитие несложная универсальная методика статического расчета системы шарнирно соединенных прямоугольных плит дорожного покрытия типа ПАГ на комбинированном (трехслойном) упругом основании. Методика основана на методе Жемочкина и может быть обобщена на любое число сборных железобетонных плит дорожных покрытий и различные модели упругого основания.

Литература

1. Корнев Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании. М., Стройиздат, 1954.

2. Попов Г.Я. О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве. Изв. Вуз-ов, Строительство и архитектура, 3,1959. С.25-33.
3. Симвулиди И.А. Составные балки на упругом основании. М., Высшая школа, 1961. 204с.
4. Серебряный Р.В. Расчет тонких шарнирно-соединенных плит на упругом основании. М., Стройиздат, 1962.64с.
5. Юрьев А.Г. Балки и плиты с конструктивными и пластическими шарнирами на податливом основании.
6. Босаков С.В. Расчет шарнирно-соединенных прямоугольных жестких плит на основании Винклера / С.В. Босаков, С.И. Зиневич, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №3 (278) – 2018. – с. 8-10
7. Босаков С.В. Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании/ С.В. Босаков, С.И. Зиневич, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №4 (279) – 2018. – с. 2-5.
8. Козунова, О. В. Использование модели трехслойного основания в расчетах шарнирно-соединенных дорожных плит / О. В. Козунова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 49–52: ил. – Библ.: с. 52
9. Ржаницын А.Р. Строительная механика. М, Высшая школа, 1991.439с.
10. Жемочкин Б.Н., Сеницын А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М., Стройиздат, 1962. 239с.

Влияние высоты ребра, подкрепляющего технологическое отверстие в прямоугольной железобетонной плите, на ее жесткость

Вербицкая О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Выполнены исследования влияния ребер жесткости, обрамляющих прямоугольное отверстие в железобетонных прямоугольных плитах. Расчет железобетонной плиты выполнялся как нелинейно деформируемого элемента. Установлены максимальные значения прогибов гладкой плиты и плиты с отверстием, подкрепленным ребрами.

В промышленном строительстве очень часто приходится устраивать монолитные перекрытия. Технологические требования иногда предполагают наличие отверстий в таких перекрытиях. Это вызвано необходимостью пропуска вентиляционных каналов и устройством подъемников. Как правило, такие отверстия подкрепляются ребрами жесткости. Поэтому необходимо знать, как влияет само отверстие и обрамляющие их ребра на жесткость (рис. 1). Исследуем такую ребристую железобетонную плиту, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой по ее поверхности.

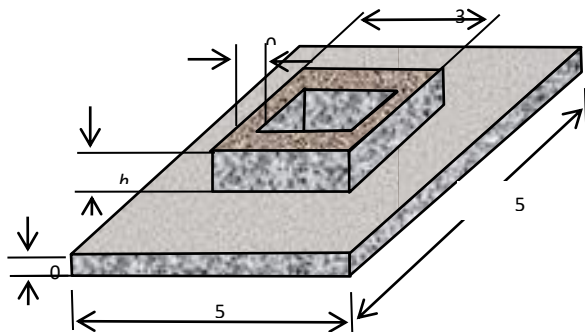


Рис.1. Прямоугольная железобетонная плита с отверстием, подкрепленным ребрами

Расчет выполним по программе *Sturm*. Компьютерная программа *Sturm* предназначена для расчета прямоугольных железобетонных плит с учетом нелинейного закона деформирования [1]. В программе предусмотрена возможность для устройства сквозных отверстий и ребер жесткости. Для расчета примем следующие исходные данные: размеры плиты в плане 5,6×5,6 м; толщина полки плиты 18 см; высота ребра переменная и меняется от 18 см до 40 см; модуль упругости арматуры 200 ГПа; средняя прочность бетона на растяжение 2,2 МПа; толщина защитного слоя арматуры 15 мм; нагрузка в виде равномерно распределенной силы 40 кН/м²; коэффициент Пуассона бетона 0,20; начальный модуль упругости бетона 32 ГПа; нормативное сопротивление бетона сжатию 20 МПа; нормативное сопротивление арматуры растяжению 400 МПа; площадь арматуры в ребрах жесткости 8,0 см²; допустимая ширина раскрытия трещин 0,4 мм.

Для анализа и сравнения результатов по программе *Sturm* выполнены расчеты прямоугольной гладкой железобетонной плиты, гладкой прямоугольной плиты с прямоугольным отверстием и прямоугольной железобетонной плиты с прямоугольным отверстием, подкрепленным ребрами жесткости (рис. 1). Максимальный прогиб гладкой прямоугольной плиты оказался равным 33 мм и располагался в ее середине. На рисунке 2 показаны карты изолиний прогибов для гладкой плиты и плиты с отверстием.

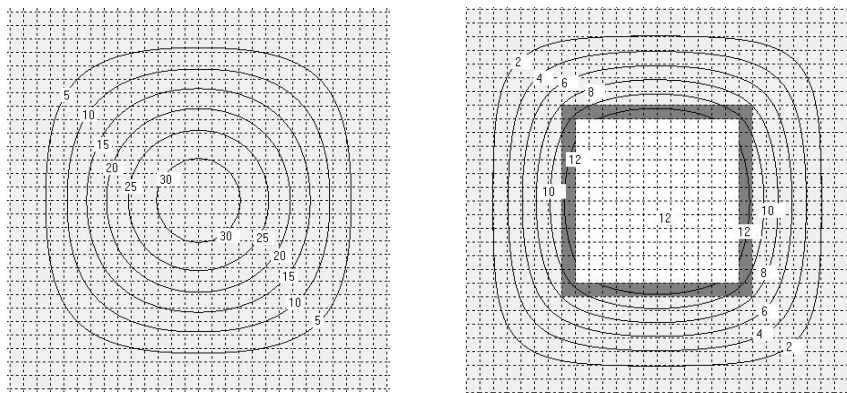


Рис.2. Карта изолиний прогибов сплошной прямоугольной плиты (слева) и плиты с отверстием, подкрепленным ребрами (справа)

Максимальные прогибы прямоугольной железобетонной плиты с отверстием, подкрепленным ребрами, зависят от высоты ребра и располагаются у краев отверстия. Что хорошо наблюдается на карте изолиний прогибов плиты (рис. 2).

Выполнены расчеты плиты с отверстием при различных высотах, подкрепляющих их ребер. Очевидно, что при площади сечения сетки $15 \text{ см}^2/\text{м}$ увеличение высоты ребра от 18 см до 42 см приводит к уменьшению максимального прогиба плиты от 13,5 мм до 9,43 мм. Если площадь сечения сетки меньше и принята равной $5 \text{ см}^2/\text{м}$, то прогибы становятся больше и равны при высоте ребра 18,0 см 28,9 мм, а при высоте ребра 42 см – 18,1 мм.

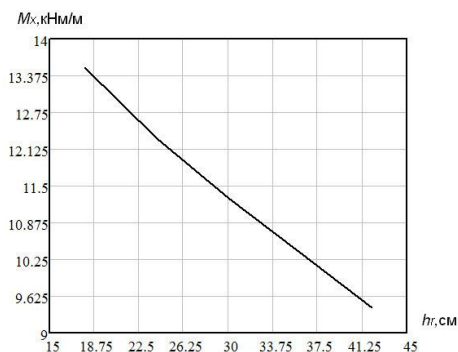


Рис. 3. График зависимости максимального изгибающего момента в плите с отверстием от высоты ребра

Получен график зависимости максимального изгибающего момента в плите с отверстиями и ребрами (рис.3). Можно установить, что зависимость имеет вид практически прямой линии. С увеличением высоты ребер жесткости максимальный прогиб значительно уменьшается.

Литература

1. Вербицкая, О.Л. Оптимизация физически нелинейных прямоугольных пластин кусочно-постоянного сечения: диссертация на соискание ученой степени к.т.н.: 05.23.17./О.Л. Вербицкая; БНТУ.– Минск, 2011. – 142 с.

Пример аппроксимации расчетных моментов и прогибов прямоугольной железобетонной плиты

Вербицкая О.Л.

Белорусский национальный политехнический университет

Дана оценка зависимостям изгибающих моментов и прогибов железобетонной прямоугольной гладкой плиты от величины нагрузки. Учтены нелинейность деформирования железобетонных элементов согласно нормам Республики Беларусь.

Хорошо известно, что железобетон представляет собой сложный композитный материал, который состоит из значительно отличающихся друг от друга материалов. Железобетон отличается своей нелинейностью и способностью к ползучести. Очень важно в железобетоне обеспечить совместность деформирования арматуры и бетона. Это связано с образованием трещин, проскальзыванию и сцеплению.

Если для моделирования железобетонных конструкций применяется метод конечных элементов, то должно быть учтено в процессе нагружения нелинейность деформаций. Хорошо известно, что нелинейность деформирования оказывает значительное влияние на характер распределения внутренних сил и величину деформаций. Существенный вклад в этом вопросе оказывает и трещинообразование, которое присутствует в растянутых зонах бетона.

Трудности учета выше указанных факторов, объясняются физико-механическими свойствами железобетона. Например, изгиб плиты следует рассматривается как статически неопределимую конструкцию. Это связано с необходимостью учета перераспределения внутренних сил между арматурой и бетоном. Стоит вопрос об участии ребер плиты в восприятии изгибающих моментов.

При проектировании сложилась такая ситуация, когда внутренние силы в элементах конструкции определяются в линейно-упругой стадии, условие прочности определяется из нелинейных деформаций и бетона и арматуры. Конечно, это дает значительные погрешности в результатах расчета. Это частично можно исправить введением понижающих коэффициентов.

Строительные правила Республики Беларусь рекомендуют производить расчет бетонных и железобетонных конструкций с учетом возможного образования трещин, а также неупругих деформаций арматуры и бетона (рис.1).

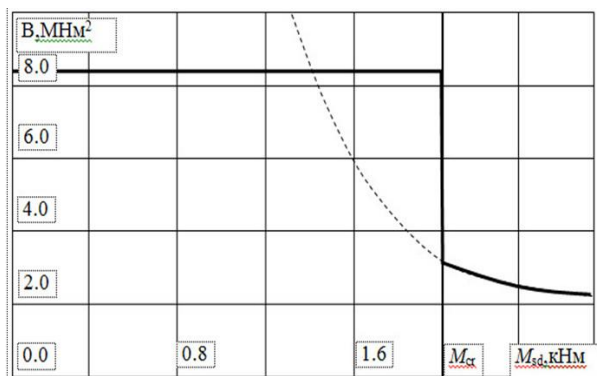


Рис.1. Зависимость жесткости плиты от величины момента

По рекомендациям СП изгибная жесткость плиты с учетом и без учета образования трещин вычисляется по формуле (1), имеет нелинейный характер и разрыв. Отметим, что жесткость плиты при изгибающем моменте меньшем моменту образования трещин M_{cr} не изменяется. Это значит, что элемент деформируется линейно. Если изгибающий момент больше момента образования трещин, то жесткость меняется по гиперболическому закону. На границе $M_{sd}=M_{rd}$ наблюдается разрыв зависимости (1).

$$B = \begin{cases} \frac{E_{c,eff} J_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{M_{cr}}{M_{sd}} \right)^2 \left(1 - \frac{J_{II}}{J_I} \right)}, & M_{sd} > M_{cr}; \\ E_{c,eff} J_I, & M_{sd} \leq M_{cr}, \end{cases} \quad (1)$$

где

$E_{c,eff}$ - эффективный модуль упругости бетона;

E_{cm} - модуль упругости бетона;

M_{sd} - расчетный изгибающий момент, вызванный действием нагрузки и установленный в результате расчета плиты;

β_1 - коэффициент, принимаемый согласно указаниям СП;

β_2 - коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки и принимаемый согласно указаниям СП;

J_I, J_{II} – моменты инерции сечения, соответственно, без трещин и с трещинами;

M_{cr} – момент образования трещин.

Понятно, что разрыв в законе деформирования железобетонного элемента создает практически непреодолимые сложности при расчете конструкций, связанные с невозможностью обеспечения сходимости решения нелинейной задачи. Для преодоления этой трудности в диссертации [1] функция (1) представлена приближена.

$$B = B_0 + \frac{3(B_{cr} - B_0) - M_{cr}C}{M_{cr}^2} M^2 + \frac{M_{cr}C - 2(B_{cr} - B_0)}{M_{cr}^3} M^3, \quad (2)$$

где

B_0 – жесткость при нулевом изгибающем моменте;

B_{cr} – жесткость при моменте равном моменту образования трещин;

M_{cr} – изгибающий момент, соответствующий образованию трещин;

C – производная функции жесткости на интервале $M > M_{cr}$;

M – расчетный изгибающий момент в сечении плиты от нагрузки, обозначаемый в СНБ как M_{sd} .

График этой функции приведен на рисунке 2.

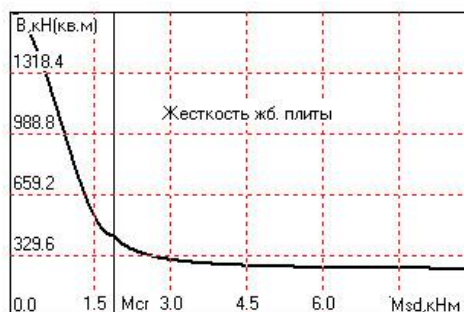


Рис.2. Аппроксимация жесткости нелинейно деформируемого железобетонного элемента плиты

Используя полученную зависимость, выполним расчет прямоугольной гладкой железобетонной плиты с шарнирно опертymi

краями по авторской программе *Sturm*. Пусть плита загружена равномерной распределенной нагрузкой p . Размеры плиты в плане $4,2 \times 4,2$ м; толщина плиты 120 мм; модули упругости арматуры и бетона соответственно равны 200 ГПа и 32 ГПа; коэффициент Пуассона бетона 0,2; толщина защитного слоя 15 мм; средняя прочность бетона на растяжение 2,2 МПа; Нормативное сопротивление бетона сжатию 20 МПа; нормативное сопротивление арматуры растяжению 400 МПа; площадь сетки $0,196 \text{ см}^2/\text{КЭ}$; допустимая величина ширины раскрытия трещин 0.4 мм; допустимый максимальный прогиб плиты 30 мм.

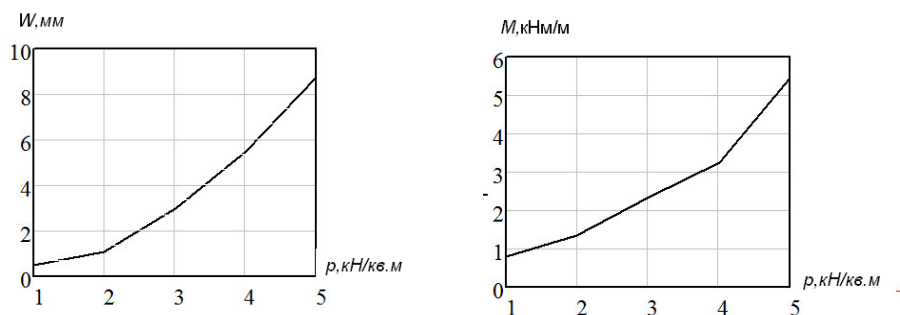


Рис.3. Максимальный прогиб и изгибающий момент в плите при различных нагрузках

На рисунке 3 приведены зависимости максимального прогиба и максимального изгибающего момента в плите от интенсивности нагрузки. Очевидно, что за счет нелинейности железобетона и прогиб плиты и изгибающий момент изменяются по нелинейному закону.

Литература

1. Вербицкая, О.Л. Оптимизация физически нелинейных прямоугольных пластин кусочно-постоянного сечения: диссертация на соискание ученой степени к.т.н.: 05.23.17./ О.Л. Вербицкая; БНТУ. – Минск, 2011. – 142 с.

Решение одной прикладной задачи методом управления системой с распределенными параметрами

Воронова Н.П., Березовский Н.И., Борисейко В.В.
Белорусский национальный технический университет

В статье исследуется процесс теплообмена в противоточном теплообменнике методом управления системами с распределенными параметрами. Решение задачи предлагается проводить численными методами, что позволяет оптимизировать процесс теплообмена.

Рассмотрим теплообменный аппарат, где теплообмен происходит между двумя движущимися средами соответственно со скоростями v_1 и v_2 . Задача управления проточным теплообменом относится к задачам управления системами с распределенными параметрами [1]. Распределение температур в движущихся средах обозначим $T_1(x, t)$ и $T_2(x, t)$, где x – координата по оси движения, t – время. В случае линейного закона теплообмена Ньютона процесс теплообмена между движущимися средами описывается системой [2]:

$$\begin{cases} k_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} + k_1 \frac{\partial T_2}{\partial x} v_1 + T_1 - T_2 = 0, \\ k_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} + k_2 \frac{\partial T_1}{\partial x} v_2 + T_2 - T_1 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты, характеризующие теплофизические свойства сред, $0 < x < l$, $t > 0$, l – длина теплообменника.

Для определения модели противоточного теплообменника зададим начальные и граничные условия в виде [3]:

$$T_1(x, 0) = T_1(x), \quad T_2(x, 0) = T_2(x), \quad (2)$$

$$T_1(0, t) = T_1(t), \quad T_2(l, t) = T_2(t). \quad (3)$$

В граничных условиях (3) принималось, что скорость v_1 совпадает по направлению с осью x , а v_2 направлена в противоположном направлении.

Функцию $T_1(t)$ можно рассматривать как управляющее воздействие [4]. Тогда задача управления таким аппаратом состоит в следующем: найти такое управление $T_1(t)$, при котором температура второй среды на выходе из теплообменника поддерживалась бы на заданном уровне $T^*(t)$, несмотря на изменение входной температуры второй среды $T_2(t)$ и изменение скорости $v_2(t)$, т.е. необходимо выполнение равенства

$$T_2(o, t) = T^*(t), \quad t \geq 0. \quad (4)$$

Равенство (2) в большинстве случаев на всем промежутке времени выполнить весьма затруднительно, тогда необходимо минимизировать отклонение $T_2(o, t)$ от $T^*(t)$, например с помощью функционала I_0

$$I_0 = \int_0^{t_0} [T_2(o, t) - T^*(t)]^2 dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

где t_0 – заданное время работы теплообменника.

Задача (1), (2), (3) может быть решена с помощью метода сеток с вычислением интеграла (5) методом Симпсона, используя узлы сеток [5].

Литература

1. Методы управления системами с распределенными параметрами/ А.Г. Бутковский. – М.: Издательство «Наука», 1975. – С.568.
2. Термодинамические процессы: учеб. для вызов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – С.397.

3. Техническая термодинамика: учеб. для студентов строит. и энергет. специальностей: в 2 ч./ Б.М. Хрусталева и др. – Минск: Технопринт, 2004. – Ч.2. – С.558.
4. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств/ Н.П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2009. – С.260.
5. Математическое моделирование энергосберегающих режимов нагрева, сушки и термообработки/ Н.П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2006. – С.86.

Математическая подготовка инженеров в контексте развития системы образования

Ерошевская Е.Л.

Белорусский национальный технический университет

В докладе обсуждается проблема преемственности в обучении математике при подготовке инженеров в техническом университете.

Современные социально-экономические изменения в обществе актуализируют потребность в подготовке творческих специалистов, готовых не только к репродуктивной, но и к продуктивной деятельности.

Инновационной тенденцией взаимодействия преподавателя и студента является нацеленность на приобретение компетенций будущего специалиста, что предполагает развитие личности студента.

Обучение учению – это не одноразовое мероприятие, а постоянная идущая работа в течение всего периода обучения.

Весторонний анализ преемственности в обучении дал доктор педагогических наук, профессор А.П. Сманцер. Он выделяет основные направления раскрытия сущности преемственности:

1) связь предыдущего материала с последующим, лежащая в основе сознательного и прочного усвоения обучающимися знаний и умений;

2) углубление и осмысление знаний на более высоком уровне;

3) повторение учебного материала и его взаимодействие с новым материалом;

4) пропедевтика в изложении учебного материала [1].

Конечной целью высшего образования является формирование профессиональной компетентности выпускника.

Теоретический анализ научных публикаций показал наличие противоречий между потребностью усиления математической подготовки будущих инженеров и их недостаточной школьной подготовкой по математике.

Получить информацию об уровне подготовленности студентов к обучению математике в техническом университете можно с помощью входного контроля знаний и умений. Для этого проводим контрольную работу за курс математики средней общеобразовательной школы. Этот контроль применяем в начале обучения дисциплине «Математика» для определения наличия у студентов общеучебных и специальных умений, познавательных интересов и творческих возможностей. Исследование показало, что средний балл по школьной математике у некоторых обучаемых невысокий. Следовательно, мы обязаны улучшить математическую грамотность обучаемых.

Со студентами проводим дополнительные занятия по выравниванию их математической подготовки, используя необходимые информационные и технические ресурсы.

Математика – фундаментальная дисциплина инженерно-технического образования по всем направлениям и специальностям.

Занятия математикой развивают системный подход к проблемной ситуации, аналитическое и алгоритмическое мышление, а также творческую интуицию – качества необходимые специалисту.

Поэтому процесс изучения математики способствует инновационному мышлению.

Изучение курса математики в техническом университете включает не только лекции, но и практику решения математических задач, что является уникальным тренингом по установлению логических связей.

Математика, как предмет, выгодно отличается от других тем, что ее содержание наполнено законами, отражающими причинно-следственные связи.

При проведении практических занятий по математике предлагаем студентам задания на два или три уровня сложности. Выбор уровня сложности задания зависит от интереса и от оценки студентом уровня достигнутых учебных результатов.

Как показала практика, целенаправленное использование разноуровневых заданий дает положительные результаты.

Студенты стремились выбирать задания более высокой степени сложности. Все это повышало уровень их математической подготовки, стимулировало возможности ее применения при изучении специальных дисциплин.

В процессе обучения математике студенты решают большое количество задач. Обучаемые должны знать, что к решению задач предъявляются следующие требования:

- 1) правильность решения, т.е. решение не должно содержать существенных и несущественных ошибок;
- 2) аргументированность решения, т.е. пояснительный текст должен содержать ссылки на аксиомы, теоремы, формулы и т.д.;
- 3) при решении математической задачи должны быть рассмотрены все возможные случаи. Неполное решение является существенным недостатком и снижает отметку;
- 4) рациональность решения.

Если задача предполагает несколько способов решения, то целесообразно при проверке и оценке работ студентов учитывать рациональность решения. Именно выбор наиболее рационального решения свидетельствует о высоком уровне математической культуры обучаемого.

Необходимыми условиями для получения положительной оценки (четыре балла) при проведении контроля по соответствующему разделу математики являются:

- 1) выполнение заданий поясняющего характера;
- 2) выполнение заданий, требующие для решения применение конкретной формулы или теоретического утверждения изучаемой темы, или теоремы, или свойства.

Инструментом приобретения знаний по математике, на наш взгляд может стать электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) дисциплины и модульно-рейтинговая система оценки знаний, умений и навыков студента, которая позволит обеспечить качество и оценить результаты обучения каждого студента.

Литература

1. Сманцер А.П. Теория и практика реализации преемственности в обучении школьников и студентов / А.П.Сманцер. - Минск: БГУ, 2013, -271 с.

Эффективные формы организации дистанционного обучения математике иностранных студентов в техническом университете

Ковалёнок Н.В., Чернявская С.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной статье идет подведение итогов и обобщение опыта работы по проведению занятий по математике со студентами первого курса из Узбекистана заочной формы получения высшего образования в дистанционной форме.

Ключевые слова: Microsoft Teams, пандемия, дистанционное образование.

Укрепление сотрудничества различных государств в области образования способствовало развитию системы обучения студентов разных стран. Белорусский национальный технический университет, как один из ведущих вузов страны, всегда был в авангарде педагогических инноваций, потому к данному периоду преподавательским составом накоплен огромный опыт работы с иностранными студентами очной формы образования.

С развитием компьютерных технологий и совершенствованием скорости интернета стали возможны и другие формы образования, в том числе дистанционная. О плюсах данной формы обучения в мировом педагогическом сообществе заговорили ещё в XX веке, отмечая доступность такого образования, возможность успешного совмещения трудовой и учебной деятельности, одновременного обучения в нескольких вузах и др. При этом отмечалась необходимость наличия самодисциплины у студентов, а также сформированности умений работать с текстовой и графической информацией на электронном устройстве. Отдельно упоминалась важность соответствия уровня технической подготовки преподавательского состава поставленным целям и задачам обучения.

Также следует отметить, что свои коррективы внесла пандемия, которая способствовала максимальному расширению дистанционной формы образования. В сжатые сроки необходимо было адаптироваться к удалённому обучению, предоставив студентам возможность изучать необходимые дисциплины, снизив риск заражения, сохранив при этом качество образования.

На данный момент мы можем говорить об эффективных формах организации дистанционного обучения математике иностранных студентов на примере студентов строительного факультета заочной формы образования из Узбекистана, которые не смогли прибыть в Беларусь на сессию в условиях пандемии. Для успешной подготовки иностранных студентов к сессии и её сдачи в сложившихся условиях важно было правильно выбрать программу дистанционного обучения, интерфейс, наполнение, функции которой позволят сделать процесс обучения максимально эффективным. С этой целью остановились на программе для дистанционного обучения Microsoft Teams. Эта программа содержит такие необходимые для обучения составляющие, как групповые чаты, возможность проведения конференций (как аудио-, так и видеоконференций), совместимость с различными сервисами Office 365. Удобным в использовании Microsoft Teams стало то, что к конференциям можно подключаться с использованием мобильной связи. Обмен документами в режиме видеоконференции, возможность осуществлять запись конференций, использование онлайн-доски, позволяющей визуализировать изучаемый материал, делают незаменимой данную программу. Следует отметить, что студентам из Узбекистана оказалось удобным совмещать в процессе обучения использование Microsoft Teams и известные мессенджеры. Общение, передача полезной информации в подобном тандеме стали продуктивнее.

Проанализировав опыт дистанционного обучения иностранных студентов, остановимся на следующих положительных моментах, способствующих повышению эффективности обучения.

Во-первых, чтение лекций и проведение практических занятий по математике проходят в онлайн-режиме, следовательно, моделируется образовательная среда, максимально приближенная к очному обучению, когда преподаватель и студенты находятся в аудитории.

Во-вторых, студенты могут задать вопросы, возникающие в процессе лекции или во время практики, оперативно получить ответы, следовательно, по окончании занятий студенты получают все нужные им знания, необходимые для дальнейшей профессиональной деятельности, сформированы умения, отработаны практические навыки.

Также нельзя не отметить возможность Microsoft Teams сделать видеозапись данного занятия и пересмотреть в удобное время. Данная функция полезна в условиях дистанционного обучения: часть студентов работает и, не может «присутствовать», однако благодаря записи и её просмотру в удобное для студента время, в том числе и неоднократно, уровень знаний, умений и навыков поддерживается на должном уровне.

В процессе обучения иностранных студентов стало важным то, что вся информация (образцы выполнения контрольных работ, индивидуальные варианты контрольных и экзаменационных работ и т.п.) доступны студентам в Microsoft Teams в любое время, а пересматривать, изучая, весь материал можно неоднократно.

Любые другие вопросы, касающиеся процесса обучения, решаются с помощью мессенджеров, что, как уже указывалось выше, повышает эффективность обучения, сокращает время, затраченное на изучение нового материала, обработку полученных знаний, формирование умений и навыков.

Как видно из вышеизложенного, немаловажным стал временной аспект, так как в условиях мобильного и сверхскоростного XXI века каждый час приобретает несоизмеримую весомость. В духе времени отправление выполненной студентом работы и проверенной преподавателем работы осуществляется в кратчайшие сроки. Студент практически по горячим следам видит результат своей деятельности, прорабатывает свои ошибки, имея возможность онлайн задать вопросы преподавателю и в скором времени получить ответы.

Однако опыт дистанционного обучения иностранных студентов показал не только положительные моменты подобного образования, но и обозначил болевые точки, требующие внимания и проработки.

Безусловно, заметен разный уровень владения иностранными студентами русским языком. В дисциплинах, изучаемых в техническом вузе, много терминологии, специальной лексики, не говоря уже об общеупотребительных словах, которые, к сожалению, далеко не все известны иностранным студентам. Здесь также следует отметить, что и скорость восприятия лекций неоднородная в силу разного уровня владения языком. С одной стороны, эта проблема решается возможностью пересмотреть записанные лекции, прокрутить их с остановками, обращаясь к словарям. Это безусловный плюс дистанционного обучения, однако во время занятий порой студентам сложно в необходимом темпе работать в силу непонимания части слов и синтаксических конструкций.

Следующей проблемой хотелось бы обозначить недостаточный уровень компьютерной грамотности у части иностранных студентов. Решается она за счёт привлечения к обучению мессенджеров. У студентов снимается тревожность, часть материала дублируется именно там, да и вопросы многим студентам проще задавать также в мессенджерах.

Настоящим бичом дистанционного обучения иностранных студентов из Узбекистана становятся как слабая скорость интернета, так и проблема его доступности: если в Самарканде проблем с доступом ко всемирной сети нет, то в кишлаках и сёлах он порой отсутствует. Естественно, решение данной проблемы вне компетенции вуза.

Следует отметить и разную степень подготовки среднего образования в разных странах и огромное расхождение с программой среднего образования Беларуси. В связи с этим важно особое внимание уделять периоду адаптации иностранных студентов, а также корректировке учебных программ с учётом уровня среднего образования в других странах.

Кроме того, важно сказать о разности менталитета иностранных студентов, что также вносит свои коррективы в процесс обучения и учитывается преподавательским составом. Однако, несмотря на трудности культурного, языкового барьеров, студенты из разных стран проявляют заинтересованность в обучении в нашем вузе, осознают необходимость получаемых знаний, умений и навыков, видят их актуальность.

Опыт дистанционного обучения математике иностранных студентов строительного факультета заочной формы образования показал эффективность и высокую результативность подобной формы обучения, чему способствует создание системы дистанционного обучения, выбор и использование соответствующих программ. Безусловно, возможности дистанционного обучения позволяют сохранять качество образования на высоком уровне, однако в данный период оно ещё требует доработки, но может быть самостоятельной и даже прогрессивной формой обучения, так как обладает определенными отличиями перед другими формами.

Статический расчет изолированной плиты дорожного и аэродромного покрытия

Козунова О.В.¹, Дудорга В.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет транспорта

Методика статического расчета изолированных плит дорожного и аэродромного покрытия на упругом основании до настоящего времени не исследована в полном объеме. Ниже представлен несложный универсальный подход к расчету дорожных плит на произвольном упругом основании, который базируется на способе Б.Н.Жемочкина с использованием соотношений смешанного метода строительной механики.

При моделировании упругого основания используются функциональные зависимости, описывающие особенности структуры неоднородного основания и учитывающие параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) его слоев. В дальнейшем эти зависимости называются функциями влияния Жемочкина и определяют вид и значения коэффициентов канонических уравнений смешанного метода.

Предлагаемая в работе методика аналитически алгоритмируется соотношениями строительной механики и численно реализуется с использованием компьютерного пакета «Mathematica». В результате расчета определяются параметры НДС изолированной плиты дорожного и аэродромного покрытия типа ПАГ на трехслойном основании, осадки основания и распределение контактных напряжений под ней при различных вариантах загрузки плиты нагрузкой от колеса автотранспорта.

Актуальность проблемы. Об изолированных плитах типа ПАГ и их применение в дорожном строительстве. При расчете строительных конструкций на упругом основании могут использоваться различные модели упругого основания [1,2], которые зависят от свойств упругого основания и их изменения. Для расчета изолированных плит дорожного и аэродромного покрытия действующи-

ми нормативными документами рекомендованы модели упругого основания в виде упругих слоев или полупространства.

В приводимой ниже работе авторы используют модель неоднородного (трехслойного) основания [3], которая больше всего приближена к реальным инженерно-геологическим условиям строительной площадки при расчете как изолированной дорожной плиты на упругом основании [4], так и их совокупности, например, дорожное или аэродромное покрытие из шарнирно-соединенных плит на слоистом основании [5].

Плиты аэродромные типа ПАГ - сборные предварительно напряженные крупноразмерные плиты из высокопрочного и морозостойкого бетона, выдерживающие значительные нагрузки. Аэродромные плиты изготавливаются в соответствии с: ГОСТ 25912-2015.

В зависимости от толщины плиты подразделяют на ПАГ-14, ПАГ-18 и ПАГ-20, прочность бетона на сжатие не ниже 29,4 МПа (300 кгс/см²). Плита аэродромная изготавливается с рифленой поверхностью. (показатель моментальной рабочей нагрузки - 75 тонн на м² при температуре -60 градусов).

Обозначение марок состоит из буквенно-цифровых групп, разделенных дефисом. Первая группа содержит сокращенное буквенное наименование плиты - ПАГ (плита аэродромная гладкая). В зависимости от толщины, аэродромные плиты называют: ПАГ-14, ПАГ-18 и ПАГ-20, где цифры 14, 18 и 20 в сантиметрах означают показатель высоты плиты. Выбор плиты зависит от условий ее эксплуатации, но наиболее популярны два вида маркировки плит - ПАГ 14 и ПАГ 18 (рисунок 1).

Основная сфера использования ПАГ-14 — строительство аэродромных дорог, взлетно-посадочных полос и площадок (рисунок 2). Помимо того, плиты ПАГ-14 находят широкое применение в дорожном строительстве, особенно для прокладки участков дорожного полотна, испытывающих повышенную нагрузку высоко тоннажного транспорта. Часто их используют для строительства временных дорог и для быстрой прокладки транспортных магистралей в удаленных местностях, для сооружения промышленных площадок и подъездных путей. Широко применяются они при строительстве портовых площадок и сооружений, а также военных полигонов. Сегодня плиты аэродромные ПАГ-14 широко используют для обу-

строительства складских и других промышленных территорий. Часто аэродромные плиты служат еще и для установки башенных кранов.

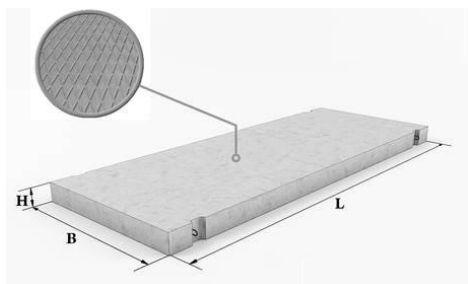


Рис.1. Плита аэродромная ПАГ-14



Рис.2. Взлетно-посадочная полоса

Аэродромные плиты типа ПАГ более долговечны, надёжны и безопасны с точки зрения соприкосновения поверхности и транспортного средства. Их укладка на грунт происходит в короткий промежуток времени. Одно из главных преимуществ аэродромных плит заключается в их многократном использовании. Аэродромные плиты б/у не теряют своих качеств. А цена на такие плиты гораздо ниже, чем на новые, поэтому их покупка очень выгодна. Высокая прочность плит обеспечивает долгий срок их службы.

Постановка задачи и алгоритм расчета. В данной работе рассматривается изолированная плита дорожного и аэродромного покрытия типа ПАГ размерами $2a \times 2b$ и цилиндрической жесткостью D под действием внешней статической или квазистатической

нагрузки (рисунок 3), которая опирается на упругое основание сплошным образом, без трения и скольжения.

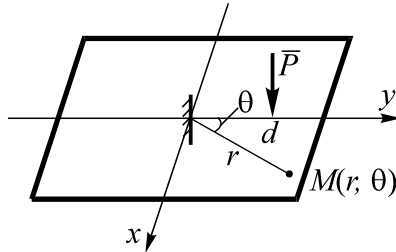


Рис.3. Расчетная модель изолированной плиты на упругом основании

Для статического расчета авторы используют способ Жемочкина [6], который является универсальным и позволяет рассчитывать дорожные плиты на различных моделях упругого основания.

Перемещения поверхности основания определяются по формулам [3], прогибы плиты с защемленной нормалью – по формуле [2] (см. рисунок 3).

Коэффициент постели верхнего упругого слоя трехслойного основания рассчитывается по формуле [1], как коэффициент постели по Винклеру

$$k = \frac{E_2(1-\nu_2)}{(1+\nu_2)(1-2\nu_2)h_2}, \quad (2)$$

которая справедлива при толщине упругого слоя $h_2 < \frac{b}{2}$.

Система канонических уравнений смешанного метода для изолированной плиты принимает следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{1,1}X_1 + \dots + \delta_{1,m}X_m - \varphi x_1 y_1 - \varphi y_1 x_1 + u_1 + \Delta_{1,p} = 0 \\ \dots \\ \delta_{m,1}X_1 + \dots + \delta_{m,m}X_m - \varphi x_1 y_m - \varphi y_1 x_m + u_1 + \Delta_{m,p} = 0 \\ \sum_{k=1}^m X_k y_k - M_x = 0 \\ \sum_{k=1}^m X_k x_k - M_y = 0 \\ - \sum_{k=1}^m X_k - R = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где m – число участков Жемочкина дорожной плиты;

$\varphi x_1 y_1$ – неизвестные перемещения введенного защемления на плите;

R, M_x, M_y – равнодействующая внешних сил и моменты равнодействующей относительно координатных осей;

X_k – сила в связи Жемочкина с номером k .

Полученная многократно статически неопределимая система решается смешанным методом строительной механики [7], приняв за неизвестные силы в контактных связях, а также два угловых и линейное перемещения введенного защемления нормали в центре плиты.

Выводы. В результате статического расчета были определены параметры НДС и осадки изолированной плиты дорожного и аэродромного покрытия типа ПАГ на трехслойном основании и распределение контактных напряжений под ней при различных вариантах загрузки плиты сосредоточенной силой от колеса автотранспорта. Кроме того, в цилиндрических шарнирах шарнирно-соединенных систем дорожных покрытий [5] можно определить поперечные силы и запроектировать эти узловое соединения.

Литература

1. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 639 с.

2. Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.

3. Босаков, С. В. Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании / С. В. Босаков, С. И. Зиневич, О. В. Козунова / Строительная механика и расчет сооружений. - 2018. - № 4 (279). - С. 2–5.

4. Козунова, О. В. Статический расчет дорожной плиты на слоистом основании / О.В.Козунова / Механика. Исследования и инновации. Вып. 11. – Гомель, 2018 – С. 134–138.

5. Козунова, О. В. Использование модели трехслойного основания в расчетах шарнирно-соединенных дорожных плит / О. В. Козунова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 49–52: ил. – Библ.: с. 52

6. Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М.: Стройиздат, 1962. – 239 с.

7. Ржаницын А.Р. Строительная механика / А.Р. Ржаницын// - М: Высшая школа – 1991 – 439с.

Применение информационных технологий на этапах дистанционного обучения

Крушевский Е.А., Кузнецова А.А.

Белорусский национальный технический университет

Дистанционное обучение само по себе существовало давно и без всяких информационных технологий. Хороший пример – заочная форма получения образования. Студентам по почте высылали учебную литературу, методические рекомендации, задания и также по почте отправляли в университет выполненные задания для проверки.

Таким образом, процесс дистанционного обучения сводился к двустороннему обмену информацией между преподавателем и студентом. Контроль знаний приходился на сессию – студент-заочник приезжал в университет на сессию, ему приходилось сдавать экзамен, сидя перед преподавателем, где незнание было скрыть достаточно сложно.

С развитием информационных технологий система дистанционного обучения претерпела значительные изменения. Сначала обычная почта была заменена электронной, потом появились всякие интернет-чаты, каналы, мессенджеры, социальные сети и тому подобное. Общение преподавателя со студентами стало происходить практически в режиме реального времени.

За последние полтора года интернет-технологии претерпели бурный рост. Немалая роль в этом – возникшая эпидемиологическая ситуация. Перевод практически всех видов занятий, зачетов и экзаменов в информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) способствовало появлению новых форм их проведения и новых программных продуктов

Рассмотрим особенности дистанционного обучения на примере предмета «Математика» или «Высшая математика». Лекция при ИКТ демонстрируют все свои недостатки. Если во время обычной лекции преподаватель легко может контролировать происходящее в аудитории, то при чтении лекции онлайн такой возможности нет. Начиная с технической сложности собрать 50-100 человек в класс и

заканчивая тем, что преподаватель просто не в состоянии физически проконтролировать присутствие такого количества людей на онлайн лекции.

На экране любого ПО ИКТ (Zoom, Moodle, Microsoft Teams) вы можете увидеть не более 16 - 25 человек. 100 человек вы никогда не увидите, и вы не будете знать, есть они на лекции или нет. Только после лекции вы сможете посмотреть отчёт о присутствующих. Однако нет никакой гарантии того, что даже те студенты, которые подключились к лекции и наличие на лекции которых можно проверить, будут слушать эту лекцию: они могут в это момент заниматься чем угодно.

Разумной альтернативой такой лекции является комбинированное занятие: преподаватель рассылает студентам ссылки на свою лекцию, записанную заранее в виде видеоклипа, а потом проводит групповую консультацию по разъяснению студентам всех возникших по этой лекции вопросов, а также по ходу этого задает наводящие вопросы для того, чтобы проконтролировать, просмотрел ли тот или иной студент данную лекцию, данный видеоролик или нет.

Так как же правильно читать лекцию студентам, находящимся на дистанционном обучении. Самый простой способ - поставить камеру, выйти к доске и прочитать лекцию. При этом формулы писать на этой же доске в надежде на то, что студенты что-то увидят на своём экране. Смешно думать, что студент, находящийся по ту сторону экрана, будет конспектировать вашу лекцию, он её просто посмотрит, никаких записей делать не будет. Т.е. к экзамену у студента конспекта лекций не будет.

Как заставить студента писать конспект лекций? Отметим, дистанционная лекция, прочитанная однажды, будет записана и будет храниться в материалах того или иного программного продукта. При желании студент сможет в любой момент пересмотреть её, уточнить некоторые моменты. Это заставляет преподавателя читать лекцию совершенно по-другому.

Вообще говоря существует два основных способа чтения лекции преподавателями. Первый способ – когда преподаватель практически диктует лекцию для того, чтобы студенты смогли записать её в конспект. Лекция превращается в диктант – достаточно скучное мероприятие. Студенты на слух могут написать что-то явно неправильное, переписать неправильно формулы с доски и потом предъ-

явить преподавателю эти формулы на экзамене, как формулы из конспекта лекций, что приводит достаточно неприятным ситуациям. При этом речь не идет о том, что студент приобретет нужную компетенцию прямо на лекции. Потому что он будет просто писать конспект, никаких других мыслей, кроме того, чтобы успеть записать фразу за преподавателем у него нет, никакой общей картины об изучаемой теме он не составит.

Другой способ – это когда преподаватель не диктует, каждую фразу говорит один раз, просто ведёт увлекательный рассказ от первого лица, а студенты слушают, не записывая в конспект ничего. Может даже часть из них и будут в теме, может даже кто-то что-то и поймёт концу лекции, но почти наверняка конспекта к экзамену у студента не будет. Возникает вопрос: а что студент будет помнить из того, что он понял на той самой лекции.

Поэтому преподавателю имеет смысл комбинировать оба способа: некоторые моменты рассказывать однократно, без необходимости записывать в конспект, другие моменты, например, определения и формулировки теорем, нужно повторять по несколько раз и контролировать, чтобы они были записаны в конспекте.

Как результат – у студента к экзамену будет небольшой конспект лекций, в котором будут собраны основные знания по изучаемой дисциплине, а также возможность пересмотреть запись той самой дистанционной лекции еще раз или даже несколько раз.

Также никто не отменял рассылку учебных пособий, ЭУМК и других материалов по изучаемой дисциплине.

Таким образом, определенные трудности и недостатки чтения лекций при ИКТ можно компенсировать другими положительными сторонами дистанционного процесса обучения.

В данной статье авторы остановились на примере чтения лекций при дистанционном обучении с помощью ИКТ. Подобному анализу имеет смысл подвергнуть также и проведение практических занятий онлайн, а также наиболее сложную и важную часть – текущую аттестацию (прием зачетов и экзаменов).

Вероятностные модели в архитектурных расчетах

Мороз О.А.

Белорусский национальный технический университет

В работе рассматриваются вопросы изучения темы «Теория вероятностей и математическая статистика» на архитектурном факультете технического вуза, а также построение и использование вероятностных моделей при решении задач строительной механики.

Одной из важных задач при преподавании математики студентам-архитекторам является ознакомление с основными разделами этой дисциплины, развитие логического мышления и расширение научного кругозора. Небольшой по объему курс математики (34 часа лекций и 34 часа практических занятий) можно охарактеризовать с философской точки зрения как упорядоченный, детерминированный. При разработке новой учебной программы курса появилась мысль ознакомить студентов и со случайными явлениями (с философской точки зрения с хаотичностью), т.е., некоторое количество учебного времени посвятить рассмотрению теории вероятностей. Необходимость изучения хотя бы азов комбинаторики и теории вероятностей связано с тем, что в современных условиях мы непременно и постоянно сталкиваемся с решением нестандартных задач, носящих проблемный характер. Вероятностный стиль восприятия и описания исследуемых объектов, явлений окружающего мира, умение находить верное решение в неопределенных ситуациях – все это формируется при изучении этой дисциплины. Вероятностный стиль мышления предполагает вариативность принятия решений, положительное отношение к случайному как создателю новых возможностей.

Комбинаторные методы получили развитие в средневековой Европе, поскольку они имели наглядный прикладной характер, интересующий человека (игра в кости, в карты и т.д.). Решение задач на комбинаторику и сегодня увлекательно для студентов. О зарождении теории вероятностей как науки можно говорить с 17-ого века,

когда были введены два фундаментальных понятия: числовая мера вероятности события и понятие математического ожидания случайной величины. В 18-ом веке было предложено систематическое изложение теории вероятностей в работах Якоба Бернулли. Лаплас, Гаусс, Пуассон в 19-ом веке определили общие тенденции, развилась теория ошибок. В 20-ом веке А.Н.Колмогоров дал классическую аксиоматику теории вероятностей. Вероятностные методы начали проникать в самые различные прикладные науки. В настоящее время на вероятностных методах построены теория микромира в физике, теория наследственности в биологии, К.Пирсоном разработаны алгоритмы математической статистики, изучение которой стало обязательным элементом образования практически по всем специальностям.

В архитектурном образовании и проектной практике применение теории вероятностей только зарождается. Представляется, что в недалеком будущем оно станет необходимым компонентом современного подхода к проектированию. Поэтому вероятностные методы в архитектурных расчетах необходимо применять уже сейчас. Ведь на стадии проектирования архитектором рассматривается идеализированная расчетная модель, которая отличается от реального сооружения. Случайный характер внешних воздействий влияет на фактические деформации, перемещения, напряжения, которые становятся случайными величинами. Поэтому, в итоге, надежность конструкции может быть определена лишь с помощью вероятностных методов строительной механики с привлечением методов теории вероятностей.

Так, например, для характеристики здания большое значение имеет соотношение размеров, которое в той или иной степени меняет параметры обтекания сооружения воздушным потоком. Исследования аэродинамики – весомая часть в общем объеме проектных работ.

Известно, что нормативное значение ветрового давления

$$\omega_0 = \frac{\rho \cdot V^2}{2},$$

где ρ – плотность воздуха ($\rho = f(p, t) \approx const$, p – давление, t – температура), V – скорость ветра.

Скорость ветра представляет собой случайную функцию времени, являющуюся пространственным вектором с координатами $V_x(t)$, $V_y(t)$, $V_z(t)$.

Распределение горизонтальных составляющих скорости ветра $V_x(t)$ и $V_y(t)$ определяют розу ветров. В качестве функции распределения скоростей ветра используют распределение Вейбулла

$$P(\omega) = 1 - \exp(-c\omega^b), \quad c > 0, \quad b > 0, \quad 0 < \omega < \infty.$$

Данный пример свидетельствует, что владение методами построения вероятностных моделей профессиональных задач является необходимым элементом подготовки современного конкурентоспособного архитектора, которому в своей проектной практике придется сталкиваться с самыми разнообразными и неожиданными задачами, требующими разрешения с применением теории вероятностей.

Ирако-британский архитектор Заха Хадид вывела поэтическую формулу архитектурного образования: «Я не думаю, что людей можно научить архитектуре. Людей можно только вдохновлять...». Этот тезис только подчеркивает многообразие мира, где архитектура как искусство и математика как наука взаимно дополняют друг друга.

Особенности преподавания математики на английском языке англоязычным студентам

Хотомцева М.А.

Белорусский национальный технический университет

Статья основана на опыте преподавания математических дисциплин на английском языке иностранным студентам из англоязычных стран в Международном институте дистанционного образования при БНТУ.

В настоящее время в условиях усиливающегося соперничества в сфере образовательных услуг только конкурентные учебные программы на английском языке способны привлекать иностранных абитуриентов.

Дефицит англоязычных программ коррелирует с крайне небольшим количеством публикаций по проблемам ведения академических дисциплин на английском языке. В этой статье обсуждается авторский двухлетний опыт преподавания математики студентам из Шри-Ланки в рамках двухлетней программы общеинженерной подготовки экспериментального проекта «Ассоциированная международная программа в области инженерии» (AIPE) и проблемы, которые возникли в процессе преподавания.

Первой проблемой стало составление рабочей программы по математическим дисциплинам. Система образования в Шри-Ланке имеет принципиальные отличия от белорусской системы как в структуре довузовского образования, так и в содержании образования.

Структура образования в Шри-Ланке разделена на пять частей: начальное, младшее среднее, старшее среднее, коллегияльное и высшее. Согласно законодательству Шри-Ланки, все дети обязаны посещать школу до 9 класса (14 лет), после чего они могут продолжить образование или пойти работать или заниматься фермерством. Студенты, получающие высшее образование, должны сдать экзамен на получение Общего сертификата об образовании (G.C.E) Ordinary Level, чтобы поступить в колледж и учиться еще 2 года (12–13

классы) для сдачи экзамена G.C.E Advanced Level. После успешной сдачи этого экзамена учащиеся могут перейти в высшие учебные заведения.

В задания экзамена G.C.E Ordinary Level по математике включают задачи на основы теории множеств (диаграммы Венна), операции с матрицами, первоначальную обработку дискретных и интервальных таблиц частот, задачи на применение теорем теории вероятностей с построением дерева принятия решений.

Экзамен на G.C.E Advanced Level содержит продвинутые задачи на операции с множествами, задачи на логические операции с высказываниями, задачи с доказательствами с использованием метода математической индукции, задачи на вычисление пределов, на дифференцирование композиций функций, вычисление определителей, знание законов распределения случайных величин, задачи на составление сетевых графиков проектов и нахождения критического пути.

Содержание программ по математике было разработано с учётом, что ланкийские студенты имеют сертификат G.C.E Ordinary Level.

Структура программы имеет некоторые отличия от рабочих программ, разрабатываемых в БНТУ: так, например, на первых страницах указывают аудиторные часы, рекомендуемую обязательную и дополнительную литературу, учебный ресурс (обычно Moodle), описание дисциплины, очень подробно результаты обучения (Learning Outcomes), методологию обучения, итоги работы университета в области подготовки (Institution outcomes). В программу включен раздел «Академическая политика», в котором даётся жёсткая оценка обману и плагиату на экзаменах.

Система оценивания студентов также имеет отличия — итоговая оценка за семестр (Numerical Score as %) получается путём сложения четырёх коэффициентов: выполнение еженедельных заданий – 20%, выполнение тестов – 30%, экзамен середины семестра – 20%, оценка за финальный экзамен – 30%.

При подготовке лекций и заданий для практических занятий использовались современная математическая литература на английском языке. Проблемой является то, что англоязычные пособия и учебники по математике имеют существенные отличия от учебников, написанных на русском языке. Англоязычная математика наце-

лена на практические приложения. Существует расхожее выражение, что основная цель западного математического образования является «Знать как?», а российского и, следовательно и белорусского, — «Знать почему?».

В результате многие наши студенты, умеющие преобразовывать громоздкие выражения при вычислении производных и интегралов, обращать матрицы большой размерности, решать системы линейных уравнений, оказываются бессильными уже в простейших комбинаторных, статистических или финансовых расчетах, путаются в графической информации, не могут формализовать и решить задачу, описанную в терминах конкретной житейской ситуации. Иностранные студенты всем этим навыкам уже обучены, что впоследствии облегчило проведение практических занятий.

Подготовка лекций и практических занятий на английском языке стало более трудоемким занятием, чем подготовка аналогичных материалов на русском языке. По моим подсчётам как преподавателя с большим опытом ведения дисциплин на русском языке (39-летний стаж работы в вузах) и владении английским языком уровня *Advanced*, на подготовку лекции и практического занятия на английском языке первый раз требуется в три-четыре раза больше времени, чем на подготовку лекции на русском языке.

Такое трудоёмкость вытекает из очевидного факта, что английский язык не является родным и используется эпизодически.

Следует отметить, что традиционный метод чтения лекций методом «начитки» материала неэффективен для иностранных студентов. Поэтому тексты лекций, презентации и задачи для практических занятий приходилось составлять заранее, отправлять студентам в социальные сети и размещать подготовленные файлы во *MS Teams*.

Понятно, что материалы были значительно больше по объёму рукописных конспектов. К примеру, на сдвоенную пару: лекция и соответствующее практическое занятие, приходилось составлять презентацию, содержащую от 30 до 40 слайдов. Кроме лекций и соответствующих им презентаций широко использовались видео материалы, подобранные в *YouTube*. Перед началом занятий каждому студенту предоставлялся раздаточный материал (*handout*), в котором он мог делать пометки. В ходе лекции внимание фокусиро-

валось на самом важном, материал обсуждался и закреплялся на примерах.

Другой обязательной составляющей учебного процесса являлось регулярное проведение тестов по содержанию лекций. Именно для математики на английском языке тесты принципиально важны, так с такой формой контроля знаний иностранные студенты уже знакомы.

Был организован экзамен середины семестра (mid-term exam) и организованы консультации.

И, наконец, за три недели до финального экзамена студентам для обсуждения были предложены образцы экзаменационных заданий, образец экзаменационного билета и образец итогового теоретического теста.

Совместная работа над решением типовых заданий позволила студентам успешно сдать экзамен по математике и продолжить обучение в европейских вузах в рамках совместного образовательного проекта.

Совершенствование англоязычных образовательных программ позволит университету повысить рейтинг и подняться на более высокую конкурентную позицию на глобальном рынке образовательных услуг.

Возможности и назначение компьютерной программы *PlitaFund*

Шевчук Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Разработан алгоритм и составлена компьютерная программа PlitaFund, предназначенная для расчета прямоугольных плит на упругом основании. Программа выводит на экран таблицы и эпюры прогибов плиты, изгибающих и крутящих моментов. Программа строит карты изолиний прогибов, изгибающих и крутящих моментов.

Компьютерные программы *Scad*, *Lira* и другие имеют заслуженную популярность у инженеров и ученых всего мира. Действительно, реализуя метод конечных элементов с помощью их можно выполнить расчеты различных строительных сооружений, фундаментов и оснований, машин и механизмов. Они позволяют выполнять расчеты с учетом пластических деформаций, геометрически линейных и геометрически нелинейных конструкций, в своей базе имеют заготовки типовых конструкций – плиты, оболочки, балочные системы. Однако, ряд исследований на этих программах автоматически выполнить невозможно. Например, учет динамику температурных режимов в процессе эксплуатации зданий, сооружений дорожных одежд и пр. Невозможно выполнять оптимизационные расчеты. Очень затруднительно подключать к ним собственные модули.

Потому появляется необходимость в составлении своих собственных компьютерных программ, имеющих более узкую направленность, но позволяющих легко подсоединять программные модули и приложения.

Сотрудниками кафедры “Математические методы в строительстве” разработан алгоритм и составлена компьютерная программа *PlitaFund*, предназначенная для статического расчета прямоугольных ребристых плит на упругом основании. Расчет плиты выполняется методом конечных элементов [1]. Предусмотрена возможность приложения вертикальной нагрузки в виде сосредоточенных сил, в

виде сосредоточенных моментов в двух плоскостях. В программе использовано основание Винклера, которое характеризуется коэффициентов жесткости.

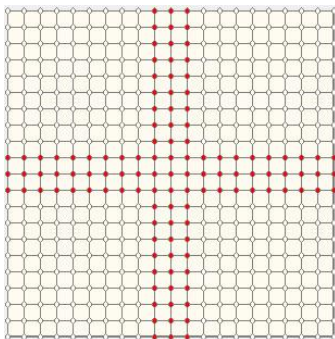


Рис. 1. Конечно-элементная схема и места приложения нагрузки

Исходные данные для программы *PlitaFund* задаются в виде отдельных величин и таблиц. На экран выводится конечно-элементная схема и в виде отмеченных точек места приложения нагрузки (рис. 1).

I\J	1	2	3	4	5	6
1	-1.727	-1.751	-1.806	-1.863	-1.897	-1.8
2	-1.698	-1.709	-1.746	-1.787	-1.810	-1.7
3	-1.649	-1.653	-1.678	-1.708	-1.722	-1.7
4	-1.580	-1.582	-1.600	-1.621	-1.628	-1.6
5	-1.495	-1.499	-1.512	-1.524	-1.524	-1.4

I\J	1	2	3	4	5	6
1	-0.022	-0.031	-0.042	-0.050	-0.055	-0.054
2	-0.034	-0.039	-0.046	-0.052	-0.055	-0.055
3	-0.046	-0.048	-0.053	-0.057	-0.060	-0.060
4	-0.056	-0.055	-0.059	-0.064	-0.067	-0.065
5	-0.062	-0.060	-0.064	-0.069	-0.072	-0.070

Рис. 2. Таблицы значений перемещений и внутренних сил в плите

Исходные данные проверяются на логические и числовые ошибки, а также программа выводит сообщение о наличии либо об отсутствии ошибок. Если ошибки не обнаружены, открывается возможность для выполнения расчета. Имеется справка по подготовке и управлению работой программой. Результаты выводятся в таблицу, содержащую значения перемещений, изгибающих и крутящих моментов (рис. 2).

На рисунке 2 приведены две многостраничные таблицы. В левой таблице приведены значения прогибов плиты и углы поворота ее сечений относительно осей X и Y , в правой – значения внутренних сил.

Программа *PlitaFund* так же строит на экране эпюры прогибов и углов поворота, изгибающих и крутящего моментов, а также эпюры нормальных и касательных напряжений. На рисунке 3 приведены эпюры прогибов W и изгибающих моментов M_x .

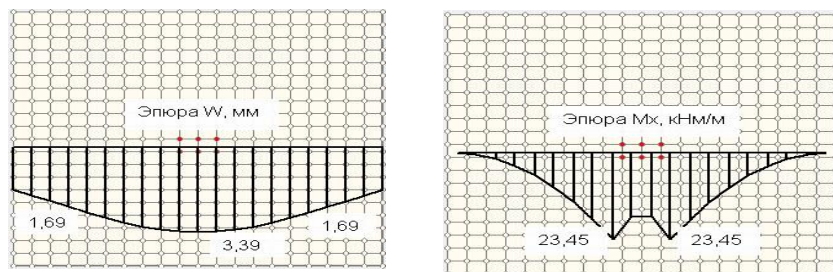


Рис. 3. Эпюры прогибов и изгибающих моментов по средней линии плиты

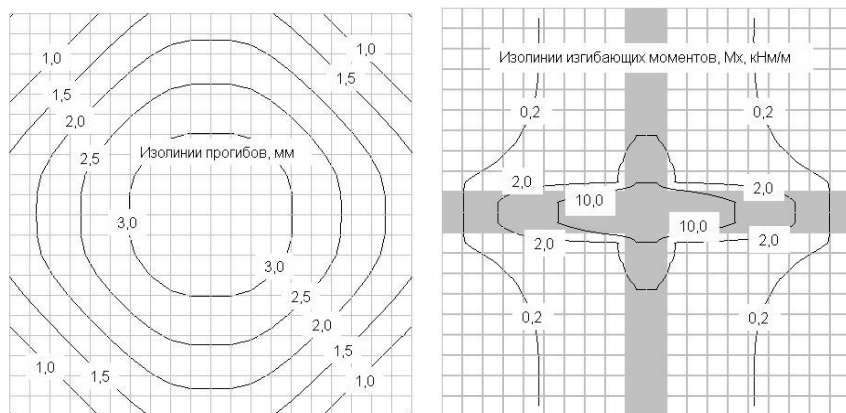


Рис. 4. Изолинии прогибов W и изгибающих моментов M_x

Для детального анализа распределения внутренних сил и прогибов плиты предусмотрено построение карт изолиний (рис.4).

Литература

1. Секулович, М. Метод конечных элементов/ М. Секулович. – Москва: стройиздат, 1993. – 664 с. (пер. с серб. Ю.Н.Зуева)

Задача оптимизации двухслойной прямоугольной плиты на упругом основании

Шевчук Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача оптимизации двухслойных и многослойных прямоугольных плит на упругом основании. Расчет плиты выполняется методом конечных элементов. В качестве основания принята модель Винклера. Для оптимизации использован метод сокращения ресурсов.

Ставится задача оптимизации многослойной плиты на упругом основании по стоимости затраченных материалов на ее изготовления. Статический расчет прямоугольной плиты выполняется методом конечных элементов. Численная модель построена из прямоугольных изгибных конечных элементов с четырьмя узлами и двенадцатью степенями свободы. Нагрузка прикладывается в виде вертикальных узловых сил. Используется винклеровское основание, представленное в виде упругих вертикальных стержней, прикрепляемых одним концом к узлам конечно-элементной модели, а другим – к жесткой опоре.

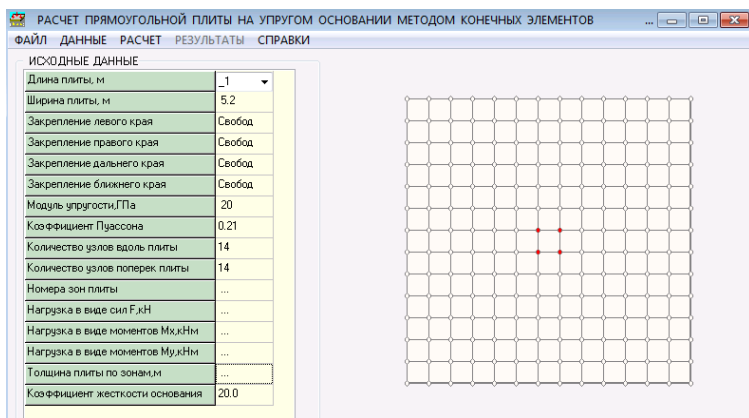


Рис. 1. Интерфейс компьютерной программы *PlitaFund*,

Принимается жесткость основания по осадке стандартного штампа. Для этого устанавливается закон изменения осадки абсолютно жесткой плиты от жесткости стержней, моделирующей винклеровское основание. Учет собственного веса плиты исключает ее отрыв от основания.

В качестве целевой функции принята стоимость материала, затраченная на изготовление плиты. Отметим, что стоимость материалов зависит от объемов ее слоев и цены материалов этих слоев $C(\vec{X})$, $\vec{X} \in R^n$. Параметры оптимизации ограничены сверху и снизу.

$$x_{k,\min} \leq x_k \leq x_{k,\max}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Кроме того, поставлены ограничения по прочности и жесткости

$$R_k - \sigma_{k,\max} \geq 0, \quad W_{adm} - W_{\max} \geq 0, \quad (2)$$

где

$x_{k,\min}$, $x_{k,\max}$ – максимальная и минимальная толщина k -ого слоя;

R_k – расчетное сопротивление материала k -го слоя;

W_{adm} , W_{\max} – допустимый и максимальный прогибы.

Разработан алгоритм и составлена программа оптимизации прямоугольной многослойной плиты с выбором шага поиска решения по ресурсам прочности и жесткости. Для сокращения времени статического расчета плиты используется средне взвешенный модуль

$$E_{eq} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k x_k}{\sum_{k=1}^n x_k}. \quad (3)$$

Для оптимизации двухслойной плиты на упругом основании использована технология, изложенная в работе [1].

$$x_k^z = \min \begin{cases} x_k^0 - \omega (x_k^0 - x_{k,adm}); \\ x_k^0 - \omega \left(\frac{W_{adm} - W_0}{W_s - W_0} \right) (x_k^0 - x_k^s); \\ x_k^0 - \omega \left(\frac{R - \sigma_0}{\sigma_s - \sigma_0} \right) (x_k^0 - x_k^s), \end{cases} \quad (4)$$

где

x_k^z – прогнозируемый параметр оптимизации;

x_k^0 – параметр оптимизации в центральной точке;

ω – множитель релаксации $0 < \omega \leq 1$;

x_{kadm} – минимально допустимая толщина;

w_{adm} – допустимый прогиб пластины;

w_0 – прогиб пластины в центральной точке;

w_s – прогиб пластины в базовой точке;

x_k^s – параметр оптимизации в базовой точке, соответствующей наименьшему объему пластины, т.е. в направлении которой совершается движение;

R – расчетное сопротивление материала;

σ_0 – максимальное напряжение в пластине, соответствующее центральной точке;

σ_s – максимальное напряжение в пластине, соответствующее базовой точке, в направлении которой совершается движение;

s – номер базовой точки;

k – номер параметра оптимизации.

Расчет начинается с назначения стартовой точки, расположенной в неограниченной области поиска. Для определения очередной точки поиска оптимального решения использованы ресурсы прочности и жесткости (1), (2) [1].

По результатам, полученным из выражения (4), определяется шаг текущего приближения

$$S = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k^z - x_k^0)^2}. \quad (5)$$

Как показали расчеты, приведенная выше технология позволяет выполнять оптимизационные расчеты не только двухслойных плит, но и многослойных.

Литература

1. Шевчук, Л. И. Оптимизация центрально загруженной прямоугольной плиты на упругом основании / Л. И. Шевчук, О. Л. Вербицкая // Автомобильные дороги, мосты и подземные сооружения: материалы Международной научно-практической конференции Белорусский национальный технический университет. – 2010. – Ч.1. – С. 373-378.

К вопросу о совершенствовании математической подготовки в техническом университете

Чернявская С.В., Коваленок Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Определяется ряд изменений содержания математического образования, связанных с новыми требованиями к инженерному образованию на современном этапе.

Для успешной конкуренции на рынке профессиональных услуг выпускник технического университета должен владеть основными математическими методами и уметь их применять для решения технических задач, а также составлять математические модели, проводить для них расчеты, анализировать полученные результаты и делать адекватные выводы и прогнозы. Его профессиональная подготовка невозможна без прочной математической основы, являющейся важнейшей составляющей в системе обучения современного специалиста инженерной направленности.

Надо отметить, что содержание курса вузовской математики является более чем полноценным по объему и глубине для эффективного решения профессиональных задач. Однако содержание этого курса необходимо периодически модифицировать, приводить в соответствие с современными тенденциями развития и достижениями в инженерных науках. По нашему мнению, основной курс математики в техническом университете сегодня является, с одной стороны, неоправданно усложненным, содержащим достаточное количество учебного материала, не применяющегося в профессиональной деятельности инженера. Преподаватели - приверженцы фундаментальной классической математики не всегда интересуются тем, как излагаемый ими курс будет применяться в дальнейшей профессиональной подготовке инженерных кадров. Поэтому вместо объяснения сущности фактов и методов решения они стремятся к формальной строгости и полноте изложения материала, которая необходима в изучении предмета на математическом факультете университета, но никогда не понадобится в инженерной практике. И, как след-

ствии такого всеобъемлющего изложения фундаментальных основ предмета на высоком уровне абстракции, недостаточно внимания уделяется его практическим приложениям, возникает оторванность от технических предметов, составляющих суть инженерного образования. В результате, студенты не видят корреляции между математическими и профессиональными знаниями, считают изучение математики формальным делом, теряют интерес к изучаемому материалу и предметы математического цикла остаются «ненужными», а развивающий потенциал математического образования – невостребованными.

С другой стороны, стандартный курс математики на сегодняшний день в недостаточной степени учитывает колоссальные обучающие возможности современных компьютерных пакетов прикладных математических программ, графических калькуляторов и других продуктов информационных технологий.

В связи с переходом на четырехлетний период обучения по инженерным специальностям, сократились сроки изучения математики, следовательно, изменяются общие цели обучения, разрабатываются новые учебные планы и рабочие программы, а также новые подходы к отбору содержания, методов, средств и форм обучения. Эти изменения обусловлены также и необходимостью учета в математической подготовке будущих инженеров появления новых видов компьютерного моделирования и математического эксперимента; изменения технологий инженерных расчетов и методов решения многих прикладных задач.

Целью изменения системы математической подготовки в инженерном университете, помимо учета современных тенденций в развитии технологий, является повышение престижа высшего инженерного образования и общего уровня фундаментальной подготовки будущего инженера; создание у студентов высокой степени мотивации к участию в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности.

На наш взгляд, обновленная модель обучения математике в техническом университете должна быть в большей степени ориентирована на «понимающее усвоение» предмета, а не на стандартное изложение теории с доказательствами всех теорем и формул, на повышение способности и готовности применять математические методы в решении конкретных инженерных задач, на привитие

навыков математического исследования прикладных вопросов (от выбора оптимального метода исследования до получения практически приемлемого результата с применением компьютерных средств). По сути, курс математики должен стать курсом прикладной математики, который вооружит студента основными теоретическими сведениями, необходимыми ему при изучении специальных дисциплин и обучит его соответствующему математическому аппарату.

Одна из главных целей обучения математике - формирование у студента потребности в профессионально-ориентированных математических знаниях, воспитание прикладной математической культуры, развитие логического и алгоритмического мышления. Студент должен быть уверен в том, что для овладения программой высшей школы ему понадобятся те знания, которые он получил в школе, а в вузе он получит знания, необходимые для его будущей работы. Однако, его ожидания не всегда оправдываются. Нестыковки программ и методик обучения школьной и вузовской математики были и остаются болевой точкой непрерывного образовательного процесса. Многим студентам-первокурсникам требуется прохождение адаптационных занятий в первом семестре обучения для того, чтобы воспринимать материал на лекциях по математике. И это явление, ставшее уже постоянной практикой, также должно быть отражено в изменении концепции математического образования в техническом вузе.

Содержание математического образования в университете должно быть целостной системой теоретических знаний и практических навыков, алгоритмов и методов, представляющих собой поэтапное расширение, углубление и взаимосвязь ранее полученных знаний. Оно должно строиться на модульной основе с укрупнением дидактических единиц и формированием сквозных математических умений.

Математическая подготовка должна быть единой системой взаимосвязанных и взаимозависимых комплексов сквозных математических (то есть общих в различных разделах математики) и профессионально - прикладных задач.

На наш взгляд, имеет смысл изменение структуры преподавания предметов математической направленности, в частности,

- разделение курса на основную и специальную части (выделение из базового курса ряда разделов в отдельные дисциплины соответственно направлению специальности),

- введение спецкурсов по методам вычислительной математики и другим главам математики, которые будут востребованы для изучения инженерных дисциплин,

- изменение подхода к составлению учебных заданий. Задания должны быть переориентированы в сторону их практической значимости для инженера. Скажем, формулировка задачи должна содержать не только фиксацию результата, но и варианты его достижения (например, решить несколькими методами, ответить на ряд смежных с этим заданием вопросов, спрогнозировать результат при некоторых изменениях условия). Последующее задание не должно воспроизводить предыдущее (по структуре, форме или содержанию), новое задание должно включать в себя знания и результаты, полученные при выполнении предыдущего (сцепленные задачи).

Отдельной большой задачей в изменении содержания преподавания математики в техническом университете является более широкое внедрение современных информационных технологий в учебную практику, поскольку это «осовременивает» как методы обучения, так и содержание образовательного процесса. Сейчас «парк» компьютерной математики составляют такие мощные математические системы, как Derive, MathCAD, MatLab, Wolfram Mathematica, Maxima и многие другие.

Работа в этих программах с математической моделью, а не с самим объектом исследования позволяет максимально быстро выявить свойства объекта и получить нужную информацию о нем, которую бывает сложно извлечь методами классической математики. Кроме того, для понимания и развития пространственного мышления очень важно иметь возможность «увидеть» математический объект средствами графической визуализации. Далее, применение компьютера позволит избежать громоздких математических выкладок и преобразований, что бывает полезно, если только эти выкладки не являются основным содержанием задачи, а служат только вспомогательным этапом для получения основного результата. Подчеркнем, что компьютерные математические системы применяются как вспомогательное, а не заменяющее учебный процесс средство. В основе процесса обучения лежит математика, а уже по-

том компьютерная технология как вспомогательный элемент. Тем самым исключается фактор замещения развития математического мышления на формальное применение компьютерных инструментов. Еще одной нужной областью применения компьютерных математических средств является проверка решения, полученного обычным способом. Отметим также, что программные средства компьютерной математики эффективны для организации самостоятельной работы студентов.

Таким образом, реализация стратегии развития математического образования будущего инженера требует коррекции направления образовательных «векторов» от обучения как догматически построенного процесса передачи фундаментальных знаний, к обучению как деятельности, направленной на развитие профессионально-прикладной математической компетентности при активном использовании компьютерных технологий, применение которых становятся неотъемлемой частью современного математического образования.

Литература

1. Рагулина, М.И. Изменение парадигмы математического образования в условиях информатизации./М.И. Рагулина.– Образование и наука, 2008, № 8 (56),– с.27-34.
2. Лунгу, К.Н. Модернизация математического образования студентов технических вузов./ К.Н. Лунгу.– Ярославский педагогический вестник, 2012, № 3,Том II (Психолого-педагогические науки),– с. 138-142.

**Секция
«Механизация и автоматизация
дорожно-строительного комплекса»**

Инженерное обеспечение расчистки полосы отвода дорог от нежелательной древесной растительности

Вавилов А.В.

Белорусский национальный технический университет

В статье обращено внимание на необходимость на полосе отвода автомобильных дорог постоянно удалять нежелательную древесную растительность, обеспечивая при этом безопасное движение подвижного состава, особенно на поворотах за счет обеспечения хорошей видимости. Одновременно обращается внимание на использование удаляемой древесной растительности, которая при ее измельчении является хорошим топливом для энергетических установок [1-7]. Но поскольку в полученном топливе не должно быть примесей почвогрунта предлагается отдельно удалять надземную часть от подземной, корневой.

Для расчистки полосы отвода дорог от нежелательной древесной растительности необходимо подобрать технические средства, которые бы с наименьшими затратами удаляли надземную часть растительности и превращали пни с корнями в мульчу.

Срезание и пакетирование надземной части древесно-кустарниковой растительности рекомендуем выполнять с помощью срезающе-пакетирующего рабочего органа (рис. 1), монтируемого на рукояти одноковшового гидравлического экскаватора (рис. 2).



Рис. 1. Срезающе-пакетирующий рабочий орган

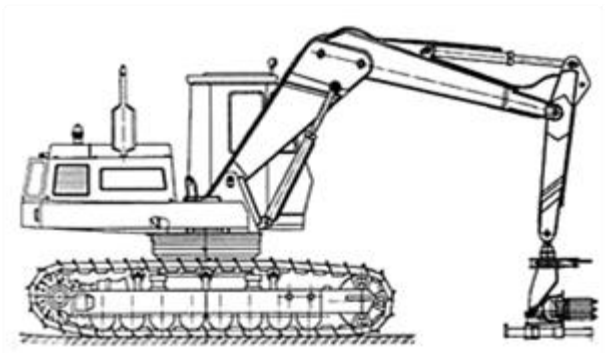


Рис. 2. Срезающе-пакетирующий рабочий орган на базе экскаватора

Пакеты растительности собирают, грузят и транспортируют к месту переработки с помощью подъемно-транспортных машин (рис. 3). Переработка на щепу осуществляется с помощью рубильной машины, оборудованной бункером-накопителем щепы (рис. 4). После наполнения бункера-накопителя щепы отвозится к контейнеру топливовоза (рис. 5). Контейнер съемный и по мере его заполнения топливовоз, оборудованный системой «мультилифт» поднимает контейнер и загружает его на себя.



Рис. 3. Подъемно-транспортные машины



Рис. 4. Рубильная машина, оборудованная бункром-накопителем



Рис.5. Топливозы

Если транспортировать приходится щепу на большое расстояние, топливозов может перегрузить контейнер со щепой на прицеп, а затем снова загрузить на себя. Таким образом образуется автопоезд (рис. 6). Щепа таким образом доставляется на котельную, приспособленную для ее сжигания (рис. 7).

Оставшиеся пни с корневыми системами рекомендуем измельчать в мульчу с помощью рабочих органов – мульчеров, монтируемых, как сменные рабочие органы, на одноковшовые гидравлические экскаваторы (рис. 8).



Рис.6. Автопоезд для доставки щепы на котельную

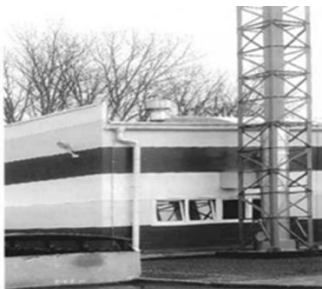


Рис.7. Котельная, приспособленная для сжигания щепы






Рис.8. Рабочий орган – мульчер, смонтированный на одноковшовом экскаваторе

Для обеспечения эффективной работы мульчеров за рубежом разработан их типоразмерный ряд, что позволяет в зависимости от диаметра растительности подбирать мульчер с экскаватором требуемой мощности в таблице 1.

Таблица 1. Типоразмерный ряд мульчеров

Марка мульчеров, предлагаемых на белорусском рынке		Макс. диаметр обрабатываемой растительности, см	трава	кусты	деревья	пни
	H3 2-5 тонн	3				
	H-SMWA-K 3-8 тонн	5				
		12				
	H-SMO-B 5-13 тонн	7				
	MINI-BMS 5-10 тонн	10				
	BMS-L 7-15 тонн	7				
		12				
	BMS-F 10-20 тонн	20				

	BMS 15-25 тонн	25				
	SUPER- BMS 25-45 тонн 200-370 л/мин	40				
	STAR- FC hyd 15-35 тонн	40				

Заключение

1. Обращено внимание на необходимость на полосе отвода автомобильных дорог постоянно удалять нежелательную древесную растительность, обеспечивая при этом безопасное движение подвижного состава, особенно на поворотах за счет обеспечения хорошей видимости.

2. Обращено внимание на использование удаляемой древесной растительности, которая при ее измельчении является хорошим топливом для энергетических установок.

3. Предлагается раздельно удалять надземную часть от подземной, корневой, поскольку в получаемом топливе не должно быть примесей почвогрунта.

4. Предложено инженерное обеспечение расчистки полосы отвода автомобильных дорог от нежелательной древесной растительности с помощью эффективных машин и оборудования.

Литература

1. Вавилов, А.В. Технологические аспекты и оборудование для получения энергии из биотоплива / А.В. Вавилов // Вестник БНТУ. 2004. № 1. С. 68-73.
2. Вавилов, А.В. Ресурсосберегающие технические средства для топливообеспечения энергетических установок на биомассе / А.В. Вавилов. Минск: Стринко, 2006. 182 с.
3. Производство топливной щепы на объектах Минскзеленстроя / А.В. Вавилов [и др.] // Городское хозяйство. 2008. № 6. С. 15-16.
4. Вавилов, А.В. Необходим эффективный механизм топливообеспечения энергоустановок на биомассе / А.В. Вавилов // Энергоэффективность. 2005. № 3. С. 7.
5. Технология производства топливной щепы и системы машин для их реализации / А.В. Вавилов [и др.] // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 20-23.
6. Вавилов, А.В. Еще раз об эффективности использования местного древесного топлива / А.В. Вавилов // Энергоэффективность. 2008. № 4. С. 17-18.
7. Вавилов, А.В. Дополнительные резервы топливной древесины и пути их использования в Беларуси / А.В. Вавилов // Энергоэффективность. 2009. № 5. С. 12-13.

Новые направления совершенствования гидроударных устройств для механизации дорожно-строительного комплекса

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Новые направления совершенствования гидроударных устройств для механизации дорожно-строительного комплекса развиваются на базе роторных гидрораспределителей, смонтированных в замкнутом контуре объемной гидростатической передачи с регулируемым насосом и автоматизированным регулированием скоростей движения выходных звеньев гидродвигателей.

Повышение энергии удара достигается за счет однонаправленного непрерывного вращения роторного гидрораспределителя, исключая возникновение режимов «короткого замыкания» гидроударной установки и автоколебаний элементов гидроаппаратов, обеспечивая их высокую надежность и большую мощность, значительное снижение шума и вибрации во время работы дорожно-строительной техники.

Современные тенденции развития дорожно-строительного комплекса в Беларуси определяются новыми технологиями производства строительных и ремонтных работ, таких как: использование отходов бетона и железобетона в качестве вторичных материальных ресурсов, разрушение старого асфальтобетонного покрытия с дальнейшим его использованием в качестве измельченного материала при строительстве нового дорожного покрытия. Вопросы вторичного использования железобетонных и асфальтовых отходов для получения новых строительных материалов требуют интенсивного совершенствования конструкций строительных и дорожных машин с повышенным уровнем автоматизации и высокой производительностью на основе экономических и экологических принципов [1].

Гидроударные устройства на базе универсальных экскаваторов, погрузчиков и других многофункциональных строительных машин являются основной техникой, которую интенсивно применяют для разрушения старых малоэтажных зданий перед застройкой современных сооружений, при ремонте дорог – для разрушения и удале-

ния старого покрытия перед укладкой нового дорожного полотна. При этом современные масштабы строительства требуют повышения энергии гидроудара и увеличения производительности установок [2].

Гидропривод ударного действия в конструкции оборудования для разрушения железобетонных плит ликвидируемых старых сооружений и асфальтобетонных покрытий ремонтируемых дорог позволяет регулировать частоту и амплитуду ударов, управлять энергией гидромолота [3].

На основе гидроударных устройств в конструкциях рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин (экскаваторов, бульдозеров, погрузчиков) создаются ковши активного действия, позволяющие разрабатывать грунты 4 категории без предварительного рыхления [4].

Эффективное применения гидроударных устройств в конструкциях объемного гидропривода сменных рабочих органов многофункциональных дорожно-строительных машин позволит повысить их производительность, конкурентоспособность, экономичность и экологическую защищенность.

Наибольшее распространение среди известных типов гидроударных устройств получили гидропневматические конструкции. К преимуществам гидропневматических ударных устройств следует отнести: компактность, низкую металлоемкость на единицу энергии удара, простоту регулирования энергии удара изменением давления зарядки газа в пневмоаккумуляторе.

Совершенствование гидроударных рабочих органов машин дорожно-строительного комплекса

Совершенствование современных гидроударных установок проводится в направлении оптимизации структуры и основных параметров гидроприводов, реализующих новые энергосберегающие технологии, повышение надежности, мощности и производительности рабочего гидроударного оборудования [5].

Известные гидравлические устройства гидроударного действия [1], содержащие корпус, ударную массу, закрепленную на корпусе, гидроцилиндр с силовым поршнем, шток которого соединен с ударной массой, золотниковый, крановый или клапанный гидрораспределитель, плунжер, взаимодействующий с торцевой поверхностью

силового поршня, - работоспособны и применяются на практике. Однако, рассматриваемые конструкции гидроударного действия имеют ряд недостатков, среди которых: значительные потери гидравлической энергии при реверсировании запорных элементов возвратно-поступательного действия (золотников, крановых пробок, клапанов, пластин и т.д.) - до 20% энергии цикла вследствие, так называемого, "короткого замыкания" золотника или другого запорного элемента.

Сравнительный анализ предлагаемых в работе схмотехнических решений позволяет оценить значительное число факторов, влияющих на процессы создания и внедрения в производство новых технических решений в конструкциях гидроударного действия.

Предлагаемый усовершенствованный вариант конструкции гидропривода с гидроударными устройствами для строительной машины представлен на принципиальной схеме (рис. 1).

Предлагаемая конструкция гидропривода строительной машины включает гидроударное устройство, расположенное в корпусе 1, в котором совершает возвратно-поступательные движения боек 2, нанося удары по рабочему инструменту 3. Привод бойка осуществляется под воздействием рабочей жидкости, подаваемой насосом 4 с регулируемым рабочим объемом, который подает рабочую жидкость в полости гидроударного механизма через роторный гидрораспределитель 7, приводимый во вращение от вала 16 гидромотора 6. Вращающийся роторный элемент 7 гидрораспределителя через каналы 8 и 9 посредством рабочих окон 10, 11, 12, 13, выполненных в корпусе гидрораспределителя, осуществляет изменение направления потоков жидкости в контуре гидроударного устройства, обеспечивая возвратно-поступательное движение ударной части.

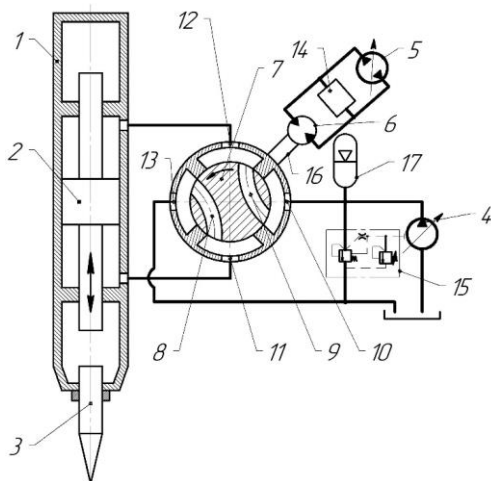


Рис.1. Гидроударное устройство на базе роторного гидрораспределителя, подключенного в замкнутом контуре объемной гидропередачи

Гидромотор 6 подключен посредством замкнутого контура к насосу 5 с регулируемым рабочим объемом, позволяющим производить настройку частоты ударов по рабочему инструменту. В замкнутом контуре гидронасоса 5 и гидромотора 6 установлен блок управления 14, который включает в себя предохранительные и обратные гидроклапаны, систему подпитки от дополнительного насоса. Замкнутый контур привода роторного гидрораспределителя более компактный по сравнению с разомкнутыми контурами, так как не содержит в конструкции гидробак для основного насоса и позволяет автоматизировать процесс управления исполнительными элементами системы. Предохранительный гидроклапан непрямого действия 15 установлен в участке гидросистемы, в котором может возникнуть повышенное давление. Пневмогидроаккумулятор 17 поддерживает постоянный уровень рабочего давления в напорной магистрали.

Вращение распределительного элемента роторного гидрораспределителя 7 во время рабочего и холостого хода бойка гидроударного устройства позволяет значительно повысить быстродействие машины, производительность и мощность вследствие исключения режимов остановок и автоколебаний запорных элементов. Плавное непрерывное вращение роторного распределительного элемента

позволяет существенно уменьшить вибрацию и шум во время работы устройства. Конструктивные достоинства предлагаемого технического решения гидроударных устройств повышают надежность и долговечность проектируемой техники, увеличивают производительность, мощность и обеспечивают хорошие экологические и эргономические условия для оператора, управляющего машиной.

Расчет параметров объемного гидропривода на базе роторных гидрораспределителей с гидравлической обратной связью базируется на решениях разработанной математической модели нестационарного потока в разветвленной гидросистеме с учетом энергетической модели накопления повреждений и микроразрушений стенок каналов при воздействии повышенного внутреннего давления.

Заключение

1. Совершенствование гидроударных рабочих органов машин дорожно-строительного комплекса возможно в направлении эффективного применения роторного гидрораспределителя, подключенного к валу гидромотора, работающего в замкнутом контуре объемной гидропередачи с регулируемым насосом.

2. Значительный экономический эффект от внедрения в производство гидроударных устройств на базе роторных гидрораспределителей, подключенных в замкнутом контуре объемной гидропередачи, обеспечивается повышением быстродействия машины вследствие исключения режимов остановок и автоколебаний запорных элементов гидроаппаратов, что гарантирует, в свою очередь, повышение мощности и производительности при высоких показателях коэффициента полезного действия, высокий уровень автоматизации управления установкой и экологическую безопасность.

3. Определение параметров объемного гидропривода гидроударного устройства на базе роторного гидрораспределителя, подключенного в замкнутом контуре автоматически регулируемой объемной гидропередачи, базируется на решении математической модели нестационарного потока с учетом энергетической модели накопления микроразрушений стенок каналов при воздействии повышенного давления.

Литература

1. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации: Учеб.для строит.вузов/С.С.Добронравов, В.Г.Дронов – М.:Высш.шк., 2003. – 575 с.
2. Смоляк, А.Н. Эффективное применение гидроударных устройств для механизации дорожно-строительного комплекса/ А.Н. Смоляк// Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции/ Белорусский национальный технический университет; редкол.: С.Е. Кравченко (гл.ред) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. –С.207-212.
3. Вавилов, А.В. Повышение уровня автоматизации строительных машин – гарант их конкурентоспособности/А.В. Вавилов, А.Н. Смоляк//Строительная наука и техника. – 2008.-№3(18). – С.74–78.
4. Галдин, Н.С. Ковши активного действия для экскаваторов: Учебн. пособие/ Н.С. Галдин, Е.А. Бедрина// Изд-во СибАДИ. – Омск, 2003. – 53 с.
5. Смоляк, А.Н. К вопросу совершенствования автоматизации управления строительными и дорожными машинами с гидравлическим приводом/А.Н.Смоляк//Вестник БНТУ. – 2007. – №2. – С.9–12.

Применение систем контроля и управления доступом в инженерных сооружениях

Антоневич А.И.¹, Гуминский П.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «Беллифт»

СКУД (система контроля и управления доступом) – это совокупность технических средств, направленных на контроль входа и выхода в помещение с целью обеспечения безопасности и регулирования посещения определённого объекта.

С помощью системы идентификации (карта, брелок, отпечатки, универсальный код и т.д.), программа индивидуально для каждого рассчитывает его график работы, время прихода и ухода, время, потраченное на перерывы и обед.

Главными задачами систем контроля являются:

- наложение ограничений на вход;
- допуск в помещение определённому кругу лиц;
- контроль рабочего дня;
- обеспечение безопасности;
- расчет зарплаты, при интеграции с бухгалтерской системой.

Системы контроля и управления доступом имеют следующие составляющие:

- преграждающее устройство (электромагнитные замки, двери, турникеты);
- идентификатор (карточка, брелок, отпечаток пальца);
- контроллер – механизм, определяющий пропускную возможность идентификатора;
- считыватель – устройство, определяющее код идентификатора и передающее его на контроллер.

Можно выделять три группы систем:

Автономные системы. Такие устройства являются альтернативой дверным замкам, как правило, в коммерческих помещениях. В систему вносятся коды карт доступа, которым разрешён вход. При совпадении карты и запрограммированного кода в системе, замок

отпирается. Эти системы не требуют подключения к компьютеру и обладают минимальным набором функций.

Недостатки Автономной СКУД:

- В простых контроллерах доступа как правило нет возможности удалить отдельный ключ из памяти; чтобы удалить потерянные ключи, необходимо стереть всю память и заполнить заново актуальными.
- Простые автономные контроллеры не поддерживают расписания и группы доступа.
- Контроллер автономной СКУД не хранит информацию о входах и выходах пользователей.
- В отличие от сетевых и части биометрических СКУД автономные системы не предназначены для учета рабочего времени.

Сетевые. Такие СКУД имеют больше возможностей: они могут настраивать доступ в помещение по расписанию, контролируют график работы и интегрируются с видеокамерами, охранной и противопожарной системами. Сетевые системы соединены с компьютером и управляются дистанционно.

Недостатки Сетевой СКУД:

- Возможность взлома системы. Карты доступа могут быть потеряны или украдены, ими может воспользоваться злоумышленник, в отличие от биометрических систем, например, дактилоскопических, где существует защита от предъявления муляжей.

Биометрические системы. Эти системы контроля и управления доступом имеют индивидуальную направленность: уникальный код каждого сотрудника. В программу заносятся отпечатки пальцев или рисунок радужки глаза. Такой подход обеспечивает более высокий уровень безопасности и предоставляет более полную информацию по каждому сотруднику каждого отдела. С помощью биометрической системы есть возможность вести журнал посещений, контролировать время, потраченное работником на перерывы и командировки.

Достоинства Биометрической СКУД:

- Сотрудникам различных подразделений могут задаваться разные расписания и зоны доступа.

- Биометрическая система контроля доступа включает в себя функцию учета рабочего времени сотрудников и формирования отчетов по формам бухгалтерского учета.
- Сетевой контроллер доступа хранит журнал событий: входов, выходов пользователей и аварийных открытий двери.
- Проверка личности пользователя занимает всего несколько секунд.
- Биометрические показатели невозможно подделать.

Недостатки Биометрической СКУД:

- Биометрические системы контроля доступа дороже аналогичных систем, использующих для доступа бесконтактные карты. Но с каждым годом цена становится ниже.
- При числе пользователей более 1000 необходимо введение двухфакторной системы идентификации: по карте доступа и отпечатку.
- Временные пропуски невозможны.

Идентификаторы.

В качестве идентификатора может выступать - физический предмет, на который с помощью разных технологий заносится кодовая информация. В качестве носителя идентификационных данных может выступать как идентификаторы, специально созданные для этого, так и использоваться уже существующие, например, телефонный номер или банковская карта. Также в качестве идентификаторов могут выступать биометрические признаки человека. Наиболее часто в биометрических системах контроля доступа используются - отпечаток пальца, венозный рисунок пальца или руки, геометрия (форма) лица, радужная оболочка глаза.

Бесконтактные RFID идентификаторы

Наибольшее распространение получили идентификаторы передача данных, которых, основана на технологии бесконтактной передачи данных RFID. А самыми распространенными форм факторами будет соответственно пластиковая карта и брелок, хотя есть, конечно, еще и браслеты и целый гигантский ассортимент меток.

Считыватели предназначены для считывания и передачи кодовой информации с идентификатора в контроллер СКУД.

- Считыватели бесконтактных карт
- Считыватели банковских карт
- GSM считыватели для считывания телефонных номеров

- Считыватели контактных ключей Touch Memory
- Считыватели с кодонаборной панелью для введения пин кода

Препраждающие устройства:

-Турникеты.

Уникальной особенностью турникетов, которой лишены все прочие препраждающие устройства является отсечение проходящих по одному. Что делает их практически незаменимыми, когда стоит цель идентифицировать каждого входящего в здание человека.

- Турникеты триподы
- Турникеты с распашными створками
- Турникеты с раздвижными створками
- Полноростовые
- Полуторостовые роторные
- **Ворота для проезда транспорта;**
- **Болларды (дорожные блокираторы);**
- **Шлагбаумы;**
- **Шлюзовые кабины**

Шлюзовая кабина автоматическое устройство надежного контроля посетителей, представляющее собой автоматический тамбур-шлюз (шлюз безопасности). Кабина в пуленепробиваемом и взрывозащищенном исполнении (прямоугольной или цилиндрической формы) содержит два контура дверей, открывающихся и закрывающихся автоматически. Сквозной проход через шлюзовую кабину невозможен: в один момент времени может быть открыта только одна дверь, либо внутренняя, либо внешняя.

Контроллеры СКУД:

Автономные контроллеры СКУД

Автономные контроллеры как можно понять из их названия работают исключительно в автономном режиме, то есть к ним нельзя подключить другие контроллеры.

Сетевые контроллеры СКУД

Сетевые контроллеры сколько бы их не было с легкостью объединяются в одну сеть, и как правило подключаются к компьютеру с установленным программным обеспечением с которого легко и просто можно управлять всей системой доступа

Персональные компьютеры и программное обеспечение

Системное программное обеспечение для СКУД может иметь разные масштабы — от простого изолированного решения, устанавли-

ваемого на один ПК в незащищенной зоне до мощного сетевого пакета, установленного на сервер, находящийся в охраняемом помещении с контролируемым доступом.

Литература

1. Британская Ассоциация индустрии безопасности Руководство по составлению спецификаций на СКУД (перевод)/ Британская Ассоциация индустрии безопасности // 2021. 170 стр.

2. Владимир Рыкунов . Охранные системы и технические средства физической защиты объектов / Владимир Рыкунов .Security Focus, 2019. 284 с.

Снижение удельной энергоёмкости технологических процессов устройства и укрепления обочин автомобильных дорог посредством определения машинокомплектов с энергоэффективными параметрами

Довидович А.А.

Белорусский национальный технический университет

На настоящий момент при устройстве и укреплении обочин автомобильных дорог широкое применение получило специализированное высокопроизводительное оборудование, агрегируемое с тракторами и универсальными погрузчиками, образуя машинокомплект

Однако вскрыта проблема формирования машинокомплектов с энергоэффективными параметрами, которые в свою очередь должны снижать удельную энергоёмкость технологических процессов устройства и укрепления обочин автомобильных дорог.

В целях решения данной проблемы раскрыта связь между известными техническими фактами (эксплуатационная производительность, мощность, удельная энергоёмкость), а также разработана математическая зависимость эксплуатационной производительности машинокомплекта от технологических параметров (ширина распределения строительного материала, высота распределения слоя строительного материала) процессов устройства и укрепления обочин, физико-механических свойств регламентированных строительных материалов (плотность, коэффициент трения разрыхленного строительного материала по грунту, коэффициент трения разрыхленного строительного материала по отвалу), технических параметров составных единиц машинокомплекта (скорость базового транспортного средства, грузоподъёмность автомобиля-самосвала). Разработана методика, определяющая состав машинокомплектов с энергоэффективными параметрами для выполнения данного технологического цикла [1].

Основным критерием, определяющим уровень энергоэффективности машинокомплектов, является удельная энергоёмкость, которая характеризует затраты энергии на единицу производительности.

Следует закономерность, чем меньше значение удельной энергоёмкости, тем выше уровень энергоэффективности оборудования. Эксплуатационная производительность в свою очередь является показателем, который формирует удельную энергоёмкость.

Эксплуатационная производительность [2] комплекса навесного оборудования определяется по следующей формуле (1):

$$\Pi_3 = \Pi_T \times k_B, \quad (1)$$

где Π_T – техническая производительность навесного оборудования для устройства и укрепления обочин с базовым шасси;

k_B – коэффициент эффективности процессов устройства и укрепления обочин.

Техническая производительность рассчитывается по следующей формуле (2):

$$\Pi_T = L \times h \times v \times \rho, \quad (2)$$

где L – ширина укладываемого материала, м;

h – средняя высота укладываемого слоя при устройстве или укреплении обочины автомобильной дороги, м;

v – технологическая скорость планирования дорожно-строительного материала, м/ч;

ρ – плотность дорожно-строительного материала, т/м³.

Эксплуатационную производительность найдем с учетом коэффициента эффективности процессов устройства и укрепления обочин k_B по формуле (3).

$$k_B = 1 - \frac{n(t_n + t_o)}{3600}, \quad (3)$$

где t_n – время подъезда и подготовки к выгрузке материала из кузова автомобиля-самосвала в приемный бункер навесного оборудования, с;

t_o – время отъезда автомобиля-самосвала от навесного оборудования, с;

n – теоретическое количество подъездов - отъездов автомобилей-самосвалов за 1 час, которое определяется по формуле (4);

$$n = \frac{\Pi_r}{Q_r}, (4)$$

где Q_r – грузоподъемность автомобиля-самосвала, т;

В развернутом виде эксплуатационная производительность выразится формулой (5), как функция (6) с условиями (7) и (8).

$$\Pi_3 = L \times h \times v \times \rho - (0,008 \times L^2 \times h^2 \times v^2 \times \rho^2 / Q_r) (5)$$

$$\Pi_3 = f(L, h, v, \rho, Q_r), (6)$$

$$\Pi_3 \rightarrow \max, (7)$$

$$\Pi_3 > 0; (8)$$

Производительность ленточно-цепного конвейера [3] приемного бункера – составной части машинокомплекта определяется по формуле (9):

$$\Pi_k = 3,6 \times F \times \rho \times v (9)$$

где F – площадь сечения материала, m^2 ;

v – скорость ленточно-цепного конвейера, m/c .

Производительность ленточно-цепного конвейера приемного бункера должна быть согласована с эксплуатационной производительностью всего машинокомплекта:

$$\Pi_r = \Pi_k, (10)$$

В развернутом виде потребляемая мощность машинокомплекта при выполнении технологического цикла выражается по формуле (11), как функция (12) с условиями (13):

$$N = ((P_a + (0,94 + 1,68 \times \rho)) + (0,0007 \times m_{ш} + 0,44) +$$

$$+ \mu_1 \times \rho \times L \times (0,94 + 0,54 \times \mu_2) \times v / 3240) + 0,006 \times L \times \times h \times v \times (0,96 \times \rho + 0,011 + 2,76 \times \rho), \quad (11)$$

$$N = f(P_a, m_{ш}, L, h, v, \rho, \mu_1, \mu_2), \quad (12)$$

$$0 < N \leq N_{бш}; \quad (13)$$

где P_a – сопротивление качению автомобиля-самосвала при толкании его перед навесным оборудованием, Н;

$N_{бш}$ – мощность, затрачиваемая на перемещение базового шасси, кВт;

$m_{ш}$ – полная масса шасси со смонтированными на него рамой и гидросистемой, кг;

μ_1 – коэффициент трения материала о поверхность отвала;

μ_2 – коэффициент трения материала о грунт;

Необходимо выполнение условия по сцеплению (14).

$$P_a + (0,94 + 1,68 \times \rho) + \mu_1 \times \rho \times L \times \times (0,94 + 0,54 \times \mu_2) \leq 4,905 \times m_{ш} \quad (14)$$

Удельная энергоёмкость определяется по формуле (15), как функция (16) с условием (17):

$$E_{\Pi} = N / \Pi_3, E_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\Pi_3}, \quad (15)$$

$$E_{\Pi} = f(P_a, m_{ш}, L, h, v, \rho, \mu_1, \mu_2, Q_{\Gamma}), \quad (16)$$

$$E_{\Pi} \rightarrow \min. \quad (17)$$

В развернутом виде удельная энергоёмкость выразится в формуле (18):

$$E_{\Pi} = (((P_a + (0,94 + 1,68 \times \rho) + (0,0007 \times m_{ш} + 0,44) + \mu_1 \times \rho \times L \times (0,94 + 0,54 \times \mu_2)) \times v / 3240) + 0,006 \times L \times h \times v \times (0,96 \times \rho + 0,011 + 2,76 \times \rho)) / (L \times h \times v \times \rho - (0,008 \times L^2 \times h^2 \times v^2 \times \rho^2 \times / Q_r)), \quad (18)$$

Посредством применения данной методики определен состав производимых в Республике Беларусь машинокомплектов с энергоэффективными параметрами, что в свою очередь при их применении позволяет снизить удельную энергоёмкость технологических процессов устройства и укрепления обочин автомобильных дорог.

Литература

1. Довидович, А. А. О выборе эффективных комплектов машин для устройства и укрепления обочин автомобильных дорог / А. А. Довидович // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы Международной научно-технической конференции / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 197 – 202.
2. Вавилов А.В. Дорожно-строительные машины / А.В. Вавилов, И.И. Леонович и др. Мн. Технопринт. 2000. 515 с.
3. Вайнсон, А.А. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / А.А. Вайнсон. – 4-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1989. – 536с.

Аксиально-поршневая гидромашина приводов оборудования дорожно-строительных машин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования строительных и дорожных машин осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов, на базе современных насосов регулируемого объема, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы данного оборудования.

Для привода ходового оборудования малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом и других машин широкое распространение получили однопоточные аксиально-поршневые реверсируемые насосы переменной производительности, применяемые в закрытом контуре [1]. Наличие двух насосов требует раздаточной коробки привода насосов, увеличивающей габариты и массу агрегатов привода ходового оборудования. Наличие системы управления аксиально-поршневого насоса посредством изменения угла наклона шайбы существенно увеличивает материалоемкость насоса и его стоимость.

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки и гидравлического оборудования на привод ходового и технологического оборудования строительных и дорожных машин предложена конструктивная схема двухпоточной аксиально-поршневой гидромашин, оснащенная системой управления малой энергоемкости [2, 3, 4].

Аксиально-поршневая гидромашина (*рисунок 1*) состоит из аксиально-поршневой насосной секции 1 и гидрораспределительного модуля 2. Аксиально-поршневая насосная секция 1 включает блок цилиндров 3 с втулкой 4, связанной с приводным валом 5. Поршни 6, образующие рабочие полости 7, прижимаются к поверхности наклонной шайбы 8. Ступица 9 наклонной шайбы 8, установлена в подшипниковом узле скольжения 10 передней крышки корпуса 11 с

возможностью поворота относительно оси на угол $0 \pm 90^\circ$, и оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 12 осуществляется автономным двигателем. Гидрораспределитель аксиально-поршневой насосной секции 1 выполнен в виде опорно-распределительного диска 13, закреплённого в корпусе 11, и оснащён двумя полукольцевыми пазми 14, 15, связанными с рабочими полостями 7.

Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 16, подвижную распределительную втулку 17 и ротор 18.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 16 образованы четыре сегментных пазы 19, 20, 21, 22 с центральными углами, составляющими $\approx 180^\circ$. Сегментные пазы 19, 20 связаны каналами 23, 24 и трубопроводами с всасывающими (напорными) гидравлическими магистралями первого и второго гидравлического контура (не показан). Сегментные пазы 21, 22 связаны каналами 25, 26 и трубопроводами с напорными (всасывающими) гидравлическими магистралями первого и второго гидравлического контура (не показан). Примем условно, сегментные пазы 19, 22 связаны каналами 23, 26, трубопроводами с магистралями первого гидравлического контура (не показан). Сегментные пазы 20, 21 связаны каналами 24, 25, трубопроводами с магистралями второго гидравлического контура (не показан).

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 17 в зоне сегментных пазов 19, 20, 21, 22 образованы группа продольных каналов 27, 28, выполненных диаметрально противоположными и смещёнными на угол 180° , а также две кольцевые канавки 29, 30. Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 17 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 31 осуществляется автономным двигателем.

На цилиндрической поверхности ротора 18 образованы две кольцевые канавки 32, 33, и, связанные с ними две группы продольных каналов 34, 35. Кольцевые канавки 32, 33 образованы в зонах кольцевых канавок 29, 30 и связаны с ними радиальными каналами.

Полость полукольцевого паза 14 связана каналами 36, 37, 38 с полостью кольцевой канавки 29. Полость полукольцевого паза 15 связана каналами 39, 40, 41 с полостью кольцевой канавки 30.

Аксиально-поршневая гидромашина обеспечивает два режима регулирования параметров потока рабочей жидкости. Изменение положения плоскости наклона наклонной шайбы 8 относительно продольной плоскости полукольцевых пазов 14, 15 опорно-распределительного диска 13 обеспечивает изменение эффективного хода каждого поршня б при неизменном геометрическом, соответственно изменение эффективного объема аксиально-поршневой насосной секции 1 и параметров подачи рабочей жидкости по каналам 37, 40 гидрораспределительного модуля 2. Изменение положения подвижной распределительной втулки 17 обеспечивает изменение параметров подачи рабочей жидкости между каналами 23, 26 первого гидравлического контура и каналами 24, 25 второго гидравлического контура.

При использовании аксиально-поршневой гидромашин в структуре гидравлического объемного привода ходового оборудования гусеничной тягово-транспортной машины регулирование объема аксиально-поршневой насосной секции 1 и параметров подачи рабочей жидкости обеспечивает регулирование скоростного режима гусеничной тягово-транспортной машины при движении прямым и задним ходом. Изменение параметров подачи рабочей жидкости между каналами первого и второго гидравлических контуров обеспечивает рассогласование скоростных режимов гусеничного ходового оборудования левого борта – гидромотора, подключенного к каналам 23, 26 первого гидравлического контура, и правого борта – гидромотора, подключенного к каналам 24, 25 второго гидравлического контура, и маневрирование тягово-транспортной машины при движении прямым и задним ходом.

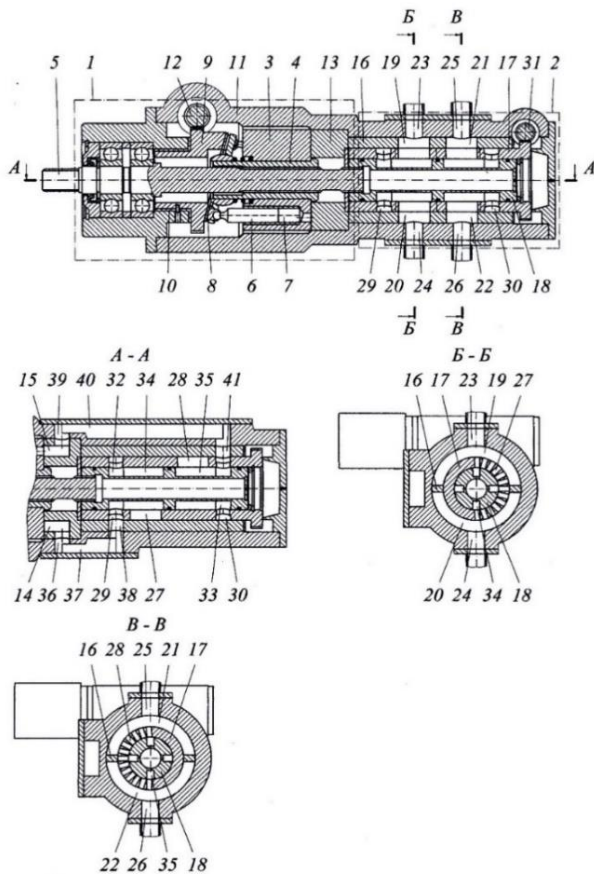


Рис. 1. Аксиально-поршневая гидромашина

Предлагаемые подходы к созданию аксиально-поршневой гидромашины переменного эквивалентного объема в структуре гидравлического объемного привода ходового оборудования гусеничной тягово-транспортной машины обеспечивают регулирование скоростного режима гусеничной тягово-транспортной машины при движении прямым и задним ходом. Изменение параметров подачи рабочей жидкости между каналами первого и второго гидравлических контуров обеспечивает рассогласование скоростных режимов гидромоторов привода гусеничного ходового оборудования левого

и правого бортов и маневрирование тягово-транспортной машины при движении прямым и задним ходом.

Литература

1. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.

2. Котлобай, А.Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–17.

3. Котлобай, А.Я. Модульное построение насосов гидравлических приводов инженерных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, А.И. Герасимюк, Ю.Ш. Юнусов, Д.В. Быковский // Инженер-механик. – 2018. №4 (81). – С. 12–18.

4. Аксиально-поршневая гидромашина: пат. 12552 U, Республика Беларусь, F 15B 11/22 (2006.01) / Заявители: Котлобай Анатолий Яковлевич, Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Авторы: Котлобай Анатолий Яковлевич, Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Патентообладатели: Котлобай Анатолий Яковлевич, Котлобай Андрей Анатольевич (BY). – № u 20200199; заявл. 2020.08.17; опубл. 2021.02.28 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2021. – № 1.

Гидродифференциальная передача дорожно-строительной машины

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время предприятиями транспортного машиностроения ведется поиск рациональных направлений развития приводов ходового оборудования транспортно-тяговых машин, роботизированных систем технологического назначения. Активно развиваются объемные гидропередачи (ОГП) в приводах ходового оборудования мобильных тягово-транспортных машин.

Структура ОГП с внутренним разветвлением потока мощности на базе аксиально-поршневых гидромашин [1] предполагает связь ведущего вала с блоком цилиндров 5 насоса 1 (см. рисунок 1, а, б) при зафиксированных наклонной шайбе б и гидрораспределителе насоса 1, либо с наклонной шайбой б насоса 1 и гидрораспределителем (см. рисунок 1, в, г), при неподвижном блоке цилиндров 5 насоса 1. Блок цилиндров 5 насоса 1 связан с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 (см. рисунок 1, а), либо с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, б). Ведомый вал связан с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, а), либо с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 (см. рисунок 1, б). Наклонная шайба б насоса 1 связана с наклонной шайбой 8 (см. рисунок 1, в), либо с блоком цилиндров 7 (см. рисунок 1, г) гидромотора 2. Ведомый вал связан с блоком цилиндров 7 (см. рисунок 1, в), либо с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, г). В механических линиях связи структурных элементов насоса 1 и гидромотора 2 с ведомым валом могут включаться промежуточный 3 и выходной 4 редукторы, обеспечивающие получение заданного диапазона скоростей вращения n_2 ведомого вала, при фиксированном значении частоты вращения ведущего вала n_1 .

Анализ структуры ОГП с внутренним разветвлением потока мощности показывает, в ОГП, реализованных на основании структурных схем с фиксированным положением наклонной шайбы и

гидрораспределителя насоса возможно применение аксиально-поршневых насосов с традиционной системой регулирования объема посредством изменения угла наклона шайбы 6 насоса 1 (см. рисунок 1, а, б). Наряду с традиционным методом регулирования объема насоса посредством изменения угла наклона шайбы насоса возможно применение метода фазового регулирования, состоящего в изменении относительного углового положения наклонной шайбы с неизменным углом наклона и гидрораспределителя. В применении к рассматриваемым структурным схемам ОГП (см. рисунок 1, а, б) метод фазового регулирования может быть реализован поворотом наклонной шайбы, либо гидрораспределителя относительно оси насоса [2, 3].

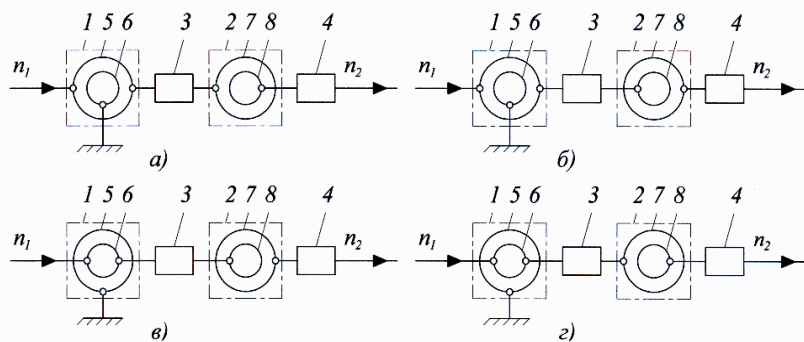


Рис. 1. Структурные схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности: 1 – насос; 2 – гидромотор; 3, 4 – промежуточный, выходной редуктор; 5, 7 – блок цилиндров насоса, гидромотора; 6, 8 – наклонная шайба и гидрораспределитель насоса, гидромотора

Рассмотрим пример конструктивной схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности (см. рисунок 1, б) на основе технической реализации метода фазового регулирования по первому направлению.

ОГП включает аксиально-поршневой насос 1 переменной производительности, аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного

объема, промежуточный планетарный редуктор 3, выходной планетарный редуктор 4 (рисунк 2).

Аксиально-поршневой насос 1 переменной производительности включает приводной вал 5, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 6, блок цилиндров 7 связанный с втулкой 8, связанной посредством шлицевого соединения с приводным валом 5. Блок цилиндров 7 оснащен поршнями 9, образующими рабочие полости 10. Поршни 9 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 11. Наклонная шайба 11 закреплена на ступице 12, установленной в подшипниковом узле скольжения передней крышки корпуса 6 с возможностью поворота относительно оси ОГП на угол $0 \pm 90^\circ$. Для обеспечения поворота ступица 12 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 13 осуществляется автономным двигателем.

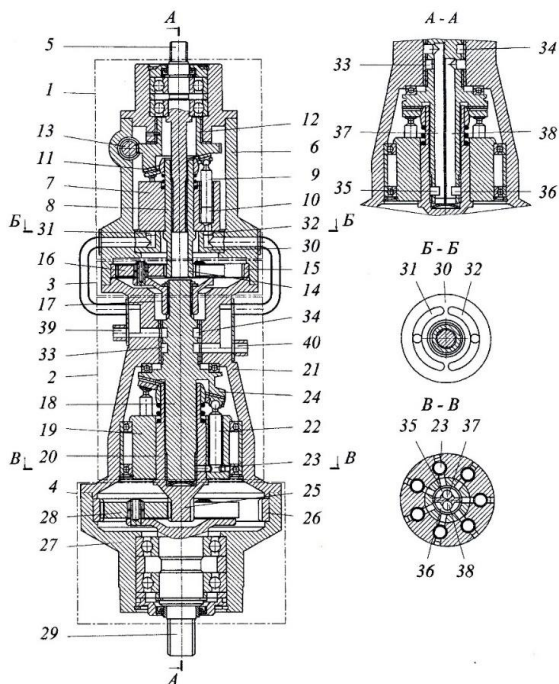


Рис. 2. Конструктивная схема ОГП с внутренним разветвлением потока мощности

Промежуточный планетарный редуктор 3 включает солнечную шестерню 14, выполненную заодно с втулкой 8, коронную шестерню 15, установленную в корпусе 6 и сателлиты 16, установленные на осях водила 17. Водило 17, установлено на промежуточном валу 18 и связано с ним посредством шлицевого соединения.

Аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объема включает блок цилиндров 19 связанный с втулкой 20, установленный по наружной поверхности в подшипниковом узле корпуса 21 аксиально-поршневого гидромотора 2 с возможностью поворота относительно оси. Поршни 22 образуют рабочие полости 23 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 24, выполненной заодно с промежуточным валом 18. Промежуточный вал 18 взаимодействует наружной поверхностью с внутренней поверхностью втулки 20 блока цилиндров 19 и опирается на корпус 21 посредством упорного подшипника. Наклонные шайбы 11, 24 выполнены с постоянными углами наклона.

Выходной планетарный редуктор 4 включает солнечную шестерню 25, выполненную заодно с втулкой 20, коронную шестерню 26, установленную в корпусе 27 планетарного редуктора 4 и сателлиты 28, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 29, установленным в подшипниковом узле корпуса 27 планетарного редуктора 4.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого насоса 1 выполнен в виде опорно-распределительного диска 30, взаимодействующего с торцевой поверхностью блока цилиндров 7. Опорно-распределительный диск 30 закреплен в корпусе 6 и оснащен двумя полукольцевыми пазами 31, 32, выполненными на торцевой поверхности. Полости полукольцевых пазов 31, 32 связаны с полостями кольцевых канавок 33, 34, образованных на наружной поверхности промежуточного вала 18.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого гидромотора 2 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 35, 36 с центральным углом 180° , образованную на наружной поверхности промежуточного вала 18. Продольная плоскость сегментных пазов 35, 36 совпадает с плоскостью наклона шайбы 24. Полости сегментных пазов 35, 36 связаны каналами 37, 38 промежуточного вала 18 с полостями кольцевых канавок 33, 34.

Рабочие полости 10 блока цилиндров 7 связаны каналами с полостями полукольцевых пазов 31, 32 опорно-распределительного диска 30. Рабочие полости 23 блока цилиндров 19 связаны радиальными каналами с полостями сегментных пазов 35, 36.

К каналам 39, 40, связанным с кольцевыми канавками 33, 34 подключаются контур подпитки и предохранительные клапаны (не показаны). Каналы 37, 38 закрыты технологическими заглушками.

Приводной вал 5 аксиально-поршневого насоса 1 вращается (по часовой стрелке) от двигателя (не показан), и приводит во вращение втулку 8 с блоком цилиндров 7 аксиально-поршневого насоса 1, солнечную шестерню 14, сателлиты 16 с водилом 17, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24 аксиально-поршневого гидромотора 2. При вращении блока цилиндров 7 поршни 9 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 11 и совершают возвратно-поступательное движение в блоке цилиндров 7.

В начальном (условно) положении наклонной шайбы 11 (см. рисунок 2) плоскость симметрии полукольцевых пазов 31, 32 перпендикулярна плоскости наклона шайбы 11. Рабочие полости 10 при движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 (такт всасывания), связаны с кольцевой канавкой 34, полукольцевым пазом 31 и с кольцевой канавкой 33, полукольцевым пазом 32 половину хода поршней 9. Аналогично, рабочие полости 10 цилиндров, поршни 9 которых, совершают движение внутрь блока цилиндров 7 (такт нагнетания), связаны с полукольцевым пазом 32 и кольцевой канавкой 33, и с полукольцевым пазом 31 и кольцевой канавкой 34 половину хода поршней 9.

При движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 при повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $0 \div 90^{\circ}$ – первая половина хода поршня 9 при всасывании (ход всасывания поршня 9 осуществляется за 180° поворота приводного вала 5 и блока цилиндров 7), рабочая жидкость поступает из полости кольцевой канавки 34 в полости полукольцевого паза 31 и рабочие полости 10. При повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $90^{\circ} \div 180^{\circ}$ – вторая половина хода поршня 9 при всасывании, рабочая жидкость поступает из полости кольцевой канавки 33 в полости полукольцевого паза 32 и рабочие полости 10.

При движении поршней 9 внутрь блока цилиндров 7 при повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $0 \div 90^{\circ}$ – первая половина хода поршня 9 при нагнетании рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 32 и кольцевой канавки 33. При повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $90^{\circ} \div 180^{\circ}$ – вторая половина хода поршня 9 при нагнетании рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 31 и кольцевой канавки 34.

Каждый поршень 9 работает в разных фазах, т.е. всасывает рабочую жидкость в процессе всасывания из полостей кольцевых канавок 33, 34 и нагнетает рабочую жидкость в процессе нагнетания в полости кольцевых канавок 34, 33. Эквивалентный рабочий объем каждого цилиндра формируется как произведение площади каждого цилиндра блока цилиндров 7 на величину эффективного хода поршня 9 на такте нагнетания. Такты всасывания, нагнетания каждого цилиндра блока цилиндров 7 сдвинуты по времени, и суммарно движения рабочей жидкости в полостях кольцевых канавок 33, 34 нет. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1, равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров минимальный – нулевой. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 минимальная – нулевая.

Приводной вал 5 вращает блок цилиндров 7 с втулкой 8 и солнечной шестерней 14. Солнечная шестерня 14 приводит во вращение сателлиты 16, которые взаимодействуют с короной шестерней 15. При неподвижной коронной шестерне 15 водило 17, с осями сателлитов 16 и промежуточным валом 18 вращается в направлении вращения солнечной шестерни 14 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением промежуточного планетарного редуктора 3. При нулевой подаче аксиально-поршневого насоса 1 рабочие полости 23 блока цилиндров 19 запираются, поршни 22 аксиально-поршневого гидромотора 2 блокируются, и наклонная шайба 14 вращает блок цилиндров 19 с втулкой 20 и солнечной шестерней 25. Солнечная шестерня 25 приводит во вращение сателлиты 28, которые взаимодействуют с короной шестерней 26. Водило с осями сателлитов 28 и ведомым валом 29 вращается в направлении вращения солнечной шестерни 25 со скоростью вращения, опреде-

ляемой передаточным отношением выходного планетарного редуктора 4:

$$n_{29} = n_5 (i_3 i_4)^{-1}; i_3 = \frac{n_{14}}{n_{18}}; i_4 = \frac{n_{25}}{n_{29}} > 1, \quad (1)$$

где $n_5, n_{14}, n_{18}, n_{25}, n_{29}$ – скорость вращения приводного вала 5, солнечной шестерни 14, 25, промежуточного вала 18, ведомого вала 29; i_3, i_4 – передаточное число промежуточного планетарного редуктора 3, выходного планетарного редуктора 4.

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 29 механическим путем.

При повороте ступицы 12 с наклонной шайбой 11 в подшипниковом узле посредством двигателя и червяка 13 на 90° по часовой стрелке плоскость симметрии полукольцевых пазов 31, 32 совпадает с плоскостью наклона шайбы 11.

При движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 рабочая жидкость из полости кольцевой канавки 33 поступает в полость полукольцевого паза 32 и рабочие полости 10. При движении поршней 9 внутрь блока цилиндров 7 рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 31 и кольцевой канавки 34. Полость кольцевой канавки 33 является всасывающей, а полость кольцевой канавки 34 – напорной. Каждый цилиндр полный ход поршня 9 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из полости кольцевой канавки 33 и подает ее в полость кольцевой канавки 34. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из полости кольцевой канавки 34 рабочая жидкость поступает по каналу 37 в полость сегментного паза 35, и в рабочие полости 23 блока цилиндров 19 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 22 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 24, поворачивают блок цилиндров 19 с втулкой 20 и солнечной шестерней 25 относительно оси ОГП. При движении поршней 22 внутрь блока цилиндров 19 рабочая жидкость из рабочих полостей 23 поступает в

полость сегментного паза 36, и по каналу 38 в полость кольцевой канавки 33.

Приводной вал 5 вращает блок цилиндров 7, и, через промежуточный планетарный редуктор 3, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24. В данном положении наклонной шайбы 11 приводной вал 5, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24 и блок цилиндров 19 с солнечной шестерней 25 вращаются в одном, либо различных направлениях в зависимости от соотношения параметров гидропередачи. Солнечная шестерня 25 приводит во вращение сателлиты 28 и приводной вал 29 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением выходного планетарного редуктора 4.

$$n_{29} = n_5 \frac{1 - ki_3}{i_3 i_4}, \quad k = \frac{q_n}{q_m}, \quad (2)$$

где q_n, q_m – объем аксиально-поршневого насоса 1, аксиально-поршневого гидромотора 2; k – коэффициент, характеризующий отношение объемов насоса 1 и гидромотора 2.

Мощность ведущего вала 5 передается ведомому валу 29 механическим и гидравлическим путями.

Для компенсации утечек рабочей жидкости в канал 40 подается рабочая жидкость из контура подпитки (не показан). При перегрузке ведомого вала 29 часть рабочей жидкости вытекает из канала 39 через предохранительный клапан в бак гидросистемы (не показаны).

При повороте ступицы 12 с наклонной шайбой 11 в подшипниковом узле посредством двигателя и червяка 13 на 90° против часовой стрелки плоскость симметрии полукольцевых пазов 31, 32 совпадает с плоскостью наклона шайбы 11. В данном положении наклонной шайбы 11 полость кольцевой канавки 34 является всасывающей, а полость кольцевой канавки 33 напорной. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из полости кольцевой канавки 33 рабочая жидкость поступает по каналу 38 в полость сегментного паза 36, и в рабочие полости 23 блока цилиндров 19 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 22 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 24, поворачивают блок цилиндров 19 с втулкой 20 и солнечной шестерней 25 относительно оси ОГП. При движении поршней 22 внутрь блока цилиндров 19 рабочая жидкость из рабочих полостей 23 поступает в полость сегментного паза 35, и по каналу 37 в полость кольцевой канавки 34. В данном положении наклонной шайбы 11 приводной вал 5, промежуточный вал 18 с наклонной шайбой 24 и блок цилиндров 19 с солнечной шестерней 25 вращаются в одном направлении. Ведомый вал 29 вращается со скоростью:

$$n_{29} = n_5 \frac{1 + ki_3}{i_3 i_4}. \quad (3)$$

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 29 механическим и гидравлическим путем.

Для компенсации утечек рабочей жидкости в канал 39 подается рабочая жидкость из контура подпитки (не показан). При перегрузке ведомого вала 29 часть рабочей жидкости вытекает из канала 40 через предохранительный клапан в бак гидросистемы (не показаны).

Параметры режима работы (1), (2), (3) гидродифференциальной передачи при $n_5 = 2100 \text{ мин}^{-1}$ представлены в таблице 1.

Анализ показывает, что изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения скорости вращения ведомого вала при изменении подачи насоса. Так, например, при $i_3 = i_4 = 1,5$ и $k = 1,0$ обеспечивается диапазон изменения скоростей вращения ведомого вала $n_{29} = (2333 \div -467) \text{ мин}^{-1}$, что совпадает с параметрами механических трансмиссий транспортно-тяговых машин.

Таблица 1. Скорость вращения ведомого вала n_{29} (мин^{-1})

i_3	k						
	против часовой стрелки				по часовой стрелке		
	1,0	0,6	0,2	0	0,2	0,6	1,0
$i_4 = 3,0$							
1,0	1400	1120	840	700	560	280	0
2,0	1050	770	490	350	210	-70	-350
4,0	875	595	315	175	35	-245	-525
$i_4 = 2,0$							
1,0	2100	1680	1260	1050	840	420	0
2,0	1575	1155	735	525	315	-105	-525
4,0	1313	893	473	263	53	-368	-788
$i_4 = 1,0$							
1,0	4200	3360	2520	2100	1680	840	0
2,0	3150	2310	1470	1050	630	-210	-1050
4,0	2625	1785	945	525	105	-735	-1575
знак (-) – реверсирование ведомого вала 29							

При повороте наклонной шайбы *11* на 90° от нейтрального положения по часовой стрелке и против обеспечивается реверсирование подачи аксиально-поршневого насоса *1* переменной производительности при изменении ее от нулевого до максимального значений. ОГП обеспечивает передачу мощности приводного вала *5* на ведомый вал *29* двумя потоками: гидравлическим через рабочую жидкость и механическим через приводной вал *5*, промежуточный вал *18* с наклонной шайбой *24* и блок цилиндров *19*. Разделение потока мощности внутреннее.

Положительным фактором ОГП является относительно простая конструктивная схема, что может оказаться определяющим при разработке ОГП для привода ходового оборудования роботизированных систем технологического назначения.

Литература

1. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
2. Котлобай, А. Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–176.
3. Гидродифференциальная передача: пат. 22682 С1 Респ. Беларусь, F 16Н 39/10 (2006.01) // Заявители: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»; Белорусский национальный технический университет (ВУ); Авторы: Поддубный Алексей Алексеевич; Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич; Герасимюк Александр Иванович; Куксо Аркадий Михайлович (ВУ); Патентообладатели: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»; Белорусский национальный технический университет (ВУ) – № а 20180149; заявл. 2018.04.20; опубл. 2019.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 4.

Моно агрегатная гидropередача привода оборудования дорожно-строительных машины

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время предприятиями транспортного машиностроения ведется поиск рациональных направлений развития приводов оборудования дорожно-строительных машин. Активно развиваются объемные гидropередачи (ОГП) в приводах оборудования мобильных дорожно-строительных машин. Поиск рациональных структурных решений ОГП позволил условно разделить структуры ОГП на основе степеней свободы элементов насоса и гидромотора [1]. Рассмотрим пример реализации ОГП с неподвижными элементами насоса (рисунок 1).

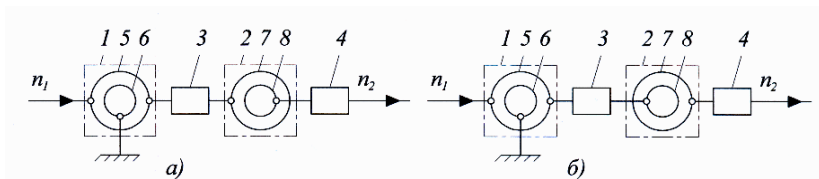


Рис. 1. Структурные схемы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности: 1 – насос; 2 – гидромотор; 3, 4 – промежуточный, выходной редуктор;

5, 7 – блок цилиндров насоса, гидромотора; 6, 8 – наклонная шайба и гидрораспределитель насоса, гидромотора

Структура ОГП на базе аксиально-поршневых гидромашин предполагает связь ведущего вала с блоком цилиндров 5 насоса 1 (см. рисунок 1, а, б) при зафиксированной наклонной шайбе 6 и гидрораспределителе насоса 1. Блок цилиндров 5 насоса 1 связан с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 (см. рисунок 1, а), либо с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, б). Ведомый вал связан с наклонной шайбой 8 гидромотора 2 (см. рисунок 1, а), либо с блоком цилиндров 7 гидромотора 2 (см. рисунок 1, б). В механических линиях связи структурных элементов насоса 1 и гидромото-

ра 2 с ведомым валом могут включаться промежуточный 3 и выходной 4 редукторы, обеспечивающие получение заданного диапазона скоростей вращения n_2 ведомого вала, при фиксированном значении частоты вращения ведущего вала n_1 .

Наряду с традиционным методом регулирования объема насоса посредством изменения угла наклона шайбы возможно применение метода фазового регулирования, состоящего в изменении относительного углового положения наклонной шайбы с неизменным углом наклона и гидрораспределителя. В применении к рассматриваемым структурным схемам ОГП (см. *рисунок 1, а, б*) метод фазового регулирования может быть реализован поворотом наклонной шайбы, либо гидрораспределителя относительно оси насоса.

Рассмотрим пример конструктивной схемы ОГП (см. *рисунок 1, а*) на основе технической реализации метода фазового регулирования поворотом гидрораспределителя относительно оси ОГП [2, 3].

ОГП включает аксиально-поршневой насос 1 переменной производительности, аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объема, промежуточный планетарный редуктор 3, выходной планетарный редуктор 4 (*рисунок 2*).

Аксиально-поршневой насос 1 переменной производительности включает приводной вал 5, установленный в подшипниковом узле передней крышки корпуса 6, блок цилиндров 7 связанный с втулкой 8, связанной посредством шлицевого соединения с приводным валом 5. Блок цилиндров 7 оснащен поршнями 9, образующими рабочие полости 10. Поршни 9 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 11, образованной в передней крышке корпуса 6.

Промежуточный планетарный редуктор 3 включает солнечную шестерню 12, выполненную заодно с втулкой 8, коронную шестерню 13, установленную в корпусе 6 и сателлиты 14, установленные на осях водила, выполненного заодно с втулкой 15.

Аксиально-поршневой гидромотор 2 постоянного объема включает корпус, образованный картерами 16, 17, блок цилиндров 18 связанный с втулкой 15, установленный по наружной поверхности в подшипниковом узле картера 16 корпуса с возможностью поворота относительно оси. Поршни 19 образуют рабочие полости 20 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 21. Ступица наклонной шайбы 21 опирается на картер 17 корпуса посредством упорного

подшипника. В ступице наклонной шайбы 21 закреплена ось 22, установленная по внутренней образующей поверхности втулки 15 блока цилиндров 18.

Выходной планетарный редуктор 4 включает солнечную шестерню 23, выполненную заодно со ступицей наклонной шайбы 21, коронную шестерню 24, установленную в корпусе 25 планетарного редуктора 4 и сателлиты 26, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 27, установленным в подшипниковом узле корпуса 25 планетарного редуктора 4.

Наклонные шайбы 11, 21 выполнены с постоянными углами наклона.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого насоса 1 выполнен в виде опорно-распределительного диска 28, взаимодействующего с торцевой поверхностью блока цилиндров 7. Опорно-распределительный диск 28 установлен по наружной образующей поверхности в антифрикционной втулке корпуса 6 с возможностью поворота относительно оси ОГП на угол $0 \pm 90^\circ$, и опирается на упорный подшипник скольжения, закрепленный в корпусе 6. Опорно-распределительный диск 28 оснащен зубчатым венцом червячного зацепления. Червяк 29 червячного зацепления установлен в подшипниковых узлах корпуса 6. Привод червяка 29 осуществляется автономным двигателем. Опорно-распределительный диск 28 оснащен двумя полукольцевыми пазами 30, 31, выполненными на торцевой поверхности.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого гидромотора 2 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 32, 33 с центральными углами 180° , образованную на наружной поверхности оси 22. Продольная плоскость сегментных пазов 32, 33 совпадает с плоскостью наклона шайбы 21. Полости сегментных пазов 32, 33 связаны каналами 34, 35 с полостями кольцевых канавок 36, 37, образованных на наружной поверхности ступицы наклонной шайбы 21, и с полостями полукольцевых пазов 30, 31 опорно-распределительного диска 28.

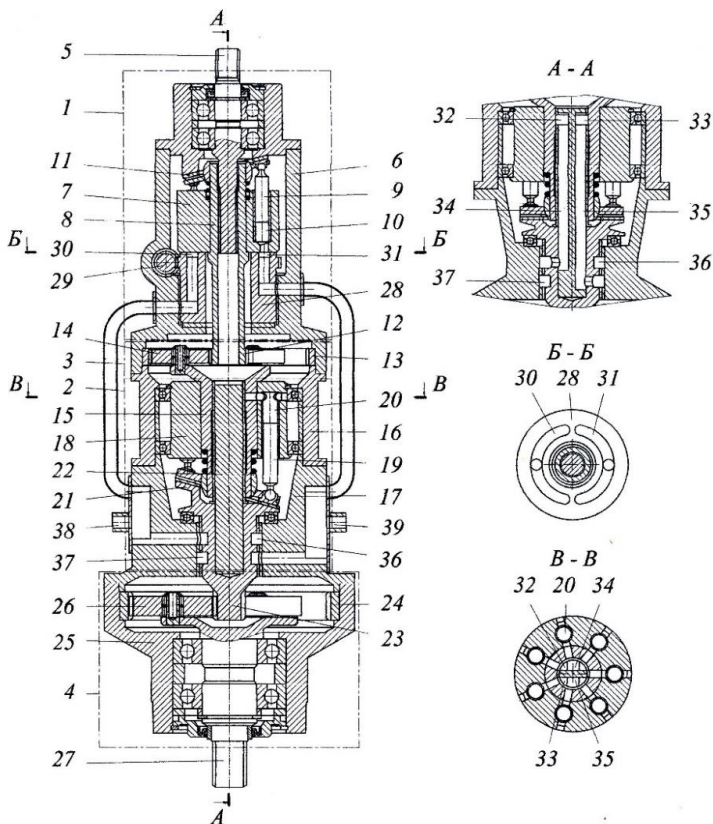


Рис. 2. Конструктивная схема ОГП с внутренним разветвлением потока Мощности

Рабочие полости 10 блока цилиндров 7 связаны каналами с полостями полукольцевых пазов 30, 31 опорно-распределительного диска 28. Рабочие полости 20 блока цилиндров 18 связаны радиальными каналами с полостями сегментных пазов 32, 33.

К каналам 38, 39, связанным с кольцевыми канавками 36, 37 подключаются контур подпитки и предохранительные клапаны (не показаны).

Приводной вал 5 аксиально-поршневого насоса 1 вращается (по часовой стрелке) от двигателя (не показан), и приводит во вращение втулку 8 с блоком цилиндров 7 аксиально-поршневого насоса 1,

солнечную шестерню 12, сателлиты 14 с водилом, выполненным заодно с втулкой 15, блок цилиндров 18 аксиально-поршневого гидромотора 2. При вращении блока цилиндров 7 поршни 9 прижимаются к поверхности наклонной шайбы 11 и совершают возвратно-поступательное движение в блоке цилиндров 7.

В начальном (условно) положении опорно-распределительного диска 28 (см. *рисунок 2*) плоскость симметрии полукольцевых пазов 30, 31 перпендикулярна плоскости наклона шайбы 11.

При движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 при повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $0 \div 90^{\circ}$ – первая половина хода поршня 9 при всасывании, рабочая жидкость поступает из полости кольцевой канавки 36 в полости полукольцевого паза 30 и рабочие полости 10. При повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $90^{\circ} \div 180^{\circ}$ – вторая половина хода поршня 9 при всасывании, рабочая жидкость поступает из полости кольцевой канавки 37 в полости полукольцевого паза 31 и рабочие полости 10.

При движении поршней 9 внутрь блока цилиндров 7 при повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $0 \div 90^{\circ}$ – первая половина хода поршня 9 при нагнетании, рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 31 и кольцевой канавки 37. При повороте приводного вала 5 и блока цилиндров 7 на угол $90^{\circ} \div 180^{\circ}$ – вторая половина хода поршня 9 при нагнетании, рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 30 и кольцевой канавки 36.

Каждый поршень 9 работает в разных фазах, т.е. всасывает рабочую жидкость в процессе всасывания из полостей кольцевых канавок 36, 37 и нагнетает рабочую жидкость в процессе нагнетания в полости кольцевых канавок 37, 36. Эквивалентный рабочий объем каждого цилиндра формируется как произведение площади каждого цилиндра блока цилиндров 7 на величину эффективного хода поршня 9 на такте нагнетания. Такты всасывания, нагнетания каждого цилиндра блока цилиндров 7 сдвинуты по времени, и суммарно движения рабочей жидкости в полостях кольцевых канавок 36, 37 нет. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1, равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилин-

дров минимальный – нулевой. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 минимальная – нулевая.

Приводной вал 5 вращает блок цилиндров 7 с втулкой 8 и солнечной шестерней 12. Солнечная шестерня 12 приводит во вращение сателлиты 14, которые взаимодействуют с короной шестерней 13. Водило с втулкой 15 и блоком цилиндров 18, вращается в направлении вращения приводного вала 5 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением промежуточного планетарного редуктора 3.

При нулевой подаче аксиально-поршневого насоса 1 рабочие полости 20 блока цилиндров 18 запираются, поршни 19 аксиально-поршневого гидромотора 2 блокируются и вращают наклонную шайбу 21 с солнечной шестерней 23. Солнечная шестерня 23 приводит во вращение сателлиты 26, которые взаимодействуют с короной шестерней 24. Водило с осями сателлитов 26 и ведомым валом 27 вращается в направлении вращения солнечной шестерни 23 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением выходного планетарного редуктора 4:

$$n_{27} = n_5 (i_3 i_4)^{-1}; \quad i_3 = \frac{n_{12}}{n_{18}}; \quad i_4 = \frac{n_{23}}{n_{27}} > 1, \quad (1)$$

где $n_5, n_{12}, n_{18}, n_{23}, n_{27}$ – скорость вращения приводного вала 5, солнечной шестерни 12, 23, блока цилиндров 18, ведомого вала 27; i_3, i_4 – передаточное число промежуточного планетарного редуктора 3, выходного планетарного редуктора 4.

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 27 механическим путем.

При повороте опорно-распределительного диска 28 в подшипниковом узле посредством двигателя и червяка 29 на 90° по часовой стрелке плоскость симметрии полукольцевых пазов 30, 31 совпадает с плоскостью наклона шайбы 11.

При движении поршней 9 наружу из блока цилиндров 7 рабочая жидкость из полости кольцевой канавки 37 поступает в полость полукольцевого паза 31 и рабочие полости 10. При движении поршней 9 внутрь блока цилиндров 7 рабочая жидкость из рабочих полостей 10 поступает в полости полукольцевого паза 30 и кольцевой канавки 36. Полость кольцевой канавки 37 является всасывающей, а по-

лость кольцевой канавки 36 – напорной. Каждый цилиндр полный ход поршня 9 работает в одной фазе, т.е. всасывает рабочую жидкость из полости кольцевой канавки 37 и подает ее в полость кольцевой канавки 36. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Из полости кольцевой канавки 36 рабочая жидкость поступает по каналу 34 в полость сегментного паза 32, и в рабочие полости 20 блока цилиндров 18 аксиально-поршневого гидромотора 2. Поршни 19 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 21, поворачивают наклонную шайбу 21 с солнечной шестерней 23 относительно оси ОГП. При движении поршней 19 внутрь блока цилиндров 18 рабочая жидкость из рабочих полостей 20 поступает в полость сегментного паза 33, и по каналу 35 в полость кольцевой канавки 37.

Приводной вал 5 вращает блок цилиндров 7, и, через промежуточный планетарный редуктор 3, блок цилиндров 18. В данном положении опорно-распределительного диска 28 блок цилиндров 18 и наклонная шайба 21 с солнечной шестерней 23 вращаются в одном, либо различных направлениях в зависимости от соотношения параметров гидропередачи. Солнечная шестерня 23 приводит во вращение сателлиты 26 и ведомый вал 27 со скоростью вращения, определяемой передаточным отношением выходного планетарного редуктора 4.

$$n_{27} = n_5 \frac{1 - k i_3}{i_3 i_4}, \quad k = \frac{q_n}{q_m}, \quad (2)$$

где q_n, q_m – объем аксиально-поршневого насоса 1, аксиально-поршневого гидромотора 2; k – коэффициент, характеризующий отношение объемов насоса 1 и гидромотора 2.

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 27 механическим и гидравлическим путями.

Для компенсации утечек рабочей жидкости в канал 39 подается рабочая жидкость из контура подпитки (не показан). При перегрузке ведомого вала 27 часть рабочей жидкости вытекает из канала 38 через предохранительный клапан в бак гидросистемы (не показаны).

При повороте опорно-распределительного диска 28 в подшипниковом узле посредством двигателя и червяка 29 на 90° против часовой стрелки плоскость симметрии полукольцевых пазов 30, 31 совпадает с плоскостью наклона шайбы 11. В данном положении опорно-распределительного диска 28 полость кольцевой канавки 36 является всасывающей, а полость кольцевой канавки 37 напорной. Эквивалентный рабочий объем аксиально-поршневого насоса 1 равный сумме всех эквивалентных рабочих объемов 10 цилиндров максимальный. Подача рабочей жидкости аксиально-поршневого насоса 1 максимальная.

Ведомый вал 27 вращается со скоростью:

$$n_{27} = n_5 \frac{1 + ki_3}{i_3 i_4}. \quad (3)$$

Мощность приводного вала 5 передается ведомому валу 27 механическим и гидравлическим путем.

Параметры режима работы (1), (2), (3) гидродифференциальной передачи при $n_5 = 2100 \text{ мин}^{-1}$ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Скорость вращения ведомого вала n_{27} (мин^{-1})

i_3	k						
	против часовой стрелки				по часовой стрелке		
	1,0	0,6	0,2	0	0,2	0,6	1,0
$i_4 = 3,0$							
2,0	1050	770	490	350	210	-70	-350
4,0	875	595	315	175	35	-245	-525
$i_4 = 2,0$							
2,0	1575	1155	735	525	315	-105	-525
4,0	1313	893	473	263	53	-368	-788
$i_4 = 1,0$							
2,0	3150	2310	1470	1050	630	-210	-1050
4,0	2625	1785	945	525	105	-735	-1575
знак (-) – реверсирование ведомого вала 29							

Анализ показывает, что изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения скорости вращения ведомого вала при изменении подачи насоса. Так, например, при $i_3 = i_4 = 1,5$ и $k = 1,0$ обеспечивается диапазон изменения скоростей вращения ведомого вала $n_{29} = (2333 \div -467)$ мин⁻¹, что совпадает с параметрами механических трансмиссий транспортно-тяговых машин.

При повороте опорно-распределительного диска 28 на 90° от нейтрального положения по часовой стрелке и против обеспечивается реверсирование подачи аксиально-поршневого насоса 1 при изменении ее от нулевого до максимального значений. ОГП обеспечивает передачу мощности приводного вала 5 на ведомый вал 27 двумя потоками: гидравлическим через рабочую жидкость и механическим через приводной вал 5, блок цилиндров 18, ступицу наклонной шайбы 21. Разделение потока мощности внутреннее.

Положительным фактором ОГП является относительно простая конструктивная схема, что может оказаться определяющим при разработке ОГП для привода ходового оборудования роботизированных систем дорожно-строительного назначения.

Литература

1. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
2. Котлобай, А. Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–176.
3. Гидродифференциальная передача: пат. 12280 U Республика Беларусь, F 16H 61/44 (2006.01), F 15B 11/22 (2006.01) // Заявители: Котлобай Анатолий Яковлевич; Бобровник Александр Иванович; Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Авторы: Котлобай Анатолий Яковлевич; Бобровник Александр Иванович; Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Патентообладатели: Котлобай Анатолий Яковлевич; Бобровник Александр Иванович; Котлобай Андрей Анатольевич (BY) – № u 20190250, 2019.09.30; опубл. 2020.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласна

Моно агрегатная полно поточная гидравлическая передача приводов оборудования на базе шестеренных гидромашин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Применение объёмных гидропередач (ОГП) в приводах ходового и технологического оборудования транспортно-тяговых машин является одним из прогрессивных направлений. ОГП позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости пневмоколесного и гусеничного движителя, расширяет возможности компоновочных решений [1], [2].

Современные ОГП реализуются на базе аксиально-поршневых гидромашин [3]. Применение ОГП в приводах ходового и технологического оборудования удельная стоимость транспортно-технологических машин существенно нарастает. Это объясняется высокой удельной стоимостью и материалоемкостью аксиально-поршневых гидромашин, при этом, наличие систем управления аксиально-поршневых гидромашин приводит к увеличению удельной стоимости и материалоемкости [4].

Рассмотрим пример реализации ОГП моноагрегатной на базе шестерённых гидромашин (*рисунк. 1*) [5].

ОГП включает двухсекционный шестерённый насос 1 постоянного объема, гидрораспределительный модуль 2, шестерённый гидромотор 3 постоянного объема, планетарный редуктор 4.

Первая секция шестерённого насоса 1 содержит шестерни 5, 6, образующие в корпусе 7 всасывающую 8 и напорную 9 полости. Вторая секция шестеренного насоса 1 содержит шестерни 10, 11, образующие в корпусе 7 всасывающую 12 и напорную 13 полости. Шестерни 5, 10 связаны с приводным валом 14. Геометрический объём первой секции шестеренного насоса 1 меньше геометрического объёма второй секции.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает регулирование эффективного объёма второй секции шестерённого насоса 1. Гидрораспределительный модуль 2 выполнен в корпусе 15, включает неподвижную распределительную втулку 16, подвижную распреде-

лительную втулку 17, установленную с возможностью поворота на угол 180° , и ротор 18, связанный с приводным валом 14.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 16 образованы четыре сегментных пазов 19, 20, 21, 22 с центральными углами, составляющими $\approx 90^\circ$. Полости сегментных пазов 19, 21 и 20, 22 связаны попарно и подключены к контуру подпитки (не показан). На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 17 образованы четыре группы продольных каналов 23, 24 и 25, 26, и две кольцевые канавки 27, 28. На цилиндрической поверхности ротора 18 образованы две кольцевые канавки 29, 30 и, связанные с ними, две группы продольных каналов 31, 32. Кольцевые канавки 29, 30 образованы в зонах кольцевых канавок 27, 28 и связаны радиальными каналами. Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 17 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 33 осуществляется автономным двигателем 34.

Шестерённый гидромотор 3 постоянного объема содержит шестерни 35, 36, образующие в корпусе 15 полости 37, 38.

Планетарный редуктор 4 включает солнечную шестерню 39, выполненную заодно с шестерней 35, коронную шестерню 40, установленную в крышке 41, сателлиты 42, установленные на осях вала, выполненного заодно с ведомым валом 43.

Напорная полость 13 второй секции шестерённого насоса 1 связана трубопроводом 44 с полостью кольцевой канавки 27. Полость кольцевой канавки 28 связана каналом 45, трубопроводом 46 с всасывающей полостью 12.

Напорная полость 9 первой секции шестерённого насоса 1 связана трубопроводом 47, каналом 48 с полостью сегментного пазов 21, связанного с полостью сегментного пазов 19, и трубопроводом 49 с полостью 37 шестерённого гидромотора 3. Полость 38 шестерённого гидромотора 3 связана трубопроводом 50, каналом 51 с полостью сегментного пазов 20, связанного с полостью сегментного пазов 22, и трубопроводом 52 с всасывающей полостью 8 первой секции шестерённого насоса 1.

При подготовке ОГП к работе контур подпитки (не показан) подключается к каналам, связанным с полостями сегментных пазов 19, 21 и 20, 22.

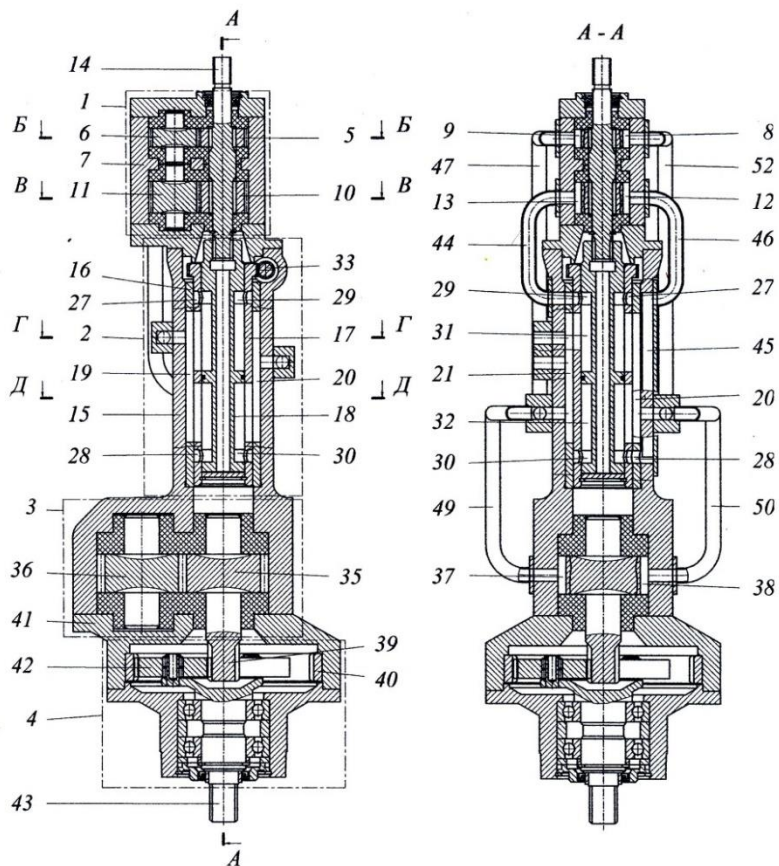


Рис. 1. ОГП моно агрегатная базе шестерённых гидромашин

Гидрораспределительный модуль 2 перераспределяет поток рабочей жидкости из напорной полости 13 между полостями 37, 38 и всасывающей полостью 12 при повороте подвижной распределительной втулки 17. При постоянном конструктивном объёме второй секции двухсекционного шестерённого насоса 1 эффективный объём второй секции будет формироваться как разность подачи рабочей жидкости второй секцией в полости 37, 38 и во всасывающую полость 12 при повороте приводного вала 14 на один оборот.

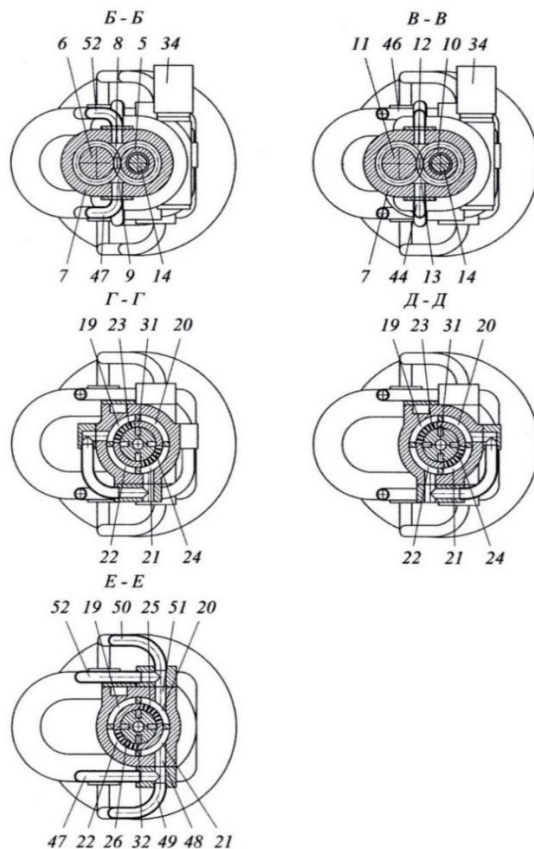


Рис. 1 (продолжение). ОГП моно агрегатная базе шестерённых гидромашин

Скорость вращения ведомого вала 43 при заданной скорости вращения приводного вала 14 и передаточное число объёмной гидрореперации без учета объёмного КПД гидромашин:

$$n_{43} = \frac{n_{14} k_1 (k + k_2)}{i_4}, \quad i = \frac{i_4}{k_1 (k + k_2)}, \quad (1)$$

где $i = \frac{n_{14}}{n_{56}}$ – передаточное число объёмной гидропередачи;

$i_4 = \frac{n_{39}}{n_{43}} > 1$ – передаточное число планетарного редуктора 4;

n_{14}, n_{39}, n_{43} – скорость вращения приводного вала 14, солнечной шестерни 39, ведомого вала 43; $k = q_{2\phi} / q_{2к}$ – коэффициент, характеризующий отношение текущих значений эффективного объёма и конструктивного объёма второй секции двухсекционного шестерённого насоса 1 с гидрораспределительным модулем 2; $q_{2\phi}, q_{2к}$ – эффективный объём и конструктивный объём второй секции двухсекционного шестерённого насоса 1 с гидрораспределительным модулем 2; $k_1 = q_{2к} / q_{3к}$ – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объёмов второй секции двухсекционного шестерённого насоса 1 и шестерённого гидромотора 3; $q_{3к}$ – конструктивный объём шестерённого гидромотора 3 постоянного объёма; $k_2 = q_{1к} / q_{2к}$ – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объёмов первой и второй секций двухсекционного шестерённого насоса 1; $q_{1к}$ – конструктивный объём первой секции двухсекционного шестерённого насоса 1.

Параметры режима работы (1) объёмной гидропередачи приведены в таблице 1.

Поворачивая подвижную распределительную втулку 17 гидрораспределительного модуля 2 на необходимый угол обеспечиваем реверсирование подачи второй секции двухсекционного шестерённого насоса 1 при изменении подачи от нулевого до максимального значений. Это позволяет осуществить плавное изменение скорости вращения ведомого вала 43 в диапазоне прямого хода и реверса. Диапазон изменения определяется соотношением основных параметров секций двухсекционного шестерённого насоса 1, шестерённого гидромотора 3, планетарного редуктора 4.

Применение простых и мало материалоемких насосного агрегата в составе шестерённого насоса и гидрораспределительного модуля 2 и шестерённого гидромотора 3 позволит существенно уменьшить сложность и материалоемкость ОГП. Применение в составе ОГП

двухсекционного шестерённого насоса 1 с регулированием эффективного объёма одной секции позволяет существенно увеличить диапазон изменения скоростей ведомого вала 43 и диапазон изменения передаточных чисел ОГП при необходимом соотношении передаточных чисел ОГП прямого хода и реверса.

Таблица 1. Передаточное число ОГП

k									
k_2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	0,2	0,6	1,0
$i(k_1 = 0,2; i_4 = 2)$									
0,8	-50,0	∞	50,0	25,0	16,7	12,5	10,0	13,2	5,6
0,6	-25,0	-50,0	∞	50,0	25,0	16,7	12,5	8,3	6,3
0,4	-16,7	-25,0	-50,0	∞	50,0	25,0	16,7	10,0	7,1
$i(k_1 = 0,2; i_4 = 3)$									
0,8	-75,0	∞	75,0	37,5	25,0	18,8	15,0	10,7	8,3
0,6	-37,5	-75,0	∞	75,0	37,5	25,0	18,8	12,5	9,4
0,4	-25,0	-37,5	-75,0	∞	75,0	37,5	25,0	15,0	10,7
$i(k_1 = 0,6; i_4 = 2)$									
0,8	-16,7	∞	16,7	8,3	5,6	4,2	3,3	2,4	1,9
0,6	-8,3	-16,7	∞	16,7	8,3	5,6	4,2	2,8	2,1
0,4	-5,6	-8,3	-16,7	∞	16,7	8,3	5,6	3,3	2,4
$i(k_1 = 0,6; i_4 = 3)$									
0,8	-25,0	∞	25,0	12,5	8,3	6,3	5,0	3,6	2,8
0,6	-12,5	-25,0	∞	25,0	12,5	8,3	6,3	4,2	3,1
0,4	-8,3	-12,5	-25,0	∞	25,0	12,5	8,3	5,0	3,6

Литература

1. Леонович, И.И. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: учебник / И.И. Леонович, А.Я. Котлобай. – Мн.: БНТУ, 2005. – 552 с.
2. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
3. ГСТ-71, ГСТ-90. Гидростатические трансмиссии. Устройство и принцип действия. ОАО «Пневмостроймашина». – Екатеринбург, 10/2009. – 17 с.
4. Котлобай, А.А. Направления снижения материалоемкости приводов оборудования дорожно-строительных машин / А.А. Котлобай // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. № 1 (23). – С. 73 – 83.
5. Объемная гидropередача: пат. 12393 U Республика Беларусь, F 16H 61/44 (2006.01), F 15B 11/22 (2006.01) // Заявители: Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Авторы: Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Патентообладатели: Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич (BY) – № u 20190309, 2019.12.11; опубл. 2020.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 4.

Развитие шестеренных насосов приводов оборудования дорожно-строительных машин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования и рабочих органов технологического оборудования многофункциональных строительных и дорожных машин осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов, на базе современных насосов регулируемого объема, обеспечивающих необходимый уровень подачи рабочей жидкости для эффективной работы данного оборудования [1, 2].

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод ходового и технологического оборудования строительных и дорожных машин [3, 4, 5, 6, 7] авторы рассмотрели возможность создания насосов шестеренных регулируемого эффективного объема для работы в закрытом и открытом гидравлических контурах на базе шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля. Разработаны конструктивные схемы насоса шестеренного переменного эквивалентного объема, реверсирующего (*рисунок 1, а*) и не реверсирующего (*рисунок 1, б*) поток рабочей жидкости.

Насос шестеренный переменного эквивалентного объема включает шестеренный насос постоянного объема 1 и гидрораспределительный модуль 2.

Шестеренный насос постоянного объема 1 содержит шестерни 3, 4, образующие полости: всасывающую 5, и напорную 6. Шестерня 3 выполнена заодно с приводным валом 7.

Гидрораспределительный модуль 2 обеспечивает изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного, и дополнительно, реверсирование потока рабочей жидкости, позволяющее работу в закрытом контуре (см. *рисунок 1, а*), и изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного (см. *рисунок 1, б*), позволяющее работу в открытом контуре. Гидрораспределительный

модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 8, закрепленную в корпусе 9, подвижную распределительную втулку 10, установленную по наружной образующей поверхности в неподвижной распределительной втулке 8 с возможностью поворота на угол: 180° для насосов, реверсирующих (см. рисунок 1, а), и 90° – для насосов, не реверсирующих (см. рисунок 1, б) поток рабочей жидкости, и ротор 11, установленный по наружной образующей поверхности в подвижной распределительной втулке 10, и связанный с приводным валом 7 шлицевым соединением.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 10 образованы четыре сегментных паза 12, 13, 14, 15 с центральными углами, составляющими $\approx 90^\circ$. Полости сегментных пазов 12, 14 и 13, 15 связаны попарно каналами 16, 17, 18, 19 и трубопроводами 20, 21. Шестеренная насосная установка включается в гидросистему посредством подключения гидравлических магистралей к каналам 17, 19.

В гидрораспределительном модуле 2 для работы насоса шестеренного в закрытом контуре на цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 10 образованы четыре группы продольных каналов 22, 23, 24, 25. Группы продольных каналов 22, 23 и 24, 25 выполнены диаметрально противоположными и смещены по оси подвижной распределительной втулки 10 и углу на 90° . Также, на наружной цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 10 образованы две кольцевые канавки 26, 27. На цилиндрической поверхности ротора 11 образованы две кольцевые канавки 28, 29, и две группы продольных каналов 30, 31, смещенных по оси ротора 11, и равномерно распределенных по образующей цилиндрической поверхности ротора 11. Кольцевые канавки 28, 29 образованы в зонах кольцевых канавок 26, 27. Полости кольцевых канавок 26, 27 связаны с полостями кольцевых канавок 28, 29 радиальными каналами подвижной распределительной втулки 10. Продольные каналы групп 30, 31 образованы в зонах продольных каналов 22, 23 и 24, 25. Полости продольных каналов группы 30 связаны с полостью кольцевой канавки 28, а продольных каналов группы 31 – с полостью кольцевой канавки 29. Всасывающая полость 5 связана каналами 32, 33, 34 с полостью кольцевой

канавки 27. Напорная полость 6 связана каналами 35, 36, 37 с полостью кольцевой канавки 26.

В гидрораспределительном модуле 2 для работы насоса шестеренного в открытом контуре на цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 10 образованы две группы продольных каналов 22, 23 и одна кольцевая канавка 26. На цилиндрической поверхности ротора 11 образована кольцевая канавка 28 и группа продольных каналов 30. Всасывающая полость 5 связана каналами 32, 33, 19 с полостями сегментных пазов 15, 13. Напорная полость 6 связана каналами 35, 36, 37 с полостью кольцевой канавки 26.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 10 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 38 червячного зацепления подвижной распределительной втулки 10 осуществляется автономным двигателем.

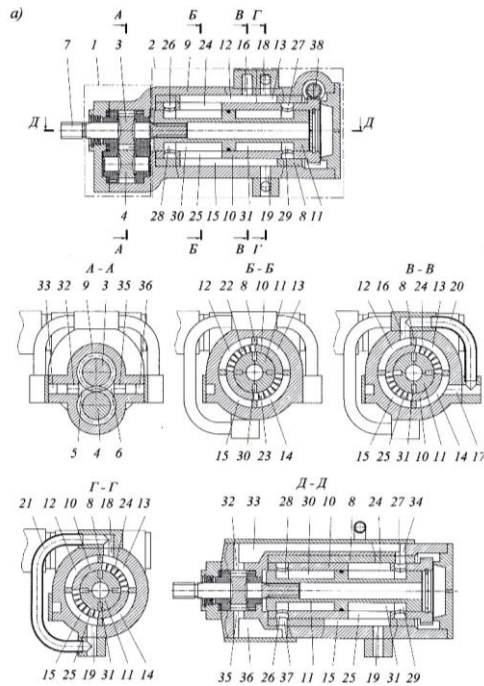


Рис. 1 а. Насос шестеренный, реверсирующий поток рабочей жидкости

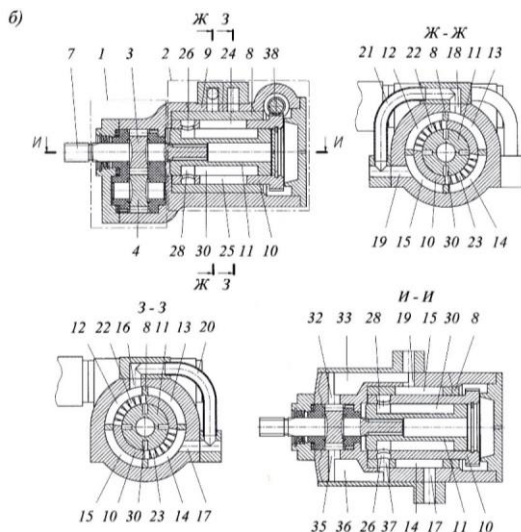


Рис. 1 б. Насос шестеренный не реверсирующий поток рабочей жидкости

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 10 в диапазоне $0 \div 90^\circ$ посредством автономного двигателя и червяка 38 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль потребителя в диапазоне от нулевого до максимального значений, и, при усложнении конструкции распределительного модуля 2 – реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Реализация предложенного принципа построения гаммы насосных агрегатов позволит сократить номенклатуру выпускаемых гидравлических аппаратов при обеспечении потребностей транспортного и дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем приводов ходового и технологического оборудования.

Предлагаемые подходы к созданию шестеренных насосов переменного эквивалентного объема позволяют реализацию модульного принципа построения, состоящего в данном случае в том, что насос шестеренный постоянного объема 1 и распределительный модуль 2 производятся в отдельных корпусах, обеспеченных фланцами для соединения. Модульный подход позволит создавать типоразмерные

ряды регулируемых насосов на базе типоразмерного ряда шестеренных насосов постоянного объема и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей предлагаемых конструкций. Модульный принцип построения не исключает возможности применения шестеренных насосов постоянного объема без гидрораспределительных модулей. При этом, посадочный фланец корпуса шестеренного насоса закрывается крышкой. Данное направление создания шестеренных насосов переменного эквивалентного объема является весьма перспективным, и не требует существенного пересмотра сложившихся технологий производства насосов.

Литература

1. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

2. ГСТ-71, ГСТ-90. Гидростатические трансмиссии. Устройство и принцип действия. ОАО «Пневмостроймашина». – Екатеринбург, 10/2009. – 17 с.

3. Котлобай, А.А. Направления снижения материалоемкости приводов оборудования дорожно-строительных машин / А.А. Котлобай // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. № 1 (23). – С. 73 – 83.

4. Котлобай, А.Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В. Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–17.

5. Котлобай, А.Я. Модернизация шестеренных насосов приводов оборудования инженерных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // Инженер-механик. – 2019. №4 (85). – С. 17–20.

6. Котлобай, А.Я. Насосы шестеренные регулируемые гидравлических приводов инженерных машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // Инженер-механик. – 2020. №1 (86). – С. 10–14.

7. Насос шестеренный: пат. 12439 U, Республика Беларусь, F 15B 11/00 (2006.01) / Заявители: Котлобай Анатолий Яковлевич, Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Авторы: Котлобай Анатолий Яковлевич, Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Патентообладатели: Котлобай Анатолий Яковлевич, Котлобай Андрей Анатольевич (BY). – № u 20200030; заявл. 2020.02.04; опубл. 2020.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 5.

Формирование структуры отдельно агрегатной гидродифференциальной передачи приводов дорожно-строительных машин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Объемная гидropередача (ОГП) в приводах оборудования дорожно-строительных машин позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости ходового и технологического оборудования, расширяет возможности компоновочных решений. Находят применение дифференциальные трансмиссии, в том числе ОГП с внутренним разветвлением потока мощности, обеспечивающие необходимый диапазон изменения передаточных отношений [1, 2]. Наряду с моно агрегатными ОГП существует потребность поиска технических решений гидродифференциальных ОГП отдельно агрегатных, насосная и моторная установки которых размещены в соответствии с компоновочными решениями дорожно-строительной машины.

При анализе показателей материалоемкости и удельной стоимости насосов выявлено, что минимальной материалоемкостью и удельной стоимостью обладают шестеренные гидромашины, применение которых в качестве насосов в составе ОГП ограничено отсутствием технических решений по регулированию эквивалентного объема насоса и реверсирования потока рабочей жидкости [3]. Одним из возможных направлений активизации работ по созданию гаммы ОГП с внутренним разветвлением потока мощности является возможность использования шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля, регулирующего эквивалентный рабочий объем насоса шестеренного [4, 5].

ОГП включает два основных агрегата: насосный и моторный, выполненные отдельно (*рисунок 1*). Насосный агрегат содержит двухсекционный шестеренный насос 1 постоянного объема, гидрораспределительный модуль 2. Моторный агрегат содержит гидромоторы постоянного объема: шестеренный 3, аксиально-поршневой

4, редукторы: промежуточный планетарный редуктор 5, выходной планетарный редуктор 6.

Первая секция шестеренного насоса 1 содержит шестерни 7, 8, образующие в корпусе 9 насоса всасывающую 10 и напорную 11 полости. Вторая секция шестеренного насоса 1 содержит шестерни 12, 13, образующие в корпусе 9 всасывающую 14 и напорную 15 полости. Шестерни 7, 12 связаны шлицевыми соединениями с приводным валом 16.

Гидрораспределительный модуль 2 выполнен в корпусе 17, включает неподвижную распределительную втулку 18, подвижную распределительную втулку 19, и ротор 20, связанный с приводным валом 16.

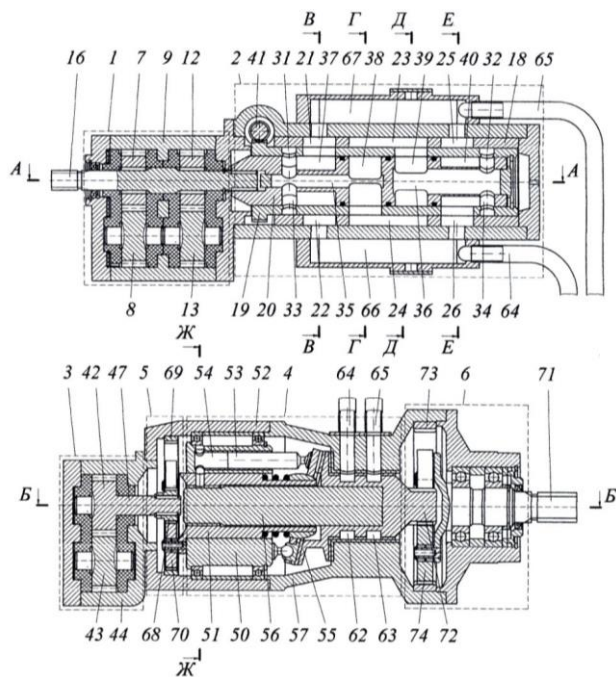


Рис. 1. ОГП раздельно агрегатная

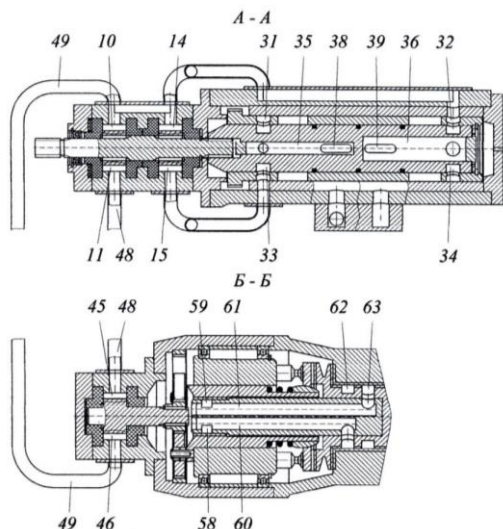


Рис. 1 (продолжение). ОГП раздельно агрегатная

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 18 образованы шесть сегментных пазов 21, 22, 23, 24, 25, 26, при этом пазы связаны внутри групп 21, 24, 25 и 22, 23, 26.

На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 19 образованы четыре группы продольных каналов 27, 28, 29, 30, и две кольцевые канавки 31, 32.

На цилиндрической поверхности ротора 20 образованы две кольцевые канавки 33, 34, и по оси ротора 20 – два продольных канала 35, 36 с полостями, связанными с полостями кольцевых канавок 33, 34. На цилиндрической поверхности ротора 20 образованы четыре группы продольных каналов 37, 38, 39, 40. Полости продольных каналов 37, 40 связаны с полостями кольцевых канавок 33, 34. Полости продольных каналов 38, 39 связаны с полостями продольных каналов 35, 36. Кольцевые канавки 33, 34 связаны с кольцевыми канавками 31, 32.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 19 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 41 осуществляется автономным двигателем.

Напорная полость 15 связана с полостью кольцевой канавки 31. Полость кольцевой канавки 32 связана с всасывающими полостями 14, 10 второй и первой секций шестеренного насоса 1.

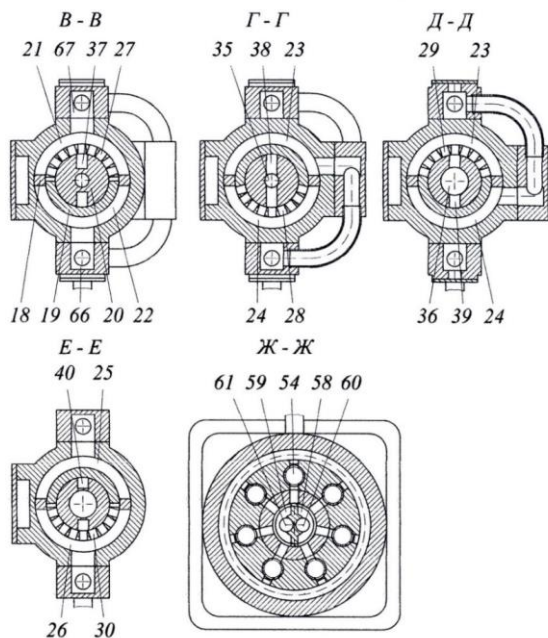


Рис. 1 (продолжение). ОГП раздельно агрегатная

Гидромотор 3 шестеренный постоянного объема содержит шестерни 42, 43, образующие в корпусе 44 гидромотора 3 напорную 45 и сливную 46 полости. Вал 47 гидромотора 3 выполнен заодно с шестерней 42. Напорная полость 45 связана трубопроводом 48 с напорной полостью 11 первой секции шестеренного насоса 1. Сливная полость 46 связана трубопроводом 49 с всасывающими полостями 10, 14 шестеренного насоса 1.

Аксиально-поршневой гидромотор 4 постоянного объема включает блок цилиндров 50, связанный с втулкой 51, установленный по наружной поверхности в подшипниковом узле корпуса 52. Поршни 53 образуют рабочие полости 54 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 55, в ступице которой закреплена ось 56. Ступи-

ца наклонной шайбы 55 и ось 56 установлены по наружной образующей поверхности в подшипниковых узлах скольжения корпуса 57 и втулки 51. Корпусы 44, 52, 57 соединены.

Гидрораспределитель аксиально-поршневого гидромотора 4 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 58, 59 с центральными углами 180° , образованную на наружной поверхности оси 56. Рабочие полости 54 связаны с полостями сегментных пазов 58, 59, связанных каналами 60, 61 с полостями кольцевых канавок 62, 63, образованных на поверхности ступицы наклонной шайбы 55. Полости кольцевых канавок 62, 63 связаны каналами, трубопроводами 64, 65 с каналами 66, 67, связывающих в свою очередь группы сегментных пазов 22, 23, 26 и 21, 24, 25.

Промежуточный планетарный редуктор 5 установлен в кинематической линии связи вала 47 гидромотора 3 и втулки 51 блока цилиндров 50. Редуктор 5 включает солнечную шестерню 68, установленную на валу 47, и связанную с ним шлицевым соединением, коронную шестерню 69, установленную в корпусе 52, сателлиты 70, установленные на осях водила, выполненного заодно с втулкой 51.

Выходной планетарный редуктор 6 установлен в кинематической линии связи ступицы наклонной шайбы 55 и ведомого вала 71, установленного в подшипниковом узле крышки корпуса 57. Редуктор 6 включает солнечную шестерню 72, выполненную заодно со ступицей наклонной шайбы 55, коронную шестерню 73, установленную в корпусе 57, сателлиты 74, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 71.

Режим работы ОГП регулируется посредством изменения углового положения подвижной распределительной втулки 19.

Скорость вращения ведомого вала 71 при заданной скорости вращения приводного вала 16 и передаточное число ОГП:

$$n_{71} = n_{16} \left(\frac{k_1 + k_2 k i_3}{i_3 i_4} \right), \text{ или } i = \frac{i_3 i_4}{k_1 + k_2 k i_3}, \quad (1)$$

$$i = \frac{n_{16}}{n_{71}}, \quad i_3 = \frac{n_{68}}{n_{50}}, \quad i_4 = \frac{n_{72}}{n_{71}}, \quad k_1 = \frac{q_{11}}{q_3}, \quad k_2 = \frac{q_{12}}{q_4}, \quad k = \frac{q_\varphi}{q_{12}},$$

где i, i_3, i_4 – передаточное число ОГП, планетарного редуктора 3, 4; $n_{16}, n_{50}, n_{68}, n_{71}, n_{72}$ – скорость вращения приводного вала 16, блока цилиндров 50 гидромотора 4, солнечной шестерни 68 планетарного редуктора 3, ведомого вала 71, солнечной шестерни 72 планетарного редуктора 4; k_1 – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объемов первой секции насоса 1 и гидромотора 3; k_2 – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объемов второй секции насоса 1 и гидромотора 4; k – коэффициент, характеризующий отношение эквивалентного и конструктивного объемов второй секции насоса 1 (диапазон изменения $k = -1 \div +1$); q_{11}, q_{12}, q_3, q_4 – конструктивный объем первой, второй секции насоса 1, гидромоторов 3, 4; q_p – эффективный объем второй секции насоса 1, определяемый углом поворота подвижной распределительной втулки 19.

В выражении (1) не учитывается объемный КПД гидромашин.

Параметры работы (1) ОГП отдельно агрегатной представлены в таблице 1.

Таблица 1. Передаточное число ОГП отдельно агрегатной

$k_1 = 1,0; k_2 = 1,0; i_3 = 3$									
	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,33	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
	-4,5	-6,4	-45,0	∞	22,5	9,0	5,6	3,2	2,3
	-6,0	-8,6	-60,0	∞	30,0	12,0	7,5	4,3	3,0
	-7,5	-10,7	-75,0	∞	37,5	15,0	9,4	5,4	3,8
$k_1 = 1,0; k_2 = 1,0; i_3 = 4$									
	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,25	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
	-4,0	-5,5	-20,0	∞	60,0	12,0	6,7	3,5	2,4
	-5,3	-7,3	-26,7	∞	80,0	16,0	8,9	4,7	3,2
	-6,7	-9,1	-33,3	∞	100,0	20,0	11,1	5,9	4,0
$k_1 = 1,0; k_2 = 1,0; i_3 = 5$									
	k								
	-1,0	-0,8	-0,4	-0,3	-0,2	0	0,2	0,6	1,0

	-3,8	-5,0	-15,0	-30,0	∞	15,0	7,5	3,8	2,5
	-5,0	-6,7	-20,0	-40,0	∞	20,0	10,0	5,0	3,3
	-6,3	-8,3	-25,0	-50,0	∞	25,0	12,5	6,3	4,2
$k_1 = 1,0; k_2 = 0,5; i_3 = 3$									
	k								
	-1,0	-0,8	-0,67	-0,4	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
	-18,0	-45,0	∞	45,0	12,8	9,0	6,9	4,7	3,6
	-24,0	-60,0	∞	30,0	17,1	12,0	9,2	6,3	4,8
	-30,0	-75	∞	41,7	21,4	15,0	11,5	7,9	6,0
$k_1 = 1,0; k_2 = 0,5; i_3 = 4$									
	k								
	-1,0	-0,8	-0,5	-0,4	-0,2	0	0,2	0,6	1,0
	-12,0	-60,0	∞	60,0	20,0	12,0	8,6	6,3	4,0
	-16,0	-80,0	∞	80,0	26,7	16,0	11,4	8,4	5,3
	-20,0	-100	∞	100,0	33,3	20,0	14,3	10,5	6,7

Изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения передаточного числа при изменении эквивалентного объема второй секции насоса шестеренного I .

Литература

1. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
2. Котлобай, А.Я. Объемные гидравлические передачи ходового оборудования транспортно-тяговых машин / Объемные гидравлические передачи ходового оборудования транспортно-тяговых машин // Инженер-механик. – 2017. №2 (75). – С. 18–25.
3. Котлобай, А.А. Направления снижения материалоемкости приводов оборудования дорожно-строительных машин / А.А. Котлобай // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. № 1 (23). – С. 73 – 83.
4. Котлобай, А.Я. Объемная гидропередача отдельно агрегатная на базе двухсекционных шестеренных гидромашин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // Инженер-механик. – 2019. №3 (84). – С. 5–10.

5. Гидродифференциальная передача: пат. 12472 U Республика Беларусь, F 16H 61/44 (2006.01), F 15B 11/22 (2006.01) // Заявители: Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Авторы: Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич (BY); Патентообладатели: Котлобай Анатолий Яковлевич; Котлобай Андрей Анатольевич (BY) – № u 20200154, 2020.06.16; опубл. 2020.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2020. – № 6.

Материалоемкость дорожно-строительных машин и приводов технологического оборудования

Котлобай А.А., Котлобай А.Я.

Белорусский национальный технический университет

Одним из направлений повышения конкурентоспособности дорожно-строительных машин является снижение материалоемкости, в том числе, «использованием в кинематических схемах прогрессивных приводов». Правомерность таких подходов объясняется тем, что относительная стоимость насосов, насосных агрегатов выше относительной стоимости основных структурных единиц систем гидравлических приводов дорожно-строительных машин [1].

Рассмотрим удельную стоимость основных типов дорожно-строительных машин различных производителей (таблица 1), насосов и насосных агрегатов (таблица 2), представленных на рынке. В первом приближении удельная стоимость определяется как отношение рыночной стоимости машины, агрегата к ее массе [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Минимальными значениями удельной стоимости располагают гусеничные бульдозеры, тракторы производства ЧТЗ-УРАЛТРАК, МТЗ, самосвалы производства МАЗ. Это объясняется комплектованием машин агрегатами, крупносерийное производство которых налажено на производственных мощностях отечественных производителей. Удельная стоимость шасси автомобилей повышается за счет отсутствия относительно недорогого оборудования самосвалов.

Удельная стоимость рассмотренных моделей экскаваторов гусеничных близка к удельной стоимости рассмотренных моделей автомобильных шасси, что объясняется наличием в конструкции гусеничного шасси и технологического оборудования экскаваторов металлоемких комплектующих относительно не высокого технологического уровня.

Удельная стоимость колесных экскаваторов близка удельной стоимости гусеничных экскаваторов производства Российской Федерации. Удельная стоимость экскаваторов «Амкодор EW-1400»

выше удельной стоимости экскаваторов «TVEX», что объясняется ограниченной серийностью экскаватора. Повышенная удельная стоимость колесных экскаваторов «Hyundai» объясняется наличием в конструкции шасси, технологического оборудования, систем управления высокотехнологичных компонентов.

Удельная стоимость фронтальных погрузчиков аналогична удельной стоимости экскаваторов колесных. Это объясняется соизмеримыми технологическими уровнями колесных шасси, технологического оборудования, систем управления.

Таблица 1. Удельная стоимость дорожно-строительных машин

Марка машины		Полная масса, кг	Стоимость, RUR, 2017-2018	Удельная и средняя удельная стоимость, RUR/кг	
Бульдозер гусеничный, трактор гусеничный					
«Беларус»	MT3-1502	15000	3800000	253,3	215,1
	MT3-2103	12015	4200000	349,6	
ЧТЗ	Б10М	21250	3700000	174,1	
	Б12	24520	4300000	175,4	
	Т-170	16000	2500000	156,3	
	Т-10М	17600	3200000	181,8	
Самосвал					
МАЗ	4570	5590	2000000	357,8	296,9
	5550	8125-8725	2500000	286,5-307,7	
	6501	8125-8725	3600000	249,6-289,7	
	6516	14825-16200	4000000	249,6-289,7	
КамАЗ	New 43255	6900	2600000	376,8	
	New 6511	11050	3800000	343,9	
	6511	11050	2400000	217,2	
Шасси					
МАЗ	4570	4150	1800000	433,7	337,4
	5550	6726-6775	2000000	295,2-297,4	
	6501	9425-9475	3000000	316,6-318,3	
	6516	11425	3500000	306,3	
КамАЗ 43255		5450	2150000	394,5	
Экскаватор гусеничный					
Амкодор ЭО-3223		15900	7500000	471,7	334,6
TVEX TX 210		22500-23600	7500000	317,8-333,3	
Комatsu	PS200-8	19800-21700	7000000	322,6-353,5	

	PS300-8	31100-32580	8000000	245,5-257,2		
	PS400-7	41400-43300	15000000	346,4-363,3		
Экскаватор колесный						
Амкодор EW-1400		14900	7000000	469,8	4 12,1	
ТВЕХ	EK-12	12900	4400000	341,0		
	EK-14	14900	5100000	342,3		
	EK-18	18400	5400000	293,5		
	140W	14400	6300000	428,6		
	180W	17600	6600000	375,0		
	WX-200	22300	8900000	399,1		
Hyundai	R140W-9S	14700	7250000	493,2		
	R180W-9S	18420	8700000	472,3		
	R210W-9S	20690	1050000 0	507,5		
Фронтальный погрузчик						
Амкодор	332	10600- 10900	3500000	321,1-330,2	394,0	
	342	13500	3000000	222,2		
	352	14000- 15700	4800000	305,7-342,9		
Komatsu	WA380-6	16540-16850	7000000	415,4-423,2		
	WA420-3	18280	8000000	437,6		
	WA470-6	22880-23110	10000000	432,7-437,1		
Hyundai	HL760-9S	17600	9000000	511,4		
	HL770-9S	22500	11000000	488,9		
	HL780-9S	29500	16000000	542,4		
JCB	426 ZX	12850	5000000	428,0		
	455 ZX	17800	7000000	393,3		
	467 ZX	23890-24124	8000000	331,6-334,9		
Экскаватор-погрузчик						
Ам- кодор	702	7100	2000000	309,9		535,1
	732	9100	4000000	472,5		
Terex	TLB 825	7600	4000000	565,8		
	860 SX	7370	3000000	434,2		
	970 Elite	7537	4000000	557,3		
Hyun dai	H940S	8900	5000000	561,8		
	H930S	7750	4000000	580,6		
JCB	3CX	7800	5000000	641,0		
	4CX	8660	6000000	692,8		

Малогобаритный погрузчик пневмоколесный						
Амкодор 211		3800	3000000	842,1	885,8	
Komatsu	SK714-5	2530	2000000	790,5		
	SK820-5	3080	3000000	1136,4		
Hyundai HSL650-7A		2690	2000000	743,5		
JCB	155	2844	2000000	879,0		
	175	3011	2000000	930,0		
	300	4067	3000000	860,6		
	330	4203	3000000	904,1		
Малогобаритный погрузчик гусеничный						
JCB	150T	3851	2000000	649,2		638,2
	300T	4836	3000000	620,3		
	320T	4961	3000000	645,0		
Малогобаритный экскаватор-погрузчик пневмоколесный						
JCB 1СХТ		3158-3254	3000000	921,9-950,0	936,0	
JCB	8025 ZTS	2806-2833	3000000	1058,9-1069,1	1037,3	
	8030 ZTS	3217	3000000	994,7		
Komatsu PC01-1		380	390000	1026,3		

Таблица 2. Удельная стоимость насосов и насосных агрегатов

Гидромашина	Масса, кг	Стоимость, RUR	Удельная стоимость, RUR/кг	Средняя удельная стоимость, RUR/кг
Насосы шестеренные нерегулируемые типа НШ				
10У-3	1,9	860	452,6	441,2
16Г-3	2,9	1388	478,6	
32УК-3	4,0	1428	357,0	
50А-3	7,1	3243	456,8	
100А-3	16,5	5001	303,1	
250-4	43,6	26124	452,6	
Насосы аксиально-поршневые нерегулируемые типа 310				
210.12	4,0	16756	4189,0	4387,6
310.12	4,0	17841-18054	4460,3-4513,5	
310.2.28	9,0	18585-20626	2065,0-2291,8	1549,1
310...56	17,0	20296-27694	1193,9-1629,1	
310.4.80	19,2	28933-32155	1506,9-1674,7	
310...112	29,0	31470-39648	1085,2-1367,2	
310...160	45,0	59991-85532	1333,1-1900,7	

310...250	65,0	82600	1270,8	
Насосы аксиально-поршневые регулируемые типа 313				
313.12	9,0	30208	3364,4	3364,4
313.2.28	15,5	34456-38409	2223,0-2478,0	2023,9
313.3.55	24,0	53808-57820	2242,0-2409,2	
313.56	22,0	53808	2445,8	
313.4.80	38,0	61360-65136	1614,7-1714,1	
313.3.107	40,0	73455-85550	1836,4-2138,8	
313...112	37,5	73455	1958,8	
313.160	55,0	100064-103840	1819,3-1888,0	
313.4.250	85,0	142308-146320	1674,2-1721,4	
Насосы аксиально-поршневые регулируемые типа 416				
416.0.28	25,0	52392	2095,7	2095,7
416.0.71	67,0	62776	937,0	951,7
416.0.90	67,0	69030	1030,3	
416.0.112	80,0	71626	895,3	
416.0.125	80,0	75520	944,0	
Насосные агрегаты				
233...28	40,0	86930	2173,3	1845,7
233...56	74,0	95934	1296,4	
333...56	74,0	134508	1817,7	
333...55	74,0	159807	2159,6	
223...80	88,0	94352	1072,2	
333...80	88,0	164787-165200	1872,6-1877,3	
333...107	110,0	195408-253110	1776,4-2301,0	
233...112	110,0	147635-160267	1342,1-1457,0	
333...112	110,0	186109	1691,9	
353...112	224,0	291460	1301,2	
233...160	155,0	186516	1203,3	
333...160	155,0	263305-281666	1698,7-1817,2	
Универсальные насосные агрегаты				
УНА 1	138,0	191962	1391,0	1612,8
УНА 4	80,0	142225	1777,8	
УНА 5	137,0	200470	1463,3	
УНА 8А	170,0	269547	1585,6	
УНА 9, УНА 10, УНА 11, УНА 12, УНА 14	170,0	313844	1846,1	

Повышение удельной стоимости экскаваторов-погрузчиков связано с расширением гаммы технологического оборудования, реализованного на базе высокотехнологичных компонентов систем при-

водов, управления. Кроме того, экскаваторы-погрузчики часто используют в качестве базового шасси, серийно выпускаемые и доработанные тракторы, трансмиссии которых, рассчитанные на работу в тяговом режиме с гаммой сменного рабочего оборудования, сложны, избыточны и дороги для экскаваторов-погрузчиков, работающих в ином режиме.

Удельная стоимость малогабаритных погрузчиков, экскаваторов, экскаваторов-погрузчиков колесных и гусеничных увеличивается во всех рассмотренных моделях различных производителей. Это объясняется тем, что система приводов ходового и технологического оборудования сформирована на базе современных высокотехнологичных гидравлических агрегатов при уменьшении доли низко технологичных конструкций в общей массе машины. Кроме того, серийность этих машин не высока.

Удельная стоимость насосов шестеренных, широко используемых в гидронавесных системах тракторов, дорожно-строительных машин – минимальна среди остальных насосов, и находится в диапазоне удельной стоимости ряда дорожно-строительных машин.

Удельная стоимость аксиально-поршневых насосов не регулируемых, регулируемых, насосных агрегатов, в том числе универсальных, превышает удельную стоимость насосов шестеренных в 2–4 раза, а по некоторым моделям и более.

Проведенный анализ показал, что удельная стоимость насосных установок приводов ходового и рабочего оборудования дорожно-строительных машин существенно превышает аналогичный показатель всех рассмотренных машин различных производителей.

Основные технические решения по наиболее востребованным типам машин отработаны. Снижение материалоемкости, как направление повышения конкурентоспособности дорожно-строительных машин, может проводиться в направлении оптимизации параметров материалоемкости гидравлических агрегатов систем приводов ходового и технологического оборудования дорожно-строительных машин. Например, одним из направлений модернизации гидропривода одноковшовых полноповоротных экскаваторов является замена двухпоточных насосов на насосные агрегаты, состоящие из редуктора привода насосов и серийно выпускаемых насосов производства профильных предприятий России. Замена двухпоточных насосов насосными агрегатами позволяет оп-

тимизировать параметры материалоемкости гидросистем привода ходового и рабочего оборудования экскаваторов.

Одной из наиболее объективных сравнительных характеристик машин является их удельная материалоемкость [7]. Этот показатель определяется отношением массы машины, агрегата к значению ее главного параметра. Главным параметром насосного агрегата является его рабочий объем.

Материалоемкость насоса (насосного агрегата) можно оценить относительным параметром – удельной материалоемкостью насоса (насосного агрегата):

$$m_{y\partial} = M_n / q_n, \quad m_{y\partial cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_{y\partial i},$$

где $m_{y\partial}$ – удельная материалоемкость насоса (насосного агрегата), кг/м³; M_n – масса насоса (насосного агрегата) без рабочей жидкости, кг; q_n – номинальный рабочий объем насоса (насосного агрегата), м³; i – номер анализируемого насоса (насосного агрегата), $i=1 \dots n$; n – число насосов (насосных агрегатов) в анализируемой линейке.

Удельная материалоемкость насосов (насосных агрегатов), применяемых в гидросистемах приводов ходового и рабочего оборудования дорожно-строительных машин приведена в таблице 3.

Анализ результатов расчета удельной материалоемкости насосов (насосных агрегатов) (см. **Ошибка! Неверная ссылка закладки.**3) показывает минимальную материалоемкость шестеренных насосов. Усложнение конструктивной схемы насоса (насосного агрегата) приводит к увеличению его удельной материалоемкости. Так, удельная материалоемкость аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной материалоемкости насоса нерегулируемого типа НШ на 82%; удельная материалоемкость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 выше удельной материалоемкости насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 28%; удельная материалоемкость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 207 выше удельной материалоемкости насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 90%. Это свидетельствует о рациональности конструктивной схемы насоса типа 313 по параметру ма-

териалоемкости. Разность значений удельной материалоемкости насосов регулируемого и нерегулируемого позволит оценить удельную материалоемкость систем регулирования и автоматики насоса. Удельная материалоемкость насосов, регулируемых с наклонной шайбой типа 416 выше удельной материалоемкости насосов типа 313 на 67–89%, что объясняется сложной системой управления насосом и наличием насоса подпитки для работы в закрытом контуре.

Таблица 3. Удельная материалоемкость насосов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ							
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4		
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	10	16	32	50	100	250		
$M_n, \text{ кг}$	1,9	2,9	4,0	7,1	16,5	43,6		
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,19	0,18	0,13	0,14	0,17	0,17		
$m_{y\delta cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,16							
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый							
	типа 210			типа 310				
	12	28	28	56	80	112	160	250
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	11,6	28,1	28,0	56,0	80,0	112,0	160,0	250,0
$M_n, \text{ кг}$	4,0	8,1	9,0	17,0	19,2	29,0	45,0	65,0
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,34	0,29	0,32	0,30	0,24	0,26	0,28	0,26
$m_{y\delta cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,29							
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый							
	типа-207	типа 313						
	55	55	56	107	112	160	250	
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8	55,0	56,0	107,0	112,0	160,0	250,0	
$M_n, \text{ кг}$	30,0	24,0	22,0	40,0	37,5	55,0	85,0	
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,44	0,39	0,37	0,33	0,34	0,34	
$m_{y\delta cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,37						
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 416							
	028	028	028	028	028	028		
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	28	71	90	110	125			
$M_n, \text{ кг}$	25	67	67	80	80			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,89	0,94	0,74	0,73	0,64			
$m_{y\delta cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,92			0,70				
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый многопоточный							
	на базе насосов типа 207			на базе насосов типа 313				
	223.20	223.25	321.224А	323.20	333.20			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	107+107	112+112	56+56	56+56+28			

M_n , кг	162,0	320,0	280,0	90,0	100,0
$m_{y\partial}$, 10^{-6} кг/м ³	1,48	1,50	1,25	0,80	0,71
$m_{y\partial cp}$, 10^{-6} кг/м ³	1,41			0,76	
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный «BOSCH-Rexroth» серия A8VO				
q_n , 10^{-6} м ³	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200
M_n , кг	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0
$m_{y\partial}$, 10^{-6} кг/м ³	0,75	0,56	0,54	0,52	0,45
$m_{y\partial cp}$, 10^{-6} кг/м ³	0,56				
Параметр	Агрегат насосный многопоточный				
	333.3.55. 100.22 0	УНА-4: 333.3.56. 000.66 0	333.4.107. 100.880	УНА-1: 323.4.112. 120.77	УНА-5: 323.3.112. 020.77
q_n , 10^{-6} м ³	55+55+12	56+56+12	107+107+12	112+112	112+112
M_n , кг	74,0	80,0	132,0	138,0	137,0
$m_{y\partial}$, 10^{-6} кг/м ³	0,62	0,66	0,59	0,62	0,61
$m_{y\partial cp}$, 10^{-6} кг/м ³	0,62				

Многопоточные насосы, широко применяемые в системах приводов ходового и технологического оборудования ДСМ, в частности в системах приводов одноковшовых полноповоротных экскаваторов, имеют различные параметры удельной материалоемкости, определяемые конструктивной схемой многопоточного насоса. Разность значений удельной материалоемкости многопоточных и однопоточных насосов позволит оценить удельную материалоемкость систем приводов насосов в составе многопоточного насоса. Удельная материалоемкость двухпоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А, созданных на базе насосов типа 207 выше удельной материалоемкости насоса однопоточного типа 207 на 156% (удельная материалоемкость приводов насосов 0,86); удельная материалоемкость этих же насосов выше удельной материалоемкости насоса типа 313 на 281%. Удельная материалоемкость многопоточных насосов 323.20, 333.20, созданных на базе насосов типа 313 выше удельной материалоемкости однопоточных насосов типа 313 на 105% (удельная материалоемкость приводов насосов 0,39).

Анализ соотношения удельной материалоемкости насосов аксиально-поршневых регулируемых двухпоточных «BOSCH-Rexroth» серии A8VO и однопоточных насосов серии 313 показал, что удельная материалоемкость двухпоточных насосов серии A8VO выше

удельной материалоемкости насосов типа 313 на 51%. Удельная материалоемкость насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной материалоемкости однопоточных насосов типа 313 на 68% (удельная материалоемкость приводов насосов 0,25). Насосные агрегаты на базе насосов типа 313 создавались в качестве альтернативы многопоточным насосам 223.20, 223.25, 321.224А.

Одним из возможных направлений снижения материалоемкости насосных агрегатов гидравлических приводов ходового и рабочего оборудования является модульный подход создания типоразмерных рядов регулируемых насосов на базе типоразмерного ряда шестеренных насосов постоянного объема и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей, обеспечивающих изменение эффективного объема насосного агрегата и реверсирование потока рабочей жидкости.

Литература

1. Котлобай, А.А. Гидравлические агрегаты систем приводов дорожно-строительных машин / А.А. Котлобай // Автомобильные дороги и мосты. – 2016. №2(18). С. 109–116.
2. Интернет ресурс «www.ironhorse.ru».
3. Прайс-лист ООО «Компания Драйв» Мобильная и промышленная гидравлика. – Екатеринбург. – Интернет ресурс «drive@r66.ru».
4. Каталог продукции ЧАО «Стройгидравлика». – Интернет ресурс «Stroygidravlika.com.ua».
5. Агрегаты насосные. Технический каталог. ОАО «Пневмостроймашина» – Екатеринбург. 2011. – 20 с.
6. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
7. ОАО «Гидросила». Каталог продукции. Интернет ресурс «www.hydrosila.com».
8. BOSCH Rexroth AG. Hydraulics. Axial Piston Variable Double Pump A8VO. Интернет ресурс «www.boschrexroth.com/axial-piston-pumps».

Расширение функциональных возможностей дорожных и строительных машин для строительства местных дорог в Республике Беларусь

Гарост М.М., Кравченко С.Е.
Белорусский национальный технический университет

В рамках выполнения Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017-2020 годы отремонтировано и реконструировано более 7 тысяч километров местных дорог и около 2,8 тысяч погонных метров мостов и путепроводов.

Эффективность реализации мероприятий Государственной программы обеспечивалось наличием финансовых средств, материальных, трудовых ресурсов и наличием средств механизации. При восстановлении местной сети дорог одно из требований – максимально эффективно использовать материальные и финансовые ресурсы.

Механизация больших объемов работ по ремонту и реконструкции местных дорог и транспортных объектов на них требует широкого использования многоцелевой и маневренной техники различного назначения и типоразмера.

В последние годы в Республике Беларусь интенсивное дорожное строительство осуществлялось на республиканских дорогах высоких технических категорий (Минск – Могилев, Минск – Гродно, Минск – Слуцк, вторая кольцевая вокруг Минска). Также построена взлётно – посадочная полоса в аэропорту Минск – 2.

Для реализации технологий на этих объектах используются высокопроизводительные специализированные машины отечественного машиностроения, а также импортные (бульдозеры, автогрейдеры, экскаваторы большой вместимости ковша, асфальто - и бетоноукладчики и др.).

При ремонте и реконструкции местных дорог требуется своя система машин. В связи с тем, что более 20 лет в республике строительство и реконструкция местных дорог практически не велись, то и потребности в таких машинах не было. По этой же причине они не разрабатывались отечественной промышленностью. Не имея

опыта в создании таких машин, невозможно в короткие сроки разработать и изготовить высокопроизводительные машины соответствующего уровня.

Сформировать систему машин для строительства, ремонта и реконструкции местных дорог можно за счет приобретения высокопроизводительной импортной техники, что потребует больших капитальных вложений

В связи с этим при формировании такой системы машин целесообразно использовать имеющуюся в дорожных организациях технику, навешивая на неё сменное оборудование (покупное или производства Республики Беларусь), а специализированные машины высокого технического уровня (распределители цемента, стабилизаторы грунта (ремиксеры), асфальтоукладчики) закупать.

Для снятия старого асфальта в США разработано сменное оборудование к фронтальному погрузчику (рисунки 1-4) [1]. Навесные фрезы Asphalt Zipper предназначены для рытья траншей в асфальте или твердых грунтах, оснащены собственным силовым агрегатом – дизельным двигателем фирмы «Jhon Deere» мощностью 92, 136 и 151 кВт. Более мощная машина AZ-480 может перерабатывать полосу шириной до 1220 мм и глубиной 305 мм со скоростью 372 м/ч. Оборудование размещается в ковше погрузчика. Фреза навешивается путем установки режущей кромки ковша в шлиц корпуса фрезы. Цепи удерживают фрезу на месте, когда она не работает. Технические характеристики фрез приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики фрез Asphalt Zipper

Модель	Двигатель	Ширина фрезы, мм	Масса, кг
AZ-300	4-цилиндровый, 92 кВт	762	2041
AZ-360	4-цилиндровый, 92 кВт	457; 610; 762; 914	2106
AZ-480	6-цилиндровый, 136 кВт	457; 610; 762; 914; 1067; 1219	2531
AZ-550	дизель Cummins с турбонаддувом мощностью 151 кВт		

Навесная фреза «AZ-300» разработана для небольших погрузчиков. Эта машина способна фрезеровать асфальт до 250 мм в глубину и 760 мм в ширину.

Модель AZ-480HD «Asphalt Zipper» является стандартом для задач восстановления и глубокой регенерации. Фрезерует асфальт до 30 см в глубину и 120 см в ширину.

Агрегат AZ-550В компании Asphalt Zipper легко транспортируется на автомобильном прицепе грузоподъемностью 1 т. Навеска агрегата на ковш и съем его с ковша занимают всего несколько минут.



Рис. 1. Навесная фреза Asphalt Zipper AZ-300В к погрузчику



Рис. 2. Навесная фреза Asphalt Zipper AZ-360В к погрузчику

Навесное оборудование для фронтальных погрузчиков компании Asphalt Zipper комплектуется системой активного контроля глубины срезаемого слоя с помощью гидросистемы. Для установки на ковш имеются специальные надежные замки-захваты. Цельный верхний кожух позволяет получить легкий доступ к узлам при обслуживании.



Рис. 3. Навесная фреза Asphalt Zipper AZ-480HD к погрузчику



Рис. 4. Навесная фреза Asphalt Zipper AZ-550B к погрузчику

В республике ряд предприятий (ОАО «Амкодор» СП «Дорэлектромаш») производят навесные фрезы для ямочного ремонта асфальтовых покрытий дорог (рисунки 5-7). Объединив усилия, эти предприятия могли бы в короткие сроки разработать и организовать

производство фрез аналогичных Asphalt Zipper к погрузчикам ОАО «Амкодор», которые есть в каждой дорожной организации.

При реконструкции и ремонте местных дорог будут использоваться экскаваторы. Стандартный арсенал экскаваторщика обычно ограничивается обычным ковшом и резе гидромолотом, который применяется для сноса зданий, дробления твердых пород и рыхления мерзлого грунта. Используя иное навесное оборудование с силовым приводом, получают дополнительные преимущества в работе за счет увеличения производительности и расширения возможностей машины.



Рис. 5. Фреза дорожная Амкодор 8048М-01



Рис. 6. Фреза дорожная, HO-83 производства ОАО «Белдортехника»



Рис. 7. Машина фрезерная ДЭМ-121 производства СП «Дорэлектромаш»

При реконструкции местных дорог целесообразно также использовать измельченный бетон, образующийся при сносе бетонных сооружений.

За рубежом активно ведутся работы по разработке измельчителей бетона, просеивающих и измельчающих ковшей, навешиваемый на экскаваторы и фронтальные погрузчики.

Для измельчения бетона зарубежные фирмы («Caterpillar», ARDEN и др.) производят гидравлические измельчители бетона к гидравлическим экскаваторам. Компания «Caterpillar» производит гидравлические измельчители бетона к гидравлическим экскаваторам (рисунок 8).



Рис. 8. Гидравлический измельчитель бетона P215 компании «Caterpillar» к гидравлическим экскаваторам



Рис. 9. Механическая дробилка по бетону BBH020B для экскаваторов

Гидравлические измельчители бетона серии P200 используются для вторичных работ по слому сооружений. Бетонные обломки, образующиеся при сносе бетонных сооружений, могут быть измельчены прямо на месте работ по сносу. Данный процесс включает в себя отделение бетона от арматуры. Это значительно сокращает объем транспортных работ, снижает расходы на перевозку и складирование на свалке.

Завод ARDEN EQUIPMENT S.a.s. (Франция) выпускает механические дробилки по бетону серии BB для экскаваторов эксплуатационной массой от 16 до 80 тонн (рисунок 9). Технические характеристики механических дробилок серии BB приведены в таблице 3. Механические дробилки серии BB – это навесное оборудование, которое подходит для решения таких задач, как дробление, переработка и подготовка железобетона к вторичному использованию. Благодаря простоте в использовании не требует внесения изменений и модификаций в конструкцию самой рабочей машины.

Сменные дробилки бетона могут навешиваться на гусеничный экскаватор ЭО-3223, выпускаемый в настоящее время заводом «Амкорд-КЭЗ» (г. Коханово), а также на собираемые на этом же заводе из китайских комплектующих гусеничные экскаваторы SINOMACH ZG3225LC-9 и SINOMACH ZG3255LC-9.

Характеристики экскаваторов холдинга «Амкорд» приведены в таблице 4.

Таблица 3. Общие сведения и технические характеристики механических дробилка по бетону серии ВВ

Параметры	Величина	ВВ Н020В	ВВ 700АНД	ВВ 900АНД
Масса экскаватора	т	15 – 27	16 - 22	24 - 35
Масса дробилки с адаптерной плитой	кг	2100	1.040	1.650
Максимальное раскрытие челюстей	мм	919	660	820
Ширина дробилки	мм	565	660	695
Максимальное усилие сжатия в конечной точке	т	96	25 – 55	35 – 85
Максимальная усилие сжатия на ножах	т	400		
Максимальный диаметр разрезаемой арматуры	мм	40		
Производительность (фракция 0 – 150 мм)	м ³ /день (8- часовая смена)	0 - 120	55	80
Максимальное давление в цилиндрах	Бар	380		

Таблица 4. Основные характеристики экскаваторов холдинга «Ам-кодор»

Основные характеристики	Размерность	Марка экскаватора		
		ЭО-3223	SINOMACH ZG3225LC-9	SINOMACH ZG3255LC-9
Масса эксплуатационная	кг	15900	22000	24800
Номинальная вместимость ковша	м ³	0,75	1,0	1,2
Максимальная глубина копания	мм	4900	6707	
Двигатель		Дизель Д-245	6-цилиндровый рядный турбодизель Cummins 6BТAA5.9-С150	Cummins 6BТAA5.9-С178
Мощность двигателя номинальная	кВт	77	110	130
Время гидравлического цикла	с	18,5		
Усилие копания	кН	82	134,2	

В последние годы все большую популярность набирают просеивающие и измельчающие ковши.

Первые используются обычно на рабочих площадках, где требуется переработка строительного мусора и отходов после сноса зданий с целью получения продукта, пригодного для дальнейшего применения. Просеивающий ковш используется для разделения несортированного материала на фракции более высокого качества.

Для измельчения и сортирования измельченного материала западные фирмы производят ковши, к примеру серии MB-S (Италия) [2], (рисунок 10), или RT компании LST (Германия) [3] (рисунок 11) фирмы JCB (Великобритания) [4], которые навешиваются на экскаваторы (рисунки 12), которые навешиваются на экскаваторы.



Рис. 10. Просеивающий ковш серии MB-S

Дробильные ковши фирмы JCB предназначены для расширения возможностей гусеничных экскаваторов данной марки. Они могут использоваться для дробления на месте крупных кусков строительных материалов, таких как железобетон, щебень, булыжник диаметром от 100 до 200 мм. Ими можно дробить железобетон для извлечения стали и последующей ее переработки. Ковши поставляются готовыми к эксплуатации, со шлангами и подвесным кронштейном. Три базовые модели CB60, CB70 и CB90 соответствуют мощности и грузоподъемным характеристикам экскаваторов JCB.

Масса ковша-дробилки JCB CB60 составляет 1725 кг, максимальная производительность – 19 м³/ч, ширина и высота раскрытия

– 600x450 мм. Масса ковша-дробилки JCB СВ90 составляет 3950 кг, максимальная производительность – 40 м³/ч, ширина и высота раскрытия – 900x450 мм. Вращение от гидромотора передается на маховики, которые вращают вал с помощью ременной передачи. В свою очередь эксцентрик приводит в действие подвижную щеку.

Просеивающие ковши серии MB-S предназначены для сортировки природных материалов до и после их дробления, что позволяет снизить время дробления на 60 % [4]. Технические характеристики ковшей серии MB-S приведены в таблице 5.



Рис. 11. Просеивающий ковш серии RT компании LST (Германия)

Таблица 5. Технические характеристики ковшей серии MB-S

Модель	Масса экскаватора, тонн	Диаметр ячеек, мм	Вместимость ковша, м ³	Глубина ковша, мм	Размеры, см	Масса, т	Стоимость, Евро
MB S14	10-20	1200	1,2	890	144x174x143	1,10	19 440
MB S18	20-35	1600	2,4	1200	187x230x183	1,82	26 120
MB S23	≥35	2000	4,7	1530	232x289x235	3,75	39 550

Сортировочный или дробильный ковш может заменить сразу несколько дорогостоящих строительных машин, а также позволяет уменьшить количество занятого персонала. Дорожные организации республики, имея в парке экскаваторы, безусловно, должны при-

смотреться к таким ковшам. Применение таких ковшей обеспечивает высокую мобильность, универсальность экскаваторов, экономит средства и сокращает сроки проведения работ.



Рис. 12. Ковш-дробилка JCB CB60

В дорожных организациях республики повсеместно используются погрузчики холдинга управляющая компания «ОАО Амкордор». Для расширения их функциональных возможностей в БНТУ в рамках выполнения дипломного проекта выпускником 2018 года специальности 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» разработана конструкция сменного ковша для дробления отработанных строительных материалов (асфальтобетона, бетонных конструкций) на погрузчик Амкордор 332 для последующего их использования при строительстве местных дорог. Конструкция дробильного ковша приведена на рисунке 13.

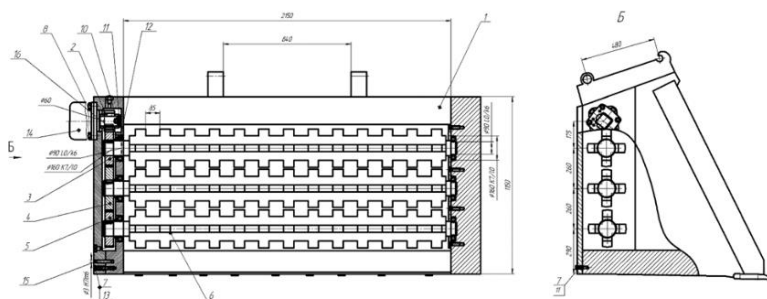


Рис. 13. Дробильный ковш к погрузчику Амкордор 332

Литература

1. Оборудование Asphalt Zipper // Строительные и дорожные машины, 2005, № 8, с. 53.
2. Просеивающие ковши серии MB-S // Строительные и дорожные машины, 2013, №2, с. 65.
3. Все необходимое для строительства, демонтажа и ресайклинга // Строительная техника и технологии, 2012, №4, с.159.
4. <https://os1.ru/.../4294-proseivayushchie-kovshi-sila-v-kovshe>.

Снижение энергоемкости процессов механизации сбора и доставки твердых коммунальных отходов к месту их использования

Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Сбор ТКО становится все более сложным и дорогостоящим делом не только и не столько из-за растущих объемов ТКО, а из-за постоянно усугубляющейся транспортной ситуации. Если в небольшом районном центре полигон по захоронению ТКО, как правило, располагается недалеко от черты населенного пункта в течение длительного времени до полного исчерпания своего ресурса, то в Минске, областных центрах и других крупных городах Беларуси ситуация отличается существенным образом, так как полигоны ТКО находятся в десятках километров от жилых массивов. Данный факт повышает стоимость транспортировки мусора пропорционально растущему плечу доставки.

Данная проблема особенно актуальна для столицы РБ, количество жителей которой с каждым годом стремительно растет. Население Минска по данным, представленным Белстатом, на 20 февраля 2020 года, согласно итогам переписи 2019 года, составляет 2 018 281 человек. Увеличение плотности населения является следствием роста количества образуемых ТКО, что способствует ускорению процесса заполнения полигонов для их захоронения. Для решения данной проблемы необходимо сокращать объемы захораниваемых ТКО, а также минимизировать их вредное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 26 июня 2020 г. №373, целесообразна полная модернизация объектов захоронения ТКО и параллельное развитие мощностей по сортировке, подготовке и использованию ТКО. Для повышения экономической эффективности и качества оказания услуг необходимо перейти от районного уровня управления системой обращения с ТКО на региональный уровень с созданием крупных межрайонных объектов, обслуживаемых специализированными организация-

ми. Для всей страны может быть создано до 30 региональных объектов, включающих производства, позволяющие обеспечить комплексное использование ТКО, а также полигон для захоронения неиспользуемой части отходов.

В целях обеспечения экологически безопасного захоронения ТКО необходимо до 2022 года вывести из эксплуатации все мини-полигоны для захоронения ТКО. Закрытие существующих полигонов для захоронения ТКО должно производиться поэтапно в увязке с вводом в эксплуатацию новых региональных объектов.

Ресурс единственно функционирующего на сегодняшний день полигона «Тростенецкий» в черте г. Минска в скором времени будет исчерпан, поэтому создание нового полигона для захоронения неиспользуемой части ТКО неизбежно. Новый полигон должен быть экономически целесообразен и создаваться с применением наилучших доступных технологий, включая сбор и использование фильтрата.

Главным недостатком создаваемого полигона будет увеличение транспортной составляющей (плеча доставки), т.е. расстояния от места сбора (промежуточного складирования) ТКО до места их захоронения. Но и при функционирующем ныне «Тростенецком», плечо доставки нельзя назвать оптимальным. В качестве примера рассмотрим маршрут движения мусоровоза МБ-15 УП «Спецкоммунавтотранс» в Первомайском районе г. Минска с 7:00 до 11:00 от ул. Фрунзенской, 39а (конечный адрес объекта по сбору ТКО на маршруте) до полигона ТКО «Тростенецкий». Расстояние между данными точками равно 31 км, что превышает рекомендуемые нормы (оптимальным считается расстояние не превышающее 15 км) и способствует большим транспортным расходам (в первую очередь, это относится к горюче-смазочным материалам, заработной плате водителей и амортизации), так как мусоровоз является машиной циклического действия, для которой характерен односторонний грузопоток и, соответственно, наличие порожнего хода. Увеличение транспортных расходов непременно приведет к повышению размера платы за жилищно-коммунальные услуги для обычного гражданина.

На основании вышеизложенного можно судить о том, что существующая на сегодняшний день в Беларуси одноэтапная (прямая)

система сбора и транспортирования ТКО (рис. 1), нуждается в модернизации с целью снижения транспортных расходов.

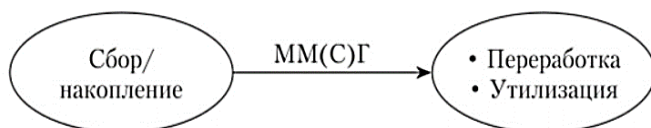


Рис. 1. Блок-схема одноэтапной системы сбора и транспортирования ТКО: ММ(С)Г – мусоровозы малой (средней) грузоподъемности (как правило, максимальная масса загружаемых отходов не превышает 15 т)

В условиях плотной городской застройки целесообразно использовать малогабаритные собирающие мусоровозы. Таким образом, парк машин, осуществляющих сбор ТКО, ограничен мусоровозами малой и средней грузоподъемности.

Учитывая то, что вместимость кузова собирающих мусоровозов невелика (в среднем около 15 м³), а транспортировать ТКО придется в недалеком будущем все дальше и дальше от города, то значительный экономический и экологический эффект может быть получен при внедрении двухэтапной системы транспортировки ТКО путем создания МПП (рис. 3) с возможностью перегрузки и одновременного прессования мусора в контейнеры объемом свыше 30 м³ большегрузных транспортных автомобилей, оборудованных, например, системой «мультилифт» с крюковым захватом.



Рис. 2. Блок-схема двухэтапной системы сбора и транспортирования ТКО: ММ(С)Г – мусоровозы малой (средней) грузоподъемности; МПП – мусороперегрузочный пункт; МБГ – мусоровозы большой грузоподъемности (как правило, максимальная масса загружаемых отходов превышает 15 т)

Первый этап – это сбор ТКО от населения и доставка на МПП посредством собирающих кузовных мусоровозов. Но учитывая то, что сбор ТКО во дворах затруднен из-за стоянки личного транспорта, машина для сбора должна иметь небольшую, преимущественно двухосную, колесную базу и быть легко проезжаемой и маневрен-

ной во дворах. Мусоровозы с такими требованиями серийно выпускаются на ОАО «Минский автомобильный завод» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ»; они по месту расположения загрузочного устройства разделяются на мусоровозы с задней (МАЗ-4905W1-040 «Сапфир», МАЗ-4901С0-030 «Сапфир», МАЗ-4901Р2-320) и боковой (МАЗ-4907Р2-020 «Сапфир», МАЗ-5902С2-310) загрузкой мусора.

Главная задача МПП состоит в том, чтобы собрать отходы, доставленные несколькими малотоннажными мусоровозами, и перегрузить их на большегрузные трейлеры (транспортные мусоровозы). В среднем на таком трейлере размещаются отходы, доставленные 4...5 собирающими мусоровозами, а при применении автопоезда – от 5 и более.

МПП по типу используемого оборудования могут быть:

- 1) механические;
- 2) автоматические;
- 3) полуавтоматические.

Конструкция *механического* МПП самая простая и дешевая, представляющая собой площадку для сбора ТКО, на которой происходит выгрузка отходов с возможностью их предварительной сортировки; далее ТКО с помощью, например, погрузочного ковша или грейферного захвата (челюстного ковша) загружаются в пресс-компактор.

На *автоматическом* МПП контейнеры автоматически присоединяются к прессу, а при заполнении таким же образом отсоединяются, а затем перемещаются на передвижных платформах. *Полуавтоматический* МПП от автоматического отличается лишь в необходимости перемещения и стыковки контейнера с прессом при помощи оператора.

Загрузка отходов в пресс может осуществляться следующими способами:

- конвейерная загрузка: отходы выгружаются на площадку, после чего посредством горизонтального и подающего конвейеров перемещаются на сортировочный конвейер, где рабочий персонал отбирает 10...60 % различных отходов по категориям, после чего «хвосты» с помощью конвейера подаются в загрузочную воронку стационарного пресса, состыкованного с контейнером большой вместимости;

- загрузка с эстакады на улице или в помещении.

Последний способ является одним из самых простых с точки зрения количества используемого оборудования, рабочего персонала и занимаемой площади. Отходы выгружаются напрямую, без предварительной сортировки, из собирающих мусоровозов в загрузочную воронку стационарного пресса с эстакады. Такой МПП (рис. 3) должен комплектоваться следующим оборудованием:

- загрузочная воронка (хopper) (3);
- мусороперегрузочный стационарный пресс (6);
- площадка (платформа) (5) для размещения и перемещения (для смены) контейнеров;

накопительные контейнеры (4) большой вместимости (свыше 30 м³).

Принцип работы такого МПП заключается в том, чтобы наполненный контейнер отсоединился от пресса и на его место устанавливался пустой контейнер, готовый к процессу прессования и заполнения. Заполненный контейнер находится на площадке для последующего вывоза к месту использования большегрузным транспортным автомобилем, оборудованным системой «Мультилифт» с крюковым захватом (МАЗ-6950-С5, PALFINGER PH T20 PI).

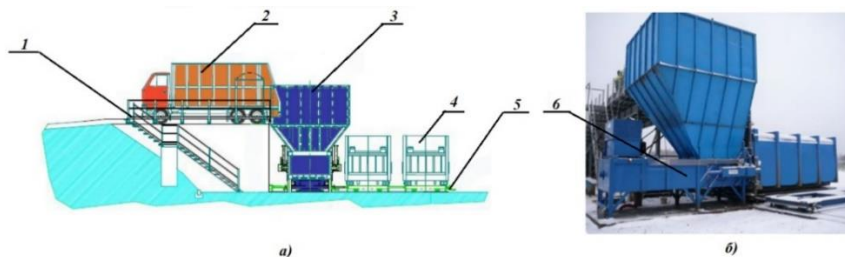


Рис. 3. Компонировочная схема МПП с загрузкой мусора с эстакады на улице:
а) вид спереди; б) вид сбоку; 1 — эстакада; 2 — собирающий кузовной мусоровоз;
3 — загрузочная воронка; 4 — контейнеры вместимостью свыше 30 м³;
5 — платформа для контейнеров; 6 — стационарный пресс

Таким образом, использование МПП на пути доставки ТКО позволит:

- снизить общие расходы и энергоемкость на сбор и доставку отходов к месту их использования (региональному объекту) в несколько раз;
- уменьшить степень загрузки транспортной сети города из-за снижения общего количества мусоровозов, при этом безопасность движения станет выше;
- уменьшить расход топлива за счет использования меньшего числа машин и, соответственно, снизить количество вредных веществ, попадающих в окружающую среду вместе с выхлопными газами;
- использовать более производительную уплотнительную технику для уменьшения объемов перевозимых отходов и др.

Литература

1. Щемелев А.М. Машины для коммунального хозяйства / А.М. Щемелев, А.В. Вавилов, В.М. Пилипенко; под ред. А.М. Щемелева. – Минск, НПООО «Стринко», 2003. 375 с.
2. Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование: Учебное пособие для вузов. — М.: Архитектура-С, 2005. 344 с.
3. Вавилов А.В. Сбор ТКО должен стать эффективным // Живи как хозяин. 2015. № 11. С. 84-85.
4. Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Шехирев Д.В. Технологии отходов (Технологические процессы в сервисе): Учебник. – ГОУВПО «МГУС» – М, 2006. 411 с.
5. Сайт Нетмус [Электронный ресурс]. – М.: ООО «Нетмус», – Режим доступа: [https://netmus.ru/press-center/articles/sistema-
vyvoza-tverdyh-bytovyh-othodov/](https://netmus.ru/press-center/articles/sistema-vyvoza-tverdyh-bytovyh-othodov/), свободный.
6. Об изменении постановлений Совета Министров Республики Беларусь от 28 июля 2017 г. № 567 и от 26 марта 2019 г. № 194 : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 июня 2020 г. № 373 [Электронный ресурс]. – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 01.07.2020, 5/48167, – Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=
C22000373&p1=1](https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000373&p1=1)

7. Бурмак И. В. Механизация сбора в городах ТКО и их вывоза на переработку // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С.Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. Минск: БНТУ, 2020. С. 175-178.

8. Сайт МАЗ [Электронный ресурс]. – Мн.: ОАО «МАЗ» - управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ», – Режим доступа:

<http://maz.by/documents/catalogs/b6485763add3337cc08b47fa1f435096.pdf> , свободный.

9. Сайт Хусманн Рус [Электронный ресурс]. – М.: ООО «Хусманн Рус», – Режим доступа: https://husmann.su/wp-content/uploads/2020/04/5_img-1.jpg , свободный.

К методике испытания мостовых кранов, эксплуатируемых в дорожной отрасли

А. В. Вавилов, А. А. Грецкий

Белорусский национальный технический университет

На предприятиях дорожной отрасли широко эксплуатируются мостовые краны в производственных цехах. Такие краны часто эксплуатируются при работающем подкрановом оборудовании. Для обеспечения безопасной эксплуатации мостовых кранов их подвергают испытаниям. К сожалению, принятая методика испытания мостовых кранов не позволяет обеспечить качественные испытания в условиях действующего подкранового оборудования.

Поскольку в такой ситуации не возможен демонтаж действующего оборудования, предложена методика испытаний кранов в условиях невозможности демонтажа действующего подкранового оборудования.

Ключевые слова: мостовой кран, испытание, подкрановое оборудование дорожной отрасли.

Введение.

На предприятиях дорожной отрасли Беларуси широко эксплуатируются мостовые краны в производственных цехах [1]. Такие краны эксплуатируются при работающем подкрановом оборудовании. Для обеспечения безопасной эксплуатации мостовых кранов их подвергают испытаниям. К сожалению, принятая методика испытания мостовых кранов не обеспечивает качественные испытания в условиях действующего подкранового оборудования. Проведение демонтажа такого оборудования обойдется дорого.

Поскольку демонтаж действующего оборудования дорогой, предложена методика испытаний кранов в условиях невозможности демонтажа действующего подкранового оборудования.

Основная часть. Мостовой кран (рис. 1) имеет мост, который опирается непосредственно на надземный крановый путь. Кран состоит из мостового пролетного строения или балки 1, снабженных концевыми балками с ходовыми тележками 4, передвигающимися по рельсам. Рельсы обычно уложены на подкрановые балки, кото-

рые размещены на консольных выступах стен в закрытых помещениях или на колоннах. Механизм подъема груза смонтирован на грузовой тележке 3, перемещающейся вдоль пролетного строения [1]. Такие краны используют как основное подъемно-транспортное оборудование во многих цехах дорожной отрасли.

На ряде производств ввиду особенностей технологических процессов мостовые краны работают совместно со стационарным технологическим оборудованием, которое размещено под краном.

Для обеспечения промышленной безопасности периодически проводят испытания мостовых кранов.



Рис. 1. Мостовой кран:

1 – пролетное строение (мост); 2 – механизм передвижения крана; 3 – грузовая тележка с механизмами подъема груза и передвижения тележки; 4 – ходовые колеса моста

Необходимость проведения испытаний грузоподъемного крана в процессе его эксплуатации определена Правилами по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов, утв. Постановлением МЧС Республики Беларусь 22.12.2018 № 66 (далее Правила), в главе 22 Техническое освидетельствование грузоподъемных кранов [11].

При проведении работ, связанных с испытаниями мостовых кранов по действующей методике, требуется демонтаж подкранового технологического оборудования, что требует существенных затрат.

При техническом освидетельствовании крана обязательно проведение статических и динамических испытаний (П.374 Правил).

Статические испытания проводятся при положительных результатах осмотра и проверки работоспособности грузоподъемного крана нагрузкой, на 25 % превышающей его паспортную грузоподъемность (П. 377 Правил).

Статические испытания мостового крана проводятся следующим образом. Кран устанавливается над опорами кранового пути, а его тележка (тележки) – в положение, отвечающее наибольшему прогибу моста. Контрольный груз поднимается грузоподъемным краном на высоту 100–200 мм и выдерживается в таком положении в течение 10 мин.

По истечении 10 мин груз опускается, после чего проверяется отсутствие трещин, остаточных деформаций и других повреждений металлоконструкций и механизмов грузоподъемного крана. При наличии повреждений, явившихся следствием испытания, грузоподъемный кран не должен допускаться к работе до выяснения специализированной организацией причин повреждений и определения возможности дальнейшей работы грузоподъемного крана (П. 378 Правил).

Обследование показало, что установка крана в здании не позволяет проведения статических испытаний в соответствии с требованиями Правил, невозможно установить кран над опорами кранового пути и выставить контрольный груз на перекрытие пола в положение, отвечающее наибольшему прогибу моста, из-за ограниченности зоны производства работ, размещенного в ней технологического оборудования, недостаточной прочности междуэтажного перекрытия пола.

Ввиду ограниченности рабочей зоны производства работ, проведение динамических испытаний крана, согласно требованиям П.381 Правил, в этих условиях не представляется возможным.

Исследованы возможности проведения испытаний крана по Правилам с применением специального универсального испытательного оборудования.

Компьютерное и физическое моделирование испытаний с использованием предложенных конструкций специального оборудования показало, что применение такого оборудования для проведе-

ния испытаний также не представляется возможным, так как несет значительные экономические затраты, большие риски и опасности.

В качестве альтернативы рассмотрена возможность проведения статических испытаний с отступлением от Правил.

Кран устанавливается над проемом, имеющимся в перекрытии пола между 1-м и 2-м этажами здания, а его тележка в положение над проемом, отвечающем максимально возможным нагрузкам и прогибам главных балок моста для этого положения.

Контрольный груз поднимается с испытательной площадки 1-го этажа на высоту 100–200 мм, выдерживается в положении, отвечающим над проемом в течение 10 мин и опускается, после чего проверяется отсутствие трещин, остаточных деформаций и других повреждений металлоконструкций и механизмов крана, затем дается оценка результатов испытаний. Таким образом, критериями положительной оценки результатов испытаний являются: отсутствие остаточных деформаций; трещин; повреждений металлоконструкций и механизмов грузоподъемного крана.

Наиболее вероятным при испытаниях является появление остаточных деформаций в главных балках при напряжениях изгиба близких к пределу текучести материала балок, а трещин - при напряжениях, близких к пределу прочности. При достаточных запасах прочности балок – это маловероятно.

Установлено, что при более чем двукратном запасе прочности главных балок, отличие относительных значений изгибающих напряжений при нагружении балок вне середины пролета (над проемом) и при нагружении балок на середине пролета, практически не влияет на вероятность положительного результата испытаний, что нормально согласуется с теорией Гаусса, законом нормального распределения погрешностей (повреждений) (рис. 2.).

Результаты исследований и выводы подтверждают возможность проведения испытаний крана с отступлением от требований пунктов 378 и 381 Правил в части проведения статических испытаний крана в положении тележки, не отвечающем наибольшему прогибу моста (вне середины пролета), а также без проведения динамических испытаний.

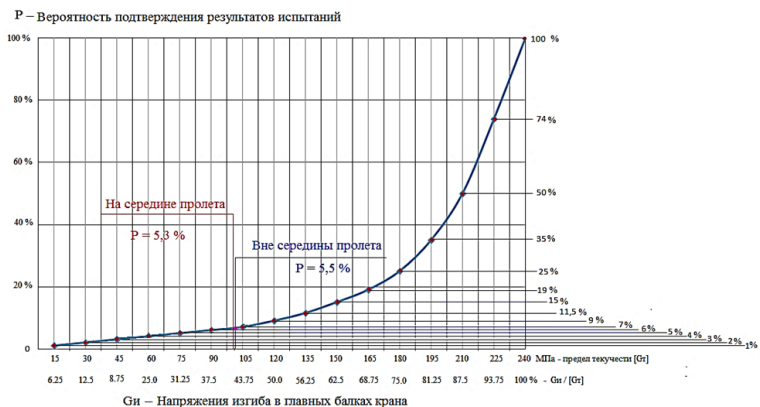


Рис. 2. Кривая Гаусса

Для сравнительной оценки результатов статических испытаний были проведены исследования и расчеты напряженного состояния главных балок контрольным грузом на середине пролета и вне середины пролета (над проемом) с определением изгибающих моментов, напряжений изгиба, прогибов, запасов прочности балок и анализом полученных результатов.

Заключение. Для обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации мостовых кранов и снижения при этом затрат на проведение их испытаний предложена методика испытания таких кранов в условиях невозможности демонтажа действующего подкранового технологического оборудования.

Литература

1. Леонивич И. И., Котлобай А. Я. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. Минск: БНТУ, 2005. 552 с.
2. Атаев С. С. [и др.] Технология, механизация и автоматизация строительства. М.: Высш. шк., 1990. 592 с.
3. Рябов Г. А. Механизация гидротехнических работ. М.: Колос, 1973. 373 с.
4. Вавилов А. В. Введение в инженерное образование. Минск: БНТУ, 2007. 313 с.

5. Добронравов С. С., Дронов В. Г. Строительные машины и основы автоматизации. М.: Высш. шк., 2001. 575 с.
6. Афанасьев А. А., Данилов Н. Н., Копылов В. Я. Технология строительных процессов. М.: Высш. шк., 2001. 464 с.
7. Добронравов С. С., Добронравов М. С. Строительные машины и оборудование. М.: Высш. шк., 2006. 445 с.
8. Добровский Н. Г., Гальперин М. И. Строительные машины. М.: Высш. шк., 1985. 224 с.
9. Правила по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов – постановлением МЧС Республики Беларусь, 22.12.2018 № 66 // Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. URL: <https://gospromnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/d8e/pravila-pokranam.pdf/> Дата обращения: 30.10.2020.
10. Краны грузоподъемные. Правила и методы испытаний: ГОСТ 31271-2002: введ. РБ 01.02.2005. Минск: Гос. Стандарт Респуб. Беларусь, 2005. 12 с.
11. Краны грузоподъемные. Словарь. Ч. 1. Общие положения: ГОСТ 33709.1-2015: введ. РБ 01.04.2018. Минск: Гос. Стандарт Респуб. Беларусь, 2018. 48 с.

К вопросу создания конкурентоспособных дорожных катков

Вавилов А.В., Шавель А.А., Кудайбергенов М.С.
Белорусский национальный технический университет

В статье приведены конструкции катков, выпускаемых в Беларуси на предприятии ОАО «Амкодор» -управляющая компания холдинга». Намечены пути совершенствования их конструкций с целью обеспечения их конкурентоспособности на внешнем и внутреннем рынках.

В Беларуси, на ОАО «Амкодор» - управляющая компания холдинга», производятся дорожные катки для уплотнения грунтового основания и асфальтобетонного покрытия.

Однако дорожники для уплотнения асфальтобетонных покрытий при строительстве автомобильных дорог, особенно высоких технических категорий, предпочитают использовать импортные катки, как более эффективные.

Поэтому поставлена задача создать и выпускать конкурентоспособные катки на отечественном предприятии «Амкодор».

Наибольшее применение на современном этапе получили вибрационные катки [1-5]. Поэтому рассмотрим и проанализируем устройство вибрационного катка на примере вибрационного катка «Амкодор 6223А», рис.1.

Каток «Амкодор 6223А» предназначен для асфальтоукладочных работ на небольшой территории и с ограниченным пространством для катка.

Такой каток хорошо подходит для асфальтирования бензоколонок, дворовых территорий, периодического ремонта дорожного полотна, восстановления полотна после коммунальных работ. Каток имеет небольшие габариты и вес, поэтому легко перевозится. Технические данные катка представлены в таблице 1.

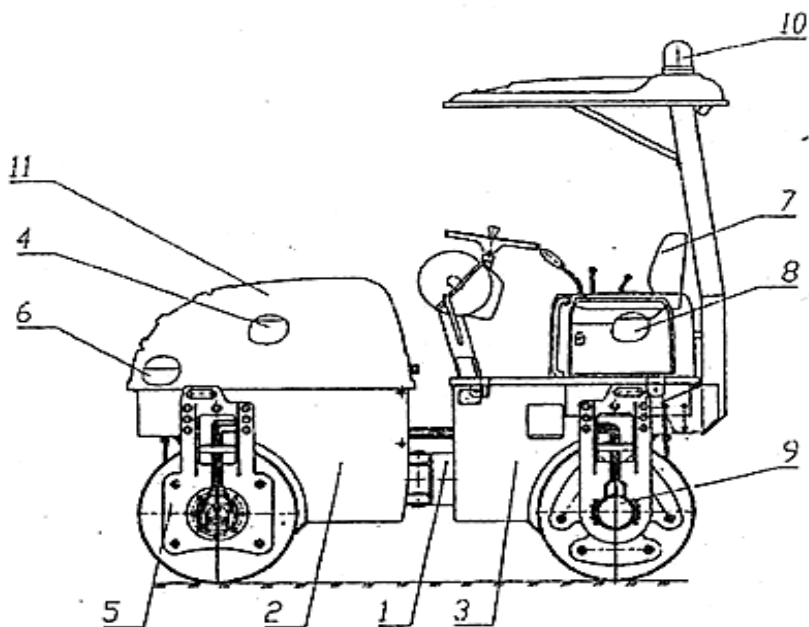


Рис. 1. Каток «Амкодор 6223А»:

1 – шарнир сочленения, 2 – полурама передняя; 3 – полурама задняя; 4 – установка силовая; 5 – валец; 6 – установка баков; 7 – место рабочее; 8 – система смачивания; 9 – гидросистема; 10 – электросистема; 11 – облицовка

Таблица 1. Техническая характеристика катка «Амкодор 6223А»

Параметры	Значение
Двигатель	Д-120
Мощность эксплуатационная, кВт (л.с.)	18(25)
Масса эксплуатационная, кг	2700
<i>Рабочий орган</i>	
Тип	гладкий вибровалец
Число вальцев	2
Диаметр вальца, мм	700
Ширина вальца, мм	1260
Привод вибратора	гидрообъемный
Вынуждающая сила (на каждом вальце) кг	1800

Частота,гц	40
Амплитуда ,мм	0,24
<i>Система смачивания</i>	
Подача воды	принудительная с механически управляемыми запорными вентилями
Количество скребков	по 2 на каждый валец
<i>Рулевое управление</i>	
Тип	шарнирно -сочлененная рама с гидравлическим приводом, с гидравлической обратной связью
Угол складывания полурам, град	± 28
Наименьший радиус поворота, мм	4200
<i>Гидросистема хода</i>	
тип	гидрообъемная
Скорость, км/ч:	0-7
Подача насоса, л/мин	57
Давление настройки предохранительных клапанов, МПа	35
<i>Гидросистема привода вибраторов</i>	
тип	гидрообъемная
Подача насоса, л/мин	40
Давление настройки предохранительных клапанов, МПа	16
Параметры	Значение
Гидросистема рулевого управления	
Тип	Гидрообъемная
Подача насоса, л/мин	14
Давление настройки предохранительных клапанов, МПа	12
Гидроцилиндры, количество /диаметр/ход, мм	1/50/235
<i>Тормозная система</i>	
Рабочая тормозная система – замкнутый контур гидрообъемной системы хода	
Стояночная тормозная система – многодисковый, постоянно-замкнутый тормозной механизм в масле , с гидравлическим растормаживанием, встроенный в гидромотор хода	

<i>Заправочные емкости</i>	
Топливный бак, л	30
Картер двигателя, л	7
Гидробак, л	60
Бак системы смачивания, л	180
<i>Габаритные размеры</i>	
Длина, мм	2470
Ширина, мм	1420
Высота, мм	1800

Вибровалец (рис. 2.) является рабочим органом и элементом ходовой части катка. Основными элементами вибровальца являются валец 1 и кронштейны 2, 3 крепления вибровальца к полурамам катка.

Как элемент хода вибровалец снабжен гидромотором 4, установленным в кронштейне 3. На валу гидромотора смонтирован приводной диск 5, передающий крутящий момент вальцу 1 через четыре резинометаллических амортизатора 6. Приводной диск 5 крепится на валу гидромотора 4 болтами с отгибными шайбами 8 и к амортизаторам 6 посредством гаек 9 и специальных шайб 10.

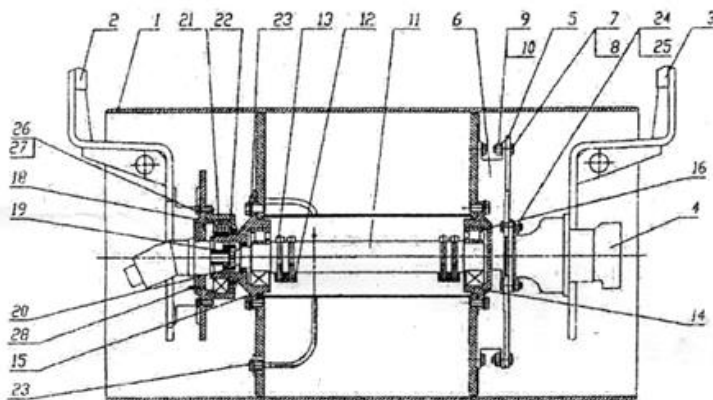


Рис. 2. Вибровалец:

1 – валец; 2, 3 – кронштейны; 4 – гидромотор; 5 – диск приводной; 6 – амортизатор; 7, 13, 24, 26 – болты; 8, 10, 25, 22 – шайбы; 9 – гайка; 11 – вал; 12 – дебаланс; 14 – корпус; 15, 22 – опоры; 16, 21 – подшипники; 18 – крышка; 19 – полумуфта; 20 – втулка зубчатая; 23 – пробка; 28 – масленка

Вибровалец оборудован двумя дебалансами 12, закрепленными на валу 11 при помощи болтов 13. При вращении вала 11 с дебалансами 12 создается возмущающая сила, создающая уплотняющий эффект. Вал 11 установлен в корпусе 14 и опоре 15 на роликовых подшипниках 16. Привод вала осуществляется гидромотором 17, установленным в крышке 18, через полумуфту 19 и зубчатую втулку 20. Со стороны привода вибратора валец 1 через подшипник 21 и опору 22 крепится к кронштейну 2 через три резинометаллических амортизатора 6. Смазка подшипника 27 осуществляется через масленку 28, установленную в крышке 18.

Для заливки и контроля уровня масла в полости подшипников 16 предусмотрены пробки 23, расположенные на торце вальца 1.

Для удержания катка на стоянке в конструкции гидромотора 4 предусмотрен постоянно замкнутый стояночный тормоз, управление которым осуществляется с панели управления.

Рассмотренная конструкция виброкатка с вибровальцем, имеющим вибровозбудитель с постоянным статическим моментом проста, но недостаточно эффективна. Наиболее перспективны конструкции, у которых силовое воздействие регулируется плавно и бесступенчато. Еще более эффективной в совершенствовании способа регулирования силовых воздействий является разработка систем автоматического регулирования силовых воздействий в соответствии с показаниями приборов, контролирующих качество уплотнения.

Заключение

1. Указана необходимость совершенствования конструкций дорожных катков с целью обеспечения их конкурентоспособности на внешнем и внутреннем рынках.
2. Отмечены недостатки конструкции виброкатка с вибровальцем, имеющим вибровозбудитель с постоянным статическим моментом. Предлагается создавать наиболее перспективные конструкции, у которых силовое воздействие регулируется плавно и бесступенчато. Необходима разработка систем автоматического регулирования силовых воздействий в соответствии с показателями приборов, контролирующих качество уплотнения.

Литература

1. Вавилов А.В. Вибрационная техника для уплотнения и устройства дорожных оснований и покрытий/А.В. Вавилов, А.А. Шавель, М.М. Гарост и др.// Пособие. Минск. БНТУ .БНТУ.2021.2021.65с.
2. Шестопалов А. А. К вопросу уплотнения дорожно-строительных материалов // А. А. Шестопалов// Мир дорог. - 2012. - № 60. - С. 23.
3. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин В.И.Баловнев// М.: Машиностроение, 1994. - 432 с.
4. Пермяков, В. Б. Аналитическое описание процесса уплотнения асфальтобетонной смеси вибрационным катком / В. Б. Пермяков, В. В. Дубков, В. С. Серебрянников // Омский научный вестник. - 2008. № 1 (164).-С. 67-71.
5. Беляев, К. В. Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей. Теория и расчет: учеб, пособие / К. В. Беляев, В. С. Серебрянников// - Омск: СибАДИ, 2015. - 207 с.

Программное обеспечение ЭВМ для теоретического исследования влияния конструктивных и эксплуатационных параметров двухвальцового виброкатка на качество уплотнения

Бежик А.А.

Белорусский национальный технический университет

Решив автоматизированным способом систему уравнений колебательной системы «остов катка» – «валцы» – «уплотняемый материал» [1] и уравнения описывающие гармонические колебания валцов исследуемого катка и реологические свойства асфальтобетонной смеси [2], составленные на основании динамической модели и расчетной схемы движения катка [3], позволяет автоматизировать процесс теоретического исследования влияния конструктивных и эксплуатационных параметров двухвальцового виброкатка на качество уплотнения с использованием ЭВМ.

Интерфейс разработанного программного продукт для ЭВМ для целей теоретического исследования представлен на рис. 1. Рассмотрим возможности данного программного продукта.

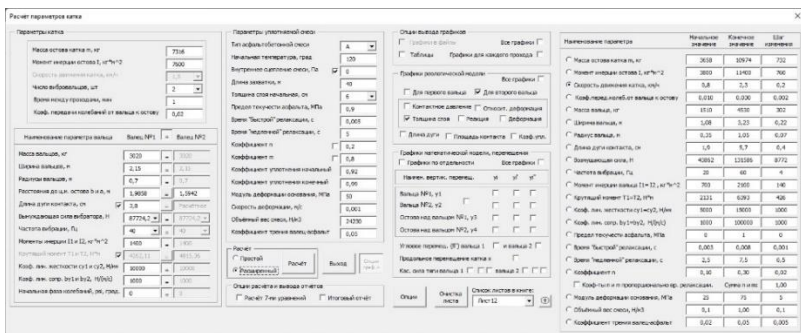


Рис. 1. Интерфейс программного продукта

Данный интерфейс программы имеет два вида: компактный (см. рис. 1) и расширенный (см. рис. 1). Переключение между этими

двумя видами осуществляется путём выбора метода расчёта «Простой / Расширенный» (см. рис. 2, поз. 5).

«Простой расчёт» позволяет выполнять однократный расчёт для заданных параметров в интерфейсе программы.

The screenshot displays the software interface for roller calculations, divided into several sections:

- 1. Parameters of the roller (Параметры катка):**
 - 2. Mass of the roller frame m , kg: 7316
 - 3. Moment of inertia of the frame I , $kg \cdot m^2$: 7600
 - Speed of roller movement, km/h : 1,5
 - Number of vibrations, pcs: 2
 - Time between passes, min: 1
 - Coef. of transmission of vibrations from the frame to the roller: 0,02
- 4. Parameters of compacted concrete (Параметры уплотняемой смеси):**
 - Type of concrete: A
 - Initial temperature, $^{\circ}C$: 120
 - Internal cohesion of concrete, Pa: 0
 - Length of the roller, m: 40
 - Initial layer thickness, cm: 6
 - Limit of asphalt plasticity, MPa: 0,9
 - Time of "fast" relaxation, s: 0,005
 - Time of "slow" relaxation, s: 5
 - Coefficient m : 0,2
 - Coefficient n : 0,8
 - Initial compaction coefficient: 0,92
 - Final compaction coefficient: 0,99
 - Modulus of subgrade reaction, MPa: 50
 - Deformation rate, m/s : 0,001
 - Volume weight of concrete, N/m^3 : 24230
 - Friction coefficient roller-concrete: 0,05
- 3. Roller characteristics (Наименование параметра вальца):**
 - Roller No 1 vs Roller No 2 comparison table:
 - Mass of rollers, kg: 3020
 - Width of rollers, m: 2,15
 - Radius of rollers, m: 0,7
 - Distance to the center of the frame b and a , m: 1,9858
 - 3a. Contact arc length, cm: 3,8 (Calculated)
 - 3b. Driving force of the vibrator, N: 87724,2
 - Vibration frequency, Hz: 40
 - Moments of inertia I_1 and I_2 , $kg \cdot m^2$: 1400
 - 36. Rotational moment T_1 and T_2 , $N \cdot m$: 4262,11
 - Linear stiffness su_1 and su_2 , N/m : 10000
 - Linear damping bu_1 and bu_2 , $N/(m \cdot s)$: 1000
 - Initial phase of vibrations, psi , grad.: 0
- 5. Calculation options (Расчёт):**
 - Simple (Простой) / Expanded (Расширенный) / Exit (Выход) / Options (Опции граф.)
 - 6. Calculation and report options:
 - Calculation of 7 equations (Расчёт 7-ми уравнений)
 - Final report (Итоговый отчет)

Рис. 2. Интерфейс программного продукта (продолжение)

«Расширенный расчёт» позволяет получать множество вариантов расчёта путём автоматического изменения выбранного параметра с определенным шагом его изменения (см. рис. 3, поз. 10), что необходимо для быстрого теоретического исследования заданного параметра.

Кнопка «Расчёт» (см. рис. 2, поз. 5) непосредственно запускает процесс расчёта определенными, заданные в интерфейсе программы, методами и получение расчётных графиков (в виде отдельных графических файлов или на листе файла MS Excel) и таблиц (на листе файла MS Excel).

В части интерфейса программы, представленной на рис. 2, поз. 1, имеется возможность задать основные эксплуатационные и конструктивные параметры катка в целом (см. рис. 2, поз. 2) так и параметры вальцов (см. рис. 2, поз. 3) исследуемого катка. Причём, в

последнем случае, можно автоматически приравнять параметры двух вальцов, приняв параметры первого (переднего) вальца, в случае если они выполнены одинаковыми. Таким образом, можно теоретически исследовать катки различных эксплуатационных и конструктивных параметров с одинаковыми и разными вальцами. Отметки рис. 2, поз. 3а и поз. 3б позволяют задать параметры или позволить их рассчитать программе в зависимости от заданных параметров катка.

7 Опции вывода графиков

Графики в файлах Все графики

Таблицы Графики для каждого прохода

8 Графики реологической модели Все графики

Для первого вальца Для второго вальца

Контактное давление Относит. деформация

Толщина слоя Реакция Деформация

Длина дуги Площадь контакта Коэф. упл.

Графики математической модели, перенесения

Графики по отдельности Все графики

Наимен. вертик. перенещ.	y1	y1'	y1''
Вальца №1, y1 8а	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Вальца №2, y2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Остова над вальцом №1, y3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Остова над вальцом №2, y4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Угловое перенещ. (β) вальца 1 и вальца 2

Продольное перенесение катка x

Кас. сила тяги вальца 1 вальца 2

11 Опции

Очистка листа

Список листов в книге:

9

10

Наименование параметра	Начальное значение	Конечное значение	Шаг изменения
<input type="radio"/> Масса остова катка m, кг	3658	10974	732
<input type="radio"/> Момент инерции остова I, кг*м ²	3800	11400	760
<input checked="" type="radio"/> Скорость движения катка, км/ч	0,8	2,3	0,2
<input type="radio"/> Коэф. перед. колеб. от вальца к остову	0,010	0,030	0,002
<input type="radio"/> Масса вальца, кг	1510	4530	302
<input type="radio"/> Ширина вальца, м	1,08	3,23	0,22
<input type="radio"/> Радиус вальца, м	0,35	1,05	0,07
<input type="radio"/> Длина дуги контакта, см	1,9	5,7	0,4
<input type="radio"/> Возмущающая сила, Н	43862	131586	8772
<input type="radio"/> Частота вибрации, Гц	20	60	4
<input type="radio"/> Момент инерции вальца I1= I2, кг*м ²	700	2100	140
<input type="radio"/> Крутящий момент T1=T2, Н*м	2131	6393	426
<input type="radio"/> Коэф. лин. жесткости cу1=cу2, Н/мм	5000	15000	1000
<input type="radio"/> Коэф. лин. сопр. бу1=бу2, Н/(м/с)	1000	100000	1000
<input type="radio"/> Предел текучести асфальта, МПа	0	1	0
<input type="radio"/> Вреня "быстрой" релаксации, с	0,003	0,008	0,001
<input type="radio"/> Вреня "медленной" релаксации, с	2,5	7,5	0,5
<input type="radio"/> Коэффициент n 10а	0,10	0,30	0,02
<input type="checkbox"/> Коэф.-ты n и m пропорционально вр. релаксации. Сумма n и m:		1,00	
<input type="radio"/> Модуль деформации основания, МПа	25	75	5
<input type="radio"/> Объёмный вес смеси, Н/м ³	0,1	1,00	0,1
<input type="radio"/> Коэффициент трения валец-асфальт	0,02	0,05	0,005

Рис. 3. Интерфейс программного продукта (продолжение)

Задать реологические свойства и параметры уплотняемой асфальтобетонной смеси, а также некоторые начальные и конечные значения расчёта можно указать в части интерфейса программы, представленной на рис. 2, поз. 4. Отметка рис. 2, поз. 4а позволяет переключает расчёт через объёмный вес или через динамическую вязкость, скорость деформации и обобщённый линейный размер. Отметки рис. 2, поз. 4б позволяют изменять способ задания и получения коэффициентов расчёта.

В части интерфейса программы, представленной на рис. 3, поз. 7 задаётся как выводить аналитические графики – в отдельные файлы или на рабочий лист MS Excel, в «расширенном расчёте» все графики выводятся в графические файлы, надо ли выводить на рабочий лист MS Excel результаты расчётов в виде таблиц, по которым и строятся графики, а также выводить графики для каждого прохода катком или только для первого прохода.

В части интерфейса программы, представленной на рис. 3, поз. 8 указывается, как и какие графики реологической модели рассчитывать и выводить и для какого вальца. Отметка рис. 3, поз. 8а указывает каким методом рассчитывать перемещения u_1 и u_2 – из реологической моделью или путём решения уравнений колебательной системы «остов катка» – «вальцы» – «уплотняемый материал».

В части интерфейса программы, представленной на рис. 3, поз. 9 имеются некоторые возможности по работе с рабочими листами MS Excel.

В части интерфейса программы, представленной на рис. 3, поз. 10 задаются начальные и конечные значения исследуемого параметра катка или математических моделей, которые будут автоматически изменяться с заданным шагом. При этом в левой части интерфейса будет заблокирована задачи этого же параметра. Например, на рис. 1 заблокирована возможность задачи значения «Скорость движения катка», т.к. в правой части интерфейса уже указано, что этот параметр будет исследоваться и изменяться с определённым шагом. Отметка на рис. 3, поз. 10а позволяет изменить способ задания и получения коэффициентов расчёта.

Кнопка «Опции» (см. рис. 3, поз. 11) предоставляет доступ к дополнительным параметрам (см. рис. 4) оформления результатов автоматизированного расчёта.

Закладка «Имя файла» (см. рис. 4) позволяет указать какие короткие обозначения параметров и из значения будут записаны в имени файла с выводимым графиком. Это позволяет оперативно определить какие исходные данные использовались для построения графика в данном файле. Множество таких файлов с изменяемым одним параметром позволяет сформировать поверхность значений.

Закладки «Графики» и «Графики и расчёт» (см. рис. 4) позволяют настроить внешний вид выводимых графиков для их лучшего восприятия.

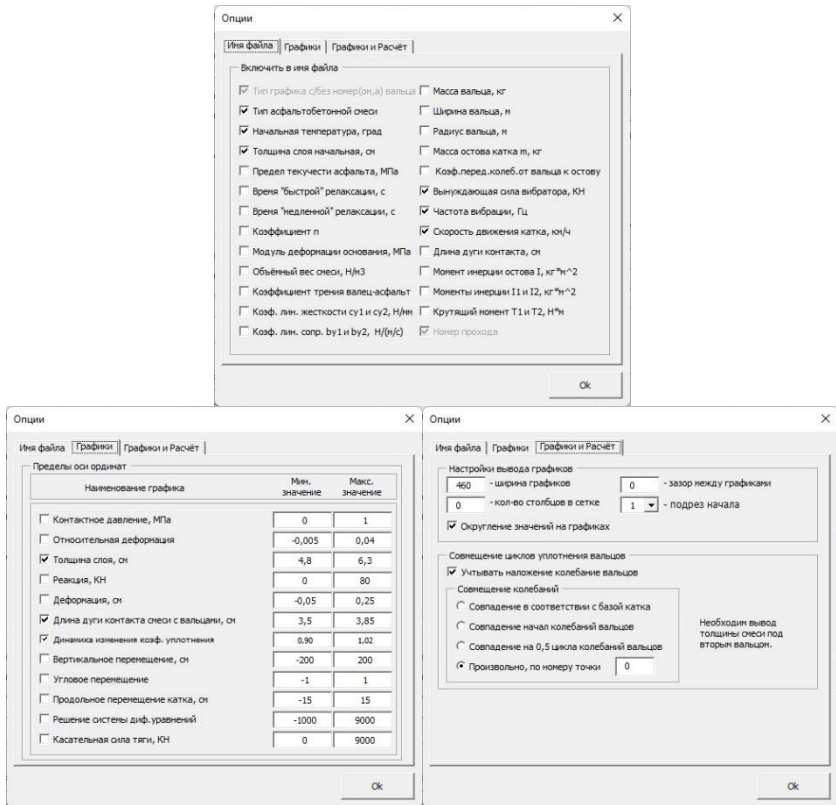


Рис. 4. Интерфейс программного продукта (окончание)

Данный программный продукт позволяет автоматизировать получения результатов расчётов при изменении множества параметров, что позволит повысить точность теоретического исследования влияния конструктивных и эксплуатационных параметров двух-вальцового вибркатка на качество уплотнения асфальтобетонной смеси.

Литература

1. Шавель, А. А. Математическое описание динамики вибрационного катка / А. А. Шавель, А. А. Бежик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й международной научно-технической конференции (72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет транспортных коммуникаций ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 73-74.

2. Шавель, А. А. Математическое описание взаимодействия вибрационного катка с уплотняемой материалом / А. А. Шавель, А. А. Бежик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 17-й международной научно-технической конференции (72-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет транспортных коммуникаций ; редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2019. – С. 75.

3. Шавель, А. А. Исследование влияния конструктивных и эксплуатационных параметров двухвальцового виброкатка на качество уплотнения / А. А. Шавель, А. А. Бежик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 18-й Международной научно-технической конференции (73-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет транспортных коммуникаций ; редкол.: С. Н. Соболевская (гл. ред.), С. Е. Кравченко. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 174-177.

О эффективности конструкций дорожных вибрационных катков

Шавель А.А., Бежик А.А.

Белорусский национальный технический университет

Катки – неперенный атрибут реконструкции старых, так и строительства новых дорог, трасс и автострэд. Катки предназначены для уплотнения дорожных покрытий и верхних слоёв оснований из асфальтобетонных смесей различных типов и гравийно-щебеночных материалов. Сегодня уже большинство причастных к сооружению дорожных объектов пришло к осознанию того, что уплотнение является если не основной или главной, то, по крайней мере, ключевой технологической операцией по своей значимости и влиянию на эффективность вкладываемых средств, на качество, надёжность и долговечность всего дорожного сооружения.

Эффективность уплотнения зависит от величины уплотняющих нагрузок, времени их действия и прочего. Вибрационные катки уменьшают количество требуемых проходов и имеют большую производительность по сравнению с катком статического действия.

Известен валец катка [1] относящийся к машинам для уплотнения дорожных оснований и покрытий, в частности к рабочим органам катков. Достоинством вальца является повышенная эффективность уплотнения материала за счёт регулирования амплитуды колебаний.

Валец катка работает следующим образом. Вследствие того, что под действием роликов 5 (см. рис. 1) генераторов волн обечайка 1 принимает на торцах форму эллипсов, большая ось которых больше диаметра обечайки 1, обечайка 1 стремится сдвинуться с роликов 5 в направлении к центру вальца. Поскольку два генератора волн стремятся сдвинуть ее к центру с противоположных сторон, то обечайка 1 займет некоторое устойчивое положение, в котором она будет находиться в равновесии, т.е. иметь осевую фиксацию. При вращении вала 2 с генераторами волн происходит волнообразное деформирование обечайки 1, приводящее к тому, что наиболее выступающая точка, обечайки 1 перемещается по ее длине. В связи с

этим нагрузка на уплотняемый материал передается только частью ее длины, которая перемещается вдоль линии контакта.

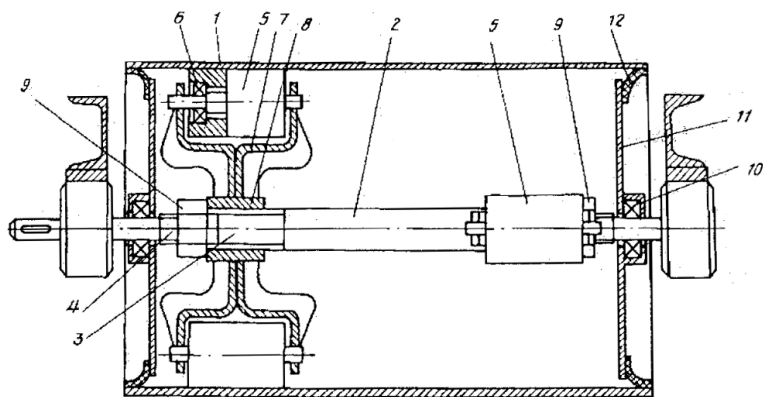


Рис. 1. Валец катка

В данной конструкции для обеспечения функционирования генераторов волн, обечайка вальца не может быть жесткой. Для обеспечения равной деформации уплотняемого материала по ширине катка, необходимо чтобы обечайка по ширине вальца имела одинаковую жёсткость, что невозможно обеспечить в данной конструкции (см. рис. 1) в районе левого генератора волн обечайка через водило жестко связана с рамой вальца, а в районе правого генератора волн такой связи нет.

Дорожный каток [2] содержит раму (см. рис. 2), смонтированные на центральной оси фланцы с равномерно расположенными по окружности осями. На осях установлены валики, приводящиеся в движение посредством цепной передачи таким образом, что прокатывание валиков по участку уплотнения происходит без скольжения. Переменная толщина обечайки каждого из валиков по окружности создает возможность изменения их жесткости в радиальном направлении, что является необходимым для создания требуемого контактного давления при прокатывании по участку уплотнения. Внешняя цилиндрическая поверхность каждого из валиков выполнена концентричной относительно оси вращения для того, чтобы участок уплотнения имел правильную цилиндрическую форму. Это необходимо для равномерного уплотнения материала при прокатке

от рыхлого состояния до состояния окончательной плотности. Эксцентричность внутренней поверхности валиков относительно наружной создает условия равномерного изменения их радиальной жесткости, которая зависит от толщины обечайки.

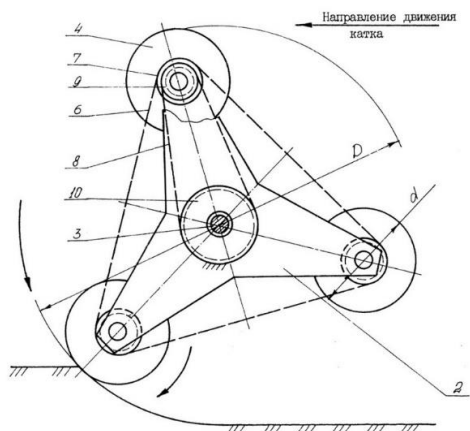


Рис. 2. Кинематическая схема катка, вид сбоку

Резюме. Недостатком рассмотренной конструкции дорожного катка является то, что при пробуксовывании любого валика в зоне контакта с уплотняемым материалом не будет обеспечиваться работоспособность данного устройства по заложенной в конструкции схеме: «...чтобы в момент контакта каждого из валиков с материалом он контактировал с ним той частью своей цилиндрической поверхности, которая имеет модуль упругости, обеспечивающий условие $\sigma_{\text{конт}} \approx \sigma_p \dots$ » [2].

В предлагаемом способе уплотнения дорожно-строительных материалов [3], заключающемся в воздействии на материал вращающегося вибровальца, генерирующего колебания вокруг своей оси, дополнительно производят воздействие на уплотняемый материал, производя круговые колебания вальца вокруг оси его вращения. Обеспечение увеличенного воздействия на уплотняемый материал в горизонтальном направлении за счет генерирования в вальце одновременно круговых и крутильных колебаний позволяет при значительном снижении сил трения между частицами включить в процесс уплотнения вертикальное воздействие вибрирующей массы

вальца. На рис. 3 изображен вибровалец в разрезе, реализующий заявленный способ, а на рис. 4 приведен пример определения траектории колебаний обечайки вальца и находящегося в контакте с вальцом уплотняемого материала.

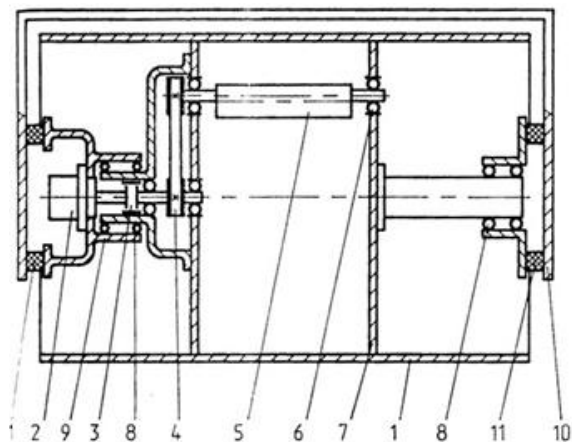


Рис. 3. Вибровалец в разрезе

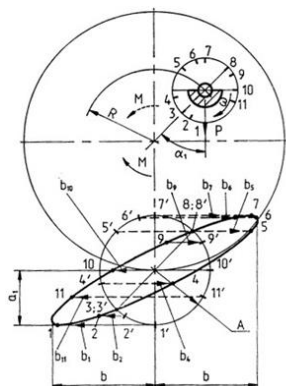


Рис. 4. Траектория колебания обечайки вальца и находящегося в контакте уплотняемого материала

Данная конструкция несложная, может быть принята во внимание при создании вибрационно-осциллирующего вальца, для обоснования параметров которого, потребуется провести полные теоретические исследования. Однако простота конструкции может не

обеспечить высокой эффективности уплотнения и не избежать значительной вибрации рамы катка и рабочего места оператора.

В самоходном вибрационном катке с возбудителем комбинированного действия [10] совместное воздействие на вибровалец двух возмущающих сил, возникающих при одновременном вращении трех валов с дебалансами, оказывает сминающее и сдвигающее воздействие на уплотняемый материал. Возникающие при этом вертикальные и сдвигающие деформации обеспечивают высокую эффективность уплотнения при сравнении небольшой массе катка. В результате крутильных колебаний вибровалец, перемещаясь, не отрывается от уплотняемой поверхности и вовлекает к колебательное движение уплотняемый материал, сохраняя при этом высокую устойчивость и управляемость.

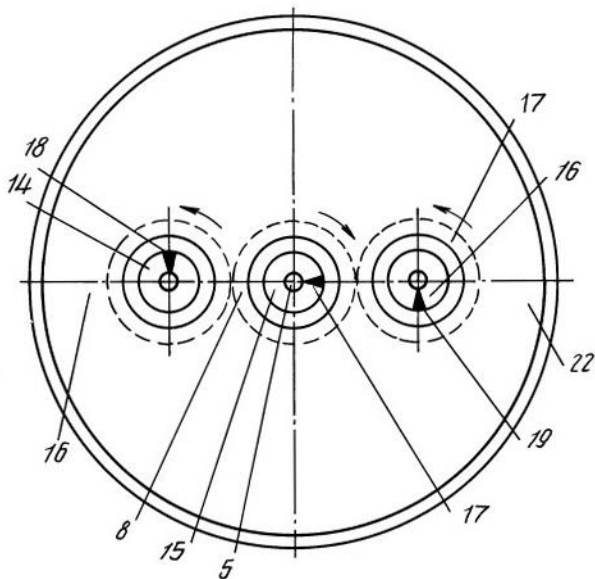


Рис. 5. Поперечный разрез вибровальца

Вибровозбудитель в данной конструкции вибровальца непростой, но функционально обеспечивает создание крутильных и вертикальных колебаний вибровальца, что и создаёт предпосылки по-

лучения высокой эффективности уплотнения при минимуме отрицательных побочных явлений при работе катка.

Рассмотрев существующие конструкции вибрационных катков, можно сделать вывод, что на катках применяются вибровозбудители с постоянным или с изменяемым статическим моментом дебалансов. Вибровозбудители с постоянным статическим моментом просты по конструкции и имеют наибольшее распространение.

Для обеспечения оптимального режима работы катков всё более в практику внедряются «интеллектуальные» катки, оснащенные системой оперативного контроля плотности, системой адаптивного управления вибровозбудителем и др. Однако они в разы дороже катков в традиционное исполнение.

Литература

1. Валец катка : пат. RU 244816 / А.А. Головнин. – Оpubл. 27.09.1995.
2. Дорожный каток : пат. RU 2100516 / В.И. Баловнев, Н.Е. Курбатов, Г.В. Кустарев. – Оpubл. 27.12.1997.
3. Способ уплотнения дорожно-строительных материалов : пат. RU 2081962 / В.И. Окунев, А.В. Данильченко [и др.]. – Оpubл. 20.06.1997.
4. Самоходный вибрационный каток с возбудителем комбинированного действия : пат. RU 2079610 / М.Р. Буренюк, О.М. Карпов [и др.]. – Оpubл. 20.05.1997.
5. Вибрационная техника для уплотнения и устройства дорожных оснований и покрытий : пособие для студентов специальностей 1-36 11 01 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» и 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса» ; сост.: А. В. Вавилов [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – 66 с.

**Секция
«Мосты и тоннели»**

Львы над Днепром или некоторые нюансы реконструкции транспортного узла на пересечении улицы Челюскинцев и проспекта Пушкинского в г. Могилеве

Берестевич М.М., Государственное предприятие «БелдорНИИ»

Введение

Мост через реку Днепр по Пушкинскому проспекту в г.Могилев построен в 1959 году по проекту, разработанному институтом «Белгипродор». Длина мостового перехода составляет 291,84 м. С момента сдачи моста в эксплуатацию капитальных ремонтов несущих конструкций пролетных строений и опор не проводилось. В 2013 г. специалистами мостового управления ГП «БелдорНИИ» была выявлена местная потеря устойчивости ребра жесткости в узлах опирания стальных балок Б4 на опоре № 5 и Б3 на опоре № 3 из вертикальной плоскости. Эти дефекты обусловлены увеличением динамического воздействия транспорта на конструкции из-за ям и неровностей покрытия, особенно в зоне деформационных швов, а также уменьшением сечения стальных элементов в результате пластовой коррозии металла. Также были выявлены значительные участки с пластовой коррозией в том числе, ослабление сечения нижнего пояса фасадных балок.

В феврале 2015 года после обрушения части перильных ограждений в русловом пролете с низовой стороны начаты работы по реконструкции моста. Проект реконструкции разработан ОУПП «Институт Гродногражданпроект», 2013 – 2016 гг., главный инженер проекта – Луц С.Н. Строительная организация, выполняющая реконструкцию мостового сооружения - филиал «МСУ №1» ОАО «Мостострой».

Общие сведения

В ходе проектирования реконструкции мостового перехода через р.Днепр по проспекту Пушкинскому в г.Могилев в связи с отсутствием обновленных данных об фундаментах опоры №4 и грунтах, залегающих в зоне опоры №4, главным инженером проекта было принято решение по замене бетонной существующей опоры на ме-

таллическую с частичной разборкой бетонного тела существующей опоры. Также проектом реконструкции была предусмотрена замена существующих железобетонных пролетных строений моста на новые сталежелезобетонные.



Рис. 1. Общий вид моста до ремонта (русловые пролеты и опора №4)

В связи с началом реконструкции сооружения, а также со сложностью и уникальностью принятого решения по переустройству опоры №4, государственное предприятие «УКС г.Могилев» обратилось в государственное предприятие «БелдорНИИ», на основании чего были начаты работы по научно-техническому сопровождению реконструкции моста.

По результатам проведенной экспертной оценки конструкции неразрезного пролетного строения моста и металлической обстройки опоры №4 были выявлены несоответствия в геометрических размерах элементов, несовпадения монтажных и стыкуемых элементов. Вследствие чего возникли трудности при изготовлении конструкций пролетных строений на заводах. Металлические балки для сталежелезобетонных пролетных строений моста изготавлива-

лись на двух заводах ЗАО «Воронежстальмост» г. Воронеж РФ и ООО «Протос» г. Могилев РБ. Изготовление элементов металлической надстройки опоры №4 выполнялось на заводе ОАО «Строммаш» в г. Минск РБ.

Для определения фактической грузоподъемности сооружения специалистами мостового управления ГП «БелдорНИИ» были выполнены перерасчеты пролетного строения и новой конструкции опоры №4.

Мониторинг напряженно-деформированного состояния металлической надстройки опоры №4

Результаты перерасчета несущей способности конструкций металлической обстройки опоры №4, выполненного специалистами мостового управления ГП «БелдорНИИ», ставили под сомнение воплощение данной идеи в реальности. Совместными усилиями специалистов мостового управления ГП «БелдорНИИ» и ОУПП «Институт Гродногражданпроект» были найдены решения, позволяющие дальнейшее переустройство конструкции опоры.

Для воплощения проектного решения по устройству металлической надстройки опоры №4 необходимо было выполнить работы по резке тела бетонной существующей опоры. Резка железобетонной опоры осуществлялась частной компанией в июле 2015, согласно проектной документации (рисунок 4). После вырезки центральной части тела опоры, были произведены работы по устройству металлических анкеров в существующий цоколь опоры для последующего устройства монолитного железобетонного пояса усиления.

В ходе проведения работ по переустройству опоры №4 (после вырезки блоков №№1-40) было принято решение о сохранении оставшихся бетонных столбов с соответствующим распределением усилий на них и металлическую обстройку.

Монтаж металлоэлементов осуществлялся силами МСУ-1 г. Могилев в 2016 конструкции поставлял на объект изготовитель металлоэлементов ОАО «Строммаш» г. Минск.

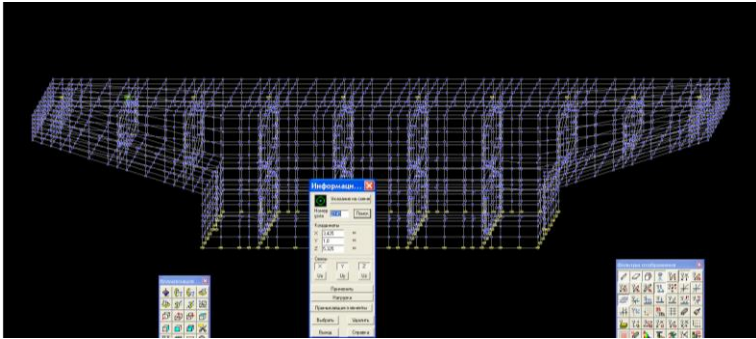


Рис. 2. Расчетная схема металлической обстройки опоры №4

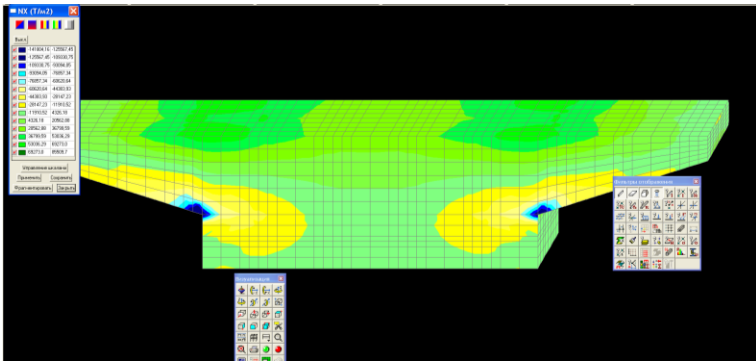


Рис. 3. Эпюра усилий, возникающих в металлической обстройке опоры №4 при приложении нагрузок

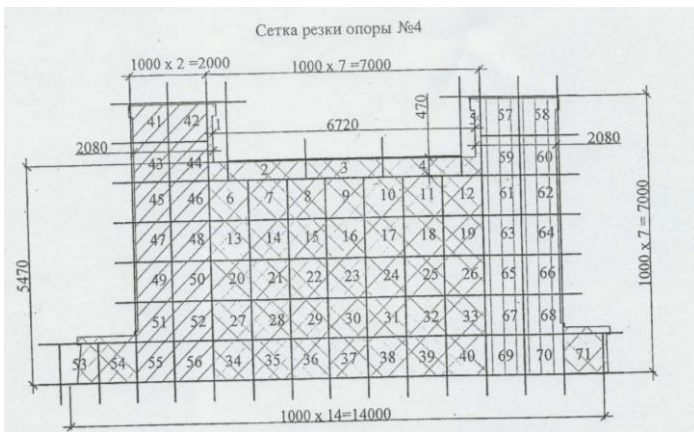


Рис. 4. Первоначальная схема резки опоры №4

В связи с индивидуальностью конструкции, после сборки нижней консоли опоры №4, на опоре в расчетных сечениях для контроля напряжений были установлены датчики системы мониторинга закрытого типа с базой $b=200$ мм и шагом измерения 1 мм (рисунки 5).

При опускании на опору №4 нижней ветви пролетных строений моста максимальные деформации, зафиксированные датчиками системы мониторинга, составили порядка 70 мкм, что соответствовало напряжениям порядка 735-740 кг/см². Теоретические расчетные деформации по данным предоставленным ОУПП «Институт Гродногражданпроект» составили 158 мкм.

При опускании на опору №4 верхней ветви моста максимальные деформации, зафиксированные датчиками системы мониторинга, составили порядка 35 мкм, что соответствовало напряжениям порядка 360-370 кг/см². Теоретические расчетные деформации по данным предоставленным ОУПП «Институт Гродногражданпроект» составляли 87 мкм.



Рис. 5. Датчики системы мониторинга, установленные в надстройке опоры №4.
05.04.2016



Рис. 6. Вид на металлическую обстройку опоры №4. 17.05.2016

В ходе проведенного мониторинга напряженно-деформируемого состояния металлической обстройки опоры №4 установлено, что напряжения, образовавшиеся в результате передачи постоянных нагрузок (веса пролетных строений, монолитной плиты и слоев дорожной одежды) не значительны и многократно меньше теоретических расчетных значений. В основном это вызвано опиранием балок Б3 и Б7 на оставшуюся часть существующей бетонной опоры.

Также учитывая напряженность автомобильного потока в данном направлении и сложность данного сооружения заказчику было рекомендовано установить в основных расчетных сечениях пролетных строений автоматизированную систему мониторинга напряженно-деформированного состояния металла в режиме реального времени.

Мониторинг напряженно-деформированного состояния металлических балок сталежелезобетонных пролетных строений моста

В связи с выявленными специалистами ГП «БелдорНИИ» в 2013 году дефектами металлических балок в русловых пролетах, в проекте реконструкции предусмотрено усиление пролетного строения

путем изменения схемы опирания пролетных строений на опоре №4, а также установкой дополнительных поясных листов, включаемых в работу путем применения высокопрочных болтов диаметром 24 мм. Уширение пролетных строений достигнуто путем добавления 2-х главных балок с шагом 2,55 м с верхней и нижней стороны моста и установки металлических тросуарных консолей.

Существующие железобетонные пролетные строения были демонтированы и заменены на новые неразрезные сталежелезобетонные.

Железобетонная плита проезжей части на существующем сталежелезобетонном пролетном строении, по результатам обследования, выполненного ГП «БелдорНИИ», максимально сохранена. Над остальными новыми металлическими балками устроена новая монолитная железобетонная плита. В качестве опалубки была использована несъемная опалубка с арматурными выпусками на активной поверхности, которые были необходимы для включения несъемной опалубки в совместную работу монолитной плиты проезжей части. Монолитная железобетонная плита проезжей части включена в работу на новой части пролетного строения путем установки анкеров Нельсона, на существующей - за счет сохраненных существующих упоров.

После монтажа правой части пролетного строения для ее определения фактической грузоподъемности, а также оценки возможности пропуска двух колонн автомобильного транспорта (в обоих направлениях движения) в неконтролируемом режиме было принято решение об испытании новой части моста. После проведения испытания по новой части моста было открыто движение.

В рамках работ по мониторингу напряженно-деформированного состояния конструкций сооружения выполнялся контроль планово-высотного положения конструкций моста, в ходе которого на завершающем этапе были выявлены неудовлетворительные данные по прогибам приставных фасадных балок, в результате чего были приостановлены работы в русловом пролете 3-4. Специалисты мостового управления государственного предприятия «БелдорНИИ» совместно со специалистами ООО «Прикладные решения» в срочном порядке был выполнен выезд на объект для измерения фактических напряжений в фасадных балках.

Для определения фактических напряжений в балках был задействован прибор для определения напряжений в металлических конструкциях, разработанный специалистами ООО «Прикладные решения», и не имеющий аналогов в мире. По результатам измерений было установлено, что максимальные суммарные расчетные напряжения в нижнем поясе фасадной балки Б10 в середине пролета 3-4 (с учетом фактических измеренных) от воздействия постоянных и временных нагрузок составят 3914 кгс/см², при расчетном сопротивлении стали 10 ХСНД $R_y=3500$ кгс/см², т.е. действующие напряжения составляют 112%, что означает необходимость усиления балки. Для подтверждения марки стали балок были отобраны пробы из балок Б1 и Б10 пролетных строений 3-4 и 4-5. Из каждой балки было извлечено по три пробы диаметром 17-20 мм. Для получения предварительных данных специалистами ООО «Прикладные решения» были проведены оптические экспресс исследования с использованием электронного микроскопа многократного увеличения. По результатам проведенных исследований установлено, что в пробах 2** и 1* содержание меди соответствует стали 15ХСНД, а содержание углерода данным прибором установить невозможно. В связи с этим было принято решение о проведении исследований в Испытательном центре ГНУ «Институт порошковой металлургии». По результатам проведенных исследований в ГНУ «Институт порошковой металлургии» установлено, что содержание углерода в исследованных образцах составляет 0,12%, что согласно ГОСТ 19281-89 «Прокат из стали повышенной прочности» можно отнести и как к стали 10ХСНД, так и к стали 15ХСНД, а содержание меди (Cu), придающей пластичность металлу также можно отнести и к одной и к другой марке стали.

Для подтверждения полученных данных о фактических напряжениях от воздействия постоянных и временных нагрузок ГП «БелдорНИИ» были проведены испытания балок Б8-Б10 пролетов 3-4 и 4-5 испытательной нагрузкой, аналогичной воздействию постоянных и временных нагрузок. С учетом полученного коэффициента запаса работы сталежелезобетонного пролетного строения и фактических измеренных напряжений на момент испытания, максимальные ожидаемые суммарные расчетные напряжения от воздействия постоянных и временных нагрузок в нижнем поясе балки Б10 про-

лета 3-4 составят 3429,0 кгс/см², что не превышает расчетное сопротивление стали 10ХСНД $R_y=3500$ кгс/см².

Выводы

По окончании работ по ремонту мостового сооружения специалисты мостового управления ГП "БелдорНИИ" провели испытание пролетных строений моста, по результатам которых не было выявлено недопустимых деформаций и прогибов в характерных контрольных сечениях и каких-либо повреждений несущих конструкций. Восприятие конструкциями моста испытательной нагрузки в целом соответствовало расчетным предпосылкам и проектным данным.

В ноябре 2016 года состоялся долгожданный ввод в эксплуатацию моста через реку Днепр по проспекту Пушкинскому в г. Могилев.

Также хотелось бы отметить, что в ходе проведения реконструкции моста были и неожиданные открытия: обнаружены фрагменты фундамента Троицкой церкви XVIII века, в связи с чем было принято решение о корректировке проектных решений, в частности придания сооружения криволинейного очертания в плане, или замена декоративных шаров на с обеих сторон моста на львов, конечно, привело к удорожанию работ, но зато город получил музей под открытым небом, а львы стали визитной карточкой моста. Кстати мало кто знает, что у этих львов есть имена – это имена тех людей, которые сделали огромный вклад в создание того моста, который красуется над Днепром.

Для воплощения в реальность данного проекта моста по проспекту Пушкинскому в г. Могилев потребовались знания и опыт в использовании новых технологий и ремонтных материалов, весь потенциал сотрудников мостового управления ГП "БелдорНИИ", а также инженерная интуиция и смекалка.

О разрушении железобетонных конструкций мостов

Гречухин В.А. к.т.н., доцент, Ходяков В.А. ст. преподаватель,
Белорусский национальный технический университет

Мосты, это одни из наиболее сложных инженерных сооружений, которые в процессе эксплуатации подвергаются значительным внешним нагрузкам (в том числе динамическим) и агрессивным воздействиям. Их строительство дает экономический эффект для транспортной логистики, оказывает существенное влияние на качество жизни человека. Поэтому разрушения и дефекты мостов, это проблемы не только проектировщиков, мостостроителей и эксплуатирующих организаций. Это проблемы всех кто ими пользуется.

Мы не будем рассматривать проблемы варварского отношения к мостам со стороны граждан с низкой культурой, которые увечат сооружения.

Данные виды дефектов влияют на безопасность. Они могут и должны быть устранены в кратчайшие сроки в рабочем порядке, без существенных неудобств для граждан. Однако ряд дефектов создает существенные проблемы, такие как снижение безопасности, надежности и долговечности на протяжении всего периода эксплуатации. И не может быть устранен путем капитального ремонта, а требует реконструкции или строительство нового сооружения.

На построенные конструкции моста действуют агрессивные реагенты, которые по порам и капиллярам проникают к стальной арматуре, вызывая ее коррозию. В свою очередь в процессе коррозии арматура увеличивается в объеме и, создавая растягивающие напряжения, разрушает защитный слой. Разрушение железобетонных конструкций, не только портит их внешний вид, но и проводит к существенной потере рабочего сечения элементов (рисунки 1 и 2) и, как результат, изменению расчетной схемы, снижению грузоподъемности, а в отдельных случаях к полному отказу транспортного сооружения.



Рис. 1. Разрушение перильное ограждение



Рис. 2. Оголение и коррозия арматуры плитного пролетного строения моста-плотины над задвижкой шлюза



Рис. 3. Оголение и коррозия арматуры свай в зоне переменного уровня воды

Представленные выше дефекты наглядно демонстрируют проблему отсутствия эффективных средств защиты новых железобетонных конструкций от действия агрессивных реагентов.

Тоже можно сказать и про конструкции, требующие ремонта в процессе их эксплуатации. Восстановление защитного слоя не всегда бывает эффективным. Новый слой наносится на подготовленную поверхность, однако часто эксплуатируемые конструкции имеют скрытые дефекты, которые сложно учесть в полном объеме. Зачастую это приводит к быстрому повторному разрушению элемента конструкции.

Также после проведенных ремонтов остается актуальной проблема подмостового пространства, например, уменьшения сечения русла. А восстановленные с помощью стальных рубашек опоры снижают эстетику восприятия сооружения.



Рис. 4. Повторное разрушение защитного слоя сваи после проведения ремонтных работ



Рис.5. Повторное разрушение защитного слоя насадки после проведения ремонтных работ



Рис. 6. Восстановление ж.б. свай с использованием стальной обоймы

Следует также учитывать возникающие непредвиденные расходы при проведении таких работ и стоимость ремонтных материалов, а также потребность обеспечения рабочей зоны вспомогательными конструкциями.

Поэтому зачастую кажущаяся на начальном этапе выгода проведения ремонтных работ, не остается такой же после ее завершения.

Заключение

В связи с вышеизложенным строительство нового моста или теппровода, с учетом современных нормативных требований может в перспективе дать больший экономический эффект, чем реконструкция старого сооружения. Также следует рассматривать возможность замены только пролетных строений с переустройством верхней части опор.

О системе управления состоянием мостов «Белмост»

зав. лабораторией Гулицкая Л.В., с.н.с. Шиманская О.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Проанализированы основные цели и функции действующей в Республике Беларусь системы управления состоянием мостов (СУСМ) «Белмост» с точки зрения применения информационных технологий в транспортных коммуникациях для электронной систематизации данных о состоянии мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Сотрудники НИЛ МИС БНТУ более 20 лет участвуют в программе диагностики мостовых сооружений, создании и актуализации базы данных СУСМ «Белмост».

Современные экономические условия и уровень развития информационных технологий (ИТ) предполагают эффективный переход отрасли транспортных коммуникаций на путь инновационного развития с максимальным использованием возможностей ИТ. Для этого активно разрабатываются и внедряются автоматизированные информационные системы. Их основа, наряду с высококвалифицированным персоналом, - это базы данных, в которых хранятся актуальные сведения, отображающие реальное состояние и процессы, события, явления, объекты, служащие для удовлетворения информационных потребностей пользователей. Методологией и программным инструментарием моделирования и хранения больших объемов данных, а также выполнения операций по актуализации данных и обработке пользовательских запросов являются технологии баз данных. Роль баз, данных непрерывно возрастает, они шире используются во всех сферах экономической деятельности, в том числе и в транспортных коммуникациях. Новые сферы применения связаны с системами поддержки принятия решений в проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных сооружений.

В сфере транспортных коммуникаций применение информационных технологий определено, в частности, необходимостью скорейшей полной и всесторонней электронной систематизации дан-

ных о состоянии мостовых сооружений на автомобильных дорогах нашей страны с целью мониторинга технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений и определения первоочередности и оптимальности инвестиций в транспортные коммуникации. Для выработки единой методики оценки технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования в Республике Беларусь была разработана и используется в настоящее время методология системы управления состоянием мостов (СУСМ) «Белмост», действующая на основе технологий базы данных мостовых сооружений. База данных мостовых сооружений представляет собой именованную совокупность информационных данных, отображающую состояние объектов, их свойства и взаимоотношения в заданной области. Информация в базе данных хранится централизованно с возможностью множественного доступа, просмотра и изменения данных при использовании в этот момент самой последней версии информации. Для удобства ввода и обработки данных с помощью программного обеспечения используются классификация и кодирование информации. Коды элементов конструкций и их дефектов проставляются согласно разработанным классификаторам, представляющим собой систематизированный свод наименований объектов, признаков классификации и их кодовых обозначений. Основной целью СУСМ «Белмост» является содержание парка мостовых сооружений Республики Беларусь в техническом состоянии, обеспечивающем соответствие эксплуатационных характеристик нормативным требованиям, которые гарантируют безопасный беспрепятственный пропуск грузопассажирских перевозок с учетом оптимальных капиталовложений.

Система управления состоянием мостов «Белмост» предназначена для оценки технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений, планирования и своевременного проведения ремонтных мероприятий, оперативного информирования заинтересованных организаций и служб о состоянии сооружений и режиме пропуска транспортных средств по ним, в том числе тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств, хранения сведений о геометрических параметрах, дефектах и конструктивных особенностях сооружения. Методология СУСМ «Белмост» основана на диагностике мостовых сооружений, включающей в себя все виды работ по определению технико-эксплуатационного состояния мостовых сооруже-

ний, а также оценку состояния сооружений, анализ результатов и составление оптимальных планов работ и мероприятий по содержанию транспортных объектов.

Основные функции СУСМ «Белмост»:

- создание списка мостовых сооружений на сети республиканских и местных дорог;
- ввод и редактирование параметров мостовых сооружений и их конструктивных элементов;
- автоматическое формирование иерархического списка конструктивных элементов моста и связанных с ними возможных дефектов из классификатора;
- ввод и корректировка списка элементов и дефектов;
- расчет оценки состояния мостового сооружения по результатам диагностики;
- определение вида и стоимости ремонта для устранения дефектов сооружений;
- получение аналитических отчетов в формате Microsoft Word;
- хранение и просмотр графического материала (фотографии).

Научно-исследовательская лаборатория мостов и инженерных сооружений (НИЛ МИС) Белорусского национального технического университета более 20 лет принимает активное участие в программе диагностики мостовых сооружений, создании и актуализации базы данных СУСМ «Белмост». В процессе эксплуатации система «Белмост» совершенствуется, выявляются недостатки и неточности, связанные, в частности, с формализацией некоторых экспериментальных или нетиповых конструкций, которые редко встречаются в РБ. Для таких конструкций в систему сложно ввести параметры отдельных элементов, а также дефектов для них. В качестве примера можно привести экспериментальное железобетонное плитное пролетное строение с поперечными пустотами, существующее в стране в единственном экземпляре. В таких пролетных строениях возможны дефекты в пустотах, имеющие значительное влияние на эксплуатационные характеристики сооружения, а корректно ввести их в систему невозможно. В таких случаях исполнитель вынужден игнорировать данные элементы или искать в базе равноценную замену на основе других конструкций, что не всегда получается корректно и приводит к искаженной оценке состояния

сооружения. Кроме того, развитие проектных и строительных технологий в мостостроении, появление новых конструкций мостовых сооружений требуют своевременной корректировки классификации и кодирования информации баз, данных СУСМ «Белмост». Такая корректировка систематически осуществляется работниками профильных организаций. В частности, решен вопрос с классификационной идентификацией монолитных промежуточных опор, уширенных в процессе реконструкции путем добивки свай, объединенных насадкой, с одной или двух сторон. Ранее затруднение вызывал выбор типа опоры, т.к. доступен был выбор только одного типа, при этом автоматически определялись характерные элементы – сваи и насадки для свайных опор, тело опоры – для монолитных. В настоящее время при идентификации возможно деление опоры на несколько частей определенного типа.

Актуальное совершенствование системы «Белмост», устранение недостатков, выявленных в процессе эксплуатации методологии, позволяет повысить ее надежность, эффективность и достоверность.

На основании обработки введенных данных по конструктивным параметрам сооружения, его грузоподъемности и дефектов элементов СУСМ «Белмост» рассчитывает количественную оценку состояния мостового сооружения, которая определяет уровень состояния мостового сооружения, а также необходимость осуществления мероприятий в рамках содержания, текущего ремонта, капитального ремонта или реконструкции сооружения при его дальнейшей эксплуатации. Оценка состояния мостового сооружения определяется в два этапа. На первом этапе определяется оценка состояния мостового сооружения по имеющимся дефектам, на втором этапе определяется общая (фактическая) оценка состояния мостового сооружения с учетом соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных характеристик (габарита ездового полотна и грузоподъемности сооружения).

Оценки состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах, собранные и систематизированные в электронной базе, позволяют диагностировать состояние сооружений в целом по РБ на ближайшую и будущую перспективы. Кроме того, использование СУСМ «Белмост» помогает предотвратить аварийные и предаварийные состояния мостовых сооружений и экономически эффек-

тивно распределять инвестиции и внедрение передовых технологий в сфере транспортных коммуникаций.

Литература

1. Оскерко В.С., Пунчик З.В., Состовский О.А. Технологии баз данных: учеб. пособие. – Минск: Изд-во Белорусского государственного экономического университета, 2007. - 171 с.
2. Васильев А.И. Оценка технического состояния мостовых сооружений: учеб. пособие – Москва: Кнорус, 2017. – 255 с.
3. Мосты автодорожные. Правила выполнения диагностики: технический кодекс установившейся практики ТКП 227-2018 – Минск, 2018. – 102 с.

Исследование грузоподъемности железобетонных плитных пролетных строений мостовых сооружений

зав. лабораторией Гулицкая Л.В., с.н.с. Шиманская О.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В ходе исследований были проанализированы данные по грузоподъемности более 50 мостовых сооружений с плитными пролетными строениями. Важным элементом проведенного анализа явилось определение степени изменения прочностных характеристик конструкций с учетом фактических структурных изменений, вызванных эксплуатационными факторами – дефектами и повреждениями. На основе проведенных исследований проанализировано влияние на грузоподъемность плитных пролетных строений часто встречающихся структурных изменений элементов пролетных строений. Проанализированы изменения значения грузоподъемности сборных плитных мостовых сооружений в результате проведенных ремонтных работ по уширению и усилению пролетных строений.

Значительное количество железобетонных мостовых сооружений в Республике Беларусь выполнено с применением плитных разрезных пролетных строений из ребристых плит и плит сплошного сечения. Учитывая, что основное количество этих мостовых сооружений в республике строилось в 60-70-е годы прошлого века, в настоящее время большинство из них уже не соответствует требованиям современных норм по грузоподъемности, что является следствием физического и морального износа сооружений. Для обеспечения устойчивого и безопасного функционирования мостовых сооружений с плитными пролетными строениями необходим мониторинг напряженно-деформированного состояния элементов плитных пролетных строений с анализом основных функциональных параметров данных мостовых сооружений.

В ходе исследований были проведены следующие работы:

- натурные обследования несущих элементов мостовых сооружений с плитными пролетными строениями из ребристых П-

образных плит и плит сплошного сечения с выполнением обмерных и нивелировочных работ в рамках инструментальной диагностики;

- выявлены дефекты мостовых конструкций с определением их места расположения и объемов для анализа влияния на технико-эксплуатационное состояние мостовых сооружений;

- систематизированы выявленные дефекты мостовых конструкций с целью определения степени их влияния на функциональные параметры мостовых сооружений;

- определена теоретическая грузоподъемность мостовых сооружений с учетом фактического технико-эксплуатационного состояния несущих элементов мостовых сооружений.

Мостовые сооружения, по которым проводились исследования, относятся к балочно-разрезной расчетной схеме, несущие конструкции в составе свайных опор и плитных пролетных строений из ребристых плит и плит сплошного сечения изготовлены из сборного железобетона.

В ходе проведения исследований прочностные характеристики бетона главных плит определялись неразрушающим методом, толщина мостового полотна – по данным натурных обмеров и технического нивелирования сооружений. Несущая способность конструкций пролетных строений при этом определялась методом предельных состояний для расчетов железобетона – по прочности (I группа) и трещиностойкости (II группа). Важным элементом расчета явилось определение степени изменения прочностных характеристик конструкций с учетом фактических структурных изменений, вызванных эксплуатационными факторами – дефектами и повреждениями.

Проведенный анализ систематизированных и структурированных данных по дефектам исследованных мостовых сооружений показал, что основными дефектами, снижающими грузоподъемность плитных пролетных строений, являются следующие:

- коррозия стержней рабочей арматуры плит (поверхностная и пластовая), что приводит к уменьшению сечения рабочей арматуры,

- выключение из работы стержней рабочей арматуры плит пролетных строений в результате потери сцепления арматуры с бетоном,

- повышенная толщина слоев дорожной одежды, что приводит к увеличению постоянной нагрузки на плиты пролетных строений,

- нарушение (или отсутствие) объединения стыков между плитами пролетных строений,
- неудачная компоновка поперечных сечений в результате некорректных проектных решений либо в результате изменения проектных решений во время строительства без надлежащего обоснования.

На рисунках 1...3 приведены примеры дефектов пролетных строений на примере исследованных мостовых сооружений.

Анализ полученных данных по грузоподъемности исследованных эксплуатируемых мостовых сооружений с плитными пролетными строениями, в том числе и после проведения работ по уширению и усилению пролетных строений, позволяет сделать следующие выводы:

- результаты исследований в части учета влияния дефектов коррозии стержней рабочей арматуры главных плит (5 - 8% от суммарной площади рабочей арматуры плит) показывают, что снижение несущей способности произошло в пределах 1,7% (по нагрузке АК) и 2,4% (по нагрузке НК) от номинального значения, соответствующего плитам со структурной сплошностью силовых сечений;

- выключение из работы крайних плит сплошного сечения пролетного строения может несущественно снизить грузоподъемность пролетного строения для нагрузки АК - до 4% и очень существенно снизить грузоподъемность пролетного строения для нагрузки НК - до 29%;

- в результате проведения ремонта мостового сооружения с плитными пролетными строениями из плит сплошного сечения с заменой крайних плит и устранением основных дефектов, снижающих грузоподъемность пролетных строений, грузоподъемность мостового сооружения может быть увеличена в 3 раза;

- уширение монолитного плитного пролетного строения сборными плитами сплошного сечения может снижать грузоподъемность скомпонованного пролетного строения до 24%;

- анализ расчетных моделей плит сплошного сечения и ребристых (Π-образных) плит при расчете грузоподъемности показал, что применение ребристых плит в конструкциях пролетных строений мостовых сооружений является более оптимальным по сравнению с плитами сплошного сечения, поскольку в расчетных моделях определения несущей способности используется приведенная Т-

образная форма сечения, что обусловило большую его изгибную жесткость при равных или близких значениях величин внутренней пары сил.



Рис. 1. Разрушение бетона сплошной плиты пролетного строения, коррозия стержней рабочей арматуры, водоотводная трубка в теле плиты



Рис. 2. Деструкция бетона ребристой плиты пролетного строения, оголение и коррозия арматуры



Рис. 3. Разрушение бетона плиты сплошного сечения, коррозия арматуры, выключение из работы крайнего стержня в результате потери сцепления с бетоном

Результаты проведенных исследований необходимо учитывать при содержании и эксплуатации мостовых сооружений с железобетонными плитными пролетными строениями.

Литература

1. Осипов В.О., Кузьмин Ю.Г. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб. – М.: Транспорт, 1996. – 471 с.
2. Кваша В.Г., Салийчук Л.В. Реконструкция малых железобетонных мостов // Автомобильные дороги и мосты. – 2014. - №2. – С.40-45.
3. Гулицкая Л.В., Гусев Д.Е., Шиманская О.С. Расчетное исследование по обоснованию конструкции монолитной плиты усиления на пролетном строении из сборных железобетонных плит длиной 9 м // Автомобильные дороги и мосты. – 2016. - №1 (17). – С. 43-48.

Реконструкция с использованием сталефиброжелезобетонной накладной плиты

Магистрант: Журавский Д.А

Научный руководитель – Ляхевич Г.Д.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

За последние 25 лет существенно увеличилась грузоподъемность автотранспорта, выросла интенсивность и скорость его движения. Помимо этого, массовое повреждение элементов конструкций мостов нередко связано с коррозией бетона и арматуры. Все это снижает долговечность мостов.

Фактический срок службы большинства железобетонных мостов 25 ... 30 лет [1], после чего требуются дорогостоящие ремонтные работы. Применение новых энерго- и ресурсосберегающих технологий и материалов позволяет снизить трудоемкость и стоимость процесса реконструкции при обеспечении эксплуатационных характеристик строительных конструкций.

К существующим традиционным методам реконструкции и усиления пролетных строений автодорожных железобетонных мостов относятся их уширение за счет пристройки нового пролетного строения или выноса проезжей части на консоли. Интерес представляет метод реконструкции, позволяющий увеличить габарит и несущую способность моста, устройством сборных ЖБ накладных плит [2].

При этом обеспечивается максимальное использование конструкций существующего моста без дополнительных затрат на уширение опор и пролетных строений, а также появляется возможность производства работ без сброса движения или с его частичным ограничением.

Реконструкция, осуществляемая с использованием сталефиброжелезобетонной (СФЖБ) накладной плиты, по предварительным данным, открывает возможность уменьшить нагрузку от собственного веса (в связи с уменьшением материалоемкости накладной плиты), позволит разгрузить

реконструируемые пролетные строения, в сравнении с применением ЖБ накладной плиты (рисунок 1).

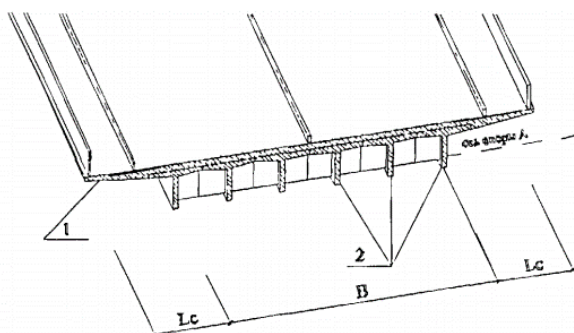


Рис. 1. Схема реконструкции пролетного веса строения моста накладной монолитной сталефиброжелезобетонной плитой:

B – габарит существующего пролетного строения моста; L_c – вылет консоли, увеличивающей габарит; 1 – сталефиброэлюезобетонная накладная плита; 2 – железобетонные балки пролетного строения

Кроме того, применение СФЖБ накладной плиты позволит повысить жесткость пролетного строения, его сопротивляемость динамическим нагрузкам (рисунок 2). При этом за счет применения СФБ можно ожидать увеличения износостойкости, морозостойкости и коррозионной стойкости проезжей части моста. Все перечисленное позволит увеличить срок службы пролетных строений моста, их надежность и долговечность. Кроме того, в отличие от ЖБ накладной плиты, имеющей ограничения вылета консоли, СФЖБ плита чаще может обеспечить необходимый вылет консоли, что делает такой вариант реконструкции пролетного строения моста весьма перспективным.

Применение монолитной СФЖБ плиты исключает монтажные работы, сокращает транспортные работы, не требует дополнительного устройства дорожной одежды.

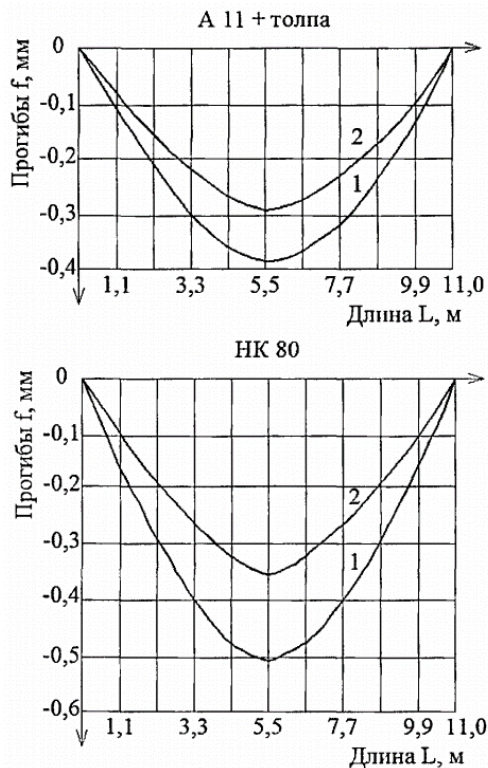


Рис. 2. Прогобы по длине балки пролетного строения моста от действия нагрузок А 11 + толпа и НК 80:
 1 - железобетонная конструкция;
 2 - составная конструкция.

Расчеты показали, что такое решение для конкретных условий позволяет сократить, по сравнению со сборной ЖБ накладной плитой, вес конструкции на 20%, снизить расход стали на 32%, себестоимость плиты - на 39,7%, трудоемкость изготовления на 26,3%. С целью проверки целесообразности применения накладной СФЖБ плиты были выполнены ее экспериментальные исследования на моделях.

Изучение работы составной конструкции проводилось на 3-х вариантах моделей. В соответствии с размерами моста на плане и принятым масштабным коэффициентом были определены размеры

моделей (рисунок 3): ширина - 600 мм, длина - 400 мм; толщина ЖБ модели - 50 мм, толщина СФБ модели - 20 мм, толщина модели составной конструкции переменная - 70 мм в основном сечении, и 20 мм - в сечении консоли.

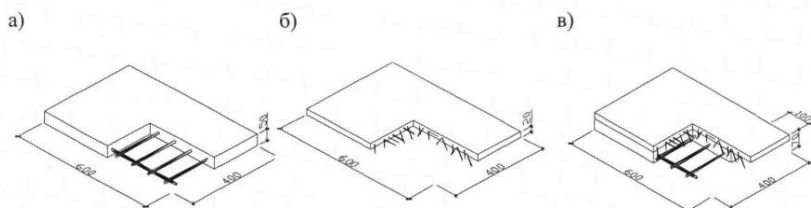


Рис. 3. Модели накладной плиты.

Схемы: а) железобетонная; б) сталефибробетонная; в) составная

Размеры консоли определялись из условия сохранения отношения толщины к ее вылету.

В соответствии с расчетами СФБ модель (рисунок 3; б) была застроена стальной гладкой фиброй из проволоки. Железобетонная модель (рисунок 3, а), заармирована вязаной сеткой с поперечной рабочей арматурой - $\phi 5$ Вр-I, установленной с шагом 76 мм, и конструктивной продольной - $\phi 4$ Вр-I с шагом 190 мм. Модель составной конструкции (рисунок 3, в), представляет собой объединение ЖБ и СФБ элементов, соединенных между собой при помощи анкеров $\phi 5$ Вр-I, установленных по расчету (шаг анкеров по длине 240 мм и ширине - 90 мм) и подготовленной поверхности ЖБ элемента, обеспечивающей механическое зацепление, за счет придания шероховатости его поверхности.

Расчет моделей по деформациям. С целью предварительной оценки общих линейных деформаций моделей были выполнены расчеты с использованием указаний, приведенных в [3,4]. Расчет производился отдельно для каждого вида модели с учетом их геометрии и материалов, из которых они изготовлены. Результаты определения расчетных значений f_{max} для испытываемых моделей представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные характеристики моделей и их максимальные прогибы

Вид модели	Приведенный модуль упругости E, МПа	Приведенный момент инерции J, м ⁴	Максимальный прогиб f _{max} , мм
Железобетонная	26000	2.7*10 ⁻⁵	0.22
Сталефибробетонная	27740	2.73*10 ⁻⁷	5.92
Составная модель	27218	2.28*10 ⁻⁵	0.079

Проектирование состава сталефибробетонной смеси. Расчет состава СФБ смеси выполнялся по специальной методике, с учетом специфики его структуры. Методика расчета основана на получении максимально плотной компоновки составляющих (включая фибровую арматуру) в зависимости от характеристик сырья и требуемых характеристик СФБ. Для бетонной смеси был принят тот же расход компонентов, что и для бетонной матрицы.

Проведение испытаний. Модели были испытаны по схеме «консольной балки» (рисунок 4), прогибы замерялись при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм, местные деформации в наиболее характерных местах конструкции измерялись при помощи тензометров Гугенбергера с ценой деления 0,001 мм.

При загрузке ЖБ модели наблюдалось постепенное пропорциональное нагрузке увеличение прогибов (рисунок 5).

Таким образом, можно заключить, что жесткость модели составной конструкции как минимум на порядок выше жесткости элементов, из которых она выполнена.

Результаты проведенных исследований позволяют с достаточной степенью достоверности после натуральных испытаний перейти к реконструкции пролетных строений мостов с увеличением их габарита за счет устройства накладной СФЖБ плиты.

Применение сталефибробетона как альтернативного материала является перспективным направлением в связи с его преимуществами по сравнению с традиционным мелкозернистым бетоном. Так как на сегодняшний день не существует метода расчета, соответствующего действующим нормативным

документам Беларуси, то разработка такого метода весьма актуальна.

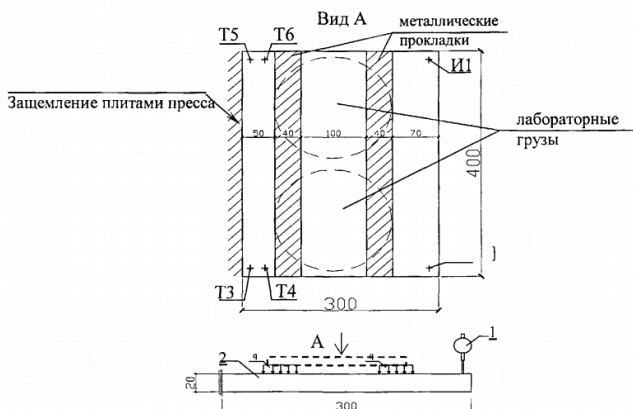


Рис. 4. Схема испытания моделей: И1, И2 - индикаторы часового типа ИЧ-10-2М; Т3, Т4, Т5, Т6- тензометры Гугенбергера. 1 -индикатор (И1, И2); 2 - сталефибробетонная (ЖБ или составная) модель

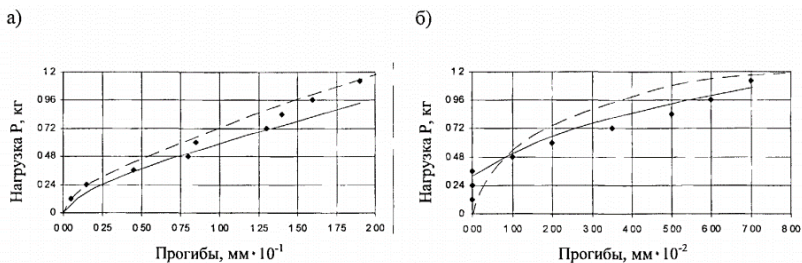


Рис. 5. Зависимость величины прогиба моделей от нагрузки:

а) железобетонной; б) составной; расчетные прогибы;
 --- экспериментальные данные

Литература

1. Васильев, А. И. Долговечность железобетонных мостов и меры по увеличению срока их службы / А. И. Васильев, В. П. Полевко // Автомобильные дороги. - 1995.-№ 9.-С. 3-5.

2. Кваша, В. Г. Реконструкция автодорожных мостов с уширением пролетных строений накладной плитой / В. Г. Кваша, П. Н. Коваль, Ю. М. Собко // Автомобильные дороги. - 1996. - № 2 - С. 33 - 36.
3. Поляков, Л. П. Моделирование строительных конструкций / Л.П. Поляков, В. М. Файнбурд. -Киев: Буццвельшк, 1975. - 160 с.
4. Рекомендации по проектированию и изготовлению стале-фибробетонных
5. конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. - М., 1987. - 148 с.

Статистический анализ причин использования дерева как конструкционного материала на территории республики Беларусь

Костюкович О.В.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается вопрос деревообрабатывающей промышленности в Беларуси. Существующие строительные материалы, не обладают такими свойствами, которые присущи древесине. Дерево достаточно удобно в производственной обработке. Так же, из всех материалов древесина является одной из самой легкой и прочной, долго сохраняющей приятный запах и тепло. Почему же в нашей стране при большом количестве лесов уровень по заготовке и применению древесины не является примером для других стран?

Проведем сравнительный анализ между Республикой Беларусь и США (в частности штата Вашингтон, так как по климату и площади он достаточно схож с Беларусью). Выясним проблемы отставания развития данной отрасли в нашей стране.

На данный момент территория лесов в Беларуси занимает 9247,5 тысячи гектаров или 40 процентов от всей площади страны. Отрасль по деревообработке примерно составляет 2% в структуре промышленного производства республики (таблица 1).

С каждым годом в Беларуси увеличивается объём лесозаготовок. В 2016-м он составил 15,1 млн м³ ликвидной древесины при плане в 12,5 млн м³. К 2025 году данный показатель достигнет 25 млн м³. То, что леса в стране заметно поредели, видно уже невооружённым взглядом [2].

В нашей Республике «зеленая территория» представляет одну из самых важных национальных богатств. Для устойчивого социально-экономического развития страны, лесные ресурсы играют большую роль в обеспечении энергетической, экономической, экологической безопасности. По ключевым показателям, характеризующие лесной фонд (запас растущей древесины в пересчете на одного жителя, ле-

систость территории, площадь лесов) (рис. 1 и 2), Беларусь находится в первой десятке лесных государств Европы.

Таблица 1. Подразделение видов промышленности

Промышленность	Примечание
Лесозаготовительная	Сектор лесозаготовок включает: — заготовку и вывозку древесины; — раскряжевку древесины; — производство деловой древесины; — производство пиловочника; — производство фанерного, спичечного и технологического сырья; добыча живицы.
Деревообрабатывающая (механическая обработка)	Делится на: — лесопильную (6,6%); — производство стандартных домов и строительных деталей из дерева (24%); — фанерную (4,9%); — мебельную (62,3%); — производство спичек (2,2%).
Лесное хозяйство республики функционирует в условиях исключительной государственной собственности на леса, централизованного лесопользования и лесопользования.	

В основном предприятия и производства находятся в сфере управления Белорусского производственно-торгового концерна лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности «Беллесбумпром» и Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (таблица 2). В настоящее время практически все деревообрабатывающие предприятия в составе концерна «Беллесбумпром» являются акционерными обществами. При таких обстоятельствах государственная доля в уставных фондах изменяется от 16% до 60% (рис. 3) [2].

Лесу необходима рубка ухода. Иначе возрастет пожароопасность. В настоящее время уход стал быть похож на промышленную добычу древесины.

От продажи участков государство не получает ни копейки, а у лесхоза есть товарная древесина. При достижении «ухаженой» деланки возраста рубки, цена ее стоимости станет намного меньше из-за небольшой ликвидной массы оставшегося древостоя.



Рис. 1. Возрастной состав лесов

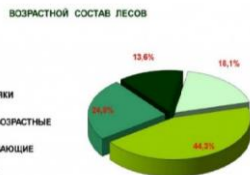


Рис. 2. Состав насаждений



Рис. 3. Отрасли в структурном отношении лесопромышленности

Таблица 2. Предприятия, работающие над определенной продукцией

Вид производства	Примеры предприятия	Город
Производство лесопильных и строительных материалов	ООО «БелПрогрессЛес»	Молодечно
Фанера	ОАО «Борисовдрев»	Борисов
Мебель	УП «Торговый дом «Лагуна»	Барановичи
Стандартны дома, бани, теплицы	ОДО «СПП» Промтехресурс»	Витебск
Строительные детали из дерева	ОАО «Минскдрев»	Минск
Спички	ЗАО «Холдинговая компания-Пинскдрев»	Пинск

Частая вырубка делает лес реже, что является ослаблением его ветроустойчивости, больше всего это заметно после 1-2 лет с момента резки. В результате этого, последствия ураганов становятся «рекордными».

Наша страна имеет огромные территории лесов, большое количество запаса древесины, но страдает обработка. Мы поставляем

данный материал в другие страны, а потом покупаем готовые обработанные деревянные детали, различные конструкции. Страны, которые получаю необработанную древесину, остаются в более выигрышном положении. Конечно, на обработку материала требуются большие финансовые вложения. Однако, кроме готовых к дальнейшему использованию всевозможных пиломатериалов, завод получает так называемые отходы производства. Они могут послужить для последующего использования в качестве вторичного сырья.

Исходя из данных рассмотрений, можно сделать вывод, что проблема заключается в отставании развития технологий по переработке древесины. Недостаточно продуман уход за лесами, что влечет за собой потери «зеленых» площадей.

Нужно, чтобы имеющиеся в стране древесина и макулатура перерабатывались на отечественных предприятиях. Ценное сырье для получения готовых изделий не должно уходить за рубеж по бросовым ценам, а потом возвращаться в виде продукции, которую можно выпускать в республике. Следует загрузить производственные мощности, таким образом обеспечить работу людям и получать хорошую экономическую выгоду. После чего можно усовершенствовать существующие технологии обработки и заготовки древесины, а также строительство деревянных конструкций.

Литература

1. Журнал лесопромышленного комплекса Леспроминформ [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.lesprominform.ru/>. — Дата доступа: 02.10.2021 г.
2. Публикация материала для обучения Лекции. Орг [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://lektsii.org/>. — Дата доступа: 02.10.2021 г.
3. Справочник компаний Беларуси [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://belorussia.su/>. — Дата доступа: 02.10.2021 г.

Современные методы и средства для выполнения проекта ремонта и реконструкции транспортных сооружений.

Костюкович О.В.

Белорусский национальный технический университет

Для решения вопросов ремонта и реконструкции транспортных сооружений также, как и проектировании новых сооружений возможно применение современных методов и средств, а также BIM технологий. С помощью автоматизированных графических и расчётно-графических программ возможно разработать мероприятия по реконструкции мостовых сооружений с учетом этапов выполнения строительно-монтажных работ.

При помощи BIM технологий в области изыскательских работ создаются модели фактического технического состояния конструкций и сооружения в целом с учетом всех геометрических параметров, дефектов и повреждений. На основе такой информационной модели производятся все необходимые расчеты.

На рисунке 1 представлено поэтапное усиление железобетонной сваи мостового сооружения, находящейся в русле реки. В виду месторасположения сваи сварка деталей усиления недопустима. Объемная поэтапная модель усиления выполнена в программе Autodesk Revit.

Усиление сваи производится следующим образом:

1. Обжатие осуществляется стальными уголками с приваренными на них трубками для закрепления между собой болтовыми соединениями. Трубки приварены с определенными шагом по всем граням.
2. Производится монтаж арматурной сетки.
3. Устанавливается опалубка с выдержкой защитного слоя.
4. Заливка бетонной смеси.

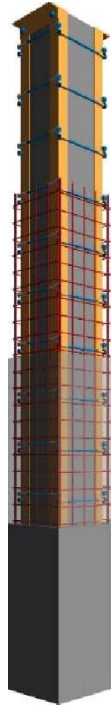


Рис. 3. Усиление сваи

Литература

1. BIM-технология в проектировании: описание, внедрение и применение [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.syl.ru/article/356693/bim-tehnologiya-v-proektirovanii-opisanie-vnedrenie-i-primenenie/>. — Дата доступа: 02.10.2021 г.

**Результаты испытаний пролетного строения моста,
усиленного монолитной накладной плитой с использованием
способа поперечного обжатия**

Павуков Ю.И., Николаевич А.И.
Государственное предприятие «БелдорНИИ»

Задача реконструкции и усиления существующих мостов, построенных в 60-70 годы прошлого столетия, направленная на повышение их надежности и долговечности, приобретает в настоящее время важнейшее значение в связи со сложившейся экономической обстановкой и резким снижением финансирования капитального строительства.

Большинство мостов тех лет были секционные, запроектированы свайными по выпуску 70 Союздорпроекта с пролетными строениями длиной 11,4 и 14,1 м, по выпускам 56 и 10-11 Союздорпроекта и выпуску 7 Белгипродора.

Эти мосты были построены без опорных частей, а балки соединены сварными стыками по закладным деталям в диафрагмах. Почти на всех балках произошло разрушение торцов и разрывы стыков по диафрагмам, поэтому они нуждаются в ремонте. Кроме того, в связи с переходом на новые строительные нормы и правила, эти мосты нуждаются в усилении и уширении.

В сложившихся условиях одним из наиболее приемлемых вариантов повышения долговечности пролетных строений существующих мостов, а также увеличения их грузоподъемности, является устройство монолитной накладной плиты поверх существующих балок и, кроме того, объединение балочных пролетных строений в неразрезные плети (либо рамы) посредством устройства объединяющих балки смежных пролетов монолитных железобетонных опорных участков. При этом, в случае необходимости уширения существующего мостового сооружения, в качестве усиливающих конструкций могут быть использованы балки парапетных ограждений тротуаров, включаемые в совместную работу с существующими балками пролетных строений.

Применение сборно-монолитных пролетных строений в виде сборных железобетонных главных балок, объединенных сверху монолитной железобетонной накладной плитой, получило широкое распространение и в странах Европы [1] и в странах Северной Америки [2].

В Беларуси железобетонные монолитные накладные плиты применяются с 80-х годов XX века при усилении и уширении существующих сборных железобетонных мостов из тавровых балок, объединенных по диафрагмам на сварке. Начало данному опыту положили исследования Государственного Предприятия «БелдорНИИ» [3].

Усовершенствованный способ уширения с одновременным усилением и повышением долговечности сборных балочных пролетных строений был разработан и внедрен специалистами государственного предприятия «БелдорНИИ» при реконструкции моста через реку Поня на автодороге Р-3 Логойск – Зембин – Глубокое – граница Латвийской республики (Урбаны), расположенный на км 91,624. Компоновка пролетного строения моста после уширения и усиления представлена на рисунке 1.

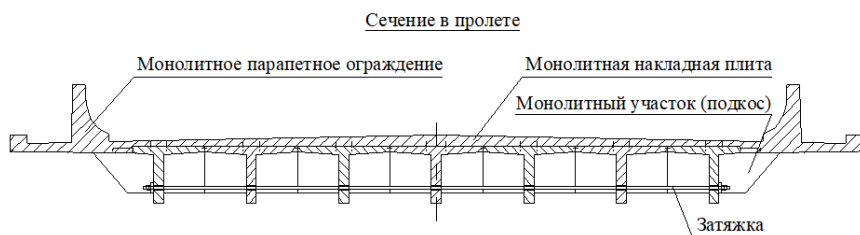


Рис. 1. Поперечная компоновка элементов пролетного строения моста

Попролетная формула моста – $3 \times 14,06$ м. Опоры – свайные. Балки – тавровые, объединенные по диафрагмам на сварке. В поперечнике 7 балок. Шаг балок – 1,4 м. Габарит мостового полотна в доремонтный период – $\Gamma-8+2 \times 0,85$ м, что не соответствовало требованиям действующих нормативных документов. Грузоподъемность сооружения по проекту – Н-30, НК-80.

Усиление пролетных строений моста с уширением габарита мостового полотна до $\Gamma-10$ осуществлено посредством устройства железобетонной монолитной накладной плиты поверх существующих

балок с включением ее в совместную работу с указанными балками с помощью анкеров, а также с использованием поперечного обжатия. При этом существующие разрезные пролеты за счет устройства железобетонных монолитных надопорных участков объединены и представляют собой в настоящий момент рамную конструкцию.

Общий вид моста после капитального ремонта представлен на рисунке 2. Вид на мостовое полотно представлен на рисунке 3.

Устройство монолитных надопорных участков позволило исключить необходимость устройства деформационных швов над опорами. Данное решение благоприятно влияет на долговечность моста. Температурные швы устроены только на сопряжении моста с подходами (рисунок 4). Узел сопряжения моста с подходом представлен на рисунке 5.

Уширение моста до габарита Г-10, который соответствует требованиям ныне действующих норм, осуществлено без уширения опор. Это достигнуто за счет включения в совместную работу с существующими балками достраиваемых железобетонных монолитных неразрезных парапетных ограждений тротуаров, которые, по сути, представляют собой добавленные балки пролетного строения, объединяемые с существующими балками за счет омоноличивания с консольными свесами надопорных участков, достроенными консольными участками диафрагм и непосредственно с накладной плитой.

Отсутствие необходимости уширения опор существенно снизило затраты на капитальный ремонт моста.

Для обеспечения надежной работы парапетных ограждений в условиях водосолевой агрессии при их сооружении применен бетон повышенной морозостойкости и водонепроницаемости. Характеристики бетона парапетов: класс по прочности на сжатие – В35, марка по морозостойкости – F150 в солях, марка по водонепроницаемости – W8.

Произведено поперечное обжатие балок пролетного строения и достроенной на них накладной плиты. Обжатие осуществлено стальными тягами, пропущенными через соосно расположенные отверстия в ребрах существующих балок, расположенные в зонах около диафрагм. Усилие натяжения каждой тяги – 30тс. Контроль натяжения произведен динамометрическим ключом с дополнительным контролем по удлинению стержня.



Рис. 2. Общий вид моста после капитального ремонта



Рис. 3. Мостовое полотно после капитального ремонта

Для определения фактической грузоподъемности пролетного строения моста, были проведены испытания сооружения и проверки ее соответствия теоретически определенной грузоподъемности, а также выявления возможности пропуска по сооружению требуемых современными нормами нагрузок А14 и НК-112.

Испытания производились автосамосвалами МАЗ-5516 в количестве 5 штук весом 33 тонны каждый (рисунок 4). Общая испытательная нагрузка на пролетное строение составила 165 тонн. Нагрузкой загружались сечение 0,4L и приопорное у опоры №2 пролета №1.

Сечение 0,4L оснащается деформометрами с базой $b=500$ мм и ценой деления индикатора 0,001 мм и прогибомерами ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм.

Сечение у опоры №2 оснащается деформометрами с базой $b=500$ мм и ценой деления индикатора 0,001 мм.

Размещение приборов во время испытаний показано на рисунках 5 и 6.

Результаты проведения испытаний

Величины прогибов для балок пролетного строения, полученные по результатам испытаний, не превышают теоретически вычисленных значений, а также допустимых значений величин прогибов,

равных $\frac{1}{400} \cdot L = 34,75$ мм.

Значения конструктивных коэффициентов, вычисленные для величин максимальных прогибов, находятся в допустимых ТКП 45-3.03-60 [4] пределах от 0,69 до 0,73, что свидетельствует о нормальной работе конструкции.

При визуальном осмотре испытываемых конструкций в момент нахождения на них испытательной нагрузки раскрытие трещин или другие дефекты на этих конструкциях не обнаружены. Величины прогибов для балок пролетного строения, полученные по результатам испытаний, не превысили теоретически вычисленных значений, а также допустимых значений величин прогибов.

Максимальный фактический допустимый класс для пропуска автомобильных нагрузок в составе колонн по I группе предельных состояний составил $[K]=14$, по II группе предельных состояний - $[K]=16$.

Максимальный допустимый класс для пропуска тяжеловесных нагрузок одиночным порядком по I группе предельных состояний составил $[K_{НК}]=172,1$, по II группе предельных состояний - $[K_{НК}]=119,3$.

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод: фактическая грузоподъемность пролетного строения моста соответствует проектным нормативным временным вертикальным подвижным нагрузкам А14 и НК-112 [5].

Выводы по результатам испытаний усиленного монолитной плитой и поперечным обжатием пролетного строения

Посредством поперечного обжатия обеспечивается как повышение надежности объединения существующих балок по диафрагмам, так и повышение трещиностойкости железобетонной монолитной накладной плиты в поперечном направлении, а, следовательно, и ее долговечности.



Рис. 4. Установка испытательной нагрузки



Рис. 5. Расстановка прогибомеров и деформометров в сечении 0,4L



Рис. 6. Расстановка деформометров в приопорном сечении с низовой стороны

Экономическая эффективность реализации проекта составила более 20% относительно других вариантов ремонта и усиления.

Резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что примененный способ реконструкции балочных пролетных строений моста является реально эффективным способом повышения его долговечности и грузоподъемности.

Литература

1. Богданова Е.Н. Конструктивные решения транспортных эстакад на основе сборных железобетонных балок в странах Европы. Перевод статьи *Brucken aus Betonfertigteilen in Europa*// ВФТ.-2001.- №2-с.80-88 (нем., англ.).
2. Richard E. Klingner, Lee A. Bieschke. Effects of Transverse Panel Strand Extensions on the Behavior of Precast Prestressed Panel Bridges. *Journal prestressed concrete institute*, vol.33, №1, January/February 1988, pp. 68-88.
3. Ремонт железобетонных мостов. Технические решения для службы эксплуатации автомобильных дорог. Мн.: БелдорНИИ, 1983.
4. ТКП 45-3.03-60-2009 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний.
5. СН 3.03.01-2019 Мосты и трубы.

Бетонные и железобетонные трубы: типы, размеры, классификация

Устинович А.В. – аспирант

Гречухин В.А. – канд. техн. наук, доцент

Впервые бетонные безнапорные трубы были применены для устройства коммуникационных стоков в Одессе и Ростове-на-Дону в 50-х годах XIX столетия [1]. Развитие производства железобетонных труб началось в начале XX века [2].

Железобетонные трубы применяются в промышленном и гражданском строительстве, постепенно заменяя стальные и чугунные. Также их применяют в сельском, гидротехническом, водохозяйственном, железнодорожном, автодорожном строительстве [3] при устройстве трубопроводов, транспортирующих хозяйственно-бытовые и производственные жидкости, атмосферные, сточные и подземные воды, ирригационно-мелиоративные и дренажные каналы. Они могут использоваться в качестве водопропускных конструкций, укладываемых в насыпях автомобильных и железных дорог [4].

Бетонные и железобетонные трубы обладают следующими достоинствами: простота монтажа и устройства стыка, устойчивость к температурным перепадам, эксплуатационная долговечность, низкая металлоёмкость, неизменность пропускной способности [2, 5]. Срок службы бетонных и железобетонных труб превышает 50 лет [6].

Железобетонные трубы в зависимости от условий работы бывают безнапорные, низконапорные (рассчитаны на внутреннее давление до 3 атм.), средненапорные (внутреннее давление от 5 до 10 атм.) и высоконапорные с расчётным давлением от 15 до 20 атм. [5, 2, 7].

По форме поперечного сечения железобетонные трубы производятся круглые, круглые с подошвой, прямоугольные, овоидальные, эллиптические, арочные, постелистые [5, 2, 3]. Наиболее распространены трубы с круглым сечением. В зависимости от вида стыко-

ванного соединения трубы различают раструбные, раструбные с упорным буртиком, фальцевые, с гладкими торцами [5, 8].

Герметизация стыкового соединения при устройстве трубопроводов с применением раструбных бетонных и железобетонных труб в зависимости от конструкции раструба осуществляется путём зачеканки герметическими уплотнителями или пеньковой прядью с зачеканкой цементом. Для этих целей также применяют уплотнительные резиновые кольца, поставляемые в комплекте с изделием и манжет [4, 6, 9]. Также существует уплотнение стыкового соединения интегрированным уплотнительным профилем (рисунок 1), которое представляет собой монолитную резиновую манжету в раструб трубы (рисунок 2) при её изготовлении [10].

Требования к геометрическим размерам железобетонных безнапорных труб установлены стандартами на изготовление изделий. Так СТБ 1163 [8] устанавливает номинальные диаметры труб от 150 мм до 3000 мм и полезной длиной от 1000 мм. На территории Республики Беларусь выпускают трубы железобетонные безнапорный с максимальной полезной длиной 5000 мм. По прочностным характеристикам трубы разделяются на пять групп по несущей способности. Каждая группа соответствует своей глубине залегания, равной расстоянию от верха трубы до поверхности.

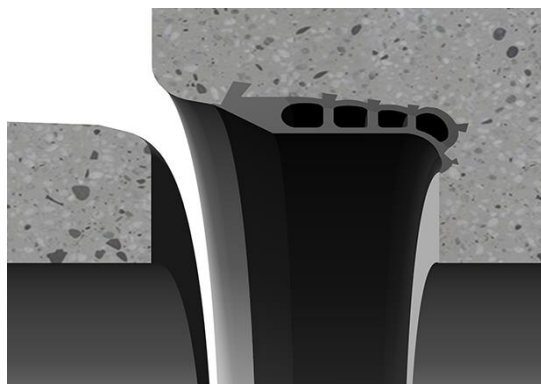


Рис. 1. Интегрированный уплотнительный профиль (из интернет ресурса <https://www.trelleborg.com/en/>)



Рис. 2. Труба с интегрированным уплотнительным профилем

Безнапорные трубы изготавливаются бетонные и с использованием арматурного каркаса – железобетонные. Арматурный каркас состоит из продольных стержней и спиральной навивки. При производстве труб используются одинарные и двойные круглые каркасы, а также применяются одиночные эллиптические каркасы [5, 3] и комбинированные – эллиптический с круглым [11]. Для снижения трудоёмкости процесса изготовления труб вместо арматурного каркаса используется дисперсное армирование металлическим или минеральным фиброволокном, а также органического происхождения [12]. Бетонные трубы преимущественно изготавливают внутренним диаметром до 600 мм включительно. Однако известны случаи, когда в СССР бетонные трубы изготавливали диаметром до 1000 мм в заводских условиях, в США диаметр труб достигал 2440 мм, их изготавливали из монолитного бетона при помощи специальных машин [4].

Литература

1. В. А. Rakitin, S. N. Pogorelov и А. О. Kolomogorova, «IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,» в Application of non-pressure reinforced concrete pipes in modern construction and reconstruction of highways, Chelyabinsk, 2017.
2. Сенкевич Т.П., Рагольский С.З., Померанец В.Н., Железобетонные трубы, Москва: Стройиздат, 1989, р. 272.
3. Ю. А. Тевелёв, Железобетонные трубы. Проектирование и изготовлени, Москва: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2004, р. 328.
4. А. Н. Попов, Бетонные и железобетонные трубы, Москва: Стройиздат, 1973, р. 269.
5. Попов А.Н., Макаров П.А., Оборудование для производства бетонных и железобетонных труб, Москва: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1965, р. 184.
6. А. И. Дехтярь, И. С. Приходько, Спридонов В.М., В. И. Сычёв и С. Н. Алексеев, Справочник проектировщика. Типовые железобетонные конструкций зданий и сооружений для промышленного строительства, Москва: Стройиздат, 1974, р. 398.

7. Рекомендации по изготовлению железобетонных самонапряжённых низконапорных труб, Москва: НИИЖБ Госстроя СССР, 1980, р. 37.
8. СТБ 1163-2012 Трубы бетонные и железобетонные безнапорные. Технические условия, Госстандарт, 2013.
9. А. Ю. Черемисинов и А. А. Черемисинов, Строительство и эксплуатация систем сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения, Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2015, р. 241.
10. Н.-В. Horlacher, Ред., Rohrleitungen 1. Grundlagen, Rohwerkstoffe, Komponenten, Dresden, 2016, р. 545.
11. Concrete pipe design manual, Ontario: Ontario concrete pipe association, 2002, р. 145.
12. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Насевич А.С., Гераськина В.Е., Пошев А.У.-Б., «Влияние различных видов фибры на физико-механические свойства центрифугированного бетона,» Вестник Евразийской науки, № 6, 2018.

Определение жёсткости проезжей части путепровода и подходов

ст. преп. Ходяков В.А., инж. Савина Е.Н,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Гипотеза такова: по мере движения автомобиля по подходу к путепроводу, по самому путепроводу и далее снова по подходу непрерывно происходит изменение жёсткости основания проезжей части. Для подтверждения или опровержения данной гипотезы, было проведено исследование жёсткости покрытия.

В качестве основного измерительного оборудования для испытания был использован динамический плотномер грунта ДПГ-1.2 (рис. 1). Данный прибор предназначен для косвенного определения динамического модуля упругости E_d (несущей способности) грунта и оснований дорог методом штампа, имитирующим проезд автомобиля по дорожному покрытию.



Рис. 1. Динамический плотномер грунта ДПГ-1.2,
применяемый в исследовании.

Тем не менее, принцип работы этого прибора и данные его прямых измерений хорошо подходят для нашей задачи. А именно, результатом прямых измерений ДПГ-1.2 являются: перемещение штампа S от падения груза, и величина силы удара F .

Таким образом, согласно гипотезе, величина F/S Должна меняться по длине сооружения и характеризовать жёсткость основания, по которому движется автомобиль.

Сооружение, на котором было проведено исследование, было закончено строительством. Работы по исследованию основания производились летом, ночью, через несколько часов после дождя. Что, волею случая, позволило снизить вероятность того, что на результаты повлияет изменение температуры основания в период проведения исследования.

Само сооружение представляло собой трёхпролётный неразрезной путепровод с ребристыми пролётными строениями. Схема 18+24+18. Деформационные швы вынесены за пределы опоры на расстояние 2 метра от оси моста в сторону подходов. Деформационный шов с металлическим окаймлением и резиновым компенсатором. Вокруг шва выполнена подливка из высокопрочного бетона шириной 37 см.

В процессе подготовки была произведена разметка исследуемой продольной оси. Она располагалась на расстоянии 3,3 метра от барьерного ограждения, что совпадает с осью движения правого колеса автомобиля по правой крайней полосе на данном сооружении. Измерения производились по размеченной оси с шагом от 0,5 до 3 метров. В каждой точке измерения предварительно производилось 15 ударов грузом на приборе. После чего производилась серия из 10 измерений и фиксацией перемещения штампа S , мм и величина силы удара F , Н.

После камеральной обработки была построена диаграмма изменения величины F/S , Н/мм по мере перемещения вдоль исследуемой оси путепровода (рис. 2.)

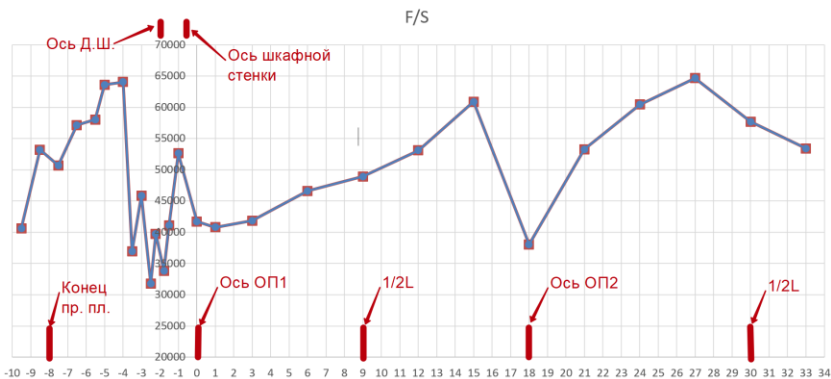


Рис. 2. диаграмма изменения величины F/S, Н/мм по длине сооружения, м

С учётом нецелевого использования измерительного оборудования, применяемого при исследовании, логичным будет подвергнуть сомнению достоверность полученных результатов. Тем не менее, с учётом корреляции графика с конструктивными особенностями пролётного строения результаты измерений можно считать достоверными. В частности, на участке устройства переходной плиты жёсткость основания растёт, что соответствуем её основному назначению; в осях опор жёсткость основания резко падает; имеется заметное увеличение жёсткости в месте устройства шкафной стенки на опоре 1.

Интересным является то, что в районе устройства деформационного шва жёсткость основания заметно падает. Теоретически должна наблюдаться обратная картина, так как модуль упругости высокопрочного тяжёлого бетона сильно выше модуля упругости асфальтобетона. Объяснить полученные данным можно тем, что асфальтобетонное покрытие работает как плита на упругом основании, в шов – как балка. Поэтому по мере приближения к краю плиты из асфальтобетона жёсткость падает. В свою очередь, пониженную жёсткость подливок из высокопрочного бетона вокруг шва можно объяснить отсутствием совместной работы с плитой асфальтобетона и небольшим возрастом бетона – несколько суток.

В качестве заключения осуществим приведение полученных деформаций от падения груза при исследовании к деформациям, ко-

торые могут возникнуть при проезде реальной нагрузки по исследуемой траектории.

Диаметр штампа, используемого при испытании, 300 мм. Ширина шины И-68А грузового автомобиля МАЗ составляет 286 мм. Длина пятна касания шины так же порядка 300 мм (рис. 3). Таким образом, можно заключить, что размер штампа соизмерим с пятном касания шины грузовика.

Для нагрузки АК класса А14 нагрузка на одну шину может быть принята порядка 35000 Н. При проведении измерений в процессе нашего полевого исследования сила удара по прибору оставляла порядка 11000 Н. Таким образом величины усилий так же соизмеримы и не отличаются на порядок.



Рис. 3. Фото пятна касания автомобиля МАЗ. Сделано при испытании путепровода. Масса автомобиля 32 тонны

С учётом множества допущений можно линейно интерполировать диаграмму деформации покрытия под колесом автомобиля и получить следующие значения (рис. 4).

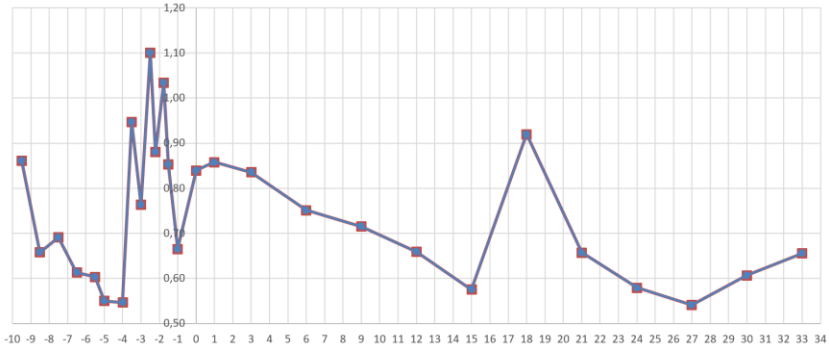


Рис. 4. Приведённая к нагрузке А 14 диаграмма изменения величины прогиба S, мм по длине сооружения, м.

В дальнейших исследованиях необходимо провести больше измерений на большем количестве различных сооружений. В частности, провести аналогичный комплекс измерений в солнечный жаркий день, на разогретой проезжей части.

Литература

1. Производитель измерительного оборудования Интерприбор: ДПГ-1.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interpribor.ru/dynamic-density-of-ground-dpg-1>. – Дата доступа: 18.07.2021.
2. Ходяков, В. А. Диагностика топологии асфальтобетонного покрытия в районе деформационного шва / В. А. Ходяков // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 18-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, май 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2020. – С. 106.
3. Ходяков, В. А. Роль сопряжения с подходами в динамическом воздействии на мостовые сооружения / В. А. Ходяков // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : Материалы международной научно-технической конференции., Минск, май 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2020. – С. 133 – 136.

Испытание опорных частей

ст. преп. Ходяков В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Различные типы опорных частей имеют разную жёсткость. В статье описаны результаты испытания резинометаллических и полиуретановых опорных частей на сжатие. Основной целью испытания стало сравнение жёсткости опорных частей. Испытания проведены, в том числе на локальное сжатие.

Гипотеза такова: Полиуретановые опорные части в 5 раз мягче резинометаллических опорных частей. Что вызывает высокие в сравнении со вторыми вертикальные деформации при переезде колеса движущейся нагрузки с участка покрытия над шкафной стенкой на участок покрытия над пролётным строением. Деформации в общем случае составляют 0,5 мм для полиуретановых опорных частей, против 0,1 мм для резинометаллических опорных частей.

Жёсткость опорных частей в рамках данной статьи будем характеризовать величиной их деформаций при вертикальном сжатии. Большая деформация – мягкие опорные части. Меньшая деформация – жёсткие.

Для подтверждения или опровержения этой гипотезы была исследована группа из семи образцов опорных частей. При этом две из них резинометаллические, пять полиуретановых, в том числе одна неподвижная.

Проведены теоретические расчёты их жёсткости. При проведении расчётов, для снижения вероятности получения ложноположительных результатов подтверждения гипотезы, для полиуретановых опорных частей параметры принимались как для наиболее жёстких, а для резинометаллических как для наиболее мягких.

Теоретическое значения деформации резинометаллических опорных частей вычислялись согласно пункту 7.1.10 ТКП 45-3,03-195-2010 [3]. Для температуры -20оС и выше, для более мягкой резины марки ИРП-1347.

Теоретические значения деформации полиуретановых опорных частей вычислялись с учётом модуля упругости полиуретана 40 МПа, согласно пункту 4.7 СТБ 1165-2016 [2] и расчётной прочности 11,5 МПа, согласно пункту 6.1.3 ТКП 45-3.03-195-2010 [3].

Испытание проводилось на 250-ти тонном прессе П-250 № 2494. Свидетельство и поверке БелГИМ № МН0116116-4720 от 10.02.2020. Диапазон измерения до 250 кН, класс точности $\pm 1\%$. Измерение деформаций опорных частей производили при помощи Штангенциркуля № 011120. Свидетельство о калибровке БелГИМ ВУ 01 № 1030-41 от 14.02.2020. Диапазон измерения 0...200 мм, дискретность 0,01 мм. Измерение деформации проводилось по четырём углам опорной части.

Перед испытанием все образцы были выдержаны в помещении испытательной лаборатории в течении трёх суток для нормализации их температуры.

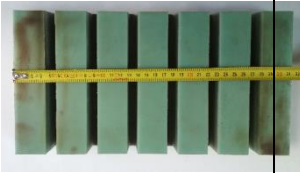



В качестве образцов для испытания были использованы резино-металлические опорные части двух типоразмеров и полиуретановые опорные части пяти типоразмеров. Общий вид образцов их маркировка, геометрические размеры и изображения приведены в таблице 1.




При испытании нагружение опорных частей производилось ступенями. Не менее пяти ступеней до теоретического значения нагрузки и далее до получения высокой степени деформации опорных частей (рис. 1). Первая ступень для всех образцов составляла 50 кН.

В результате испытания были получены следующие диаграммы абсолютной деформации образцов (рис. 2-8).

Первое что стоит отметить, испытуемый образец № 1 имеет жёсткость приблизительно в 20 раз более высокую, в сравнении с образцом №7 аналогичного типоразмера. С учетом того что образец № 7 показал жёсткость более близкую к теоретической, результаты испытания образца №1 можно считать не действительными, по причине, вероятно, не нормального состава или технологии обработки материала опорной части.

Таблица 1. Испытуемые образцы

№	Маркировка	Номинальная геометрия			Теоретические значения		Фото
		шир.	дл.	выс.	нагр., кН	деф-я, мм	
1	ЛПЧ15.400	170	320	65	450	18,1	
2	ЛПЧ33.1000	404	285	65	1000	18,4	
3	ЛПЧ инд. проект-я	197	208	52	450	22,9	
4	РОЧ 20x25x6,3-0,7	250	200	63	450	3,7	

5	РОЧ 20x40x5,2- 0,8	400	200	52	1000	4	
6	НПЧ21.750	382	142	25	740	8,5	
7	ЛПЧ15.400	170	320	65	450	18,1	

По полученным результатам можно сделать выводы, о том, что, не смотря на наличие отклонений теоретических значений от экспериментальных приблизительно в 2 раза, жёсткость полиуретановых опорных частей в 5-10 раз ниже жёсткости аналогичных резинометаллических опорных частей.



Рис. 1. Испытание попарной части. Пресс П-250. Испытуемый образец № 2

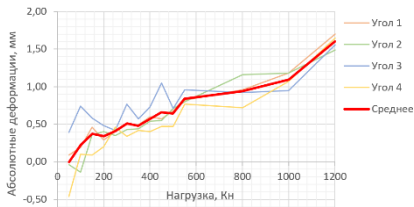


Рис. 2. Диаграмма деформаций.
Образец №1

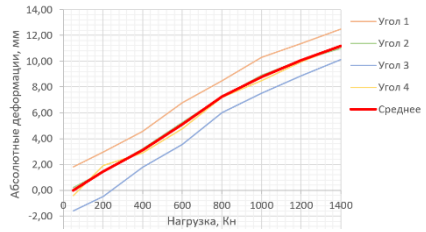


Рис. 3. Диаграмма деформаций.
Образец №2

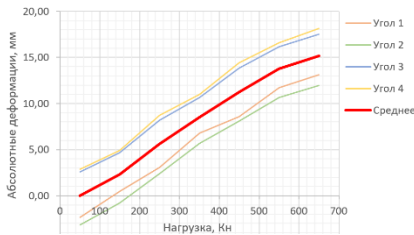


Рис. 4. Диаграмма деформаций.
Образец №3

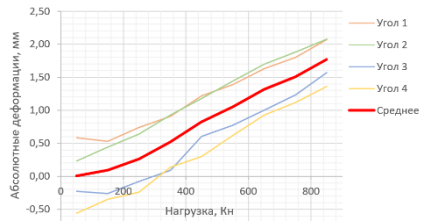


Рис. 5. Диаграмма деформаций.
Образец №4

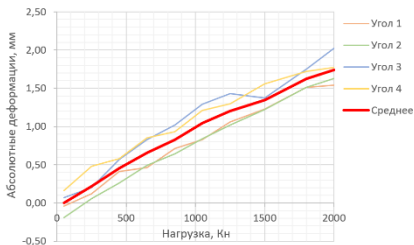


Рис. 6. Диаграмма деформаций.
Образец №5

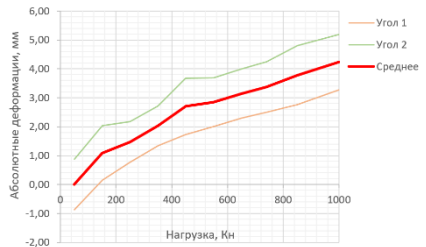


Рис. 7. Диаграмма деформаций.
Образец №6

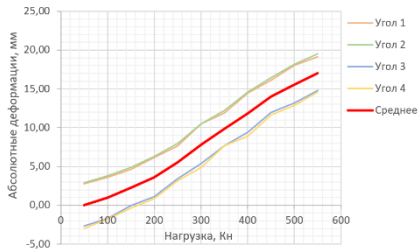


Рис. 8. Диаграмма деформаций.
Образец №7

Другими словами, гипотеза верна. Пониженная жёсткость опорных частей имеет положительное влияние на гашение ударных нагрузок, передаваемых элементам опор, однако, малая жёсткость попарных частей при этом вызывает образование «ступеньки» при прохождении нагрузкой деформационных швов пролётных строений.

Также следует отметить что все образцы показали более высокую жёсткость по сравнению, как с теоретически вычисленными значениями деформации, так и со значениями, регламентированными таблицей 2 СТБ 1165-2016 [2].

Вопрос влияния пониженной жёсткости полиуретановых опорных частей на образование дополнительных неровностей покрытия в зоне сопряжения подходов с пролётными строениями требует дальнейшего изучения.

В качестве дополнительного исследования было проведено испытание образцов № 1, 3 и 7 на локальное сжатие. С использованием призмы $100 \times 100 \times 400$ мм в качестве прокладки (рис. 9). Особенностью такой серии испытаний стало условное моделирование опорной балки с узким ребром на более широкую опорную часть.

Предварительно дважды было произведено обжатие призмы без опорной части нагрузкой 500 кН для устранения возможной погрешности измерений от деформации самой призмы.



Рис. 9. Испытание попарной части на локальное сжатие. Пресс П-250. Испытуемый образец № 7

В результате испытания были получены следующие диаграммы абсолютной деформации образцов (рис. 10-12).

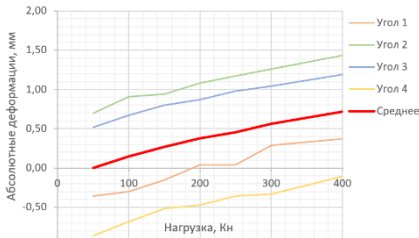


Рис. 10. Диаграмма деформаций.
Образец №1

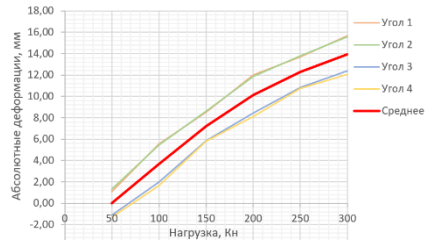


Рис. 11. Диаграмма деформаций.
Образец №3

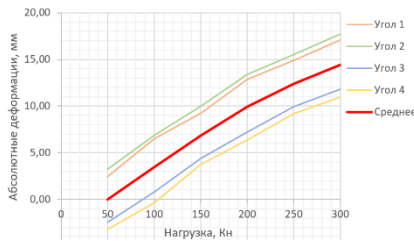


Рис. 12. Диаграмма деформаций.
Образец №7

По результатам испытания на локальное сжатие можно сделать вывод, что ширина загружаемого участка опорной части не пропорциональна величине её деформации. Вероятно, это связано с перераспределением внутренних сил трения в материале, а также с изменением площади контакта опорной части с плитами пресса. Можно было наблюдать при испытании отрыв крайних участков нижней плоскости опорных частей от нижней плиты пресса.

Литература

1. Части опорные из литьевого полиуретана для мостовых сооружений. Технические условия: СТБ 2134-2010. – Введ. 01.07.11 (с отменой на территории РБ СТБ 1165-99). – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2016. – 16 с.
2. Части опорные резинометаллические. Технические условия: СТБ 1165-2016. – Введ. 01.03.17 (введён впервые). – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2010. – 16 с.

3. Части опорные полимерные для автодорожных мостов. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-195-2010 (02250). – Введ. 01.11.10 (введён впервые). – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 40 с.

4. Ходяков, В. А. Вибродиагностика мостовых сооружений / В. А. Ходяков // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 18-й междунар. науч.-техн. конф. Минск, май 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол. С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2020. – С. 103.

5. Ходяков, В. А. Диагностика топологии асфальтобетонного покрытия в районе деформационного шва / В. А. Ходяков // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 18-й междунар. науч.-техн. конф. Минск, май 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол. С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2020. – С. 106.

Опыт усиления фундаментов зданий и сооружений при строительстве 3-й линии метро в г. Минске

Шевченко С.В.

Белорусский национальный технический университет

В статье представлены примеры усиления фундаментов зданий и сооружений при неравномерных осадках при выполнении вблизи от них горных работ.

В ряде случаев применение буроинъекционных свай позволяет предотвратить чрезмерные деформации зданий и сооружений при неравномерных осадках фундаментов при выполнении вблизи от них горных работ. В частности, в 2000-2010 г.г. возникли трещины в стенах административного здания БГУ по адресу г. Минск, ул. Бобруйская, д. 9 в связи с забивкой свай при сооружении нового корпуса БГУ по адресу г. Минск, ул. Бобруйская, д. 7.

При сооружении 3-й линии метро проектом было предусмотрено сооружение пешеходного тоннеля под административным зданием, возведённым щитовой проходкой. Во избежание дальнейшего развития трещин ООО «ЭКОМОСТ» был разработан проект усиления фундаментов здания. Над пешеходным тоннелем была устроена сплошная монолитная железобетонная плита, опирающаяся снаружи на буроинъекционные сваи (кусты из нескольких свай диаметром 300 мм и длиной до 15 м).

Изнутри здания, вдоль тоннеля было устроено несколько рядов прерывисто расположенных буроинъекционных свай малого диаметра при использовании малогабаритного бурильного оборудования.

После сооружения тоннеля деформации в здании отсутствуют.

Аналогично были усилены фундаменты над пешеходным тоннелем под зданием ГПИ «Белгипропищепром» по адресу: г. Минск, ул. Кальварийская, д. 1. Согласно проекту, разработанному ООО «ЭКОМОСТ», упрочнение основания было выполнено путём инъекции цементного раствора под подошвы фундаментов через наклонные скважины.

При сооружении перегонных тоннелей 3-й линии метро у Западного железнодорожного путепровода и у автодорожного путепровода по ул. Московская в г. Минске аналогично было упрочнено основание под фундаментами этих сооружений с помощью наклонных буроинъекционных свай.

Эффект усиления фундаментов с помощью буроинъекционных свай заключается в армировании и цементации грунта. Буроинъекционная технология даёт возможность эффективнее в сравнении с традиционными способами решать ответственные задачи по усилению оснований и фундаментов существующих зданий и сооружений. Помимо экономических показателей достигается большой социальный эффект, что обусловлено технологичностью изготовления свай, возможностью работ в стесненных условиях застраиваемых объектов без динамических воздействий на существующие конструкции, с малым удельным расходом материалов и трудозатрат при достаточно высоких темпах строительства.

Литература

1. Никитенко М.И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений. / М.И. Никитенко // - Минск: БНТУ, 2007. – 580 с

**Секция
Студенческая**

Конструкции георадаров и опыт их применения

Баранчик Д. В., выпускник кафедры
«Автомобильные дороги» ФТК БНТУ
(Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Георадиолокационное зондирование используется в дорожном хозяйстве при диагностике улиц, инженерно-геологических и инженерно-гидрологических изысканиях для разработки проектов строительства, реконструкции и ремонта улиц населенных пунктов и искусственных сооружений, а также для контроля качества выполненных работ. Оно проводится с использованием аппаратных и программных средств, специальных приборов – георадаров. Для зондирования среды используются георадары непрерывного и импульсного действия

Георадары стали гораздо чаще использоваться в дорожной-строительной отрасли в таких странах как: США, Канада, Франция, Германия, Швеция, Великобритания, Финляндия, Латвия, Эстония и другие. Они также находятся в процессе внедрения в России и Белоруссии. Рассмотрим какие георадары используют за рубежом и изучим их характеристики.

Георадар «ЛОЗА» имеет массу до 3 кг, потребление энергии - 4 Вт. Технические возможности георадара, по данным разработчиков, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические возможности георадара

Характеристики однородной среды	Глубина зондирования, м	Разрешение по глубине, м
Сухой песок	Более 50	0,1
Влажный песок	25	0,1
Глина	8	0,1

Главная отличительная черта георадара «ЛОЗА» — это высокий реальный потенциал зондирования (не ниже 120 дБ). По данным

разработчиков, принятые технические решения, используемые в этом георадаре, практически лишены помех, создаваемых аппаратурой, что дает нам оценить результаты сканирования непосредственно при съемке в полевых условиях. В комплектацию этого георадара входит дополнительное оборудование, позволяющее проводить измерения в закрытых помещениях, а также осуществлять подводное зондирование по дну водоема, в том числе и морского.

Данный георадар предназначен для получения геологического строения выбранных под строительство участков; определения физического состояния грунтов, наличия в них раз уплотнений, полостей и т.д.; нахождения подземных сооружений и коммуникаций определения их состояния; определения границ грунтовых и техногенных вод; просвечивания грунтовых массивов под фундаментами сооружений.

Дорожный георадиолокатор «ДРЛ». Отличительная черта данного георадара является воздушная (рупорная) антенна, которая поднята над поверхностью дороги на высоту 0,1-0,3 м. Георадар «ДРЛ», как правило, устанавливается на автомобиле и предназначается для оценки однородности среды, определения границ и толщины слоев дорожной одежды и верхней части земляного полотна. Глубина сканирования определяется центральной частотой антенного блока и составляет от 0,00 до 3,00 м. Питание от бортовой сети автомобиля - 12 В. Основные технические характеристики георадара «ДРЛ» приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные технические характеристики георадара «ДРЛ»

Центральная частота, МГц	Глубина зондирования, м	Габаритные размеры, см	Разрешающая способность, м	Масса, кг
2000	До 0,50	600'400'800	0,02-0,03	6
1000	До 1,5	600'400'800	0,04	6
250	До 3 (5*)	950'1000'1000	0,25	12

Радар «ЗОНД-12С», он с помощью сменных антенных модулей обеспечивает возможность зондирования в диапазоне частот от 28 МГц до 2 ГГц. Технические характеристики георадара приведены в таблице 3.

Таблица 3. Технические характеристики георадара

Центральная частота антенного блока, МГц	Габаритные размеры, см	Масса, кг
2000	27'13'13	1,5
1000	30'20'17	4,0
000	43'22'4	2,0
500	69'32'4	4,0
300	98'52'4	10,0
28-150	*	3,0-6,0

Этот георадар используется для определения уровня грунтовых вод, глубины залегания коренных пород, степени загрязнения почв; в поиске минеральных ископаемых, зарытых в грунт кабелей, проводов, труб и т.п.; в обнаружении пещер и пустот, профилировании дна водоемов и рек; а также в гляциологии; археологии; судебной медицине; горных исследованиях.

Георадар SIR-2000 «просвечивает» грунт на глубину до 20-30 м. Это наиболее быстрый и универсальный из существующих георадаров, позволяющий работать, как и SIR-20 с экранированными (от 100 МГц и выше), так и с неэкранированными (до 100 МГц) антенными блоками, технические характеристики которых приведены в табл. 4.

Таблица 4. Технические характеристики

Модель	Глубина кэширования, м	Центральная частота, МГц	Габаритные размеры, см	Масса, кг
5100	До 0,50	1500	3,8'10'16, 5	1,8
4108	До 1	1000	60'22'1 9	5,0
3101D	До 1	900	8'18'33	2,3
5103	До 3	400	30'30'20	4,6
5106	До 9	200	60'60'30	20
3207AP	До 15	100	25'96'200	28
Suberho-70	До 25	70	120'15'26	4
Suherho-40	До 35	40	200'15'26	5
3200MLF	До 40	16, 20, 35, 40, 80	120-600*	17-25

Полученные в полевых условиях результаты сканирования обрабатываются в камеральных условиях с помощью программы RADAN, позволяющей производить анализ глубины залегания, осуществлять масштабирование и привязку к объектам местности. По результатам сканирования, но серии параллельных профилей можно получить трехмерное изображение.

Применение георадаров при обследовании автомобильных дорог помогает с достаточной точностью определять толщину каждого из слоев дорожной одежды, уровень грунтовых вод, однородность материалов, зоны локальных отклонений (пустоты, разуплотненные грунты) и многое другое. Так же при обследовании улиц можно определить расположение подземных инженерных коммуникации, что является очень полезной функцией при использовании установок.

Пришло время, когда георадарные установки целесообразно включать в каждый проект строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

Литература

1. Обзорная информация «Опыт применения георадарных технологий в дорожном хозяйстве. Обзорная информация» [Электронный ресурс] –Ohranatruda.ru - Режим доступа: <https://ohranatruda.ru> - Дата доступа: 27.10.2021
2. Обзорная информация [Электронный ресурс]. - COMPLEXDOC нормативный документ. - Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru>: 19.11.2019.
3. ДМД 02191.5.005-2007 «Рекомендации по использованию георадарных технологий для мониторинга автомобильных дорог и искусственных сооружений»
4. Георадарные технологии для мониторинговых наблюдений за участками автомобильных дорог [Электронный ресурс]. -Геотех 2003-2015. - Режим доступа: <http://www.geotech.ru>:19.11.2019.
5. Георадары, дороги-2002: МатериалыМеждунар. науч.-практ. конф. / Под ред. А.М. Кулижникова. - Архангельск: Изд-воАГТУ, 2002

Аэродромы и аэропорты. Зарубежный опыт

Войтехович А.В., Кудласевич А.В.,

студенты группы 11403217

(Научный руководитель – Гатальский Р.К., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

Аэропорт – предназначенный для обслуживания воздушных перевозок и для приема, отправки и базирования воздушных судов комплекс сооружений, имеющий для данных целей аэродром, аэровокзал, один или несколько грузовых терминалов, а также другие наземные сооружения и необходимое оборудование.

Аэродром - обеспечивающий взлет, посадку, руление, размещение и обслуживание воздушных судов земельный или водный участок с воздушным пространством, оборудованием и сооружениями.

Аэродромы по виду собственности подразделяются на государственные (используются в муниципальных/государственных целях) и частные (по праву собственности), по государственной принадлежности на военные (используются военной авиацией) и гражданские (для гражданских пассажирских и грузовых воздушных перевозок), а по категории использования на действующие (основного базирования, запасные и оперативные) и не действующие.

Еще аэродромы бывают трассовые (авиационные рейсы), учебные (обучение и тренировки курсантов), заводские (испытание воздушных судов после ремонта и отправки прошедших испытания в аэропорты), для выполнения авиационных работ, а также экспериментальные (испытание авиационной техники на авиационных заводах и полигонах).

Различают территорию аэродрома и приаэродромную территорию – местность, над которой производится маневрирование самолетов в воздушном пространстве.

Основным элементом территории аэродрома является летное поле, представляющее собой участок земли, специально оборудованный для взлета и посадок самолетов. Ранее были распространены летные поля сплошной формы – квадрата, выпуклого треугольника, эллипса или круга. В таком случае взлет и посадка были возможны

в любых направлениях. Однако теперь большинство самолетов требуют значительной длины участков разбега и пробега, что составляет около 1,0 – 1,5 км для взлетов и посадок. Для круглогодичной бесперебойной эксплуатации аэродромов необходимы искусственные покрытия и это приводит к тому, что летные поля сплошной формы становятся непригодными. Так как современные самолеты теперь выдерживают достаточно сильные ветра, дующие под углом к направлению взлета и посадки, летные поля стали устраивать по-лосной формы.

На летном поле располагаются:

- летные полосы;
- места стоянок самолетов;
- рулежные дорожки;
- площадки специального назначения и перроны.

Летная полоса – элемент территории аэродрома, представляющий собой вытянутый прямоугольник с соотношением сторон 1:8 – 1:7 у аэродромов высших классов, 1:5 – 1:3 – у низших. Количество летных полос и их расположение зависит от режима ветров, интенсивности движения, особенностей рельефа и допустимости перерывов транспортной работы.

Взлетно-посадочная полоса является частью летной полосы, специально оборудованной для взлета и посадки. Характер расположения, размеры искусственных покрытий и тип водосточно-дренажных систем зависит от рельефа местности. Взлетно-посадочные полосы целесообразно располагать на возвышенной части летного поля. А грунтовые взлетно-посадочные полосы, которые примыкают к основной взлетно-посадочной полосе, используются как запасные в случае выхода из строя искусственных покрытий взлетно-посадочной полосы.

Полоса безопасности – участок земли, окаймляющий рабочую площадь. Различают боковые и концевые полосы. Боковые предназначены для обеспечения безопасности движения самолета в случае его выхода при разбеге или пробеге в сторону за пределы рабочей площади. Их ширина составляет по 50 – 100 м каждая. Концевые – для обеспечения безопасности при выкатывании самолета за пределы рабочей площади в направлении посадки или взлета. Ширина концевых полос составляет 250 – 400 м каждая.

Рулежные дорожки – специально подготовленные пути, предназначенные для руления и буксирования самолетов, которые соединяют между собой отдельные элементы аэродрома. Подразделяются на магистральные, предназначенные для движения самолетов на старт и на место стоянки; соединительные, которые соединяют магистральные с местом конца пробега самолетов при посадке и вспомогательные, которые проходят от магистральных до мест стоянок и отдельных сооружений служебно-технической территории.

Места стоянки – оборудованные площадки для стоянки и обслуживания самолетов. Делятся на групповые и индивидуальные. На групповых стоянках самолеты размещаются на больших площадках со сплошным покрытием, а на индивидуальных – каждый самолет размещается на отдельной площадке.

Перроны – специально подготовленные площади для кратковременной стоянки самолетов. Бывают пассажирские для посадки и высадки пассажиров, грузовые для погрузки и разгрузки грузов и технического обслуживания.

Площадки специального назначения – площадки, включающие в себя площадку перед ангаром, площадку для мойки, площадку для определения и устранения девиации магнитных, гидромагнитных, радиоконпасов и отработки антенных устройств, а также площадку для стоянки спецмашин.

Аэродромные покрытия – конструкции, которые воспринимают воздействия и нагрузки от воздушных судов, природных и эксплуатационных факторов. Покрытия включают в себя верхние слои – покрытие, непосредственно воспринимающее нагрузки от колес, воздействия природных факторов, тепловые и механические воздействия газоздушных струй авиационных двигателей, а также воздействие антигололедных химических средств и нижние слои – искусственное основание, которое совместно с покрытием передает нагрузки на грунтовое основание и выполняет дренирующие, противозаиливающие, термоизолирующие и другие функции.

Подразделяются покрытия по характеру сопротивления нагрузкам на жесткие (бетонные, армобетонные, железобетонные и асфальтобетонные на цементобетонном основании) и нежесткие (асфальтобетонные, из прочных каменных материалов подобранного состава обработанных органическими вяжущими, из щебеночных и гравийных материалов, грунтов и местных материалов, обработан-

ных вяжущими, сборных металлических, резиновых или пластмассовых элементов). По степени капитальности подразделяются на капитальные (жесткое и асфальтобетонное покрытия) и облегченные (нежесткие покрытия, кроме асфальтобетона).

Аэродромные покрытия должны отвечать требованиям безопасности и регулярности выполнения взлетно-посадочных операций, прочности, надежности и долговечности конструкции, ровности и шероховатости, охраны окружающей среды.

Для искусственных оснований следует применять тяжелый, мелкозернистый и легкий бетон; жесткие бетонные смеси; плотный, пористый и высокопористый асфальтобетон; щебеночные, гравийные и песчаные материалы, обработанные или необработанные органическими и неорганическими вяжущими; щебень, гравий, песок и другие местные материалы. Все материалы должны обладать морозостойкостью, соответствующей климатическим условиям района строительства.

Аэродромные покрытия жесткого типа бывают монолитные и сборные. Монолитные железобетонные изготавливают из плит, которые имеют длину 20 – 25 м и ширину, равную ширине бетоноукладочной машины. Сборные плиты имеют размеры не менее 2×4 м для прямоугольных плит и 3×3 м для квадратных.

Покрытия нежесткого типа могут быть асфальтобетонные, черные щебеночные, гравийные, а также грунтовые, которые укреплены вяжущими материалами. Пример нежесткого покрытия представлен на рисунке 1.

Водоотводные и дренажные системы – система сооружений, которая предназначена для отвода воды с поверхности покрытий и понижения уровня подземных вод с целью обеспечения необходимой устойчивости грунтового основания и слоев аэродромного покрытия при восприятии нагрузок, а также для исключения аквапланирования колес при движении по взлетно-посадочной полосе.

В соответствии с руководящими документами Международной организации гражданской авиации ИКАО аэродромы классифицируются по кодовому обозначению.

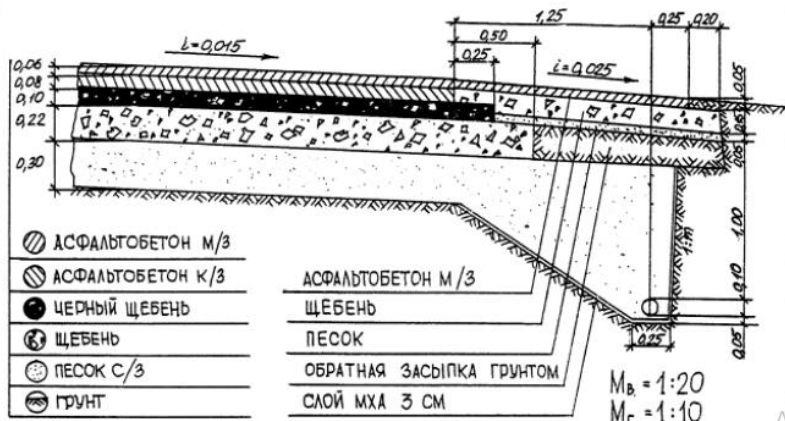


Рис. 1. Конструкция нежесткого аэродромного покрытия

Данное обозначение состоит из двух элементов – номера, основанного на длине летной полосы и буквы, соответствующей размаху крыла самолета и расстоянию между внешними колесами основного шасси. Кодовые обозначения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация аэродромов по кодовому обозначению

Первый кодовый элемент		Второй кодовый элемент		
Номер	Длина летной полосы	Буква	Размах крыла	Расстояние между внешними колесами основного шасси
1	< 800 м	A	< 15 м	< 4,5 м
2	800 – 1200 м (< 1200 м)	B	15 – 24 м (< 24 м)	4,5 – 6 м (< 6 м)
3	1200 – 1800 м (< 1800 м)	C	24 – 36 м (< 36 м)	6 – 9 м (< 9 м)
4	≥ 1800 м	D	36 – 52 м (< 52 м)	9 – 14 м (< 14 м)
		E	52 – 65 м (< 65 м)	9 – 14 м (< 14 м)
		F	65 – 80 м (< 80 м)	14 – 16 м (< 16 м)

В свою очередь аэропорты классифицируются в зависимости от годового объема пассажирских перевозок, то есть суммарного количества всех прилетающих и вылетающих пассажиров, включая трансферных пассажиров, пересеживающихся из одного воздушного судна в другое. Классификация приведена в таблице 2.

Таблица 2. Классификация аэропортов

Класс аэропорта	Годовой объем пассажирских перевозок, тыс. ч.
I	10000 – 7000
II	7000 – 4000
III	4000 – 2000
IV	2000 – 500
V	500 – 100

Следует отметить, что аэропорты с годовым объемом перевозок более 10 миллионов человек относятся к внеклассным, а менее 100 тысяч человек – к неклассифицированным.

Для примера рассмотрим несколько нестандартных аэропортов и аэродромов:

Международный аэропорт Лион-Сент-Экзюпери

Данный аэропорт был открыт 12 апреля 1975 года. Он расположен в 20 км от Лиона, города во Франции, административного центра региона Овернь-Рона-Альпы. В 2000 году аэропорту присвоили имя французского поэта и писателя, автора книги «Маленький принц» Антуана де Сент-Экзюпери – уроженца этого города и профессионального летчика. Швейцарским архитектором был создан проект здания в виде птицы – две стальные арки сходятся к низу как крылья, а целиком заполнить здание солнечному свету позволяет стеклянный фасад.

В аэропорту есть две взлетно-посадочные полосы А и В с асфальтобетонным покрытием. Полоса А имеет длину 4000 м и ширину 60 м, а полоса В – 2670 м и 60 м. На взлетно-посадочной полосе В к 2012 году были построены три дополнительных рулевых дорожек с быстрым поворотом. Каждая из них имеет длину 500 м и ширину 45 м. Также планируется построить две новые взлетно-посадочные полосы С и D, каждая из которых будет иметь длину 3200 м и ширину 45 м.

Аэропорт Чанги, Сингапур

Аэропорт Чанги – международный аэропорт, один из авиационных хабов (узловой аэропорт) в Азии и единственный аэропорт Сингапура. Он находится в 17,2 км от северо-восточного коммерческого центра и занимает 13 км².

В данном аэропорту есть две параллельные взлетно-посадочные полосы 02L/20R и 02C/20C по 4000 м каждая. Еще одна взлетно-посадочная полоса 02R/20L длиной 2748 м была построена к востоку от полосы 02C/20C в 1,8 км.

Строительство аэропорта стало масштабным мероприятием. В 1975 году, после проведения обширной мелиорации, на площадке для международного аэропорта начали подготовительные работы. Департаментом общественных работ зафиксировано, что было очищено около 200 га болот, разрушено 558 зданий, а также эксгумировано 4096 могил. В итоге холмы были выровнены, ямы заполнены, а болото и море превратились в Terra Firma, так называемую твердую землю, для взлетно-посадочных полос, терминалов, диспетчерской вышки и других сооружений. Аэропорт был спроектирован известным архитектором Moshe Safdie. В данном амбициозном проекте поражают воображение внушительный стеклянный купол, конструкция которого сделана из стали и стекла, чтобы максимально пропускать естественный свет и впечатляющий водопад, который не только украшает и оживляет пространство, но и выполняет практические задачи. Так система водопада перекачивает дождевые воды со скоростью около 40 тысяч литров в минуту, вода охлаждает воздух над крышей, а также используется для внутренних нужд аэропорта.

Международный аэропорт Велана (Мале), Мальдивы

Аэропорт Велана является современным международным гражданским аэропортом и основным аэропортом Мальдив, предназначенным для обслуживания и приема всех типов гражданских судов. Также является крупным пассажирским хабом. Аэропорт занимает целый остров Хулуле, который расположен в 2 км от города Мале – столицы Мальдив. В нем имеется 3 терминала: местных авиалиний, международный и морской.

Открытый 19 ноября 1960 года, столичный аэропорт поначалу был небольшим и имел короткую узкую взлетно-посадочную полосу. Он мог принимать только небольшие военные и гражданские

вертолеты и самолеты. С началом туристического бума встал вопрос о необходимости постройки большого аэропорта. Поэтому начались работы по удлинению острова и аэродрома, насыпке поверхности суши, а также постройке просторных терминалов и спустя несколько лет, 11 ноября 1981 года, был открыт новый международный аэропорт.

В ходе реконструкции в 1981 году взлетно-посадочная полоса была удлинена до 3200 м, а ширина ее составила 45 м, что позволяет совершать взлет и посадку самолетам Боинг-747 некоторых модификаций, но данная взлетно-посадочная полоса не подходит для приема двухэтажного Аэробуса А-380. В следствие чего в 2018 году в ходе очередной реконструкции появилась вторая взлетно-посадочная полоса длиной 3400 м и шириной 60 м специально для посадки тяжелых самолетов.

Также помимо двух асфальтобетонных взлетно-посадочных полос в аэропорту существуют 4 водные взлетно-посадочные полосы, которые используются для взлета и посадки гидропланов.

Таким образом можно сделать вывод, что с течением времени строительство аэропортов и аэродромов стремительно развивается и с каждым годом все больше удовлетворяет потребностям человечества.

Литература

1. СНБ 3.03.03-97 «Аэродромы»
2. Международная организация гражданской авиации – Руководство по проектированию аэродромов. Часть 1. Взлетно-посадочные полосы. – Издание третье. – 2006.

Современные машины для строительства цементобетонных покрытий

Гомолко А. Ф., студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук,
профессор)

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Основными поставщиками машин и законодателями технологий укладки бетона являются мировые компании Wirtgen Group, Gomaco Corporation, и схожая американская компания Guntert & Zimmerman. Они делают бетоноукладчики как для строительства больших покрытий дорог и аэродромов шириной около 17 метров, так и для устройства монолитных заграждений, тротуаров и водоотводных лотков вдоль дорог.

Опыт строительства цементобетонных дорог в Беларуси также имеется дорога М-14 МКАД-2 (Рис.1) построена с помощью бетоноукладчиков компании Gomaco и Wirtgen.

Решением построить именно цементобетонную магистраль стало то, что капитальный ремонт асфальтобетонного покрытия пришлось бы производить на 10-12 год эксплуатации, что бы значительно увеличило расход денежных средств, а капитальный ремонт бетонного покрытия планируется проводить через 25 лет после укладки дороги.

Магистраль очень хорошо себя зарекомендовала, так как был использован опыт строительства автобанов Германии, а также опыт строительства Американских бетонных дорог, на некоторых участках магистрали даже использовали технологию «мытого бетона», которая в период эксплуатации с 2015 по 2017 год показала лучшие характеристики чем простое бетонное покрытие. Краткая суть технологии – с помощью обработки уложенного покрытия получают шероховатость покрытия как при укладке асфальтного покрытия, а также снижается шум на 2 децибела, что сразу ощущает водитель при пересечении этого экспериментального участка. При строительстве второй взлетно-посадочной полосы в аэропорте Минск-2 также было использовано бетонное покрытие. Это покрытие было

устроено чтобы наша страна могла принимать воздушные суда всех типов и в их неограниченном количестве. Строительство второй взлетно-посадочной полосы направлено на безграничное развитие аэропортовой деятельности, а также повышение конкурентоспособности с европейскими странами.



Рис. 1. Вторая кольцевая автомобильная дорога

С 1983 года, когда был представлен первый четырехгусеничный асфальтоукладчик со скользящими формами Guntert & Zimmerman (G&Z), модель S1500 (Рис.2) постоянно совершенствовалась. G&Z стремится к совершенству своей продукции, чтобы конечные пользователи получали явное производственное преимущество на сегодняшнем чрезвычайно конкурентном рынке дорожных покрытий.

Бетоноукладчик S1500 идеально подходит для высококачественной многополосной укладки бетона даже при самых строгих требованиях профилю дороги. S1500 может укладывать дорожное покрытие шириной от 18 футов. От 5,5 м до 17 м (56 футов). Бетоноукладчик S1500 можно заказать с широким спектром дополнительного оборудования, чтобы удовлетворить потребности и обеспечить конкурентное преимущество с другими бетоноукладчиками.

Модель S1500 оснащена двойной телескопической рамой машины с самым большим телескопическим диапазоном в отрасли, а также отдельным прочным комплектом для укладки, общим для всех моделей бетоноукладчиков G&Z.



Рис. 2. Бетоноукладчик G&Z S 1500 MULTI-LANE SLIPFORM PAVER

S1500 оснащена комплектом для подготовки поверхности без струн G&Z NoLine. NoLine объединяет технологии использования без струн и «соединения» с элементами управления, производитель предлагает телескопические крепления для двух призм тахеометра на укладчике (Рис.3). Технология бесструнной укладки получает широкое распространение на рынке. По мере того, как компании конкурируют между собой, предоставляя схожие машины, возрастает потребность в инновационных решениях и автоматизации большинства процессов укладки и контроля. Используя бесструнную технологию, подрядчик экономит деньги на геодезии, забивке кольшек и установке струн, что делает их более конкурентоспособными на рынке.



Рис. 3. Технология NoLine

Также в S 1500 имеется встроенный планировщик бордюра (Рис.4): секции клеммной панели в комплекте для укладки имеют регулировку перегиба кромки для компенсации проседания кромки. Клеммные панели могут быть заменены другими дополнительными интегральными поперечными сечениями формы для бордюров и желобов шириной до 900 мм, высотой до 600 мм.

Бетоноукладчик компании Wirtgen SP1600 (Рис.5) производит укладку одно- и двухслойного покрытия до 450мм одной машиной шириной от 5 до 16 метров с помощью скользящей формы. Максимальная скорость передвижения достигает 20 м/мин, а при укладке 5 м/мин, В укладке верхнего и нижнего слоя цементобетон запросто загружается спереди укладчика.

На своем борту укладчик имеет технологию нивелирования WIRTGEN регулирующая высоту, глубину и наклон для абсолютно точных результатов. При этом система постоянно сравнивает фактические значения с предварительно заданной величиной и регулирует отклонения в пропорциональном соотношении самостоятельно.

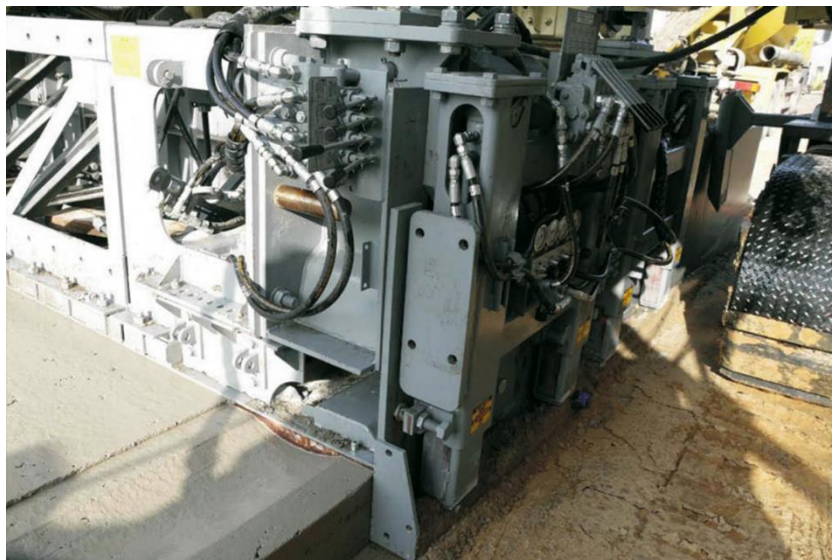


Рис. 4. Плита планировая бордюра



Рис. 5. Бетоноукладчик Wirtgen SP1600

Современная технология машины обеспечивает постоянно хорошие результаты нивелирования и существенное снятие нагрузки с оператора машины. WIRTGEN предлагает клиентам надежное аппаратное и программное обеспечение собственной разработки. В зависимости от строительного проекта и местных условий строительной площадки при этом используются разные системы.

Бетоноукладчик компании сделан настолько возможно экологичным, ему присвоена норма не токсичности EU Stage 3a / US EPA Tier 3

Машина этой компании оснащена современной укладкой сбоку от машины. При укладке цементобетона сбоку от машины цементобетон из бетономешалки подается в приемную воронку. Из нее по поворотному ленточному или винтовому конвейеру цементобетон передается в скользящую форму.

Бетоноукладчик со скользящими формами GOMACO GP4(Рис.6).

GOMACO GP4 разработан для мощности шириной до 40 футов (12,19 м) и допускает многократное изменение ширины. GP4 доступен как двухгусеничный, так и четырехгусеничный бетоноукладчик. Укладчик оснащен эксклюзивной системой управления G + ®, которая легко взаимодействует со струнной линией или трехмерной системой управления машиной. Интеллектуальные цилиндры в раме катка предоставляют информацию о ширине контроллеру G + и используют эту информацию для настройки рулевого управления и индивидуального управления скоростью гусеницы по радиусам.

Двух- и четырехгусеничные асфальтоукладчики GOMACO GP4 со скользящими формами имеют возможность двойного телескопи-

рования до семи футов (2,13 м) с каждой стороны асфальтоукладчика, что в общей сложности обеспечивает автоматическое расширение рамы на 14 футов (4,26 м). Интеллектуальное позиционирование опор четырехгусеничного GP4 включает поворотные приводы с датчиками вращения на поворотных рычагах каждой из опор бетоноукладчика.

Интеллектуальные шарниры на опорах обеспечивают систему управления G + информацией об угле поворотного рычага и работают вместе с датчиками поворота гусеницы, чтобы поддерживать гусеницы на прямой линии поворота. Поворотные приводы с датчиками вращения также расположены на всех четырех гусеницах, что обеспечивает максимальную интеллектуальную технологию рулевого управления и экстремальное рулевое управление, при этом гусеницы могут поворачиваться дальше, чем когда-либо прежде. Это позволяет поворачивать гусеницам на различные радиусы с высокой точностью.



Рис. 6. Бетоноукладчик GOMACO GP4

G + позволяет использовать технологию бесшумной работы с возможностью управления скоростью охлаждающего вентилятора в зависимости от температуры двигателя и гидравлического масла. Исходя из этих входных данных, охлаждающий вентилятор может работать на более низкой скорости, производя меньше шума. Гидравлическая система G + с датчиком нагрузки обеспечивает максимальную производительность при укладке дорожного покрытия и оптимальную топливную экономичность.

Дополнительный навигатор GOMACO Navigator позволяет легко контролировать местоположение машины и контролировать интеллектуальные аксессуары бетоноукладчика. Также производитель предоставляет опцию удаленной диагностики GOMACO (GRD) – намного больше, чем телематика, позволяющая владельцам видеть, как, когда и при каких условиях используется их оборудование.

Литература:

1. Компания Wirtgen-group [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.wirtgen-group.com. Дата доступа 12.09.2021.
2. Описание технологий бетоноукладчика компании Gomaco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.gomaco.com. Дата доступа 14.09.2021.
3. Презентация бетоноукладчика S1500 компанией G&Z [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.guntert.com/news/library/UPDATE91216/400P111_S1500%20Brochure%20\(web\).pdf](http://www.guntert.com/news/library/UPDATE91216/400P111_S1500%20Brochure%20(web).pdf).

Композитные материалы в армировании Японских мостов

Гомолко А.Ф., Кузьмич Д.В.

Студенты 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

Понятие о композитах и, в частности, о стекловолокне в армировании японских мостов. Обзор японских мостов, армированных полимерными композитными пластмассами. Использование композитных материалов в Беларуси.

Теория

Япония – страна контрастов, место, где могут сочетаться и древние традиции, и современные тенденции. Япония расположена в вулканической зоне Тихоокеанского огненного кольца. Почвы Японии малоплодородны. Их свойства тесно связаны с географией местоположения, а также с геоморфологическими свойствами.

Армированное стекловолокно

В связи с растущими требованиями к качеству, долговечности и стоимости бетонных конструкций, на рынке материалов появилась неметаллическая арматура, состоящая из: базальтовых, стеклопластиковых, углепластиковых, арамидных, полимерных и других волокон. Область применения стеклопластика обширна, применяется в мостостроении, в дорожном строительстве применяется для сооружения насыпей, устройства покрытий, для элементов дорог, которые подвергаются агрессивному воздействию противогололёдных реагентов, для железнодорожных переездов. Также применяется для укрепления откосов дорог, в строительстве мостов для проезжей части, пролётных строений, опор.

Стекловолокно — это быстро вытягиваемая нить из расплавленного стекла. В зависимости от компонентов сырья ее можно разделить на щелочные, безщелочные, среднещелочные и специальные стеклянные волокна, такие как волокна с высоким содержанием кремнезема, кварца и т.д. Изделия из стекловолокна (армированный стекловолокном холст) — это в основном слой из стекловолокна,

войлока и специальной трехмерной оболочки. Существуют различные технологии плетения стеклонитей, Основной слой стеклохолста состоит их n -го количества нитей, которые связываются между собой специальной пропиткой, а крайние листы усиливаются от внешнего воздействия окружающей среды.

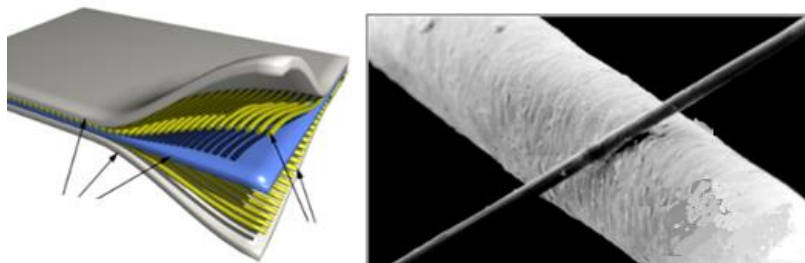


Рис. 1. Композитная арматура, армированная стекловолокном

В долгосрочной перспективе укрепление и реконструкция инфраструктуры на Ближнем Востоке и в Азиатско-Тихоокеанском регионе значительно увеличили спрос на стекловолокно. В связи с растущим глобальным спросом на стекловолокно в модифицированных стекловолокном пластмассах, спортивном оборудовании, аэрокосмической промышленности и других аспектах перспективы отрасли стекловолокна по-прежнему оптимистичны. Кроме того, область применения стекловолокна была расширена на рынок ветроэнергетики, что может стать ярким пятном для будущего развития стекловолокна.

Композиты в строительстве мостов Японии

В 1990 году Япония построила целый мостовой переход с использованием FRP (Glass fiber reinforced plastic) и при поддержке PWRI (Научно-исследовательский институт общественных работ).

Построенный экспериментальный мост стал образцом наблюдения за поведением в нем как арматуры из углепластика, так и из стекловолокна. Этот мост представляет собой двухуровневую вантовую систему с пролётом у береговых опор 4,5 м,



Рис. 2. Мост с применением полимерных композитных пластмасс

Основной пролет между промежуточными опорами составляет 11,0 м, высота пролета- 2,0 м. В конструкции вес каждого компонента составляет менее 150 кг. Для соединения используются болты FRP диаметром 16 мм. Опоры моста, пролетные балки и поручни — все это профили из стекловолокна, укрепленные внешним армированием углепластиковой арматурой, которая предохраняет основную арматуру моста из стеклопластика при перспективном росте нагрузки на пролетные строения мостового сооружения.

В 2000 году было завершено строительство пешеходного моста FRP в Японии.

Построенный FRP мост является автодорожным. Бюджет проекта немного выше, чем у обычных пешеходных мостов, примерно на 10%, но на момент завершения было установлено, что стоимость строительства примерно эквивалентна стоимости обычных стальных смешанных мостов. Причина в том, что стоимость строительства моста из стеклопластика выше, по сравнению с обычным мостом. Но если учесть то, что содержание FRP-моста намного дешевле и срок службы таких мостов больше, чем обычных, то мосты из композитных материалов будут в перспективе иметь большую выгоду вложенных в них денежных средств, а также будут иметь больший срок службы.



Рис. 3. Мост в провинции Сагами

Композитные материалы и их применение в Беларуси

Использование композитных материалов стоит расширять в нашей стране, так как у каждого вида композита, будь то стеклопластик или углепластик, свои особенности, одни хорошо работают в агрессивных средах, а другие не могут длительно эксплуатироваться в таких же средах, у одних малая жесткость, а у других сопоставимая или превосходящая жесткость металлических стержней, поэтому стоит тщательно подбирать материал исходя из места и условия его применения, а также физико-химических характеристик композитов. Всё же основным аргументом в применении композитов является экологичность самих материалов, сырьё для их производства и сама технология производства композитов. Композиты при их эксплуатации являются нетоксичными для человека. Так как материал создан полностью искусственно, то можно в таком случае регулировать процесс его разложения, тогда такой материал не составит труда утилизировать или ввести в другом виде, к примеру, в виде армирующих волокон в бетонный камень.

В нашей стране имеются примеры применения углеродных холстов и других видов композитов. При реконструкции моста через реку Воложинка по трассе М6 было применено локальное усиление мест, подверженных разрушению балки пролетного строения, с

приклеиванием таких холстов и приклеиванием их на эпоксидную смолу (рис.4).



Рис. 4. Локальное армирование балки моста

Из практики заметно, что реализация стеклопластиковой арматуры происходит по схожей цене с металлической арматурой. Производители гарантируют высокую прочность, превосходящую почти в 2 раза металлическую арматуру, однако неметаллическая арматура имеет малую жесткость, о чем свидетельствует её поставка в скрученных бухтах, что не позволяет добиться жесткости в бетонных конструкциях, также очень опасным фактором служит щелочная среда, где стекловолокно буквально рассыпается при незначительной нагрузке и пропадает сцеплением с бетоном. Так как при гидратации цемента рН бетона может достигать 12 единиц, поэтому следует рассматривать другие виды неметаллических арматур, которые превосходят по прочностным показателям и химическим воздействиям.

Литература

1. Российская национальная нанотехнологическая сеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_application/bridge_apatech/. – Дата доступа 30.11.2019
2. Еженедельник Объединенного института ядерных исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jinrmag.jinr.ru/win/2010/43/mo43.htm>. – Дата доступа: 21.12.2019

3. fx361 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fx361.com/page/2018/0514/6250243.shtml>. – Дата доступа: 27.12.2018

4. Fanwen geren jianli [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fanwen.geren-jianli.org/726748.html>. – Дата доступа: 07.29.2018

Конструкции деформационных швов с мастично-щебеночным заполнителем

Горбач И. А., магистрант 2 курса
кафедры «Автомобильные дороги
(Научный руководитель – Кравченко С.Е., канд. техн. наук)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Деформационные швы (ДШ) автодорожных мостов и путепроводов являются важными элементами мостового полотна, и от их надежности и долговечности во многом зависит срок службы всего мостового сооружения. Состояние ДШ оказывает большое влияние также на комфортность и безопасность дорожного движения. На конструкции ДШ воздействуют природно-климатические факторы; транспортные нагрузки, непосредственно контактирующие с элементами ДШ; эксплуатационные факторы, главным образом при очистке от снега и льда; деформации при перемещении концов пролётных строений мостов. Конструкция современного, ДШ должна обеспечивать высокую их прочность, надежность и долговечность. Расчетный срок службы в реальных условиях эксплуатации должен быть не менее 20 лет. В настоящее время на участках дорог высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта в Республике Беларусь наиболее широко применяются ДШ с резинометаллическим компенсатором.

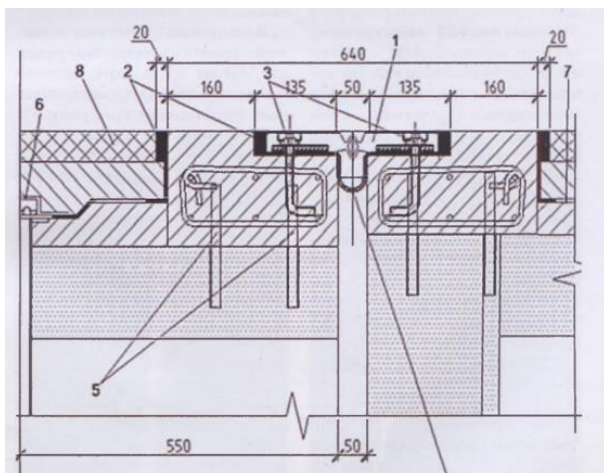


Рис. 1. Деформационный шов КРМ-60.

1 - резинометаллический компенсатор КРМ-60; 2 - герметик; 3 - шпильки; 4 - пластина резиновая; 5 - анкеры; 6 - дренаж; 7 - гидроизоляция; 8 - покрытие.

«Конструкции деформационных швов с мастично-щебеночным заполнителем относятся к группе закрытых швов, в которых перемещение реализуется за счет деформации материала, перекрывающего деформационный шов. Конструкция подвижна во всех направлениях, т.е. она обеспечивает продольные, поперечные и угловые перемещения.

Эксплуатационные достоинства конструкции деформационных швов с мастично-щебеночным заполнителем состоят в следующем: обеспечена непрерывность проезжей части, вследствие чего отсутствуют толчки и стук при проезде транспортных средств через деформационный шов; конструкция водонепроницаема; за счет применения материалов для перекрытия деформационного шва, подобных асфальтобетону, не изменяется характер движения через шов; обеспечивается высокий коэффициент сцепления поверхности шва с шиной автомобиля; конструкция шва не требует специального содержания, отличного от содержания покрытия проезжей части; конструкция может быть легко заменена в процессе эксплуатации при возникновении дефектов; при устройстве конструкции шва движение может быть открыто практически сразу после завершения строительных работ.



Рис. 2. Движение через «Шов Торма-Джоинт». Темная зона на покрытии - деформационный шов.

Конструкция «Шов Торма - Мост» представлена на рис. 3.

В ее состав входят: компенсатор из двух слоев рулонного гидроизоляционного материала, стального листа со штырями, перекрывающего зазор между смежными пролетными строениями и мастично-щебеночного заполнителя.

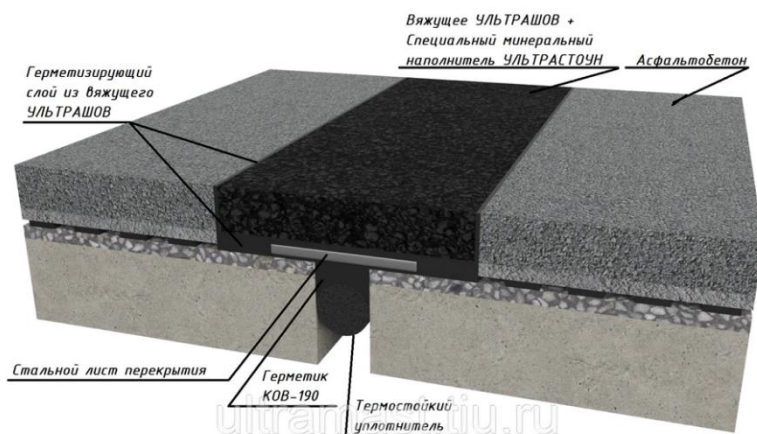


Рис. 3. Конструкция деформационного шва «Шов Торма-Джоинт»

Конструкции деформационных швов с мастично-щебеночным заполнителем выполняют шириной 300, 500, 750 мм.

Конструкции шириной 300 - 400 мм применяют над узлами с шарнирными соединениями; при продольных перемещениях не более ± 5 мм; в продольных деформационных швах. Конструкции шириной 500 мм являются оптимальными. Конструкции шириной более 750 мм применять не рекомендуется.

Конструкции деформационных швов с мастично-щебеночным заполнителем применяют минимальной толщиной 70 мм, оптимальная толщина - 100 мм. При толщине более 150 мм выполняют несколько конструкций друг над другом. В зоне тротуаров применяют аналогичную конструкцию перекрытия шва. При интенсивном движении пешеходов поверху шва укладывают перекрывающую металлическую полосу.

Обычно конструкции «Шов Торма-Джойнт» применяют при ксине до 45° . В этом случае ширину шва принимают равной 500 мм.

Швы не рекомендуется применять на участках дорог вблизи примыканий съездов и у светофоров, где могут быть остановки и торможение транспортных средств.

Максимальный уклон, при котором могут быть применены конструкции «Шов Торма-Мост», составляет 40 %.

Литература:

1. Thorma ® Joint Handbuch. Руководство по устройству деформационных швов.ZTV-BEL-FÜ Vorläufige Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Herstellung von Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Belägen auf Briücken und anderen In-geneurbanwerken aus Beton [Электронный ресурс]. —Режим доступа: <https://www.fgsv-verlag.de/ztv-bel-ful>. – Дата доступа: 03.10.2021.

2. Информационные материалы фирмы «Prismo» «Thorma ® Joint Handbuch». [Электронный ресурс]. —Режим доступа: http://www.dshoch.ru/DSOC/Dokumentacia_files/4Торма%20Джойнт.pdf.– Дата доступа 03.10.2021.

Промышленные шредеры для переработки ТКО

Дадацкий А.С., студент 3 курса кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»
(Научный руководитель-Смоляк А.Н., старший преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Предметом рассмотрена данной работы являются промышленные шредеры для переработки ТКО. В заводском исполнении шредеры бывают:

1. Одновальные с гидравлической пресс-плитой
2. Двухвальные
3. Четырехвальные

В предыдущих работах я отдавал предпочтение четырехвальным шредерам.

Сейчас же рассмотрим каждый из них по порядку и выявим лучший.

Одновальные шредеры представляют собой конструкцию, рассчитанную для работы с низкими оборотами для измельчения или дробления мусора имеющего большую толщину и высокое сопротивление к измельчению. В этом ему помогает встроенная гидравлическая пресс-плита, для получения более качественного измельчения материала. К такому виду твердых отходов относятся:

- гофрокартон;
- древесина и ее продукты;
- литники;
- всевозможные шины;
- твердые бытовые отходы;
- полимерные емкости.

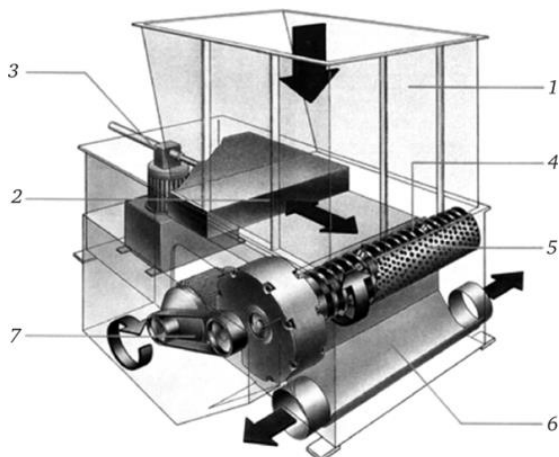


Рис. 1 Одновальный шредер с пресс-плитой
 1-загрузочный бункер; 2-гидравлический пресс; 3-универсальная под-
 держка; 4-валковый вал шредера; 5-сито; 6-разгрузочное отверстие 7-
 привод ротора.

Однороторные модели применяют в процессе переработки полимерных отходов, например, ПЭТ, ПЭНД, ПЭВД и других тому подобных материалов (композитов, лома, волокна и технологического мусора).

Данные устройства интенсивно используют в литьевом производстве продуктов из пластмасс. Так же они особенно актуальны при производстве всевозможных изделий из данного материала.

Конструкция двухвального шредера (так же их называют двухроторными) по названию подразумевает наличие второго вала, в отличии от вышеуказанного вида. Преимущества таких установок состоит в том, что они измельчают любой материал. Таких показателе установка достигает обладая высоким крутящим моментом. Имеет место быть применение в паре с ножевой мельницей для получения выходной фракции размером до 3-х мм. При такой тщательной переработке, на выходе мы получаем полезное вторсырье.

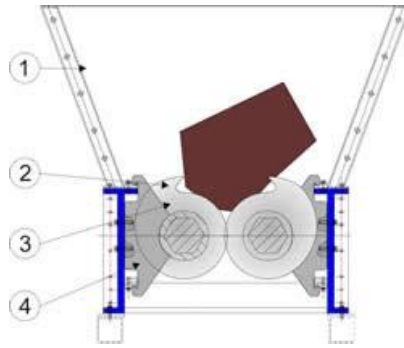


Рис. 2 Двухвальный shredder
1-загрузочный бункер; 2-режущие ножи; 3-режущие диски; 4-накладки для отчистки ножей.

Такой измельчитель ТБО выполняется из материалов имеющих высокую износостойкость в сравнении с другими видами промышленных shredder.

По итогу мы получаем следующий перечень преимуществ двухвальных shredder: высокая производительность, ножи из высококачественной стали, независимые редукторы для каждого вала, далее остается рассмотреть третий вид установки, это четырехвальный shredder.

Такая установка, в сравнении с предыдущими имеет уже четыре ротора, что говорит о его высокой производительности, которая выше чем у двухвального и тем более одновального shredder.

Использование четырех валов дает данной установке такую возможность использовать два нижних ножа как режущие, а два верхних как подающие, последнего не наблюдалось в других видах, что является преимуществом. За счет этой технологической особенности, камера резки материала имеет конусообразную форму, что делает удобным использование ее с упругим материалом с пустотами внутри, например, канистры, непригодные емкости и т.д.

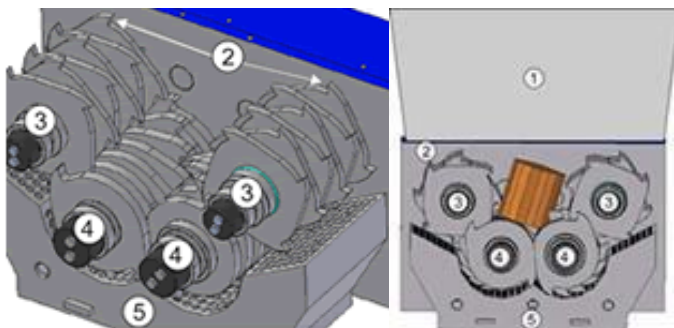


Рис. 3. Шредер четырехвальный
1-загрузочный бункер; 2-режущие ножи; 3-подающие валы; 4-режущие валы; 5-сито.



Рис. 4. Внешний вид четырехвального шредера
1-загрузочный бункер; 2-корпус установки; 3-редуктор; 4-мотор; 5-накопительный бак; 6-рама; 7-панель управления; 8-вывод под аспирацию.

Наиболее часто они применяются для измельчения следующих материалов: твердые бытовые отходы, крупногабаритные отходы, автомобильные шины, отходов упаковки, асфальта, макулатуры.

В итоге изучив основную информацию о видах шредеров, можно сделать вывод, что каждый из них подходит под определенную задачу. Для выбора установки нужно знать: необходимую производительность, стоимость обслуживания, габариты измельчаемого материала и иные измельченного особенности материала.

Литература

1. Шредеры, дробилки и измельчители [Сайт]. – Режим доступа: <https://netmus.ru/catalog-oborudovaniya/shredery-drobilki-i-izmelchiteli> Дата доступа: 20.10.2021.
2. Виды промышленных шредеров [Сайт]. – Режим доступа http://pragmat.ru/typu_srederov.htm Дата доступа: 20.10.2021.

Атлантическая дорога и ее «Мост в никуда» в норвегии

Денисова К.В., Обламская Е.В.,
студенты 5 курса кафедры «Автомобильные дороги»
(Научный руководитель – Ходан Е.П., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

Атлантическая дорога (англ. The Atlantic Ocean Road, норв. Atlanterhavsveien), самая невероятная и потрясающая дорога в мире протяженностью 8,3 км, являющаяся участком 36-километрового шоссе № 64 (Бюд — Корвог) в Норвегии. Она является известнейшим туристическим маршрутом в мире, а также важнейшим транспортным. На ее площадках (а их там четыре) вы можете увидеть китов и порыбачить, сделать невероятные снимки и просто насладиться пейзажем.

Дорога построена на нескольких небольших островах, соединенными мостами и плотинами. Представляет собой автотрассу, состоящую из дорог и 8 мостов, но один мост, называемый Сторсейсандетским (норв. Storseisundet bru) «Пьяным» или «Мостом в никуда», уникален, это достопримечательность, которая находится в Норвегии и соединяет материк и остров Аверой в губернии Мёре-ог-Ромсдал.

Мост возвышается на высоте 23 метра над водой, таким образом он позволяет проходить катерам и другому водному транспорту, и имеет длину 260 метров.

Мост выглядит очень необычно и даже пугающе (Рис. 1), так как напоминает Американские горки, а с определенного ракурса он смотрится совершенно не достроенным представляющим из себя устрашающий трамплин, но это иллюзия. Мост полностью готов к эксплуатации и достаточно прочен, ведь его главная задача, выдерживать сильные ветровые и штормовые нагрузки, присущие этой местности. Однако сильные волны, которые время от времени накачивают прямо на дорогу, сильно пошекочут нервы туристам.



Рис. 1. Пьяный мост на Атлантической дороге

Изначально никто не предполагал, что мост будет выглядеть так, но по непонятным причинам изначальный проект изменили. До того, как была возведена эта дорогостоящая автотрасса, машины доставлялись только специализированным паромом для автомобилей. Но так как количество автомобилей сильно возросло этот способ был невыгодным, очень медленным и уже не справлялся со своей задачей. Кстати, за период строительства дорогу 12 раз повреждали шторма.

Таким образом Атлантическая дорога является важнейшей транспортной и туристической артерией Норвегии, приносящая своей стране немалые деньги (за въезд необходимо платить, хоть она и считается бесплатной) и являющаяся полностью окупившимся проектом даже раньше планируемого срока окупаемости.

Литература

1. Атлантическая дорога и ее "пьяный" мост. Норвегия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vladimirtan.livejournal.com/187802.html>. – Дата доступа: 04.10.2021.
2. «Пьяный мост» (Сторсезандетский мост), Норвегия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mirkrasiv.ru/articles/>

pjanyi-most-storsezandetskii-most-norvegija.html. – Дата доступа: 04.10.2021

3. "Пьяный мост" – участок самой опасной дороги в Норвегии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://joinfo.com/curious/1266127_Pjanyi-most---uchastok-samoj-opasnoj-dorogi.html. – Дата доступа: 04.10.2021

4. Atlantic ocean road - самая живописная и опасная дорога в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/bepowerback/atlantic-ocean-road-samaia-jivopisnaia-i-opasnaia-doroga-v-mire-5befcdeea1853100aab0b44a>. – Дата доступа: 04.10.2021.

5. Атлантическая дорога и мост в никуда. Норвегия. Описание и фото [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cattur.ru/europa/norway/atlanticheskaja-doroga.html>. – Дата доступа: 04.10.2021.

Ледяные дороги

Денисова К. В., Обламская Е.В.,
студенты 5 курса кафедры «Автомобильные дороги»
(Научный руководитель – Ходан Е.П., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

Почему на ледяной дороге пристёгиваться нельзя? А ездить быстро – можно? Разве ремень безопасности небезопасен? На ледовых дорогах – да!

Сезонные трассы выглядят невероятно. Такие дороги есть в Антарктиде, Канаде, Эстонии, Финляндии, Норвегии, России, Швеции, США и Китайской Народной Республике. Ледяные дороги возводятся в районах, где строительство межсезонных дорог обходится дорого, так как болота, кислый тип почвы «маскег», который распространён в северных климатических условиях, не позволяют строительству быть экономически рациональным.

На ледяных дорогах зимой гораздо проще и выгоднее ездить, чем по земле, однако дороги над водой представляют большую опасность для тех, кто их пересекает (рис. 1).



Рис.1. Вид Атлантической дороги

Чтобы предотвратить возможность появления резонансных волн, скорость должна быть меньше 25 км/ч или больше 40 км/ч. Из-за волн дорога может повредиться и создать смертельную опасность.

А вот пристёгиваться на таких дорогах нельзя, если машина уйдёт под лёд, ремень помешает выбраться. Важно следить за толщиной льда, если лёд только 20 см, то ездить по нему небезопасно.

Разметку заменяют красные жерди, а слабый лёд обозначают ветками хвой. Допустим в Якутии с ноября по апрель доставить продукты в некоторые деревни можно только таким способом. Почему приходится идти на такой риск? Потому что дорог там просто нет, а летом продукты доставляются по воздуху, а когда река замерзает, по льду идут грузовики. К декабрю река промерзает на 1,5 метра и безопасно можно ездить до апреля.

Самой ледяной дорогой в мире называют реку Маккензи в Канаде. Так как толщина льда постоянно меняется, зимой за ней регулярно следят специальные дорожные службы, они занимаются подготовкой дороги к эксплуатации и дают разрешение на начало ее использования. Помимо того, что эту дорогу называют самой необычной и красивой ледяной дорогой в мире, так как везунчики во время пути могут увидеть Северное сияние, она также является и самой опасной, за счёт горных хребтов, которые делают ее очень извилистой. Как и многие ледяные дороги она функционирует с декабря до апреля. Ширина дороги составляет 3 метра, а скоростью движения не должна превышать 75 км/ч. Кстати, при большой интенсивности движения, между полосами движения устраивают нерасчищенную от снега разделительную полосу.

Очень часто перед эксплуатацией такого рода дорог сначала производят усиление ледяного покрова путем намораживания льда с послойным использованием деревянных настилов. Данные работы производят, когда толщина снега составляет 10 см и выше. На участках с плохой видимостью устанавливают вешки по обе стороны дороги через каждые 50-100 м и 20-30 м на прямых и кривых участках соответственно. Так же устанавливают знаки, на которых обозначено грузоподъемность ледяной дороги, скорость движения и дистанция между транспортными средствами. Через каждые 40-50 км организуют дорожные пункты с домами отдыха, радиосвязью, где водители отмечают в специальном журнале учета транспорта.

Но как же расчищают снежные заносы? И что делать если вы все же там «застряли»? Их расчищают грейдерами. А вот если вы «застряли в снегу» или машина провалилась, вам придется ждать дорожные службы до утра или же жечь покрывки для обогрева или своеобразного сигнала. Может быть вам повезет, и проезжающая машина вытащит ваш забуксовавший транспорт с помощью троса. Как вы, наверное, заметили, дорожные службы работают в светлое время суток, а вот машины наоборот ездят ночью. Это связано с особенностью рельефа. При свете фар за счет игры света и тени местность приобретает явные контуры и очертания. Когда на улице светло, дорожная пустыня при длительном маршруте сливается в единое белое полотно, и водитель может «уйти» на обочину, что в свою очередь может привести к печальным последствиям.

Таким образом, ледяные дороги чрезвычайно важны для жителей северных климатических широт, ведь строительство дорог экономически не целесообразно, а проезд по замерзшей реке или озеру значительно экономит ресурсы и позволяет наладить транспортное сообщение зимой. Также строительство данных дорог значительно отличается от привычных нам.

Литература

1. Зимник – дорога жизни и смерти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fishki.net/auto/1907713-zimnik---doroga-zhizni-i-smerti.html>. – Дата доступа: 03.10.2021.
2. Зимник. Что это и как по нему ездить. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/1635534>. – Дата доступа: 03.10.2021.
3. Ледяные дороги в Токтояктук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lifeglobe.net/entry/2286>. – Дата доступа: 03.10.2021.
4. Ледяные дороги Якутии: как доставляют продукты в отдаленные деревни? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Zc7GSQAtZd8>. – Дата доступа: 03.10.2021.

Подогрев дорожного полотна

Дранец Я. В., студентка 5-го курса
кафедры «Автомобильные дороги»

(Научный руководитель – Ходан Е.П., старший преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Наиболее неблагоприятным периодом года для дорожно-эксплуатационных служб и участников движения на автомобильных дорогах была и остаётся зима. В этот период образуются различные виды зимней скользкости на дорожном покрытии и тротуарах, снижается коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием, вследствие чего повышается вероятность возникновения дорожно-транспортного происшествия. Решением данной проблемы в настоящее время является использование химических либо фрикционных реагентов. Однако, данные способы негативно влияют на конструкцию дорожной одежды и не всегда являются эффективными.

Возможным решением данной проблемы является строительство автомобильных дорог с использованием подогрева. Данная технология успешно используется в таких странах, как Канада, Япония, США, Норвегия, Финляндия. Так, в Норвегии отопление дорог осуществляется за счёт природных термальных источников, что обходится им практически бесплатно. В финской столице Хельсинки активно применяют электрический обогрев дорожного покрытия. В исландской столице Рейкьявике также накоплен большой опыт в этом направлении. Здесь, в основном, подогревом оборудуют очень скользкие тротуары, так как в данной стране они являются повышенным источником травматизма граждан.



Рис. 1. Тротуары с подогревом в Исландии

Одним из таких проектов от французской компании Eurovia является Power Road. Работы ведутся над ним уже не один год и имеют значимый успех. Эту технологию использовали на участке протяженностью 120 метров во французской коммуне Эглетон. Под дорожным полотном находятся трубы с теплообменной жидкостью. Их протяженность составила около 3 километров. Заявлено, что зимой дорога может прогреваться до 60 градусов Цельсия, в то время как летом дорожное полотно может охладиться и не давать покрытию нагреваться от солнца. Подогрев дороги включается при температуре минус 3 градуса по Цельсию. Источником энергии служит тепловой насос, который установили на городской свалке мусора. Однако у данной технологии есть и большой минус, который заключается в высокой стоимости строительства. Один французский портал сообщает, что 120 метров построенной дороги с подогревом обошлись на 250.000 евро дороже, чем если бы это был обычный асфальт. На 30 километров разница составила бы уже 75 миллионов евро, и все это с учетом довольно узкой ширины.



Рис. 2. Строительство автомобильной дороги по проекту Power Road в Эглетоне

Ещё одним интересным проектом из той же области – Solar Roads. Его разрабатывают специалисты из США, подход здесь предполагался иной. Согласно ему, дороги должны строиться из специальных солнечных панелей, которые преобразовывают энергию солнца в электричество. Суть идеи заключается в том, чтобы в холодное время года покрытие подогревало само себя. В случаях образования избытков энергии, её можно тратить на другие виды инфраструктур, в том числе на зарядку электромобилей, освещение и даже на подсветку дорожных знаков и разметки.

Успешная разработка была представлена израильской компанией SAN Hitech — система интеллектуального дорожного полотна Snowless. Данная система определяет наличие снега или наледи на автомобильной дороге и подогревает покрытие. Также она учитывает прогноз погоды, нагрузку на , интенсивность движения и многие другие факторы. «Умный» асфальт Snowless имеет сенсоры, которые чувствительны к температуре и наличию осадков на дорожном покрытии. При наличии каких-либо отклонений от нормы, сенсоры передают информацию в систему, и она нагревает металлическую решетку под слоем покрытия, растапливая снег и наледь. В итоге полотно остается чистым и сухим и значительно повышает безопасность участников дорожного движения.



Рис. 3. Проект автомобильной дороги из солнечных батарей

Для установки интеллектуального дорожного полотна перед устройством асфальта или бетона на дороге разворачивают «рулон» смарт-системы, состоящий из нагревательных элементов, сенсоров и управляющих компонентов. По словам разработчиков, систему можно использовать также и на уже существующих дорогах, для этого нужно «вырезать» в покрытии место под установку.

Эта технология прошла тестирование в Канаде при температуре до минус 50 градусов по Цельсию. Испытания показали хороший результат как при использовании на дорогах (тесты проводились на второстепенных магистралях), так и на территории парковок, подъездных путей и спортивных площадок. Разработчики получили грант от Евросоюза на реализацию разработки и к 2021 году ее планируется вывести на рынок как коммерческий продукт.

Реализация таких проектов весьма затратная. Тем не менее, строительство с подогревом асфальта начинает практиковаться в небольших объемах, в виде подогрева остановочных пунктов и отдельных дорожек.

Если обеспечить подогрев автомобильных дорог зимой, то этим решатся многие проблемы. Основная причина повреждения покры-

тия – образование трещин, вызванное пропаданием воды в период промерзания-оттаивания дорожной одежды. Обогрев дороги позволит снизить расходы на уборку снега зимой, снизит возникновение трещин весной, а осенью сможет обеспечить быстрое высыхание дороги после дождей.

Литература

1. Содержание и ремонт автомобильных дорог: пособие начальнику линейной дорожной дистанции и дорожному мастеру по ремонту и содержанию автомобильных дорог / С.Е. Кравченко, Ж.В. Реут, С.Н. Соболевская, Д.Г. Игошкин, Н.М. Гурбо. – Минск: БНТУ, 2013.– 239 с.

2. Электрон ОАВ [Electronical resource]. – bigpicture.ru: <https://bigpicture.ru/v-izraile-izobreli-asfalt-samostoyatelno-ochishhayushhijsya-ot-lda-i-snega/> – Date of access: 20.10.2021.

3. Электрон ОАВ [Electronical resource]. – naked-science.ru: <https://www.google.com/amp/s/naked-science.ru/article/hi-tech/proekt-po-sozdaniyu-dorog-s%3famp/> – Date of access: 20.10.2021.

Мониторинг качества дорожной разметки

Засимович О.И.,
студент кафедры «Автомобильные дороги»
(Научный руководитель – Ходан Е.П., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В работе проанализированы требования к материалам, технологиям и способам нанесения дорожной разметки. В статье подробно рассмотрены методы контроля качества технического оформления дорожного покрытия.

Ключевые слова: требования, методы, качество, дорожная разметка, материалы, контроль.

Проведение дорожных работ, как правило, не ограничивается только лишь подготовкой основания, ремонтными работами или асфальтированием. После окончания всех ремонтных и строительных работ, наступает этап технического оформления дорожного покрытия, т.е. нанесение дорожной разметки. Значительный рост количества транспортных средств, постоянно увеличивающаяся плотность потока и интенсивность движения предъявляют гораздо более строгие требования к содержанию автомобильных дорог и, в частности, к дорожной разметке. Объективный контроль качества разметки позволяет своевременно устранить нарушения, допущенные во время её нанесения, и тем самым предотвратить ДТП.

Номера и изображение дорожной разметки должны соответствовать требованиям СТБ 1300. При разметке дорог ширина полосы движения должна приниматься с учетом категорий дорог согласно требованиям ТКП 45-3.03-19. На дорогах, элементы поперечного профиля которых не соответствуют требованиям строительных норм и правил, ширина размечаемой полосы движения должна быть: не менее 3,25 м для дорог категории I-а, I-б, II, III и не менее 3,00 м для других дорог по ТКП 45-3.03-19; не менее 3,25 м для улиц и дорог категории М, А и I-в и не менее 3,00 м для других дорог и улиц. В населенных пунктах допускается уменьшение ширины полосы, предназначенной для движения легковых автомобилей и обозначенной знаком 4.4, до 2,75 м. Разметка может применяться

как самостоятельно, так и в сочетании с дорожными знаками и светофорами (рис.1).



Рис. 1. Дорожная разметка

С годами появляется все больше и больше новых материалов для разметки дорог, которые требуют специального оборудования. При выборе материалов для дорожной разметки должны учитываться следующие ключевые факторы:

- тип дорожного покрытия;
- климатические условия региона;
- интенсивность дорожного движения.

Основные стандарты, регламентирующие материалы для дорожной разметки, применяемые для устройства горизонтальной дорожной разметки на автомобильных дорогах общего пользования и устанавливающие технические требования к материалам — это национальный стандарт СТБ 1231. «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Общие технические условия».

Для определения качества материалов для нанесения дорожной разметки, для решения о последующих методах и способах нанесения дорожной разметки, для принятия решений о создании новых технологий и внесении инноваций на этапе технического оформления дорожного покрытия производится этап мониторинга качества материалов дорожной разметки.

Контроль качества материалов для дорожной разметки. Материалы для дорожной разметки - материалы, предназначенные для

нанесения дорожной разметки на автомобильных дорогах и улицах с усовершенствованным покрытием.

Материалы для нанесения дорожной разметки проверяются на пригодность в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 32830 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы для дорожной разметки. Технические требования» по следующим критериям:

- Технические требования к материалам для дорожной разметки (координаты цветности высушенной пленки эмалей, отвердевших термопластиков и холодных пластиков; коэффициент яркости высушенной пленки эмалей, отвердевших термопластиков и холодных пластиков; плотность материалов для дорожной разметки; условная вязкость эмалей; степень перетира эмалей; массовая доля нелетучих веществ эмалей; время высыхания (отверждения) материалов для дорожной разметки; стойкость к статическому воздействию; адгезия высушенной пленки эмалей к стеклу; температура размягчения термопластиков (рис.2).



Рис. 2. Лабораторные испытания материалов дорожной разметки

- Требования к комплектности. Материалы для дорожной разметки должны поставляться с сопроводительной документацией производителя (краски (эмали): рецептурным растворителем (разбавителем) в необходимом количестве; холодные пластики: инициатором отверждения в необходимом количестве; для поверхностной посыпки материалов для дорожной разметки при нанесении — светоотражающими элементами по ГОСТ 32848).

При комплектовании материалов для дорожной разметки рецептурным растворителем, отвердителем и/или световозвращающими элементами информация о них должна быть отражена в сопроводительной документации на материал для дорожной разметки.

- Требования к маркировке. Маркировка упаковки материалов для дорожной разметки — по ГОСТ 9980.4 и ГОСТ 31340.

Допускается нанесение на маркировку изделий для дорожной разметки единого знака обращения продукции на рынке государств — членов Таможенного союза.

- Требования к упаковке. Упаковка материалов для дорожной разметки — по ГОСТ 9980.3 с учетом унификации размеров транспортной тары в соответствии с ГОСТ 21140. По согласованию с потребителем допускается другая упаковка, обеспечивающая сохранность материалов для дорожной разметки при транспортировке и хранении.

- Требования к транспортированию и хранению. Транспортирование и хранение материалов для дорожной разметки осуществляют по ГОСТ 9980.5 и сопроводительной документации изготовителя.

- Требования к методам испытаний. Испытания материалов для дорожной разметки проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 32829.

- Требования по безопасности. В сопроводительной документации на каждую партию материалов для дорожной разметки должны быть отражены правила (требования) пожаро- и взрывобезопасности.

При применении красок (эмалей) и пластичных материалов для дорожной разметки содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 12.3.005.

Показатели пожаро- и взрывобезопасности материалов для дорожной разметки определяют в соответствии с ГОСТ 12.1.044. Пожаро-, взрывобезопасность при применении маркировочных материалов должна обеспечиваться системами защиты и предотвращения пожара, организационно-техническими мероприятиями в соответствии с ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010, ГОСТ 12.1.018.

Периодичность контроля за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005.

Лица, связанные с применением материалов для дорожной разметки, должны быть обеспечены специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты в соответствии с ГОСТ 12.4.011 и ГОСТ 12.4.103

Эксплуатационный контроль состояния разметки.

Эксплуатационный контроль состояния разметки осуществляют после нанесения и высыхания (отверждения) материала, определяют эксплуатационные свойства дорожной разметки. Проводится во время проведения сезонных и патрульных осмотров автомобильных дорог согласно ТКП 074, а также при проведении специальных (целевых) проверок по оценке состояния дорожной разметки в процессе содержания автомобильных дорог. При этом определяют соответствие разметки требованиям СТБ 1231. По результатам осмотра должна быть оформлена ведомость дефектов, назначены способы и сроки устранения дефектов и/или демаркировки разметки, установлены классы разметки по СТБ 1231, определен вид разметочного материала, нормы расхода и технология восстановления разметки. Документация по результатам осмотра должна быть оформлена в течение двух недель и подписана представителями эксплуатационной организации и технического надзора. (рис.3).

Методы эксплуатационного контроля качества дорожной разметки:

- Испытания разметки на соответствие требованиям стандарта СТБ 1231 проводят при температуре воздуха не ниже 0 °С, относительной влажности не более 75 %, если не установлено иное. Количество замеров для испытания каждого показателя - не менее трех.

- Толщину горизонтальной разметки контролируют в процессе ее нанесения по СТБ 1520.

- Коэффициент сцепления колеса автомобиля с поверхностью горизонтальной разметки и коэффициент сцепления колеса автомобиля с поверхностью дорожного покрытия определяют прибором маятникового типа по СТБ 1566.

- Геометрические параметры разметки определяют по СТБ 1566. и СТБ 1231.

- Отклонение линий разметки в поперечном направлении от проектного положения определяют путем измерения смещения оси линии устроенной разметки относительно оси линии, соответствующей проекту. Измерения отклонения угловых размеров линий раз-

метки в продольном и поперечном направлениях выполняют по СТБ 1566.

- Координаты цветности x и y точек пересечения граничных линий цветовых областей разметки определяют с помощью спектрофотометра или колориметра при освещении под углом $(45 \pm 5)^\circ$ и измерении под углом $(0 \pm 10)^\circ$ для стандартного источника света типа D6s по ГОСТ 7721. Углы измеряются по отношению к перпендикуляру к поверхности разметки. Измерения выполняют в соответствии с инструкцией к приборам.

- Коэффициент яркости горизонтальной разметки определяют с помощью фотоблескомера (рис.4) при освещении под углом $(45 \pm 5)^\circ$ и измерении под углом $(0 \pm 10)^\circ$ для стандартного источника света типа D65 по ГОСТ 7721. Измерения выполняют в соответствии с инструкцией к используемому прибору.

- Удельный коэффициент яркости при рассеянном освещении горизонтальной разметки, удельный коэффициент световозвращения горизонтальной разметки в сухом, влажном состоянии и при дожде в соответствии с СТБ 1231.

- Износ горизонтальной разметки по площади методом А при помощи шаблона или по методу Б с помощью фотоаппарата. (по СТБ 1231)

- Коэффициент яркости и удельный коэффициент световозвращения вертикальной разметки определяют по СТБ 1140.

- При измерении параметров разметки допускается применять другие средства измерений, метрологические характеристики которых позволяют определять контролируемые показатели с заданной точностью.

Нанесение дорожной разметки – задача, которая требует постоянного контроля. Неверная, нечеткая разметка на дороге, а также ее отсутствие – причина многих ДТП с участием транспортных средств и пешеходов. Своевременное демаркирование старой и последующее нанесение новой разметки делает участок дорожного полотна безопасным для движения.



Рис. 3. Проверка состояния разметки



Рис. 4. Блескомер фотоэлектрический Градиент-Техно

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Дорожная разметка – маркировка на покрытии автомобильных дорог, служащая для сообщения оной информации участникам дорожного движения. Разметка дорог может использоваться самостоятельно или сочетаться с дорожными знаками или светофорами.

Нанесение дорожной разметки устанавливает определенные режимы и порядок движения транспортных средств и пешеходов. Дорожная разметка является средством визуального ориентирования водителей и применяется как самостоятельно, так и в сочетании с другими средствами с целью повышения безопасности организации дорожного движения, увеличения скорости движения автомобилей и пропускной способности дороги.

2. Перед нанесением дорожной разметки материалы проверяются на соответствие качеству и проходят процедуры проверки по необходимым характеристикам.

3. Эксплуатационный контроль выполняется в отношении используемых автодорог с уже нанесённой разметкой. Задача данного контроля состоит в том, чтобы установить, соответствуют ли эксплуатационные параметры разметки заявленным, с учетом климатических особенностей региона и реальной нагрузки на дорожное полотно.

4. Контроль качества материалов и мониторинг состояния нанесенной разметки позволяет делать выводы о выбранных технологиях, и путём оценки качества эксплуатации использовать наиболее пригодные материалы и технологии, также внедрять инновации в данный вид работ.

Литература

1. СТБ 1520-2008 «Материалы для горизонтальной разметки автомобильных дорог. Технические условия».

2. Содержание и ремонт автомобильных дорог: пособие начальнику линейной дорожной дистанции и дорожному мастеру по ремонту и содержанию автомобильных дорог / С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013. – 239 с.

3. <http://www.beldornii.by/> - официальный сайт.

4. СТБ 1231 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Общие технические условия».

5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32830 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы для дорожной разметки. Технические требования».

Современные материалы для изготовления шумозащитных устройств

Зинович А.А., студентка 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель - Мытько Л.Р. профессор)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Как известно, человеческое ухо может переносить ограниченный уровень шумового фона.

Оптимальный уровень шумового фона колеблется в пределах от 17 до 20 дБ. При таком диапазоне у человека не возникает никаких неприятных ощущений, он может спокойно работать и сосредоточиться на других делах.

К сожалению, ученые пришли к выводу, что за последние десятилетия, уровень шума вырос в среднем на 26% и продолжает неумолимо расти. В большинстве своем за повышение уровня шума отвечают звуковые волны антропогенного происхождения. Причиной повышения уровня шумового загрязнения на 60 – 80 % служат разнообразные транспортные средства, поезда, самолеты, пароходы, различные предприятия, фабрики и т.п. После измерения шумов, ученые пришли к выводу, что человек обречен. Увеличение показателя нормального шумового фона для человека почти невозможно, ведь строение наших органов слуха не может измениться. Уровень шума растет, а человек не может так быстро приспособиться к таким быстрым изменениям в окружающей среде.

Итак, для того чтобы понизить уровень шума, используются специальные шумозащитные конструкции (Рис. 1).

Нижняя часть состоит из прочного непрозрачного материала. Эта часть отличается наибольшей прочностью и износостойкостью, так как именно на нее приходится основная часть летящих изпод колес транспорта камней.

Затем к основанию крепятся столбы. Они являются держателями шумозащитных панелей, поэтому должны иметь прочную и устойчивую конструкцию и материал.

В полученную раму из основы и столбов вставляется панель, состоящая из противоударного материала.

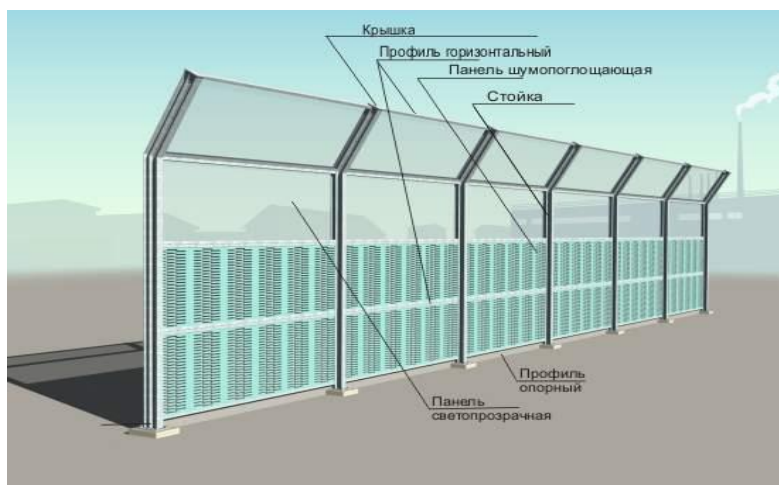


Рис.1. Шумозащитный экран

Материал, из которого изготавливается панель отличается, в зависимости от того, какого типа экран конструируется (Рис.2).

Шумозащитные свойства зависят не только от размеров конструкций, но и от материала, используемого для шумозащиты.

Самыми распространенными материалами для создания звукозащитных конструкций, предназначенных производить шумозащиту дорог, являются древесина, щебень, бетон, кирпич, стекло, металл, камень, акрил, пластмассы. Также используются минеральная вата и композиты, но устанавливать длинный шумозащитный забор вдоль трассы из них довольно дорого.

Рассмотрим материалы, показывающие самую высокую из возможных степеней эффективности.

Бетон (Рис.3) – самый распространенный из конструкционных материалов. Экраны, сделанные из него при правильном изготовлении и соответствующей поддержке долговечны, обладают способностью противостоять высоким и низким температурам, солнечному свету, влажности и соли.

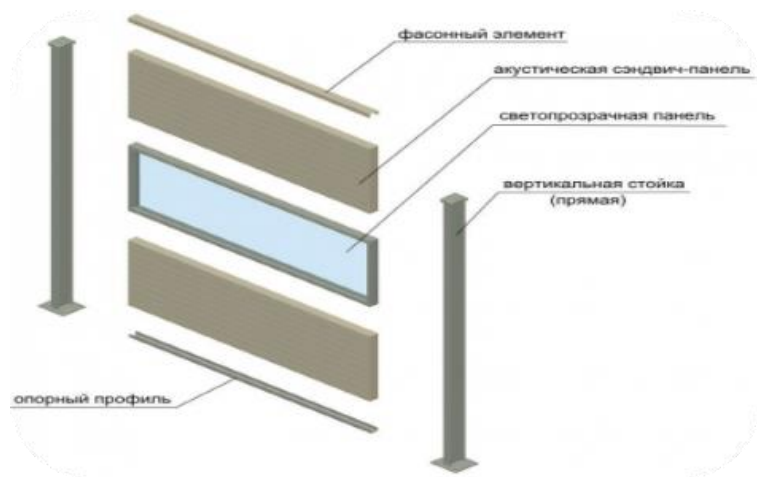


Рис.2. Конструкция шумозащитного экрана



Рис.3. Бетон

Для придания эстетичного вида изделиям из бетона можно окрасить их поверхность либо ввести пигменты в бетонную смесь предварительно, перед формированием. Бетон пригоден для использования почти во всех видах монтажа, стены из него гибки в устройстве и очень прочны, устойчивы к разрушению в случае удара о них транспортного средства. Бетонная смесь, как правило, бывает двух типов: вибропресованного и литого. Состоит она в основном из заполнителя, портландцемента и воды. Литой бетон бывает монолитным и формованным, и представляет собой смесь с большим количеством воды, дабы обеспечить надлежащую химическую реакцию между всеми компонентами смеси, что приводит к формированию очень прочного сцепления их между собой, а вот вибропресованная

бетонная смесь содержит в своём составе гораздо меньше жидкости, которой хватает лишь на то, чтобы позволить материалу сохранять форму.



Рис.4. Сталь

Сталь (Рис.4) является популярным в строительстве металлом, представляя собою сплав железа с углеродом и другими элементами, нержавеющая сталь – это сталь с включением большого количества химических элементов для того, чтобы сплав мог эффективно сопротивляться коррозии. Конструкции из алюминия же легки и прочны, надёжны в эксплуатации. Металлические панели имеют меньшую, по сравнению с бетонными, плотность, что даёт преимущества при вертикальном расположении шумозащитных элементов.

Однако, металл может давать блики, способные помешать водителям, когда яркое солнце будет отражаться от гладкой блестящей поверхности.



Рис. 5. Древесина

Древесина (Рис.5). В изготовлении шумозащитных экранов принимают участие такие материалы как древесина и клееная фанера.

Плюсами древесины являются небольшая стоимость, доступность. Если же покрыть доски специальным водоотталкивающим защитным покрытием, она приобретет стойкость к влаге и гниению.

Минусов у этого материала тоже достаточно. Невзирая на наличие защитного покрытия, быстро портится под воздействием солнца, влаги, внешних механических воздействий, микроорганизмов, а так же имеет свойство легко воспламеняться. Древесина имеет тенденцию к усушке и образованию неприглядных трещин и щелей, которые, к тому же, сводят на нет эффективность установки такого звукоизоляционного оборудования, свободно пропуская звук.

Кирпичная, каменная и блочная кладка (Рис.6). Кирпичи изготавливают из смеси глины и песка, которую помещают в форму и подвергают воздействию высоких температур, чтобы они обладали прочностью, водостойкостью и морозостойкостью. Материалом же блоков для кладки служит вибропресованный бетон. Кирпичные и блочные стены укладываются вручную или в виде заранее смонтированных панелей; все такие конструкции возводятся на непрерывном ленточном бетонном фундаменте и должны быть закреплены арматурными стержнями. Надёжность экранов из кирпичей, каменной или блочной кладки сильно зависит от качества кладочного раствора.

Пластмассы (Рис.7). Некоторые типы пластмасс могут быть использованы при создании шумозащитных экранов, к примеру, полиэтилен и стекловолокно.



Рис. 6. Кирпичная кладка



Рис.7. Пластмасса

Они хороши тем, что им можно без проблем придать любую форму, а их легкость облегчает монтаж. К тому же, пластмассу можно повторно переработать. Экраны, состоящие из этого материала, могут быть уместны почти в любых условиях. Но плохо то, что они легко воспламеняются и при горении выделяют ядовитые вещества, иногда имеют значительную усадку, что может привести к нарушению целостности конструкции. Некоторые пластмассы под влиянием ультрафиолета могут утратить весь свой лоск.

Композиты (Рис 8). Могут состоять из двух или более первичных материалов, таких как фанера со стекловолоконистой оболочкой, или древесная стружка, смешанная с бетонной смесью. Именно от смешения компонентов меняются свойства получаемого в результате материала. Композиты, как правило, – прочны, жестки, износостойчивы.

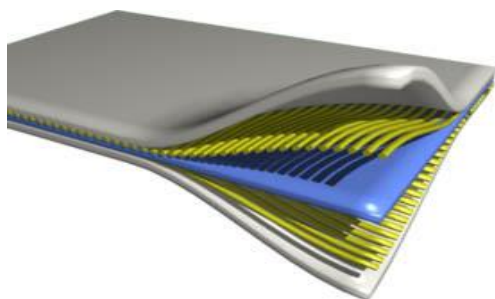


Рис. 8. Композиционный материал



Рис. 9. Минеральная вата

Однако, ремонтпригодность у них низкая, если произойдет какое-либо повреждение экрана, то исправить последствия будет не-легко.

Минеральная вата (Рис.9) – материал, очень популярный среди изготовителей шумозащитных установок благодаря своей эффек-тивности при поглощении звука.

Существует две основных разновидности минеральной ваты: базальтовая (каменная, слева) и стеклянная (справа).

Каменную вату получают, расплавляя габбро-базальтовые горные породы. Огромным плюсом этого материала является его устойчивость к воспламенению: волокна каменной ваты можно подвергать воздействию температуры до 1000 градусов Цельсия без риска, что она расплавится.

Стекловата изготавливается из того же сырья, что и стекло, либо из отходов стекольной промышленности. Это очень прочный и упругий материал толщиной 3-15 мкм.

Стекловату используют для звукоизоляции, потому что она хорошо поглощает звук.

Однако, она опасна. Микроволокна, которые входят в ее состав, легко могут попасть в кожу или в легкие. Поэтому при работе с ней, нужно соблюдать меры предосторожности.

Звукоизоляция – дело, безусловно, нужное.

Перечислены основные материалы из которых делаются шумозащитные устройства. Они уже давно используются в развитых странах на дорогах, строительствах, шумных производствах, чтобы оградить людей от вредного воздействия звуковой энергии.

Однако, не стоит забывать о том, что уровень шума повышается. Вполне возможно, что в будущем, когда экраны или же заборы будут не так эффективны против шума, как сейчас - на смену придут более новые и современные установки, ведь прогресс не стоит на месте.

Литература

1. Шумозащитные экраны: конструкция и особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shumozashchitnye-ekrany.ru/ekrany/shumozashhitnye-ekrany-konstruktsiya-i-osobennosti.html>

2. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD>

3. Наиболее эффективные материалы для шумозащиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shumnet.ru/naibolee-effektivnye-materialy-dlya-shumozashhity/>

Конструктивный анализ пассажирской канатной дороги для преодоления водных препятствий

Игнатович Н.С., студент 4-курса кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»
(Научный руководитель – Шавель А.А., доцент)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

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.

Подвесные канатные дороги классифицируют по следующим признакам:

по назначению: грузовые и пассажирские;

по характеру движения грузонесущих элементов: кольцевые; маятниковые;

по конструкции: одноканатные; двухканатные.

Пассажирские подвесные канатные дороги (ППКД) — канатные дороги, служащие для перевозки пассажиров в подвижном составе, который перемещается по несущему канату или посредством несущего-тягового каната. По типу движения ППКД разделяются на кольцевые, маятниковые и пульсирующие. Кольцевые дороги обеспечивают движение подвижного состава с постоянной скоростью, в одном направлении — по или против часовой стрелки, с применением фиксированных или отцепляемых зажимов подвижного состава.

Маятниковые дороги обеспечивают возвратно-поступательное движение подвижного состава с его остановкой на конечных станциях для посадки/высадки пассажиров. Пульсирующие дороги обеспечивают кольцевое движение подвижного состава с постоянной скоростью на линии и с замедлением ее на конечных станциях для посадки/высадки пассажиров. При этом используется подвижной состав с фиксированным зажимом. Буксировочные канатные дороги (БКД) — канатные дороги, предназначенные для перемещения пассажиров по грунту или иной поверхности посредством тягового каната. Наземные канатные дороги (НКД, фуникулеры) — канатная дорога, предназначенная для перемещения пассажиров в вагонах по рельсовому пути/эстакаде тяговым канатом. Трассы канатных дорог проектируют, принимая во внимание технико-экономический анализ, который опирается на обоснованность и оптимальность выбора дороги. При строительстве пассажирских канатных дорог немало важным фактором является перспектива развития прилегающей территории в целом. [1]

Пассажирские канатные дороги (ППКД) относятся к непрерывным видам транспорта и так же, как автомобильный или железнодорожный транспорт, участвуют в перевозке пассажиров.

Основной особенностью конструкции ПКД является то, что средства для транспортирования людей – вагоны, кресла, кабины – перемещаются на некотором расстоянии от поверхности земли по стальным канатам. В связи с этой особенностью их важнейшим преимуществом является возможность соединять конечные пункты по кратчайшему расстоянию, причем уклон трассы в вертикальной плоскости может достигать 45° и более, когда применение автомобильного и железнодорожного транспорта невозможно. Канатные дороги обладают целым рядом преимуществ перед существующими видами транспорта, а именно:–минимальное воздействие на окружающую среду, поскольку выброс вредных веществ отсутствуют (на уровне троллейбуса), а по шуму при движении – на уровне электромобиля;– относительные энергозатраты на перемещение (50 км/ч) будут в 5 – 10 раз ниже, чем у современного автомобиля; – для прокладки магистрали требуется не более 0,1 га земли на один километр трассы с инфраструктурой; – не требуется сооружения насыпей, выемок, строительства тоннелей, мощных эстакад, путепроводов и виадуков, нарушающих ландшафт и неустойчивых к

воздействию стихийных бедствий (землетрясения, наводнения, оползни и др.); – себестоимость перевозки находится на уровне современных пригородных электропоездов; – стоимость строительства трассы с инфраструктурой дешевле современных железных и автомобильных дорог, при этом ресурсоемкость транспортной системы (потребность в строительных материалах и конструкциях, объем земляных работ, расход черных и цветных металлов и т. п.) будет минимальной; – кабины обеспечат комфорт для пассажира на уровне современного автобуса; – транспортная система обеспечит безопасность движения на уровне авиапассажирских перевозок; – пропускная способность одной трассы до 7 тыс. пас./ч. Таким образом, перечисленные выше аргументы свидетельствуют о том, что канатный транспорт является достаточно перспективным, и может быть основным видом транспорта для перевозки людей например на горнолыжных курортах и туристических комплексах. Кроме того, канатные дороги можно использовать, когда экономически не целесообразно сооружение мостов и тоннелей. В России ведутся разработки новых перспективных видов транспортных систем, таких как канатное метро [2].

Характерной особенностью одноканатных грузовых подвесных дорог является то, что функции несущего и тягового элемента выполняет несуще-тяговый канат, замкнутый в кольцо (рис. 1). Загруженные вагонетки одноканатных грузовых подвесных дорог перемещаются по жесткому рельсовому пути к выходу со станции, где они подключаются к тяговому канату и перемещаются по несущему канату грузовой ветви к разгрузочной станции Б (рис. 1).

Вагонетки совершают кольцевое движение, но на линии между станциями А и Б они не опираются на гибкий подвесной путь, а подвешены к непрерывно движущемуся несуще-тяговому канату и перемещаются вместе с ним.

При входе на станцию вагонетки автоматически отключаются от каната и передвигаются по жестким рельсовым путям, опираясь ходовыми колесами, при сходе с рельсового пути вагонетки автоматически сцепляются с канатом зажимным аппаратом. Несуще-тяговый канат приводится в движение фрикционным приводом с канатоведущим шкивом.

С учетом требований действующих Правил безопасности скорость движения канатных дорог с неотцепляемыми кабинами с

кольцевым пульсирующим движением групп 2–6-местных кабин не должна превышать 4 м/с; посадка и высадка пассажиров на станциях осуществляется при остановленном подвижном составе или на скорости 0,2–0,5 м/с.

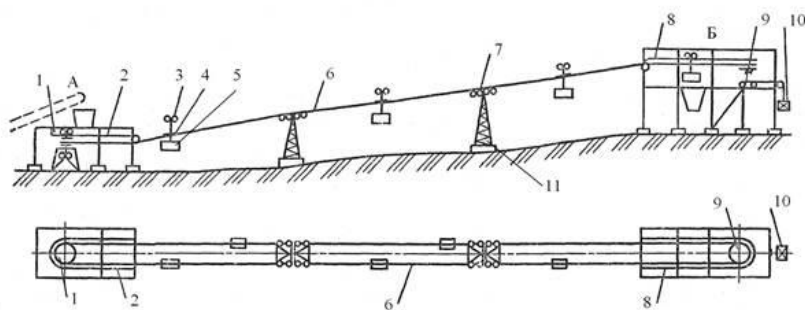


Рис. 1. Одноканатная подвесная канатная дорога с кольцевым движением:

- 1 – фрикционный привод; 2, 8 – рельсовые пути; 3 – ходовые колеса; 4 – зажимной аппарат; 5 – вагонетки; 6 – канат; 7 – балансирующие роликовые батареи; 9 – концевой шкив; 10 – груз натяжного устройства; 11 – опоры

Подвесная пассажирская канатная дорога состоит из двух станций, одна из которых расположена внизу дороги – приводная станция, а другая расположена наверху – натяжная станция.

Положение несущего тягового каната на роликовых балансирах контролируется специальными детекторами, при срабатывании которых дорога останавливается.

Для удобства эксплуатации и технического обслуживания каждая линейная опора оборудована двумя площадками обслуживания (по одной со стороны подъема и спуска) с перильными ограждениями, алюминиевыми лестницами, установленными поверх трубчатых стоек (рис. 2).

На верхних площадках линейных опор хранятся запасные балансирующие ролики, набор ломающихся проводников и комплект специального инструмента для оперативного ремонта.

Приводная представляет собой сооружение, состоящее из:

- помещения нижнего машинного отделения (рис. 3), расположенного под пассажирской платформой, включающего механизм основного привода с двумя взаимно-резервирующими электродви-

гателями фирмы ТТ - Electric типа LAK 4280С постоянного тока, мощностью 415 кВт, скоростью вращения 1143 об/мин и планетарным редуктором фирмы KISSLING типа PK21-L с передаточным числом 58,65 (объем заливаемого масла 170 л). Помещение машинного отделения комплектуется кран-балками для перемещения крупногабаритных агрегатов привода при производстве ремонтных и профилактических работ.

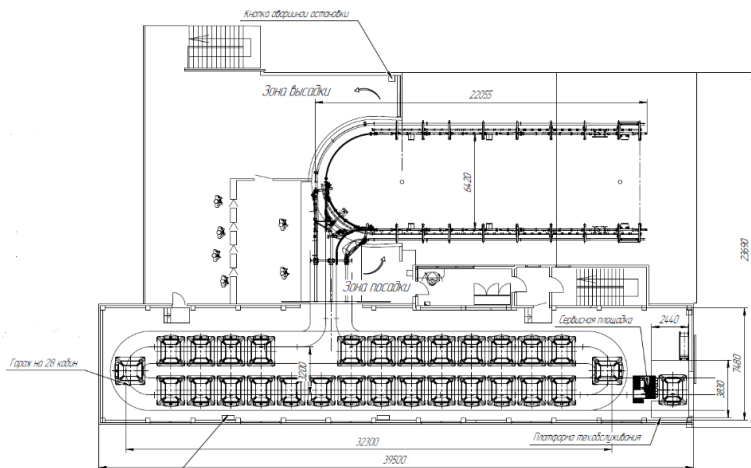


Рис. 2. Площадка для обслуживания

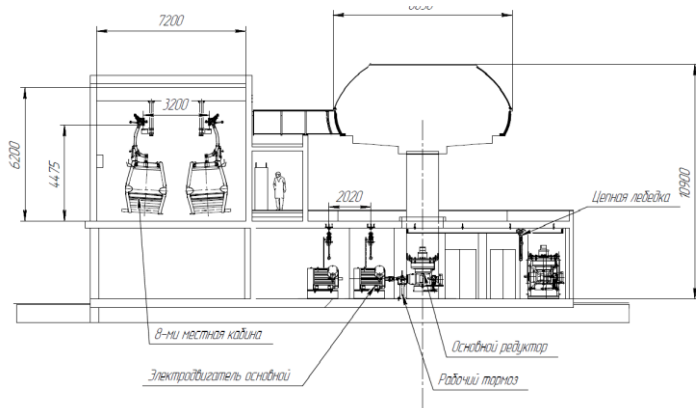


Рис. 3. Помещение нижнего машинного отделения

- помещения верхнего машинного отделения(рис. 4), расположенного над пассажирской платформой, включающего: приводной шкив диаметром 4900 мм; гидравлический механизм для аварийного торможения шкива с тормозом типа FE 100-05 и гидравлическим агрегатом с электродвигателем насоса мощностью 0,37 кВт, датчиком давления, манометром и баком (объем заливаемого гидравлического масла 12 л); два взаимно-резервирующих аварийных привода с двумя мотор-редукторами фирмы SIEMENS типа 1 LG4 мощностью 75 кВт каждый с передаточным числом 32.7, при этом шестерня мотора-редуктора входит в зацепление с зубчатым венцом приводного шкива с передаточным числом 13.75, (объем масла редуктора 2х20 л); механизм зацепления-отцепления гондол к несущему канату; пневмоколесный конвейер для перемещения гондол на станции, состоящий из пяти модулей (четырех прямолинейных и одного контурного).

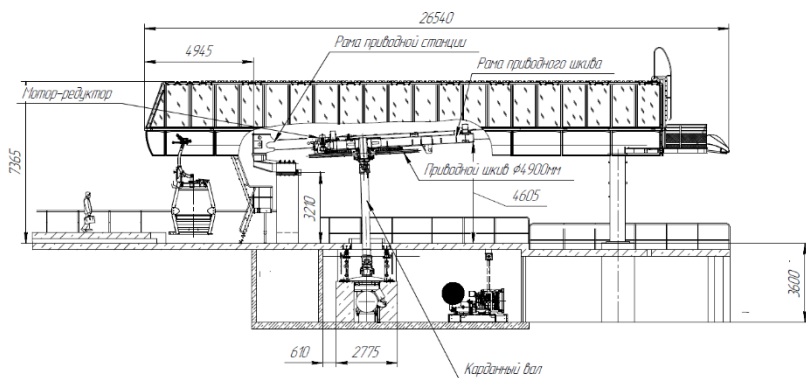


Рис. 4. Помещения верхнего машинного отделения

- Энергоблока, состоящего из четырех помещений с силовыми электрощитами для питания электроприводов механизмов верхнего и нижнего машинных отделений; двух помещений с дизель-генераторными установками фирмы CUMMINS типа C200 D5, собранные на раме вместе с топливным баком (емкость 350 л), с выходной мощностью по 200 кВт каждая для питания двух аварийных приводов в верхнем машинном отделении.

- Гидравлический механизм для аварийного торможения шкива с тормозом типа FE 100-05 и гидравлическим агрегатом с электродвигателем насоса мощностью 0,37 кВт, датчиком давления, манометром и баком (объем заливаемого гидравлического масла 12 л).
- Пневмоколесного конвейера для перемещения гондол на станции, состоящего из пяти модулей (четырёх прямолинейных и одного контурного).
- Платформы посадки-высадки пассажиров.
- Помещение гаража для парковки и эксплуатации 28 гондол, расположенное рядом с помещением оператора включающее: опорные парковочные рельсы с узлами крепления, два стрелочных механизма и подъемную платформу для отвода кабин с пневмоколесного конвейера станции в гараж, два зарядных устройства на 5 кабин каждое для зарядки аккумуляторных батарей систем радиооповещения пассажиров.
- Помещение оператора канатной дороги с электрощитом управления канатной дорогой, расположенного со стороны посадки пассажиров.

Натяжная станция представляет собой сооружение, состоящее из:

- Помещения верхнего машинного отделения, расположенного над пассажирской платформой, включающего станционную крышу с площадками обслуживания, возвратный шкив диаметром 4900 мм; гидравлический механизм для натяжения несуще-тягового каната включающий тележку, перемещающуюся по продольным направляющим, гидроцилиндр, рассчитанный на натяжение до 1000 кН при давлении до 163 бар, гидравлический агрегат с электродвигателем насоса мощностью 15 кВт, датчиком давления, манометром и баком (объем заливаемого масла 314 л); механизм зацепления-отцепления гондол к несуще-тяговому канату; пневмоколесный конвейер для перемещения гондол на станции, состоящий из пяти модулей (четырёх прямолинейных и одного контурного).
- Гидравлического механизма для натяжения несуще-тягового каната включающего тележку, перемещающуюся по продольным направляющим, гидроцилиндр, рассчитанный на натяжение до 1000 кН при давлении до 163 бар, гидравлический агрегат с электродви-

гатель насоса мощностью 15 кВт, датчик давления, манометр и бак (объем заливаемого масла 314 л).

- Гидравлического механизма для сдвижки приводной тележки с целью компенсации вытяжки несущего каната, включающего тележку, перемещающуюся по продольным направляющим, гидrocилиндр и гидравлический агрегат с электродвигателем насоса мощностью 4 кВт, баком (объем заливаемого масла 50 л).

- Пневмоколесного конвейера для перемещения гондол на станции, состоящего из пяти модулей (четырёх прямолинейных и одного контурного).

- Помещения оператора канатной дороги с электрощитом управления канатной дорогой, расположенного со стороны посадки пассажиров.

- Платформы посадки-высадки пассажиров.

- Помещение гаража для парковки и эксплуатации 28 гондол, расположенное на противоположной стороне от помещения оператора, включающее: опорные парковочные рельсы с узлами крепления, два стрелочных механизма и подъемную платформу для отвода кабин с пневмоколесного конвейера станции в гараж, два зарядных устройства на 5 кабин каждое для зарядки аккумуляторных батарей систем радиоповещения пассажиров.

Для подвижного состава используется 8-ми местная гондола типа DIAMOND марки C8S-190, с двумя 4-местными сиденьями для пассажиров, с пружинным нормально закрытым зажимом LPA.



Рис. 5. Кабина ППКД компании DIAMOND марки C8S-190

Кабины при номинальном режиме работы прибывают и выходят со станции со скоростью 5 м/с. В пределах станции они отцепляются от несущего каната и перемещаются по станции пневмоколесным конвейером со скоростью до 0,5 м/с, обеспечивая выход и вход пассажиров. Затем кабина разгоняется конвейером до скорости каната, происходит зацепление зажима за канат и выход кабины на линию. При этом открывание и закрывание дверей кабины происходит автоматически со стороны высадки и посадки пассажиров [3]. Конвейер состоит из двух прямолинейных участков (уменьшение и увеличение скорости) и криволинейного участка для скорости до 0,5 м/с

В общем виде конвейерная система включает в себя:

- на входе и выходе узлы отбора мощности от несущего каната к колесам конвейера
- рельсы и направляющие для взаимодействия с проходящими зажимами кабин
- пневмоколесную систему, приводимую в движение от несущего каната, в которой колеса соединены между собой через шкивы ремennыми и зубчатыми передачами. Изменение диаметров шкивов обеспечивает изменение передаточного числа.

В Беларуси канатный транспорт может быть использован в туристической отрасли, в сельскохозяйственном производстве, утилизации отходов на предприятии, для преодоления водных и болотных препятствий.

Литература

1. Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса [Электронный ресурс]: материалы 76-й студенческой научно-технической конференции / редкол. А. В. Вавилов (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020.
2. Концепция инновационной системы городского транспорта «КАНАТНОЕ МЕТРО ГОРОДА БРЯНСКА». А.В. Лагереv, И.А. Лагереv, А.А. Короткий, А.В. Панфилов.
3. Афуксенов Г. А., Лагутина Е. Н. Краткий анализ видов канатных дорог, их достоинства и недостатки // Молодой ученый. — 2017. — №11. — С. 51-54. — URL <https://moluch.ru/archive/145/40539/> (дата обращения: 09.02.2020).

Новые материалы, применяемые для устройства дорожной разметки

Казак В. О., студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук,
профессор)

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Узнаем об общих понятиях маркировочных материалов, применяемых для дорожного покрытия, о видах дорожной разметки и видах ее нанесения.

С течением времени идет рост числа автомобилей и пешеходов на дорогах Беларуси. По этой причине движение автомобилей становится интенсивнее и, следовательно, не безопасным как для автомобилистов, так и для пешеходов.

На данный момент разметка дороги является основным средством обеспечения безопасности. Поэтому важно использовать для ее нанесения качественные материалы и методы. Благодаря чему увеличивается видимость разметки, ее долговечность. Номера, форма, цвет и общие технические требования горизонтальной разметки должны соответствовать требованиям СТБ 1231.



Рис. 1. Дорожная разметка

Самыми распространенными цветами для разметки считаются белый и желтый, однако в особых случаях могут использоваться и другие цвета. Разметка дороги делится на горизонтальную и вертикальную. Горизонтальная разметка может быть, как временной, так и постоянной. Временная разметка используется при дорожно-строительных работах ровно до того момента пока они не прекратятся. Разметка дороги должна обладать хорошей видимостью и износостойкостью в течении одного года после чего разметку необходимо обновить.

Стойкость разметки зависит не только от вещества, из которого она состоит, но и от интенсивности движения, ширины проезжей части, наличия искривлений и разворотов на автодороге, назначений линий разметки, погоды.



Рис. 2. Дорожная разметка при плохой погоде

Дорожная разметка используется на дорогах с интенсивностью движения 1000 и более автомобилей в сутки, а также на дорогах с регулярным движением транспорта. Разметка может применяться на других дорогах и территориях, когда это необходимо для требуемого уровня организации движения и обеспечения безопасности.

Общие понятия о маркировочных материалах

Для разметки применяют различные материалы: краски, устойчивые к износу, термопластики, спрей-пластики, ленты из термопластика, холодные пластики, иногда керамическую и клинкерную

и другие материалы. Одними из самых популярных разметочных материалов остаются термопластики и краски.



Рис. 3. Нанесение дорожной разметки

Термопластики и краски различаются не только химическим составом, но также технологией и применением, а также продолжительностью нанесения разметки. Для разметки применяют различные материалы: краски, устойчивые к износу, термопластики, спрей-пластики, ленты из термопластика, холодные пластики, иногда керамическую и клинкерную и другие материалы. Одними из самых популярных разметочных материалов остаются термопластики и краски. Химический состав определяет способ нанесения и стойкость разметки. Обычно разметочный материал — это система, состоящая из 4-6 компонентов, включая пигмент, наполнители, полимеры, пластификаторы, специальные добавки, растворители. Любой из них выполняет главную функцию, но основным из них, показывающим стабильность, стойкость конструкции и, в итоге долговременность разметки, остаются полимер-связующие.

В соответствии от техники нанесения разметочные материалы подразделяются на две группы. К первой группе относятся материалы применяемые при нанесении разметки в холодном состоянии при температуре окружающей среды. Это эмали и краски на основе органических растворителей, краски на воде и холодные пластики. Ко второй группе относятся те материалы, которые наносятся горячим способом, включают термопласты, аэрозольные пластмассы и термопластические ленты, которые сцепляются с покрытием под

действием газовой горелки. Температура воздуха при нанесении разметки не должна быть ниже 5 градусов и превышать 35 градусов.

Существует 2 вида разметки: горизонтальная и вертикальная.

Срок эксплуатации дорожной разметки варьируется от одного сезона до года и зависит от материала разметки. Основным материалом с безопасной эксплуатацией и удобным нанесением является лакокрасочный материал. В местах где требуется большая износостойкость, таких как пешеходные переходы лучше всего использовать холодные пластики, так как срок их службы от двух и более лет. Для улучшения стойкости дорожной разметки на автомагистралях с большим потоком машин используются материалы, которые используются при технологии нанесения горячим способом.

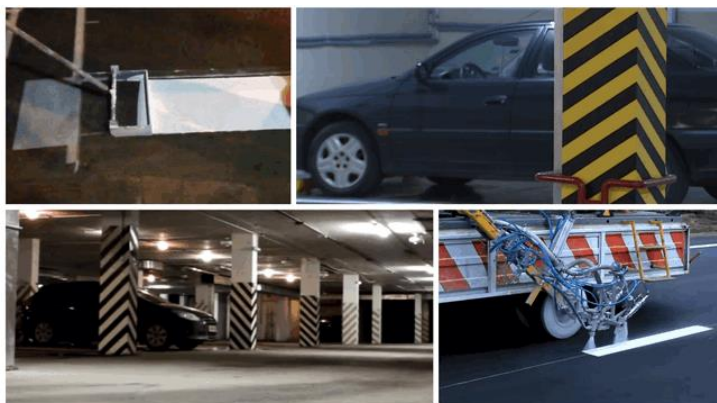


Рис. 4. Вертикальная и горизонтальная разметка

Световозвращающие материалы

Наиболее важным качеством разметки остается ее хорошая видимость в любое время суток и при любой погоде. Из-за этого снижается риск возникновения дорожно-транспортного происшествия. Хорошая видимость обеспечивается при эксплуатации современных лакокрасочных материалов, таких как светоотражающие материалы в разметке дороги. Один из них - отражающие стеклянные микросферы (СМШ). СМШ используется в сочетании с другими материалами для увеличения заметности разметки, особенно ночью, в плохую погоду, когда снижается видимость. Отражающие качества

СМШ обуславливаются преломлением света стеклянных микросфер, которые расположены на поверхности разметки, и отражается под другим углом, так что свет находится в поле зрения водителя.

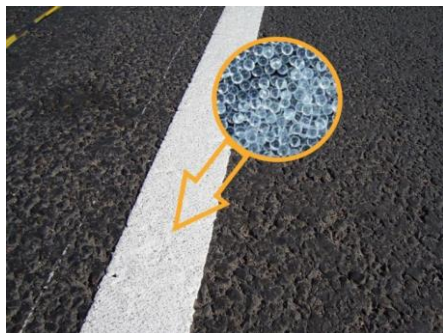


Рис. 5. Отражающий материал(СМШ)

Для того, чтобы достичь максимально возможного результата стеклянные микросферы изготавливаются полностью прозрачными и (в идеале) без пузырьков газа. Чтобы свет отраженный шариком в наибольшем количестве попал в глаза водителю, шарики располагают наполовину возвышающимися над поверхностью разметки. Чтобы шарики хорошо держались в разметке их покрывают специальным гидрофобным материалом, который неплохо удерживает их на месте. Однако, если шарик выйдет из разметочного слоя более чем на половину, его легко собьет колесо машины. Следовательно, когда шарик полностью погружен в разметочный материал его отражающие способности резко падают. Толщина застывшего слоя краски на разметке – 150-300 мкм. Размер шаров должен соответствовать этому значению, так как для их эффективного и длительного действия шары должны быть как минимум в двух слоях.

Материалы для нанесения дорожной разметки холодным способом

Эмаль ЭП-5155 до 1990 года была основным средством для разметки дорог. Большинство красок и лаков были привезены с других стран. Даже сейчас эта же эмаль используется для временной разметки дорог при строительстве. Так как ее характеристики все еще подходят для разметки. Из-за того, что в составе эмали присутству-

ет большой процент растворителей и полимеров, сама эмаль обладает недостаточной светостойкостью, износостойкостью и губительно влияет на окружающую экологию.



Рис. 6. Нанесение дорожной разметки холодным способом

Краска водостойкая маркировочная дорожная (ВМД)

Для создания новой краски, производитель лакокрасочных материалов использует акриловые сополимеры как связующее при низком содержании органических растворителей.

Так как разметка дороги должна отличаться износостойкостью были проведены испытания для мониторинга состояния новой краски по истиранию со временем.

Из-за введения в краску акриловых сополимеров повысилась ее износостойкость до 2-10 раз, время застывания краски оставалось в пределах 80 секунд что удовлетворяет рабочим значениям, а сама краска приобретает ярко белый цвет.

Чтобы повысить видимость в темное время суток и пасмурную погоду в саму краску или на ее поверхность добавляют светоотражающие стеклянные шарики размером 70-160 мкм.

Краска ВМД начала производиться с 1998 года. Ее можно использовать как до начала эксплуатации дорожной одежды, так и после открытия транспортного движения.



Краска дорожная марка АК 539

Краска для разметки дорог применяется для нанесения линий разметки на проезжей части автомобильных дорог с асфальтовым, бетонным, или асфальто-бетонным покрытием.

Дорожная краска образует влаго-, морозо-, атмосферозносостойкое быстросохнущее покрытие.



Тара по 50кг

Рис. 7. Краска водостойкая маркировочная дорожная

Водно-дисперсионные краски для разметки дорог

Экологическая безопасность является главной характеристикой водно-дисперсионной краски для разметки дорог. Но из-за того, что краска достаточно долго высыхает и не обладает удовлетворяющей износостойкостью широкого применения она не получила. Преодоление этих минусов сделало бы эту краску лидером на мировом рынке.

В настоящий момент водно-дисперсионные лакокрасочные материалы стали удовлетворять дорожно-эксплуатационным требованиям для применения их к 1-й группе дорог. Из-а того что растворителем для таких красок является вода их нельзя хранить при низких температурах.

Холодный пластик для разметки дорог

Нанесенная любыми красками дорожная разметка в климатических условиях Республики Беларусь может служить не дольше одного года.

Для того чтобы повысить износостойкость краски нанесенной холодным методом до 2-ух лет и более применяется холодный пластик. Холодный пластик- это двухкомпонентная система вторым компонентом которого является отвердитель который поставляется отдельно, он вводится непосредственно перед нанесением краски.

Чтобы нанести краску холодным способом необходимо чтобы в машинах стоял специальный узел который будет перемешивать отвердитель с полимерными композициями. Важно чтобы раствор не оставался в узле. Чтобы это не произошло, работы ведутся в ручную, это может быть разметка пешеходных переходов, нанесение стрелок по трафарету мастерком.

Для того чтобы нанести разметку должны быть соблюдены некоторые условия: температура окружающей среды 5-40 °С, относительная влажность воздуха до 85%.

Для того чтобы в темное время суток и плохую погоду повысить видимость разметки необходимо добавить стеклянные микрошарики.



Рис. 8. Нанесение холодного пластика

Материалы для нанесения дорожной разметки горячим способом

Для разметки дорог используются не только краски, но и современные лакокрасочные материалы. Одним из главных их преимуществ перед красками является то, что толщина их нанесения увеличивается до 4 см, что продлевает срок службы разметки до нескольких лет.

Из-за того, что толщина разметки увеличивается в несколько раз сама разметка становится намного дороже примерно в 4-5 раз. Поэтому лакокрасочные материалы применяют только тогда, когда необходима разметка на участках дороги с большой интенсивностью движения.

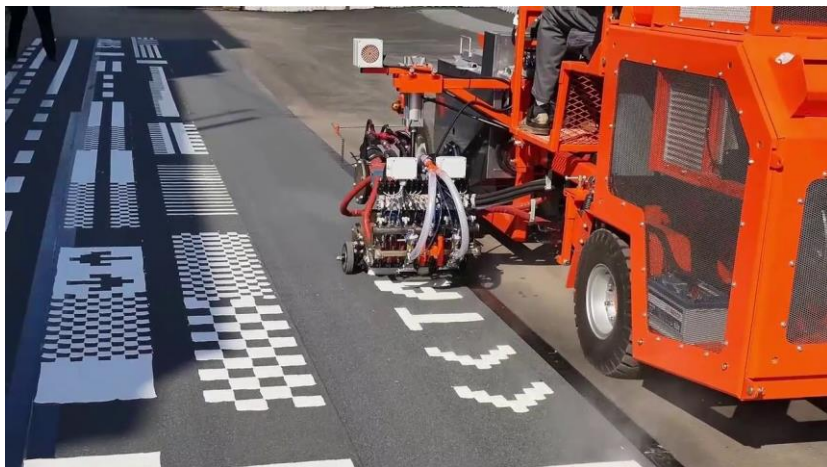


Рис. 9. Нанесение дорожной разметки горячим способом

Самым главным преимуществом перед холодным нанесением разметки является то что разметку не нужно наносить в ручную, эта работа выполняется полностью специальным оборудованием. Однако при нанесении дорожной разметки горячим способом нужна с особой тщательностью следить за термометрами, которые контролируют температуру в котлах разметочных машин, так как из-за резкого увеличения температуры происходит разрушение полимеров, что приводит к ухудшению качества термопластика.

Литература

1. Группа компаний «СТИМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.stim.by/servis/dorozhnaya-razmetka.html>. – Дата доступа: 20.10.2021
2. Инфрахим [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.infracim.ru/sprav/spravochnik/srav/materialy_dlya_razmetki_dorog/. – Дата доступа 20.10.2021

Слабые грунты, их классификация и применимость в дорожном строительстве

Комаров Н.А., студент ФТК

(Научный руководитель – Бабаскин Ю.Г. канд. техн. наук,
профессор)

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Проблема в строительстве дорожных сооружений на слабых грунтах актуально и в наше время. В работе рассмотрены вопросы классификации слабых грунтов и их применение в дорожном строительстве.

Ключевые слова: слабые грунты, кавальеры, торф, детрит, ил, мергель.

По результатам зондирования (оценивается удельным сопротивлением под конусом зонда и условным динамическим сопротивлением) грунты подразделяются на: очень прочные, прочные, средней прочности, слабые. К слабым грунтам относятся связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль деформации ниже 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модуль деформации ниже 5,0 МПа). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам относят биогенные грунты (торф и заторфованные грунты, или сапропели), глинистые грунты с показателем текучести более 0,5 (табл.1).

Одним из основных показателей прочности рыхлых собственно обломочных грунтов является показатель сопротивления сдвига по крыльчатке τ_n , которое определяют расчётным путем из выражения

$$\tau_n = \frac{1}{a + bW} \quad (1)$$

где a , b – коэффициенты для основных грунтов приведены в справочных таблицах.

Таблица 1. Физико-механические свойства слабых грунтов

Грунт по содержанию органики	Разновидность грунта	Содержание органики, %	Зольность, %	Плотность частиц грунта, г/см ³	Коэффициент пористости
Органические	Торф	>60	2...20	1,4...1,6	4,0...22,0
	Торфосапропель	>60	10...40	1,4...1,6	16,0...22,0
	Детритовые сапропели	>60	10...40	1,6...1,8	12,0...16,0
Органо-минеральный	Известняковые сапропели	10...60	40...90	1,8...2,1	3,0...12,0
	Кремнезёмистые сапропели	10...60	40...90	1,8...2,3	3,0...12,0
Минеральный	Болотные мергели	<10	40	2,3...2,6	1,5...3,0
	Болотный ил	<10	40	2,3...2,8	1,1...3,0

Для определения сопротивления грунта сдвигу экспериментальным методом применяется сдвигомер-крыльчатка СК-8. Методика испытаний грунтов заключается в том, что измерительная головка прибора, заглублённого в слабый грунт, проворачивается в горизонтальной плоскости по часовой стрелке.

По мере роста угла поворота отклонение стрелки индикатора возрастает. В процессе поворота следят за стрелкой индикатора до тех пор, пока не прекратиться ее отклонение, и не начнётся спад. Обычно разрушение грунта происходит при углах поворота от 20 до 60 градусов.

По результатам испытания вычисляют сопротивляемости грунта сдвигу по формуле:

$$S_{\sigma} = \frac{M_{кр}}{K_1} \quad (2)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, значение которого устанавливается по тарированной кривой (по оси ординат откладывают показания индикатора, по оси абсцисс – $M_{кр}$);

K_1 – постоянная прибора, определяемая по выражению:

$$K_1 = 0,5\pi D^2(D/3 + H), \quad (3)$$

Здесь Н и D – высота и диаметр крыльчатки.

По классификации слабые грунты, в зависимости от содержания органических веществ, подразделяются на 3 группы:

- органические (потери при прокаливании составляет более 60%);
- органоминеральные (потери от 10 до 60%);
- минеральные (потери менее 10%).

Первые две группы относятся к биогенным. Биогенные грунты сложены остатками организмов (растений, животных, микроорганизмов), в них содержится органических веществ более 10%. Среди биогенных грунтов наибольшее распространение имеют болотные грунты (торф, сапропель, болотный мергель, органический ил), т.е. грунты, слагающие болота. Кроме того, к ним относятся известняковые и кремнеземистые породы. Торф - волокнистые, сильно сжимаемые, грунты в виде органомерной части, возникшие в результате гумификации в условиях повышенной влажности и недостатка кислорода, содержащие 50% и более органического вещества. Для торфа характерны высокая влагоемкость и влажность в естественном состоянии (обычно в пределах 150% и более). Характеристикой состава торфяных грунтов служит соотношение трех основных компонентов: волокнистых, гумусных и минеральных частиц. Содержание волокнистых частиц определяют по массе остатка при промывании на сите 0,25мм; содержание гумусных частиц - по массе вещества, прошедшего через указанное сито; содержание минеральных частиц - по массе остатка после прокаливании при температуре (800+-25) градусов. Механические характеристики этих грунтов зависят от показателей их состава (числа пластичности) и состояния (показателя текучести). При влажности соответствующей мягкопластичной консистенции и выше (показатель текучести $I_L > 0,5$), одной из основных характеристик является зольность. Их разделяют на 3 группы:

1. малазольные (верховые, зольность менее 5%);
2. средней зольности (соответствуют образованию низинного болота от 5%-20%);
3. высокозольные (минерализованные, от 20 до 40%).

По гранулометрическому составу почвообразующие породы делятся на глинистые, суглинистые, супесчаные, песчаные и торфяные. Глинистые породы встречаются ограниченно (0,4 %), преимущественно на севере Беларуси. Значительно большее распростране-

ние, особенно в пределах возвышенностей, моренных и озёрно-ледниковых равнин центральной и северной частей страны, получили суглинистые материнские породы. Самыми распространенными породами (45,6 %), являются разные по генезису супесчаные, которые встречаются по всей территории страны. Песчаные породы (21,2 %) более характерны для юга Беларуси и водно-ледниковых равнин центральной части республики. Торфяные породы (12,7 %) встречаются повсеместно, но наиболее крупные их массивы связаны с Полесьем. Распространение слабых грунтов на территории Беларуси можно проследить по эрозионным процессам.

Строительство автомобильных дорог относится к сложным технологическим процессам, на качество которых оказывает влияние множество факторов. Основными из них являются природно-климатические и грунтово-геологические условия. Грунтовые слои различного состава и генезиса, которые в естественных условиях не получили достаточного уплотнения, принято называть слабыми. К ним относятся водонасыщенные и сильно сжимаемые грунты, которые при приложении нагрузок на основание теряют свои прочностные свойства, уменьшается их сопротивление сдвигу, сцепление, возрастает сжимаемость. Но в условиях естественного залегания способны воспринимать медленно возрастающие нагрузки. Непосредственно на них возводить искусственные сооружения и автомобильные дороги нельзя. Слабые грунты, независимо от разновидности, значительно влияют на надежность дорожных конструкций в целом. Влияние таких свойств слабых грунтов, как водонасыщение, высокая влажность, большая пористость и сжимаемость приводит к деформациям земляного полотна и основания.

В условиях постоянного и переменного воздействия нагрузок от движения транспорта при наличии слабых грунтов земляное полотно подвергается таким деформациям как: оползание откосов насыпи - происходит из-за разной влажности грунтов, которые имеют более низкие прочностные характеристики; сползание насыпи по косоугру при наличии наклонно расположенных и переувлажненных верхних слоев слабого грунта в основании; осадка слабого основания и выдавливание слабого грунта из-под подошвы насыпи; осадка с выпором слабого грунта из-за недолговечности конструкций, введенных на слабых грунтах; проявление деформаций.

Спрогнозировать точную работу конструкции земляного полотна со слабыми грунтами в процессе эксплуатации очень сложно, потому что она будет зависеть от постоянно меняющихся факторов, таких как осевые нагрузки, интенсивность движения, климатические характеристики, режим увлажнения, физико-механических свойств грунта.

Для обеспечения долговечности земляное полотно на участках со слабыми грунтами проектируют в виде насыпей. Требования к грунтам верхней части насыпи (рабочего слоя) и необходимое минимальное возвышение низа дорожной одежды над расчетным уровнем поверхностных и грунтовых вод, определены действующими нормативными документами.

Капитальные покрытия на насыпях, в основании которых оставлены слабые грунты, устраивают только после завершения не менее 90% расчетной осадки или при условии, что средняя интенсивность осадки за месяц, предшествующий устройству покрытия, не превышает 2 см/год.

Для решения данной проблемы существует множество инженерно-технических методов укрепления оснований автомобильных дорог.

Одной из важнейших задач технологии стабилизации и укрепления грунтов методом глубинного смешивания является получение стабильных физико-механических показателей слабых грунтов в основаниях, а также повышение их прочности и устойчивости. За счет этого должна быть достигнута требуемая проектная надежность автомобильной дороги. Высокая прочность основания позволяет увеличить срок межремонтной эксплуатации автомобильной дороги. Исследователями установлено, что при недостаточной устойчивости оснований, даже при хорошем уплотнении, высокая ровность покрытия быстро утрачивается, отсюда можно сделать вывод, что устойчивость основания напрямую влияет на ровность дорожного покрытия.

Наиболее современным и эффективным методом является укрепление слабых грунтов в основании методом глубинной стабилизации, которая представляет собой метод укрепления слабых грунтов путем добавления сухих или влажных вяжущих материалов способных связывать грунт и образовывать прочные камнеподобные массивы при этом позволяют ослабить усадки и усилить устой-

чивость насыпей для автомобильных дорог. Существуют два основных способа стабилизации грунта под насыпью:

- стабилизация колоннами,
- стабилизация массивом.

Были проанализированы методы укрепления оснований глубинной стабилизацией и обозначены их преимущества и недостатки. В результате сделаны выводы, что глубинная стабилизация обладает большими преимуществами перед другими методами, и является более современным и эффективным способом стабилизации грунтов в основании.

Технология глубинной стабилизации подразумевает смешивание вяжущего материала, подаваемого под давлением, со слабым грунтом на месте производства работ по всей ширине насыпи на всю глубину распространения грунтов или ее часть. В зависимости от вида, вяжущего и его состояния различают сухое и влажное смешивание. Учитывая, что слабые грунты, как правило, имеют повышенную влажность, то предпочтительным является применение сухого смешивания.

Укрепление может выполняться одним вяжущим материалом, комбинированием нескольких видов, вяжущим в сочетании с активными материалами и (или) инертными добавками. Вяжущие материалы могут быть гидравлическими или негидравлическими.

В качестве основных стабилизаторов могут применяться:

- цемент (марка не ниже 300);
- известь (гашеная);
- золы уноса (остатки процесса горения каменного угля, торфа и различного биотоплива);
- гипс строительный (марка не ниже Г10);
- высокоактивные и активные молотые гранулированные шлаки;
- другие инновационные добавки для стабилизации грунтов (полимерные эмульсии, битумно-полимерные композиции, водная дисперсия стирол-бутадиенового полимера и др.)

Альтернативой применения дорогостоящего цемента и извести могут стать шлаки, золы уноса и нефелиновые шламы, обладающие гидравлическими свойствами. Эти материалы являются неисчерпаемыми отходами теплоэнергетической и металлургической промышленности.

Однако технология укрепления слабых грунтов основания методом глубинной стабилизации с применением комплексных стабилизаторов требует индивидуального исследования и проектирования составов грунтовых композитов, разработки технологии использования с учетом физико-механических характеристик грунтов на объекте строительства и доступности сырьевой базы.

На основании представленных материалов можно сделать следующие выводы. Была рассмотрена классификация слабых грунтов, а также их свойства. Рассмотрены теоретические и практические методы испытания, расположение слабых грунтов на территории Беларуси и их применимость при строительстве автомобильных дорог, способы укрепления основания. Глубинная стабилизация обладает большими преимуществами перед другими методами, и является более современным и эффективным способом стабилизации грунтов в основании.

Литература

1. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. – М., 2004.
2. ТКП 200-2009. Автомобильные дороги. Земляное полотно правило проектирования.
3. СТО СРО 083-029EN-2011. Разработка и реализация методов стабилизации слабых грунтов органического происхождения.
4. ОДМ 218.2.063-2015. Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна.

Энергопоглощающие торцевые терминалы

Косухин В.

Студент 6 курса кафедры «Автомобильные дороги»
(Научный руководитель – Шишко Н.И., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

Металлические барьерные ограждения, как наиболее часто используемые технические средства организации дорожного движения (ТСОДД), устанавливаются на потенциально опасных участках автомобильных дорог для предотвращения выезда транспортных средств за пределы проезжей части или препятствия для выезда на полосы встречного движения.

В конструкции барьерного ограждения ключевую роль играет конструкция рабочего участка, которая непосредственно должна воспринимать энергию соударения при дорожно-транспортном происшествии. Однако роль начальных и конечных участков металлических W-образных ограждений не должна быть сведена только лишь к отведению и заглублению металлической балки на обочине. Возникающие конфликтные ситуации на автомобильных дорогах приводят к наезду на такого рода начальные (конечные) участки, которые не в состоянии воспринять энергию удара, удержать автомобиль в пределах проезжей части, а зачастую являются причиной прорыва ограждения в этих местах и проникновения металлических деталей в салон автомобиля.

В соответствии с действующими стандартами барьерные ограждения имеют жесткие требования к правилам их установки для корректной работы удерживающего устройства.

Металлическое барьерное ограждение имеет рабочий участок, непосредственно принимающий удар в случае аварийной ситуации, при этом его лицевая поверхность деформируется и перемещается на величину рабочей ширины.

Рабочая ширина дорожного ограждения – это максимальное динамическое боковое смещение кузова транспортного средства, находящегося в нем груза или фрагмента ограждения (в зависимо-

сти от места установки) относительно лицевой поверхности недеформированного дорожного ограждения.

Динамический прогиб дорожного удерживающего бокового ограждения – наибольшее горизонтальное смещение лицевой поверхности ограждения в поперечном направлении относительно лицевой поверхности недеформированного ограждения при наезде на него транспортного средства.

Максимальная рабочая ширина должна обеспечивать минимизацию последствий ДТП. В связи с этими положениями выработаны правила размещения рабочих участков металлически дорожных ограждений (рис. 1).

По общепринятой стандартной схеме начальный и конечный участки односторонних металлических ограждений, устанавливаемых на обочине, на протяжении не менее 8,0 м устраивают с отгоном к бровке земляного полотна в соотношении 1:20 (начальный участок) и от 1:10 до 1:20 (конечный участок) [1].

В числе перспективных решений для устройства начальных участков металлических ограждений (рис. 2) могут служить специальные конструкции – энергопоглощающие торцевые терминалы (The MASH Compliant Sequential Kinking Guardrail End Terminal (MSKT)), сочетающие в себе свойства фронтальных удерживающих устройств, которые представляют собой отдельные конструкция или части конструкции ограждения, предназначенная для удержания, гашения энергии движения автомобиля при ударе как сбоку, так и в торец ограждения под углом, близким к 90° , а также перенаправления траектории движения автомобиля.

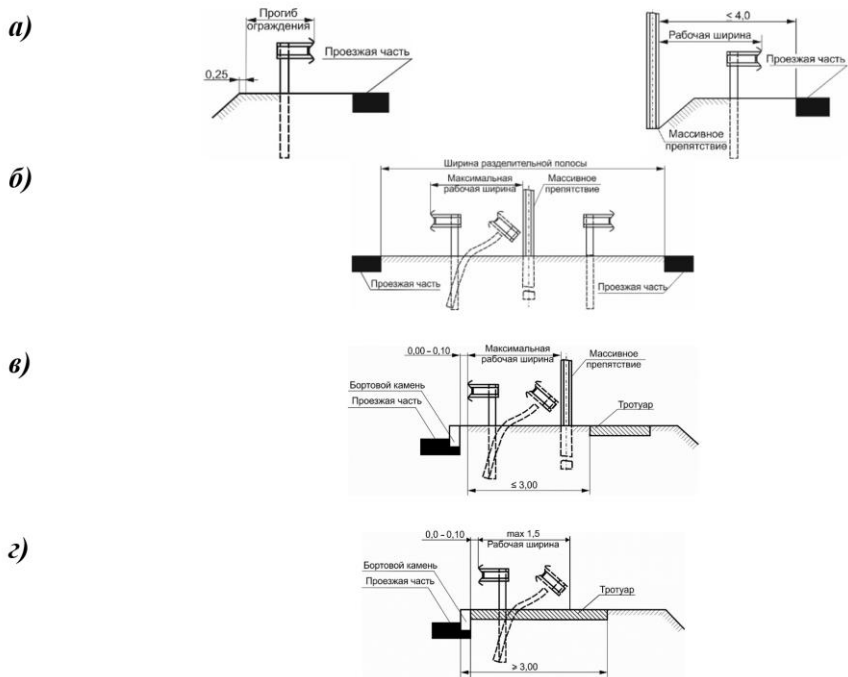


Рис. 1. Принципы установки металлических дорожных ограждений (ДО): а) - расположение и рабочая ширина ДО, установленного на обочине; б) - расположение и рабочая ширина ДО, установленного на разделительной полосе; в) - расположение и рабочая ширина ДО, установленного на боковой разделительной полосе; г) - расположение и рабочая ширина ДО, установленного на тротуаре.



Рис. 2. Внешний вид The MASH Compliant Sequential Kinking Guardrail End Terminal (MSKT)

Энергопоглощающие терминалы MSKT прошли полный этап краш-тестов и получили оценку в соответствии с Test Level 3 (TL3) AASHTO (The American Association of State Highway and Transportation Officials), которая подтверждает безопасное и эффективное использование таких устройств для групп удерживающей способности: удержание под малым углом (T1; T2; T3) и нормальное удержание (N1; N2) в соответствии с [2].

При столкновении автомобиля с энергопоглощающей конструкцией происходит отклонение W-образной металлической балки с предотвращением проникания частей барьерного ограждения в салон автомобиля. Энергия столкновения расходуется на деформацию металлической балки, при этом конструкция стоек и компенсаторов должна не препятствовать деформированию W-образной балки (рис. 3).

Основной элемент конструкции, принимающий на себя энергию столкновения – это ударная головка, особенности конструкции которой играют ключевую роль в погашении энергии столкновения (рис.4).

Энергопоглощающие терминалы MSKT состоят из нескольких уникальных компонентов, которые в совокупности обеспечивают эффективную работу удерживающего устройства: анкерный рельс с прорезями (slotted anchor rail); ударная головка (impact head); стойки на шарнирах на болтах (bolted hinged posts); опоры стальных рельс (steel line posts); анкерный кронштейн и трос (anchor bracket and cable) [3].



Рис. 3. Поврежденная W-образная балка после прохождения через ударную головку

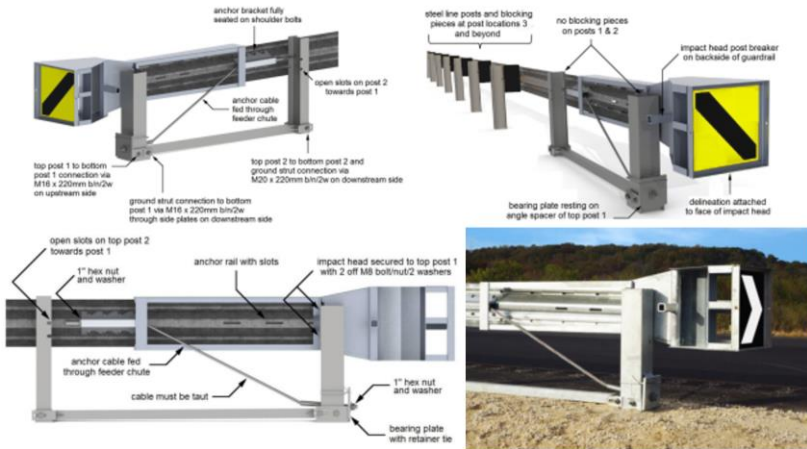


Рис. 4. Ударная головка

Литература

1. СТБ 1300-2014 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения». Госстандарт Республики Беларусь. – Мн.: 2014. – 154 с.

2. Системы дорожных ограждений. Часть 2. Барьеры безопасности. Классификация по рабочим характеристикам, приемка по ударным испытаниям и методы испытаний: СТБ EN 1317-2-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 30 с.
<https://www.safedirection.com.au/products/guardrail-products/road-barriers/guardrail-departure-terminals/>. – Date of access: 03.12.2020.

Использование сельскохозяйственных и промышленных отходов в дорожном строительстве

Кузьмич Д. В., студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Мытько Л.Р., профессор)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Основной целью исследования является оценка целесообразности использования сельскохозяйственных и промышленных отходов в качестве добавки для улучшения свойств грунтов, чтобы сделать их пригодным для дорожного строительства. Исследование описывает реакцию грунта, смешанного с промышленными отходами, такими как: летучая зола, зола рисовой шелухи и зола багассы, а также зола рисовой соломы из сельскохозяйственных отходов для повышения несущей способности грунтов.

Индия производит огромное количество различных видов отходов промышленных предприятий и сельского хозяйства. Эти отходы, если они не будут правильно храниться, могут представлять опасность и загрязнять окружающую среду. Количество образующихся отходов увеличивается с увеличением численности населения. А так как некоторые отходы не разлагаются или разлагаются достаточно долго - они накапливаются. Одно из решений этого вопроса заключается в переработке отходов в полезные продукты. Исследования в области новых и инновационных видов использования отходов постоянно развиваются. В Индии в настоящее время проводятся исследования по изучению потенциала использования некоторых местных отходов в дорожном строительстве.

Грунт

Для этого исследования используют глинистый грунт. Оптимальное содержание влаги 17%. Плотность 1.71 г/см³. Предел текучести 46%. Предел пластичности 21%. Индекс пластичности 25. Классификация грунта – глина.

Летучая зола

Летучая зола, использованная в исследовании, была доставлена с Национальной тепловой электростанции, расположенной в Газиабаде. Химические, физические и технические свойства золы зависят

от типа и источника используемого угля, способа и степени подготовки угля, очистки и измельчения, типа и работы энергоблока, сбора золы, методов обработки и хранения и т.д. Таким образом, свойства летучей золы варьируются от растения к растению и даже внутри одного и того же растения. Физические и химические свойства золы -уноса, проверенные в лабораторных условиях, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства летучей золы

Свойства	Величина	Составляющие	% от веса
Удельный вес	2.24	SiO ₂	58.78
Предел текучести	47	Fe ₂ O ₃	9.31
Предел пластичности	Не пластична	Al ₂ O ₃	26.92
Максимальная сухая плотность (г/см ³)	1.4	CaO	1.77
		MgO	0.68

Зола багассы

Зола багассы, использованная в исследовании, была привезена с сахарного завода Уттама, Деобанд, недалеко от Рурки. Зола была получена при температуре котла 750-800 °С. Зола багассы, произведенная на заводе, составляла около 2-2,5 % жмыха, используемого в котле. Физические и химические свойства, проверенные в лабораторных условиях, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Свойства золы багассы

Свойства	Величина	Составляющие	% от веса
Удельный вес	2.38		
Предел текучести	41	SiO ₂	65.27
Предел пластичности	Не пластична	Al ₂ O ₃	3.11
Оптимальное содержание влаги (%)	48	Fe ₂ O ₃	2.1
Максимальная плотность (г/см ³)	1.27	CaO	11.16
Реакционная способность извести (кг/см ²)	32	MgO	1.27

Зола рисовой шелухи

Зола рисовой шелухи представляет собой преимущественно кремнистый материал, полученный после сжигания рисовой шелухи в котле или на открытом огне. Испытание на реактивность извести,

проведенное на этой золе, показывает, что полностью сгоревшая известь проявляет большую реактивность. Эти отходы, обладающие пуццолановыми свойствами, могут быть использованы для стабилизации дорожного строительства. Для этого исследования, зола была получена из Пэдди Милла, Рурки. Она была мелкозернистая кремнистая по своей природе, легкая и серого цвета. Физические и химические свойства, проверенные в лаборатории, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Свойства золы рисовой шелухи

Свойства	Величина	Составляющие	% от веса
Удельный вес	2.17		
Предел текучести	78	SiO ₂	72.2
Предел пластичности	Не пластична	Al ₂ O ₃	5.4
Оптимальное содержание влаги (%)	75	Fe ₂ O ₃	2.1
Максимальная плотность (г/см ³)	1.9	CaO	4.1
Реакционная способность извести (кг/см ²)	25	MgO	1.7

Зола рисовой соломы

Используемая зола из рисовой соломы была получена с сельскохозяйственного поля Рурки. Удельный вес составлял 1,81, а цвет светло-серый. Физические и химические свойства, проверенные в лаборатории, приведены в таблице 4.

Таблица 4. Свойства рисовой соломы

Физические свойства		Химические свойства	
Свойства	Значения	Составляющие	% от веса
Удельный вес	1.81		
Предел текучести	-	SiO ₂	62.75
Пластиковый предел	-	Al ₂ O ₃	2.4

Оптимальное содержание влаги (%)	64	Fe ₂ O ₃	24.18
Максимальная сухая плотность (г/см ³)	1.3	CaO	2.76
Реакционная способность извести (кг/см ²)	28	MgO	5.12

Лабораторные исследования и их результаты

Влияние золы багассы, летучей золы, золы рисовой шелухи и золы рисовой соломы на геотехнические характеристики различных типов грунтов было исследовано путем проведения различных лабораторных испытаний, а именно: предел усадки, стандартный тест проктора и калифорнийского коэффициента (CBR). Испытания проводились для различных комбинаций смесей грунт-летучие золы, грунт-зола багассы, грунт-зола рисовой шелухи и грунт-зола рисовой соломы. В исследовании метод ручного смешивания был использован намеренно, чтобы лучше имитировать работу в полевых условиях. Первоначально грунт земляного полотна был высушен и должным образом измельчен с помощью шпателя, чтобы освободить грунт от комков. Для смесей летучей золы, она смешивалась с грунтом земляного полотна постепенно возрастая в значениях с 5% до 35 %. Аналогичная процедура была принята для смесей грунт-зола багассы, грунт-зола рисовой шелухи и грунт-зола рисовой соломы. Для обеспечения надлежащего перемешивания сначала на смесительный лоток был нанесен слой грунта земляного полотна, поверх которого был нанесен слой летучей золы; смешивание производилось с одного конца, чтобы тщательно перемешать все материалы. Этот шаг повторялся еще пять-шесть раз, пока смеси не станут однородными. Для всех смесей выполнялись одинаковые операции смешивания.

Испытание на предел усадки

Усыхание противоположно набуханию почвы. Почва набухает с увеличением содержания влаги и будет сжиматься с уменьшением содержания влаги. Усадка грунта может привести к серьезным повреждениям фундамента конструкции. Когда грунт более влажный, чем предел усадки, он полностью насыщен, но, когда он более су-

хой, грунт становится ненасыщенным. Грунт меняется на более светлый цвет из-за того, что в порах нет воды. Фактически, объем продолжает уменьшаться при сушке за пределами усадки, когда грунт высыхает ниже предела пластичности, он сжимается и становится хрупким, пока, наконец, все частицы не соприкоснутся, и грунт не сможет сжиматься дальше. Эта точка называется пределом усадки. На рис. 1 показано изменение предела усадки в отношении образца грунта при смешивании золы багассы, летучей золы, золы рисовой шелухи и золы рисовой соломы.

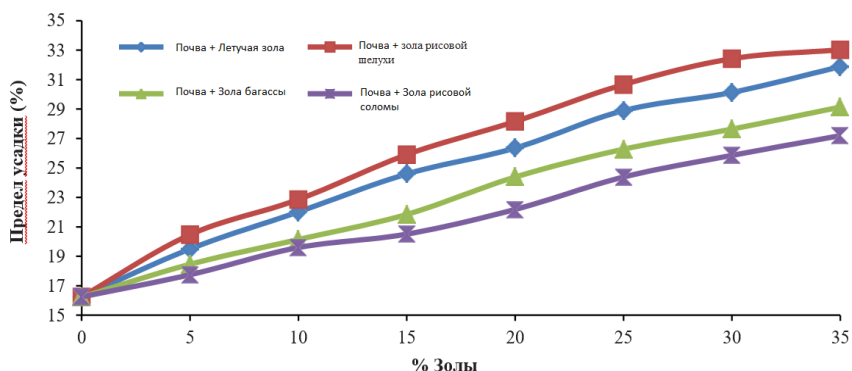


Рис. 1. Предел усадки для смешенного грунта

Добавление золы багассы, летучей золы, золы рисовой шелухи и золы рисовой соломы значительно увеличивает пределы усадки. Это увеличение было более выраженным для летучей золы, золы рисовой шелухи, смешанных с образцами почвы.

Выводы

Заметное улучшение пределов усадки наблюдалось для грунта, смешанного с летучей золой, золой багассы, золой рисовой шелухи и золой рисовой соломы. Это улучшение было более выраженным при смешивании грунта с 30 % золы рисовой шелухи.

Добавление летучей золы, золы багассы, золы рисовой шелухи и золы рисовой соломы привело к более высокому оптимальному содержанию влаги по мере увеличения дозировок стабилизаторов. Основываясь на настоящем исследовании, все стабилизаторы, а

именно летучая зола, зола багассы, зола рисовой шелухи и зола рисовой соломы достигают оптимальной прочности после 28-дневного периода твердения. Предполагается, что они могут быть использованы в качестве эффективного стабилизатора грунта, если имеются запасы в большом количестве. Результаты основаны только на лабораторных исследованиях, и поэтому дополнительно рекомендуется испытание этих материала в полевых условиях в реальных проектах строительства автомобильных дорог.

Литература

1. Basha, E. A., Hashim, R., Mahmud, H. B. and Muntohar, A. S. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, Vol. 19, 448-453.
2. Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Fairbairn, E. M. R. (2009). Effect of calcinations temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. *Construction and Building Materials*. Vol. 23, 3301-3303.

Использование беспилотных летательных аппаратов при изыскании автомобильных дорог

Кулаго Ю.В.,

студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук,
профессор)

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим беспилотные летательные аппараты, их использование при изыскании автомобильных дорог, а также виды.

Изыскания автомобильных дорог – это динамически развивающаяся система, обеспечивающая качественное проектирование и ремонт автомобильных дорог с целью осуществления различных видов перевозок.

Новый век – новые технологии. Одна из главных инноваций в мире техники – беспилотные летательные аппараты (БЛА). (рис.1).

Их главная задача – проведения разведки в труднодоступных местах, где другая техника либо обычные рабочие не могут этого выполнить.

Также беспилотные летательные аппараты помогают получить достоверные трехмерные данные подстилающей поверхности земли с целью оценки и выбора необходимых трасс для расположения всех объектов транспортных инфраструктур.



Рис. 1. Беспилотный летательный аппарат при изыскании дороги

БЛА позволяют производить мониторинг дистанционно как собственно не только автомобильных дорог, но территорий, которые прилегают к ней, чтобы получить данных со сверхвысоким разрешением.

Это достаточно бюджетный и безопасный способ обследования различных районов, периодическое наблюдение за труднодоступными местами.

В настоящее время полеты осуществляются беспилотными воздушными аппаратами, которые могут иметь максимальную массу до 30 килограммов. Изыскания проводятся в светлое время суток, высоты, на которые БПА может подниматься зависит от технических характеристик используемой модели, но, как правило это не более 150 метров от земной либо водной поверхности. (рис.2). (рис.3). Использование БЛА не заменяет остальное видеонаблюдение, используемое в качестве стационарных камер, а являются отличным дополнением ее.



Рис. 2. Проведение изысканий



Рис. 3. Проведение изысканий

Благодаря БЛА мы можем оценить транспортную обстановку на исследуемом маршруте, определить дорожную ситуацию, оценить состояние дорожных элементов, оценить метеорологические факторы данной зоны. Если имеются какие-либо проблемы, имеем возможность вызова спецтехники либо аварийных служб(рис.4).



Рис. 4. Инженерные изыскания

При изыскании автомобильных дорог используются следующие БЛА. Рассмотрим на примерах

Gemini (рис.5). — беспилотный летательный аппарат нового поколения. Он сочетает в себе высокую производительность и технологические характеристики. Время его полета достигает 40 минут, протяженность маршрута до 30 километров, камера 20 мегапикселей с разрешением 3 сантиметра/пиксель. Его стоимость начинается с 1го миллиона российских рублей.

Следующий беспилотный аппарат, о котором пойдет речь, является инновационной разработкой в России. Он был представлен в октябре 2020 года. Его уникальность заключается в том, что он стреляет дротиками, его используют как стартовую платформу лазерным дротиком, которые оснащены датчиками.

Суть состоит в том, когда организуют экологические исследования в труднодоступных местах, исследователи используют беспроводные сети маленьких датчиков с целью регистрации данных.

Поэтому был создан специальный аппарат для устранения трудностей, которые возникают при создании всей этой сложной системы.



Рис. 5. Gemini

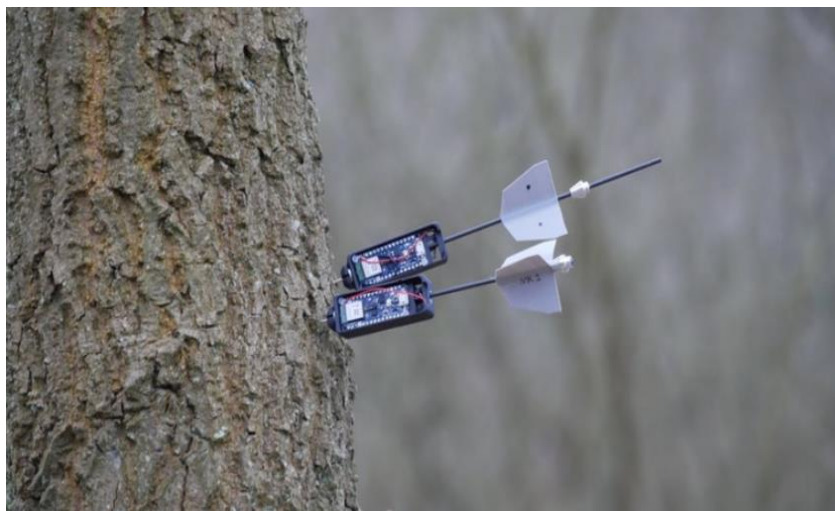


Рис. 6. Дрон, стреляющий датчиками

Данное устройство может поражать мягкие объект, находящиеся на расстоянии до 4 метров, точность при этом составляет 10 сантиметров. При этом устройство может выполнять до 17 выстрелов на одном заряде батареи.

Литература

1. Информационно-аналитический журнал и портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itsjournal.ru/articles/technologies/budushchee-bpla-v-dorozhnoy-otrasli/>. – Дата доступа: 15.10.2021.

2. Репозиторий БНТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/22927/C.%2060.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. – Дата доступа: 15.10.2021.

3. Geoscan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.geoscan.aero/ru/products/gemini?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=cid|12509620460|gid|119286867779|aid|504902565752|&utm_term=профессиональный%20бпла|b&gclid=EAIAI QobChMIk--gj_HM8wIVkMLtCh2yvW_WEAAYASAAEgKApPD_BwE. – Дата доступа: 15.10.2021.

4. Tadviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Дрон,_стреляющий_дагчи_ками. – Дата доступа: 15.10.2021.

Беспилотные летательные устройства в проектировании и строительстве мостов

Кулаго Ю.В.,

студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Рассмотрим новые технологии в строительстве мостов, как и где они применяются, а также какие они бывают.

Новый век – новые технологии. Строительство мостов, как и других транспортных объектов, не стоит на месте. Усовершенствуются технологии строительства, а также архитектурного проектирования. Появление нейронных сетей способствует развитию данных технологий. Инновации строительства и других сфер, любой желающий может лично увидеть на выставке «Expo 2020 Dubai», которая проходит в период с 1 октября 2021 года по 31 марта 2022 года. Республика Беларусь также представила свои новые технологии на данной выставке (рис. 1).



Рис. 1. Павильон Республики Беларусь на выставке «Expo 2020 Dubai»

Как же нейронные сети помогают в строительстве мостов?

Всемирная компания «Sund & Bælt», отвечающая за техобслуживание мостов, совместно с Microsoft работали над внедрением инновационного решения, сочетающего в себе гибкость дронов и силу нейронных сетей. Они используют беспилотники для полетов над мостами и создают огромное количество изображений бетонной конструкции — это метод более безопасный и быстрый, в сравнении, когда обычный сотрудник находится на огромной высоте над землей и делает данные снимки вручную. Люди, в свою очередь, используют свои знания для обучения машинного алгоритма, способного быстро и качественно работать и автоматически находить трещины на поверхности бетона, далее загружать фото в облако сети. Нейронные сети сами создадут список областей, которые могут вызвать беспокойство экспертов.

Беларусь так же внедряет новые технологии в виде беспилотных устройств.



Рис. 2. Внешний вид беспилотного устройства



Рис. 3. Турецкий разведывательно-ударный беспилотный летательный аппарат Bayraktar TB2

Наша страна серьезно продвинулась в данном вопросе: разрабатываются два новых беспилотных устройства. В 2021 году они пройдут испытания. Это беспилотные летательные аппараты компании «Байрактар», в разработке которых помогают турецкие партнеры.

Литература

1. Как искусственный интеллект, дроны и камеры обеспечивают безопасность дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/458240/>. – Дата доступа: 15.10.2021.
2. Белорусское телеграфное агентство (БЕЛТА) мостов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/society/view/beloruskie-sredstva-reb-mogut-uspeshno-rabotat-protiv-zakupaemyh-polshej-novejshih-bespilotnikov-461517-2021/>. – Дата доступа: 15.10.2021. Dubai-экспо-2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dubai-expo-2020.ru/daty-provedeniya/>. – Дата доступа: 15.10.2021.

Изучение геологического строения территории георадарным методом

Кулик А.Д., магистрант ФТК

(Научный руководитель – Бабаскин Ю.Г. канд. техн. наук, профессор)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В работе проанализирован георадиолокационный метод. В статье рассмотрена возможность использования георадара при строительстве автомобильных дорог.

Ключевые слова: георадар, геологический разрез, дорожная одежда.

Георадиолокационный метод изучения геологической среды является технологически новым методом. Несмотря на теоретические разработки, реализация перспективных научных идей оказалась возможной только на современном уровне развития технологической основы создания аппаратуры и компьютерной базы для создания систем сбора и обработки информации. В то же время, потребность в георадиолокационных исследованиях возрастает с ростом объемов строительства и расширением круга геоэкологических задач.

Высокопроизводительные, экологически чистые, неразрушающие георадарные технологии начали широко внедряться в дорожное хозяйство с конца 90-х годов прошлого столетия и нашли свое применение при изысканиях и проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог.

В настоящее время существенно возросла значимость Республики Беларусь в роли транзитного коридора между Востоком и Западом. Поэтому становится важным не только поддерживать уже существующие трассы в отличном состоянии, но и строить новые. Основное внимание уделяется улучшению транзитной привлекательности Республики Беларусь.

Предприятия отрасли делают все возможное, чтобы проезд по автомобильным дорогам республики был максимально безопасным, быстрым и более комфортным. Главные дороги республики – это визитная карточка страны, истинное достояние белорусского наро-

да, поэтому дорожники стараются не только его сохранить, но и приумножить.

Общей стратегической задачей остается приведение основных трасс в состояние, соответствующее европейским стандартам с использованием современного оборудования и технологий.

Георадиолокационное (георадарное) обследование производится при помощи специального инструмента – георадара, который представляет собой электронный прибор. С помощью георадара исследователи получают непрерывный разрез той среды, в которой производится диагностика. Глубина исследования при этом может достигать 20 метров. Запись данных экспертизы осуществляется в файл, что позволяет в дальнейшем проводить изучение и документирование материала при помощи компьютерного оборудования

Георадар – это современный геофизический прибор, предназначенный для обнаружения различных объектов в различных средах для решения инженерно-геологических программ. С помощью этого прибора изучают:

- геологические разрезы, с определением мощностей слоев и типов пород,
- производят картирование карстовых и оползневых структур;
- определение толщины и типа конструктивных слоев дорожной одежды;
- выявления дефектов в твердом покрытии;
- обследование подстилающих грунтов с выделением зон разуплотнения, повышенной влажности.

Георадары - это оборудование, которое позволяет определить внутреннее строение грунтовых сред в виде непрерывных грунтово-гидрогеологических разрезов на глубину от 0,5 до 30 м соответственно с разрешающей способностью от 0,005 до 0,5 м. При этом число буровых работ уменьшается более чем на порядок, так как производится только контрольное бурение.

При изысканиях и проектировании автомобильных дорог георадарные технологии позволяют изыскать грунтово-гидрогеологические условия местности; определить положение уровня грунтовых вод; оценить глубину водоема или реки в месте будущего мостового перехода и установить геометрические размеры дна русла; определить места размещения и размеры инженерных коммуникаций; разведать и оценить запасы полезной толщи мате-

риалов и грунтов в карьерах; оценить влияние автомобильных дорог на окружающую среду (например, при пересечении болот) и т.д.

При научном сопровождении проектов строительства автомобильных дорог с помощью георадаров можно осуществить приемку скрытых работ; разведать и определить запасы дорожно-строительных материалов и вскрышных пород в притрассовых карьерах, а также установить оставшиеся запасы полезной толщи в карьерах в ходе строительства; оценить толщину слоев вновь построенной дорожной конструкции; выполнить контроль плотности и влажности уложенных материалов; определить толщину льда на технологических дорогах и автозимниках и т.д.

При реконструкции и ремонте автомобильных дорог георадарные технологии позволяют обследовать существующие автомобильные дороги и выявить причины разрушений участков дорог; определить толщину старого покрытия автомобильной дороги под последующую регенерацию; оценить сплошность водопропускного сооружения по пути инфильтрации воды в грунте через стыки звеньев водопропускных труб.

При содержании автомобильных дорог с помощью георадаров можно определить несущую способность дорожных конструкций через толщины слоев и влажность грунтов земляного полотна; спрогнозировать положение кривых скольжения и возможное нарушение устойчивости откосов насыпей; оценить однородность грунта земляного полотна; выполнить мониторинговые наблюдения за поведением дорожных конструкций; оценить скорость промерзания и оттаивания земляного полотна в период распутицы и т.д.

Заслуживают внимания и возможности применения георадаров для решения вопросов охраны окружающей среды, к которым можно отнести оценку устойчивости оползневых склонов и эрозии почв, определение объемов загрязнения грунтов утечками из трубопроводов и битумохранилищ, а также целый ряд других решаемых задач.

Следует помнить, что геофизические, георадарные методы нуждаются в контрольном бурении, которое позволяет избежать ошибок при определении глубин заложения материалов и грунтов.

Технико-экономические расчеты показывают, что высокопроизводительные, неразрушающие и экологически чистые георадарные технологии позволяют существенно понизить строительные и экс-

плутационные расходы, в то же время значительно повышается надежность дорожных сооружений за счет увеличения достоверности исходной геологической информации.

По мнению авторов данной информации, настало время, когда георадарные работы могут включаться в каждый проект строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

Литература

1. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.
2. ТКП 45-3.03-19-2008. Автомобильные дороги. Нормы проектирования.
3. Георадар «Око-2» для обследования автомобильных дорог. Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. ООО «Логические системы». 2017. – 47 с.

Зарубежный опыт строительства мостов в сложных грунтах

Лучковский О.А., Семерня П.А.,
студенты 3-его курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Исследование местности и анализ грунтов занимает особое место в мостостроении во Франции и Швейцарии. Многолетняя история позволила разработать эффективные методы исследования и анализа структуры грунтов.

Швейцарский опыт

Мост Унтерторбрюкке (нем.: Мост Нижних ворот) — каменный арочный мост через реку Ааре в самой восточной точке полуострова Энге в городе Берн, Швейцария, соединяющий Маттек-квартал в Старом городе с районом ШосШальде. Построенный в своем нынешнем виде в 1461-89 годах, он является самым старым из бернских мостов Ааре и был единственным мостом города вплоть до середины 19 века. Это объект швейцарского наследия национального значения.

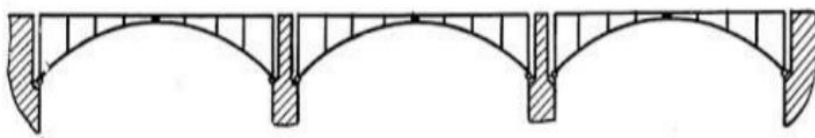


Рис. 1. Упрощенная схема моста

Многолетний мост был несколько раз перестроен и отремонтирован, в последний раз в 1982 году. Три арки с пролетами от 13 до 16 метров опираются на опоры и столбы из туфа и песчаника. Вода, проникающая через мост, все чаще приводила к повреждению сводов, которые были исправлены другим каменным материалом. Бетонная плита с гидроизоляцией защищает основание от проникно-

вения с 1980 года. Кроме того, эта плита распределяет концентрированные нагрузки.



Рис. 2. Внешний вид моста Унтерторбюкке

В качестве строительных материалов использовались юрский известняк и доломит, тогда как для украшения стен моста использовались миоценовые песчаники. Каменоломни Остермундиген, расположенные недалеко от Берна, действовали с 15 века. В настоящее время на стенках этих мостов образуются пятна минеральных осадков. Осадки имеют форму концентрических кругов вдоль первоначальных пластин песчаника. Грунт в основании моста состоит из 5 основных составляющих: подзолистые почвы, лесные почвы, лёсс, аллювий, рендзина.

Преимущественно мосты в Швейцарии построены в Средние века, поэтому появляется необходимость поддерживать их состояние, защищать от разрушающих действий окружающей среды и времени. В первую очередь в защите нуждаются несущие конструкции, в частности обработка грунтов и почвы. Нарботки европейских специалистов уже используются у нас.

Технология защиты представляет собой процесс замещения ионов в гидратированной оболочке на поверхности глиняных частиц грунтов. В большинстве случаев грунт представляет собой микроскопическую пленку, которая удерживается на поверхности силами химического (связная вода) и электростатического (поверхностного) взаимодействий. Таким образом, за счет сил электроста-

тического взаимодействия на поверхности частиц грунта регулярно образуется силой из отрицательно заряженных анионов, определяющих ее способность к смачиванию. Главной и заключительной операцией этой технологии стабилизации является уплотнение. При уплотнении обработанных частиц грунта происходит процесс сжатия и вытеснения связанной воды, при этом полифилизатор заполняет межзерновое пространство, прерывая таким образом капиллярный подъем воды. При правильном уплотнении грунт сжимается до состояния, когда начинают действовать силы межмолекулярного взаимодействия между частицами грунта. Как результат слой стабилизированного грунта приобретает дополнительную прочность и водонепроницаемость. Обработанный грунт становится гидрофобным и препятствует капиллярной миграции влаги, а так же гравитационному просачиванию воды через поры, а построенные из него слои имеют более высокие модули упругости и несущую способность, а так же грунт приобретает водостойкость и ненабухаемость.

Мост Тейфельсбрюкке — мост, расположенный в Альпах, в ущелье Шёлемен. Является одним из «мостов дьявола». Впервые был построен в 1230 году. После этого мост, проходящий над рекой Ройс, перестраивался много раз, но до сих пор его части функционируют в общей логистической системе региона и близлежащих территорий.

Строительство моста было затруднено из-за необычной местности. Она представляет собой Аарский массив с автохтонными отложениями. В карьере обнажаются отложения триасового и юрского периодов. Река Ройс входит в кристаллический массив Аар, а вся область представляет собой позднеальпийский речной водораздел. Из-за особенностей рельефа инженерам пришлось потратить большое количество времени на геодезические и геологические исследования местности.

Французский опыт

Виадук Мийо - многопролетный вантовый мост, построенный в 2004 году через долину ущелья Тарн около Мийо на юге Франции. Команду проектировщиков возглавляли инженер Мишель Вирложе и английский архитектор Норман Фостер. Длина его дорожного полотна составляет 2460 метров. На момент строительства Виадук Мийо был самым высоким транспортным мостом в мире, одна из его опор имеет высоту 341 метр — немного выше, чем Эйфелева

башня, и всего на 40 метров ниже, чем Эмпайрстейт-билдинг в Нью-Йорке.



Рис. 3. Внешний вид моста Тейфельсбрюкке

Перед началом земляных работ проводили дополнительные инженерногеологические изыскания грунтов для поддержки фундаментов путем разрушающего бурения на глубину до 10 м ниже самого глубокого уровня стволов свай и 15 м ниже основания фундаментных плит для опор. Поскольку мост очень чувствителен к оседанию фундамента решили использовать метод наблюдения для контроля смещения и, при необходимости, стабилизации 329 фундамента. Измерения показывают, что перемещения остались небольшими и допустимыми, особенно с точки зрения поворотов. Осадки под нагрузкой происходили не непрерывно, а поэтапно.

Основная трудность механики горных пород — получение репрезентативных образцов. Лабораторные испытания, проведенные на небольших образцах, не являются репрезентативными для масштаба всех неоднородностей в массивах горных пород (особенно направления и размера разломов), что означает, что использование таких результатов совсем не надежно.

Таким образом, общие механические свойства скального блока, которые обычно считаются изотропными, все чаще определяются полуэмпирическими методами, которые сочетают геотехнические испытания с геологическим наблюдением за образцами скважин и

существующими обнажениями (классификация RMR – rock mass rating). RMR варьируется от 0 до 105. Средние значения, зарегистрированные на участке виадука Мийо, составляют 65 для известняка и 53 для мергеля. Вдоль виадука есть три разных типа каменных оснований.



Рис. 4. Упрощенный геотехнический разрез виадука



Рис. 5. Внешний вид виадука Мийо

Первый, байосский доломитовый известняк на северном устье (C0), представляет собой очень твердую породу, но с карстами, заполненными глиной. Известняк - карбонатная порода, состоящая, главным образом, из кальцита с примесями глины и песка. В верхней части платформы, на которой был установлен плот, было определено значение RMR 70–80.

Уплотненный мергель от пирса P7 до пирса P6 составляет второй тип породы. Доломит по химическому составу представляет собой двойную углекислую соль кальция и магния $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Оползни видны на поверхности почвы из-за слоя осыпи толщиной 2 м, под-

стилаемого мягкой глиной над мергелями. В этом месте RMR равен 45.

Геттангский известняк на обеих сторонах реки Тарн от пирса P4 до упора (C0) представляет собой третий тип породы. Его RMR = 65-70.

Можно сделать вывод, что мергели менее устойчивы, чем известняк. Мергель не только имеет более слабые механические свойства, чем известняк, но также показывает большее поверхностное скольжение, которое влияет на верхнюю часть. Это причина того, что сваи в мергелях увеличены в основании и длиннее, чем сваи в известняке.

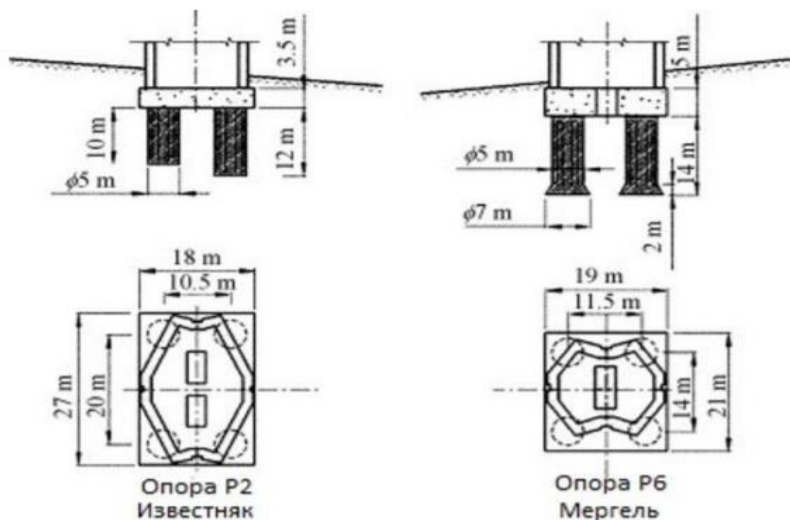


Рис. 6. Поперечные сечения опор в известняке и мергеле

Мост Нормандии является вантовым мостом, охватывающий устье Сены и присоединительный между Гавром и Онфлёром. Этот проект принадлежит Мишелю Вирлогу. Строительство моста в Нормандии было завершено 8 августа 1994 года. Длина сооружения составляет в целом 2350 м с центральным пролётом в 856 м, имеются два боковых путепровода: южный длиной 600 м и северный длиной 800 м, а ширина в 23 м достаточна для четырёхполосного движения транспорта. Мост стоит на 184 опорах. Пилоны, поддержи-

вающие проезжую часть, имеют высоту 215 м. Известняк, который может переносить нагрузку, встречается только на глубине 40 метров. Таким образом, все фундаменты опираются на бетонные сваи диаметром от 1,5 до 2,1 м и длиной до 55 м. Под северным подходом находится слой ила толщиной 4 м, что потребовало строительства временного строительного моста, с которого были выполнены все фундаментные работы.



Рис. 7. Внешний вид моста Нормандии

Разнообразие грунтов Франции и Швейцарии привело к необходимости разработки новых методов обработки и исследования грунтов. Важными аспектами строительства мостов в этих странах является анализ и подготовка грунтов, разработка и внедрение новых методов обработки грунтов.

Литература

1. Andreja Neve Repe, Ales Polijanec, Borut Vrscaj “Soil management practices in the Alps”, 24 с.
2. Elisabeth Schaber, Clements Geitner “Available spatial soil information in the Alps”, 33 с.
3. Milosz Huber, Stan Halas “Geochemical study of precipitates in the architectural surfaces from Bern, Switzerland”, 19 с.
4. Gis Sol. 2013. The state of the soils in France. A synthesis / Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, France, 24 с.

5. This synthesis is based on a document edited by the “Groupement d’intérêt scientifique sur les sols” (French Soils Scientific Interest Group): *Gis Sol. 2011. L’état des sols de France*. Groupement d’intérêt scientifique sur les sols, 188 c.

6. W. Kubiëna (1952) “The Soils of Europe”, 58 c.

Мониторинг дорожно-транспортной обстановки с использованием беспилотных летательных аппаратов

Лучковский О. А., студент 3-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Мытько Л. М. профессор кафедры
«Автомобильные дороги», канд. тех. наук)
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

На сегодняшний день существует большое количество способов отслеживания ситуаций на объектах транспортного назначения. Самым современным из них является использование беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА). Как и другие серьезные работы по внедрению в естественный ландшафт, строительные работы требуют комплексный подход к прокладке и строительству дорог, поэтому использование современных методов необходимо: БПЛА могут спланировать и проконтролировать монтаж покрытия.

По сравнению с другими секторами, отрасль строительства быстро осваивает новые цифровые технологии, все благодаря значительной долгосрочной выгоде. Некоторые строительные компании уже активно используют БПЛА. В 2018 году в этом секторе на 239 % увеличилось внедрение технологий беспилотных летательных аппаратов. В своем отчете о воздействии беспилотных летательных аппаратов PwC заявляет, что использование беспилотных летательных аппаратов на протяжении всего строительного проекта обеспечивает беспрецедентный учет всех видов деятельности; сокращает затраты на планирование и обследование; повышает эффективность и точность, устраняет споры о статусе проекта в данный момент времени.

Основные направления использования БПЛА:

1. Предварительное строительство и проектирование объектов;
2. Земляные работы на участках;
3. Техническое обслуживание и осмотр объектов;
4. Дорожная инспекция;

Беспилотные летательные аппараты в основном используются в строительной отрасли для геодезических и инспекционных целей.

Беспилотные летательные аппараты оснащены датчиками, направленными вниз, такими как RGB, мультиспектральные, тепловые или лидарные датчики, которые могут собирать большое количество аэрофотоснимков за короткое время.

Во время воздушной съемки БПЛА с помощью RGB-камеры земля, ее особенности и здания фотографируются несколько раз под разными углами, и каждое изображение помечается координатами. Во-первых, эти высокдетализированные изображения с геотегами можно использовать для объектов и проверок, например, крыш зданий или труднодоступных районов. Они также могут использоваться для мониторинга территорий на больших расстояниях, таких как ряды растительности, автомобильные и железные дороги.

Сложность и масштаб строительных работ ставят перед сферой множество проблем, которые технология БПЛА может помочь решить, включая длительные и дорогостоящие обследования, раннее выявление строительных ошибок, штрафы за несоблюдение сроков, недопонимание между заказчиком и исполнителями.

Основные преимущества использования БПЛА для строительства дорог:

1. На строительной площадке всегда есть подрядчик, инженеринговая компания, землеройная компания и ряд субподрядчиков для выполнения специализированных работ. В дополнение к участию большого количества команд, сроки поджимают и требуют часто обновляемых записей для принятия решений и согласования действий нескольких заинтересованных сторон. БПЛА позволяет оперативно решать недопонимания и отправлять информацию и отчетность о проводимых работах.

2. Точные и исчерпывающие данные об объекте. В дополнение к детальным аэрофотоснимкам, те же данные, собранные БПЛА за один полет, обеспечивают полную карту местности с точками GPS в 2D и 3D форматах. Эти карты позволяют точно измерять расстояния, поверхности, высоты и объемы. Оттуда программное обеспечение для фотограмметрии также генерирует модели рельефа, такие как цифровые модели рельефа (DTM) и цифровые модели поверхности (DSM).

3. Экономия затрат и времени. Беспилотные летательные аппараты значительно сокращают трудоемкий сбор данных в полевых условиях и связанные с этим затраты на рабочую силу. Геодезиче-

ские компании использует беспилотные летательные аппараты для предоставления точных данных съемки для строительства крупных автомагистралей, при этом не тратя лишнее время на поездки от и до объектов, не производя замеры вручную, а сразу переводят процесс в автоматический режим.

4. Улучшенная документация и более быстрая сверка с субподрядчиками. Простая и многократная съемка означает, что объект будет иметь более полную документацию на протяжении всего своего жизненного цикла. В тех случаях, когда проект продвигается поверх неисправного строительства, трудно, если не невозможно, отследить, где была допущена ошибка или кто ее допустил. Данные беспилотных летательных аппаратов обеспечивают четкую, точную и доступную для извлечения документацию на частых этапах процесса строительства. Это позволяет заинтересованным сторонам анализировать и точно определять, где произошли ошибки, и разрешать эти споры во внесудебном порядке, поскольку доказательства более ясны. Еще одним преимуществом лучшей документации является то, что собранные данные можно анализировать, извлекать из них уроки и сравнивать их в целях сравнительного анализа.

Такие организации как СМТ №8, ДСТ №5, ДСТ №6 г. Гродно, ДСТ №4 г. Брест, ДСТ №1 г. Витебск, ДСТ №2 г. Гомель и другие управления в РБ уже рассматривают варианты по использованию БПЛА. При этом СМТ №8 уже давно взяло на вооружение модель ДЛ Phantom 4 pro., например, реконструкция участка М-3 Минск-Витебск км. 57.3 — км. 65.6 (обход г.п. Плещеницы) производилась при помощи БПЛА. Так же, СМТ №5 сейчас получил в свое распоряжение модель БПЛА, что позволит улучшить качество проводимых работ.

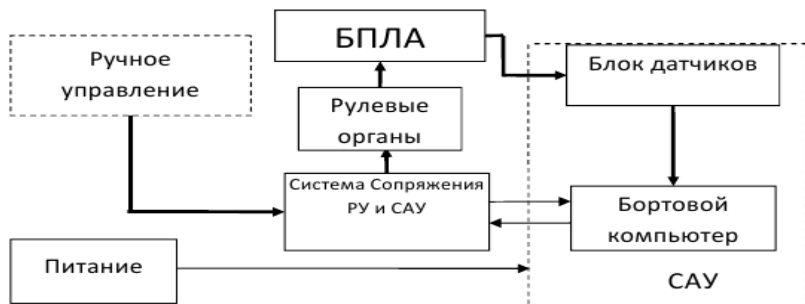


Рис.1. Схема управления БПЛА на малой высоте



Рис.2. Фото с участка М-3 Минск-Витебск км. 57.3 — км. 65.6 (обход г. Плещицы)



Рис.3. Фото модели БПЛА, используемого СМТ №8

На сегодняшний день использование БПЛА активно внедряется в самые разные сферы деятельности человека, в частности в сферу строительства. Данный способ мониторинга работ имеет как свои преимущества, так и недостатки, но активное развитие отрасли со временем улучшает ситуацию и может сгладить минусы данного способа. Исходя из вышесказанной информации, можно однозначно сказать — использование БПЛА станет нормой в строительной сфере, а так же позволит ей развиваться и улучшать качество проводимых работ.

Методы неразрушающего контроля качества дорожных одежд

Матвеевко А. С., студент 3-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»

(Научный руководитель – Мытько Л.Р. профессор)

Белорусский национальный технический университет, г. Минска

Автомобильная дорога представляет собой комплекс инженерных сооружений, в который входят земляное полотно, дорожная одежда, водопропускные трубы, мосты, путепроводы, технические средства организации дорожного движения, инженерное оборудование и обустройство, защитное сооружение.

Земляное полотно служит основанием для различных элементов дороги, распределяет нагрузку на основание. Многослойная конструкция, служащая для перераспределения давления на грунт от действия транспортной нагрузки называется дорожной одеждой. С ее помощью повышаются сроки службы автомобильной дороги.

Конструктивные слои дорожной одежды: покрытие, основание, дополнительные слои основания (Рис. 1).

Покрытие является верхней частью, воспринимающей вертикальные и горизонтальные нагрузки от движущегося транспорта. Далее нагрузка передается на нижележащее основание. О состоянии покрытия можно судить по таким показателям как ровность и шероховатость.

Основание – несущая прочная часть дорожной одежды, выполняющая те же функции, что и покрытие. Дополнительные слои предотвращают подъем грунтовых вод по капиллярам, служат в качестве дренажа или защиты от низких температур. Слои дорожной одежды укладывают на подстилающий слой. Необходимо обеспечить качественное уплотнение грунта земляного полотна и водоотвод.

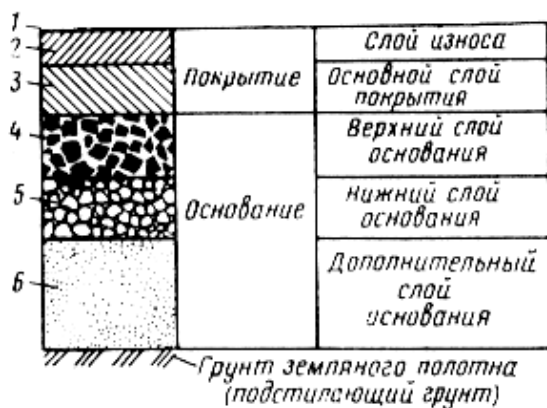


Рис. 1. Конструктивные слои дорожной одежды

В связи с тем, что состояние и срок службы дорожных конструкций напрямую зависят от качества и эксплуатационных свойств дорожных одежд и земляного полотна (Рис. 2), неразрушающие методы контроля качества дорожных одежд приобретают все большее значение. Наряду со значениями прогиба следует учитывать форму чаши прогиба и место нагружения. Скорость распространения упругих волн так же влияет на прочность слоев дорожной одежды.

При оценке прочности нежестких дорожных одежд проводят нагружение колеса автомобиля с измерением упругой вертикальной деформации рычажным прогибомером (Рис. 3). Прогибы измеряют на полосе наката через 10-15м. Измерительный стержень прогибомера должен располагаться на дорожном покрытии по центру оси автомобиля между скатами заднего спаренного колеса. Далее проводят легкие постукивания по раме прибора и записывают отсчет по индикатору. Данное действие продлевают несколько раз, результаты испытаний должны быть одинаковыми.

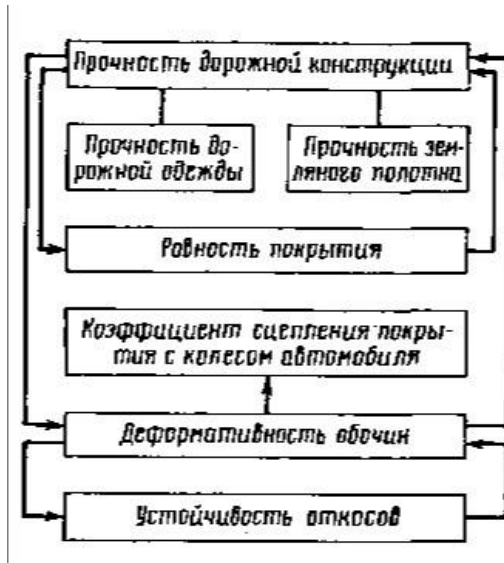
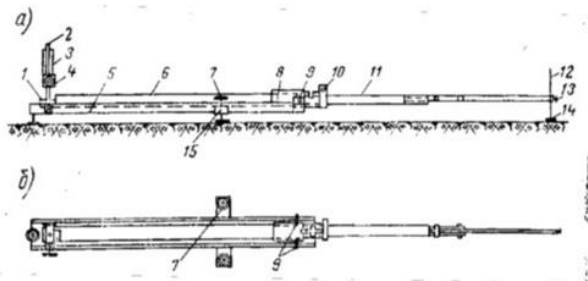


Рис. 2. Схема основных технико-эксплуатационных качеств дорожных одежд и земляного полотна



- 1 - пробка заднего плеча рычага, 2 - стойка для индикатора, 3 - индикатор,
 4 - держатель индикатора, 5 - швеллер, 6 - заднее плечо рычага, 7 - подъемный винт,
 8 - муфта, 9 - опорные винты, 10 - гайка-барашек, 11 - переднее плечо рычага,
 12 - измерительный стержень, 13 - винт-держатель, 14 - подпятник,
 15 - опорная станина.

Рис. 3. Рычажный прогибомер (а – вид сбоку; б – вид сверху).

Динамический метод контроля дорожных одежд (Рис. 4) является наиболее перспективным и распространенным методом. Он основывается на глубинных связях структуры и материалов дорожной конструкции с ее механическими свойствами. Структура и материа-

лы определяют физические свойства дорожных одежд. Так же они влияют на особенности процессов генерирования и распространения упругих колебаний. Во время испытаний прочность дорожной одежды определяют путем измерения упругого прогиба от расчетной нагрузки при статическом и динамическом нагружении. Далее рассчитывают статический модуль упругости, его значение сравнивают с общим расчетным модулем, полученного на основе требуемого статического модуля. Модуль упругости, определенный с помощью установок динамического нагружения, сопоставляют с общим расчетным модулем. Связь прогибов и модуля упругости получают на основе теории упругости. Учитывается время действия нагрузки на земляное полотно и особенности обслуживания конструкции.

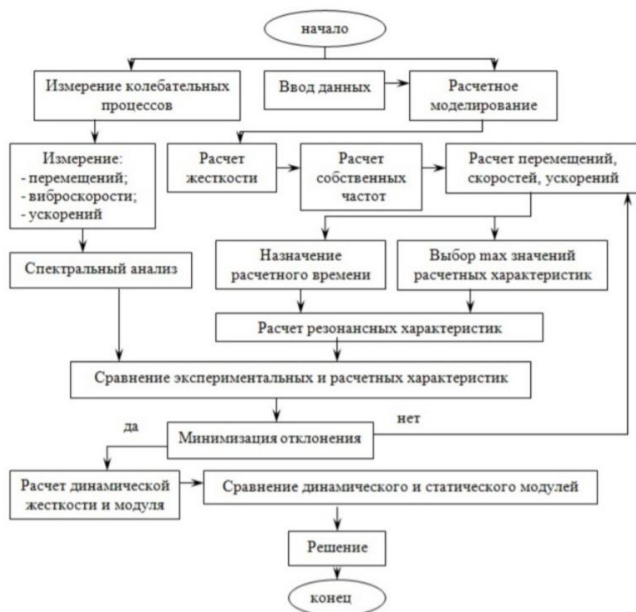


Рис. 4. Экспериментально-теоретический динамический метод контроля прочности дорожных одежд

Группы динамических методов испытания дорожных одежд:

- Испытания однократной или ограниченно повторяющейся кратковременной нагрузкой;

- Испытания многократно повторяющейся кратковременной нагрузкой;

- Испытания вибрационной нагрузкой.

Для проведения динамических испытаний в точке дорожного полотна, расположенной близко к обочине, устанавливают вибродатчик. Получают числовое значение прогиба под колесами автомобиля. Механизм образования перемещений возможно моделировать на основе изгибных колебаний балок, лежащих на упругом основании.

Различают механические и физические неразрушающие методы для контроля прочности дорожных покрытий. К механическим методам можно отнести:

- метод пластической деформации, который основывается на нанесении ударов по поверхности и регистрации диаметров отпечатков на бетоне и на эталонном стержне. Используется молоток Кашкарова (Рис. 5).



Рис. 5. Молоток Кашкарова

- метод упругого отскока, при котором специальным бойком с помощью пружины с заданной жесткостью и предварительным напряжением ударяют по концу металлического стержня ударника, прижатого другим концом к испытываемой поверхности. Происходит отскакивание бойка. На шкале прибора определяют высоту отскока.

Примерами физических методов являются ультразвуковой и радиометрический. В основе ультразвукового метода лежит измерение скорости распространения ультразвуковой волны через материал дорожного покрытия. В радиометрическом методе прибор ставят на поверхность свежеуложенного бетона, открывают замковое устройство и вводят иглу перфоратора на нужную глубину. После замеров иглу вводят в прибор до защелкивания замкового устрой-

ства и производят контрольный замер. Достоинством Физических методов является то, что с их помощью можно определить прочность глубоких слоев бетона.

Подводя итоги, динамические методы используют математические модели деформирования дорожных конструкций, результаты измерений получают с различной точностью, небольшая стоимость проведения испытаний и не требуется использования сложных измерительных приборов. Во время статических испытаний продолжительность нагружения не соответствует реальной ситуации, когда автомобиль действует на дорожные одежды кратковременно, в то время как динамические методы оценки прочности этим условиям в большей степени соответствуют.

Литература

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ngspl.by/page/41> – Дата доступа: 27.10.2021

2. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/34tvn113.pdf> – Дата доступа: 27.10.2021

3. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroypofile.com/archive/3705> – Дата доступа: 27.10.2021

4. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/2-23179.html> – Дата доступа: 27.10.2021

Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5616022/page:90/> – Дата доступа: 27.10.2021.

Цветные асфальтобетонные покрытия

Махнач А.М., Цухло А.А., студенты группы 11403217
(Научный руководитель – Гатальский Р.К., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

На данный момент в сферах строительства и дорожного строительства появилась тенденция к улучшению наружного вида дорожного полотна, приданию ему колорита и эстетичности. Широкую популярность сейчас приобретает цветной асфальтобетон, однако он пока употребляется для асфальтирования местности больших компаний и предприятий, либо на приусадебной территории пригородных домов.



Рис. 1. Участок дороги с асфальтобетонным покрытием красного цвета

Цветной асфальт (цветная асфальтобетонная смесь по-другому) – это искусственный материал для строительства дорог, композитного состава, который состоит из минерального наполнителя (щебень или гравий, минеральный порошок и песок), вещества органического вяжущего (светлого, тёмного, бесцветного) и, важным компонентом для него, окрашивающей составляющей. Отличием цветного асфальта от обыденного серого, является лишь множество разных оттенков. При помощи цветной пигментации, асфальт возможно окрасить в абсолютно любой цвет – от белого до сиреневого.

Состав цветного асфальтового дорожного покрытия

Состав цветного асфальтобетона значительно идентичен с составом привычного нам асфальта, посредством чего эксплуатационные свойства покрытий различных цветов фактически не отличаются характеристикам сероватого либо темного дорожного полотна. И при всем этом состав зеленого асфальта может быть не таким, как состав асфальта иных цветов

На данный момент существуют 3 основных отличия в составах цветного и обычного асфальта – это тип наполнителя, вяжущее вещество и окрашивающий пигмент.

Вариантов происхождения окрашивающих пигментов два: органического либо неорганического. Предпочтительнее у заказчиков неорганические пигменты, поскольку они отличаются более долгим сроком службы и более низкой ценой.

От желаемого результата цветного асфальта зависит и выбор окрашивающего элемента. Если взять такой пигмент как диоксид титана, получится белый цвет, свинцовый крон – желтый, с оранжевым кроном мы получим оранжевый, а оксиды железа и хрома дают нам возможность получения темных вариантов красного и зеленого соответственно.

Черный нефтяной битум является основным вяжущим в асфальтобетоне, который мы привыкли обычно использовать для строительства. Но с помощью данного компонента проблематично окрасить асфальтобетонные консистенции в яркие цвета. Чтобы решить этот вопрос, для цветного асфальта употребляют такие вещества, как нефтеполимерная и термопластичная смолы, осветленное вяжущее на основе битума, органические светлые или вовсе специальные бесцветные вяжущие.

Как мы теперь понимаем, цвет асфальта зависит от типа вяжущего. К примеру, для приготовления цветного асфальта можно применить готовое бесцветное вяжущее испанского производства «Рекофал», которое все чаще используется в последнее время. Его можно окрасить в любой вариант цвета из палитры с помощью добавления красящего пигмента. Такое вяжущее вещество имеет гранулированную форму, темную либо светлую окраску, или вовсе может быть прозрачным. Вяжущее марки Sealoflex® Color — материал, изготовленный из масел, полимеров и технологических добавок. Он используется с пигментом желаемого цвета. Товар не наносит ущерба окружающей среде и не угрожает здоровью людей.

Продукт STARCOLOR®M-S – это уже окрашенное или прозрачное термопластичное вяжущее, которое используется вместо битума в асфальтобетонной смеси. Также как и другие вяжущие, оно используется вместе со специальными пигментами, для достижения необычного цвета. А для решения самых непростых и нестандартных задач, в ассортименте компании Star Asphalt имеются любые цвета.

Минеральный наполнитель в цветном асфальте обязан иметь оттенки, который не помешает колоризации консистенции. Вероятные варианты минерального наполнителя: гравий, щебень кварцитовый, кирпичный щебень, щебень керамический, минеральный порошок, песок, мраморная крошка.

И при всем этом стоит учесть, что цвет наполнителя обязан находиться в одной цветовой палитре с окрашивающим пигментом, если стоит цель достигнуть наибольшей однородности. Когда минеральный наполнитель и цветной асфальт будут схожего цвета, то даже при стирании верхний слоев полотна о однородности материала можно не беспокоиться, она останется такой же.

Методики оформления дорожного покрытия в цвет

Для создания цветного асфальтобетонного покрытия используются разные методы.

Покрытие цветным щебнем и покраска шоссе термопластиком или холодным пластиком, специальной краской – варианты с наиболее низкой стоимостью, они, как правило, не практичны и не долговечны, так как краске свойственно стираться, а щебень при интенсивном использовании изнашивается. Срок эксплуатации дорожного полотна, покрытого специальной краской, сокращается в двое, при воздействии естественных условий, так как краска держится не более 3-х лет.

Более высококачественными являются такие покрытия для дорог, как мощение дороги цветными элементами, например, тротуарной плиткой и цветное асфальтирование. Первый вариант не подходит для магистралей, зато популярен для мощения небольших территорий – тротуар, пешеходные зоны в парках, площади, скверы. А уже для таких масштабных объектов как автомагистраль, наиболее качественным и долговечным вариантом является цветной асфальтобетон.

Приготовление цветного асфальтобетона

Добавление других компонентов на определенных этапах создания цветного асфальтобетона – вот основное отличие его от изготовления асфальтобетона серого или черного цвета.

Область применения

Имеется статистика, которая говорит о уменьшении аварийных ситуаций на дорогах с цветным покрытием, исходя из этого такой вариант строительства дорог получил большую популярность в странах запада. При насыщенном потоке автомобилей, броский цвет дороги или элементов дорожной разметки помогает ориентироваться как водителям, так и пешеходам.

Использовать цветное асфальтобетонное покрытие возможно при разметке «зебр», остановок для общественного транспорта, велосипедных тректов. Еще как дополнительный источник света в тоннелях используется белый асфальт в целях обеспечения большей безопасности движения. Цветное асфальтовое покрытие применяется для разметки территорий аэропортов, вокзалов, грузовых терминалов, портов. Как мы можем понять, цветовое решение для дорожного покрытия является универсальным, так как используется не только для выполнения эстетических требований, но и помогает в решении вопросов регулирования автомобильного потока.

В Беларуси укладкой цветного асфальтобетона занимается ОДО «Автодорремонт». Но пока в России и Беларуси такое дорожное покрытие относится к декоративным продуктам, производство происходит по индивидуальному заказу и в небольших объемах, так как у него сложная технология приготовления и высокая стоимость.

Литература

1. Дорожно-строительное предприятие «ЮНИДОРСТРОЙ». Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unidorstroy.kiev.ua/wiki-asphalting/colored-asphalt.html>. – Дата доступа 16.09.2021.

2. Асфальт качество. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asfalt-kachestvo.ru/>. – Дата доступа 17.09.2021.

3. Юсиджи. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ucgrus.com/>. – Дата доступа 17.09.2021.

4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://avtdorremont.by/>. – Дата доступа 18.09.2021.

Применение габионных конструкций в дорожном строительстве

Миневич М.С., студент 4 курса
(Научный руководитель – Ходан Е.П., ст. преподаватель)
Белорусский национальный технический университет, Минск

Габионы – это конструкции из прочной металлической оцинкованной сетки коробчатой, цилиндрической или матрасно-тюфячной формы, трансформируемые в объемную конструкцию и заполняемые природным каменным материалом на месте строительства (рис. 1). Отдельные каркасы габионов монтируются в единую массивную конструкцию.

Каменный материал для их заполнения должен обладать высокой плотностью, прочностью, морозостойкостью, в особенности при использовании в ответственных сооружениях, подверженных динамическому воздействию воды. Наиболее предпочтительны магматические горные породы.

При заполнении каркасов коробчатых габионов крупные камни должны находиться по краям каркаса, а более мелкие в средней части короба (рис. 2).

Матрасно-тюфячные габионы, а в ряде случаев и коробчатые габионы, применяются для площадочных покрытий, предназначенных чаще всего для защиты от различных видов эрозии и склоновых процессов. Их также используют в качестве основания для сооружений из коробчатых габионов. В этом случае они выполняют функции защитного фартука, предохраняющего основание конструкции от размыва.

Цилиндрические габионы используются обычно при создании подводных фундаментов сооружений из коробчатых габионов.

Габионные конструкции могут применяться для защиты, стабилизации и укрепления грунтов от эрозии, армирования грунтов, укрепления склонов и откосов, устройства подпорных стенок, для строительства противоподавковых сооружений и других целей. Также они являются прекрасным ландшафтным дизайном, который способствует сохранению целостности и живописности ландшафта.

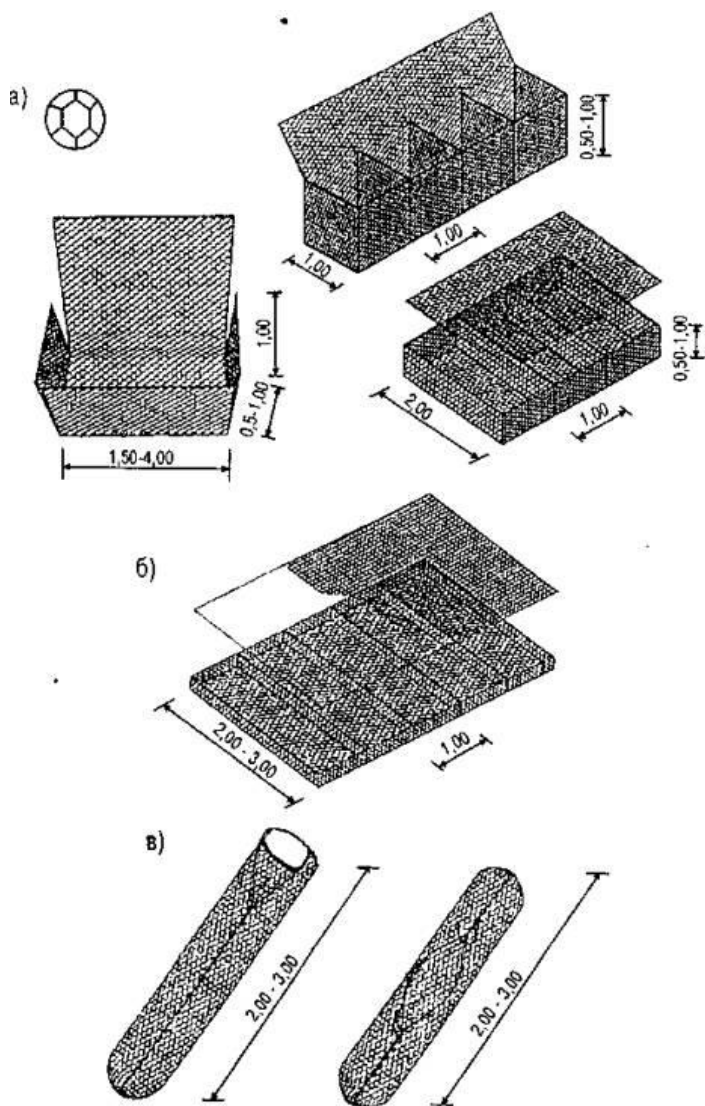


Рис. 1. Типы арматурно-сетчатых каркасов:
 а – коробчатые; б – матрасно-тюфячные; б – цилиндрические

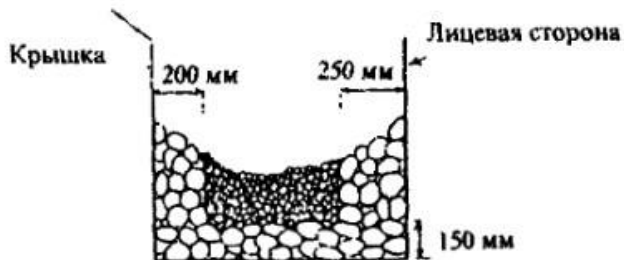


Рис. 2. Схема заполнения коробчатых каркасов камнем

Подпорные стены из габионов применяют как удерживающие сооружения для укрепления откосов дорожных насыпей, усиления оползневых и обвальных участков, неустойчивых склонов на слабых грунтах. Стены из габионов могут быть выполнены как с вертикальной так и со ступенчатой лицевой гранью (Рис. 3.)

В пойменных участках рек в период паводка или на участках постоянно затопленных водой для предотвращения размывов грунта земляного полотна дороги, разрушения дорожных одежд, необходимо укрепление естественных откосов (рис. 4, 5).

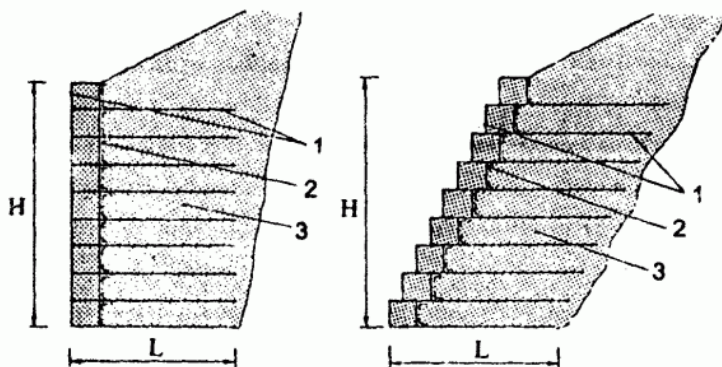


Рис. 3. Конструкция подпорной стенки из габионов:
 1 — каркас габиона с сетчатой армирующей панелью; 2 — геотекстиль;
 3 — грунт обратной засыпки

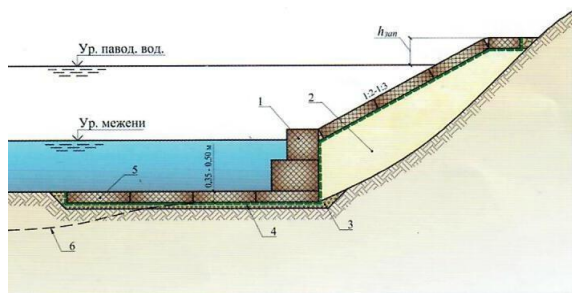


Рис. 4. Укрепление размываемого берега с помощью габионных конструкций:
 1 – стенка из габонов; 2 – насыпной грунт; 3 – подушка из щебня;
 4 – геотекстиль; 5 – крепление дна реки от размыва;
 6 – контур местного размыва

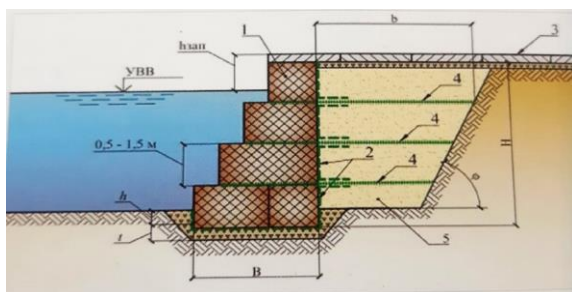


Рис. 5. Укрепление размываемого берега с помощью габионных конструкций с армированием грунта:
 1 – подпорная стенка из габонов; 2 – геотекстиль;
 3 – покрытие ; 4 – анкеровка геосеткой;
 5 – грунт обратной засыпки

Также габионные конструкции могут быть использованы в качестве противофильтрационных устройств как при проектировании нового строительства, так и при защите существующих дорожно-мостовых объектов (сооружений). Обеспечение водонепроницаемости габионных структур, применяемых в качестве противофильтрационного мероприятия в проектируемых или эксплуатируемых сооружениях, следует производить с помощью укладки под габионы водонепроницаемой полимерной пленки (защищенной с обеих сторон слоями геотекстиля), либо с помощью пропитки габионов горячей песчано-битумной мастикой (рис. 6).

В качестве альтернативы этой мастике может быть использована битумная или синтетическая оболочка, укладываемая под габионом. Она должна быть защищена от возможного повреждения при наложении двойного слоя геотекстиля.

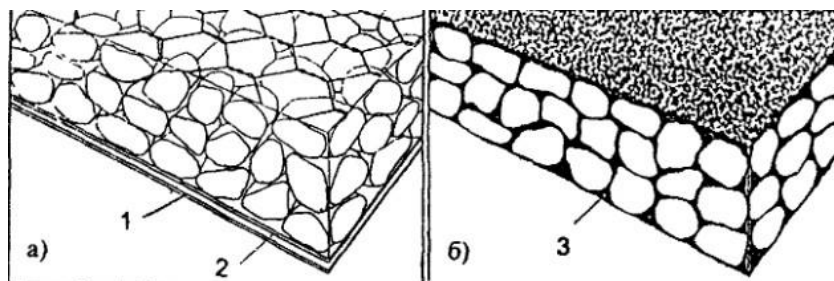


Рис. 6. Противодиффузионные и водонепроницаемые габионные строительные блоки: а - с применением мембран; б - с применением битумной мастики; 1 - геотекстиль; 2 - водонепроницаемая мембрана; 3 - битумная мастика

Габионные конструкции и сооружения целесообразны к применению при устройстве и укреплении водоперепускных и водоотводных сооружений. Быстротоки, выполненные из габионов, могут применяться не только в качестве подводящих и отводящих русел, но и в качестве самостоятельного косогорного водосбросного сооружения для отвода воды из кюветов, нагорных канав и других сооружений, и сброса ее в русла водотоков и в другие пониженные места рельефа (рис. 7).

В настоящее время габионные конструкции получили широкое применение в ландшафтном дизайне земельных участков и садов, однако мало применяются в дорожном строительстве в Республике Беларусь.

Преимущества габионных конструкций:

- высокая прочность, антикоррозийная устойчивость и длительный срок службы, гибкость сооружений (сооружения не испытывают негативного влияния от неравномерных осадок, температурных напряжений, что исключает устройство температурно-осадочных швов как в цементобетонных конструкциях);

- проницаемость сооружений для грунтовых и паводковых вод (конструкция не требует системы дренажа);

- высокая скорость монтажа (панели конструкции собираются при помощи вязальной проволоки и при необходимости закрепляются на склонах грунтовыми анкерами и не требует сварочных работ, а также опалубки).



Рис. 7. Укрепление дна и стенок кювета при помощи габионных конструкций

Несмотря на ряд преимуществ габионных подпорных стенок, они могут разрушиться, если на них будут воздействовать слишком большие горизонтальные давления. Внезапное увеличение боковых воздействий со стороны сильного течения или рост гидростатического давления в грунте обратной засыпки вокруг оснований опор, могут вызвать горизонтальные смещения смежных габионных блоков друг относительно друга (рис. 8).



Рис. 8. Разрушение габионной подпорной стенки в результате допущения ошибок при проектировании или при монтаже конструкции

Использование данного типа конструкции никак не нормируется на территории Республики Беларусь. Но возможно в скором будущем данные конструкции мы сможем увидеть чаще не только на земельных участках, но и на автомобильных дорогах Республики Беларусь, ведь габионные конструкции — это не только красиво, но и практично.

Литература

1. Иванов И.А. Технология применения габионов в современном строительстве. Учебно-практическое пособие. / И.А. Иванов. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. – 196 с.

2. Бойцов А.П. Применение новых технологий инженерной защиты на объектах транспортной инфраструктуры / А. П. Бойцов, Е. А. Коновалов // Дорожная держава. – 2020. – №100. – С. 56 – 61.

Методические рекомендации по применению габионных конструкций в дорожно-мостовом строительстве. Под общ. ред. Б.Ф. Перевозникова / ООО «Организатор». ФГУП «Союздорпроект». – М., 2001. – 267 с.

Сырьевая база Узбекистана для производства битума

Саидов Шохрухмирзо Фазлиддин угли
студент 3 курса группы 11403519 СОП ТГТУ-БНТУ г.Ташкент
(Научный руководитель – Соболевская С.Н. ст. преподаватель ка-
федры «Автомобильные дороги»)

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

С давних времен битум является одним из самых распространенных инженерно-строительных материалов. Битум (от лат. bitūmen — горная смола, асфальтовый) – это твёрдый или смолоподобный продукт, представляющий собой смесь углеводородов и их азотистых, кислородистых, сернистых и металлосодержащих производных. Может иметь природное или искусственное происхождение.

Искусственные битумы (технические битумы) – это продукты переработки нефти, каменного угля и сланцев сходны по химическому составу с природными битумами.

Промышленная добыча нефти в Узбекистане велась в Ферганской долине уже с начала XX столетия. И за пройденный период до сегодняшнего времени освоено множество месторождений. К таким относятся Хаудак, Чангырташ, Нефтеабад, Учкызыл, Андижан, Южный Алмалык, Джаркак и другие представленные на рис.1.

Известно, что нефть, добываемая в Узбекистане, является сложной смесью органических и неорганических веществ с непостоянным составом и свойствами. В связи с этим она анализируется индивидуально, согласно действующим стандартом.

В основу классификации нефти, которая бы конкретно указывала ее химический состав, было положено присутствие количественное каких-либо углеводородов в самой нефти: парафиновые нефти; парафино-нафтеновые нефти; нафтеновые нефти; парафино-нафтено-ароматические нефти; нафтено-ароматические нефти; ароматические нефти.



Рис. 1. Основные газонефтяные месторождения Узбекистана

Первый класс нефтей, который характеризуется содержанием в них более 50% парафиновых углеводородов и менее 20% твердых парафинов в маслянистых фракциях. Количество смолисто-асфальтеновых соединений в составе таких нефтей бывает ничтожно малым. В составе парафинафтенных нефтей имеется достаточное количество нафтеновых углеводородов и в небольшом количестве содержатся парафиновые; по составу в таких нефтях твердых парафинов и смолисто-асфальтеновых веществ они схожи с парафиновыми нефтями. Нафтеновые нефти характеризуются большим содержанием (приблизительно 60%) нафтеновых углеводородов, в таких нефтях в очень малых количествах содержатся твердые парафины, смолы и асфальтены.

Следующий имеет существенное отличие от других примерно одинаковым присутствием парафиновых, нафтеновых ароматических углеводородов, здесь твердый парафин не достигает 1–1,5%; однако количество смолисто-асфальтеновых веществ в составе такой нефти достигает 10%. Нафтеноароматические нефти имеют преобладание углеводородов этих классов, и по мере того, как нефть утяжеляется, процентное содержание этих углеводородов

увеличивается, а в легких фракциях данного класса твердые парафины составляют не более 0,3%; здесь содержание смол и асфальтенов в составе нафтеноароматических нефтей достигает 15–20%.

По сведениям ферганские нефти малосернистые, относятся к малосернистым метаново-нафтеново-ароматическому типу, содержат значительное количество легких фракций (65% фракций до 300 °С для отдельных нефтей). Основная масса ферганских нефтей смолистая. Причем количество высокосмолистых нефтей также значительно.

Из ферганских нефтей можно выделить два типа гудронов: маэобразные, несмотря на большую глубину отбора фракции (типа Южно-Алмалыкских), и смолистые (типа Избаскентских)

Бухарская нефть заметно отличается от ферганских нефтей повышенным содержанием серы (до 0,7%). Количество парафина в данной нефти превышает более 2,0%. По содержанию смол эта нефть может быть отнесена к смолистым, хотя в самой нефти содержится более 11% акцизных смол. В нефти содержится большое количество светлых фракций – до 300 °С отгоняется 65%, масел только 7% (маловязкие) и гудрона – 8%.

В настоящее время основными поставщиками нефти (более 80%) на Ферганский и Бухарский нефтеперерабатывающие заводы являются месторождения, расположенные в Кашкадарьинской и Бухарской областях.

В Джаркургане в основном добывают нефть из месторождений Хаудаг, Чигара и Кокайты, которая отличается большим содержанием серы, смол, парафина и малых количеств легких фракций углеводородов. В данной нефти преобладают ароматические и нафтеновые углеводороды.

Таблица 1 Общая характеристика Джаркурганской нефти

№ пп	Показатели свойств	Величина измерения
1	Относительная плотность, при 20 С, г/см ³	0,9775
2	Кинематическая вязкость, При 60 ⁰ С, мм ² /с При 80 ⁰ С, мм ² /с	222 106
3	Содержание: -серы, % масс -парафинов, % масс -смола, % масс -асфальтенов, % масс	4,03 4,6 33,09 12,4
4	Кислотное число, мнне КОН на 1 г	0,05
5	Температура застывание: -без термообработки, ⁰ С -с термообработкой, ⁰ С	+10 +14
6	Содержание хлористых солей, м ² /дм ³	2136
7	Содержание воды, % масс	0,8
8	Элементарный состав: - углерод, % масс - водород, % масс - сера, % масс - азот, % масс - кислород, % масс	83,6 10,85 4,05 0,57 0,63

Джаркурганские нефти в основном пригодны для производства битумов различных марок. Переработка таких нефтей на масла нецелесообразна из-за преобладания ароматических углеводородов в масляных дистиллятах. Даже подвергнутые глубокой очистке химическими реагентами минеральные масла будут оставаться нестабильными во всех случаях из-за их разнообразного состава. Переработка таких нефтей на товарные светлые продукты (бензин, лигроин, керосин) неэффективна из-за малого содержания их в нефтях высокой сернистости. Джаркурганская нефть характеризуется высокой обводненностью, стойкой эмульсией и трудностями ее обез-

воживания и обессоливания. Общая характеристика Джаркурганской нефти представлена в таблице 1 [1].

Литература

1. Исходные данные на проектирование и реконструкцию опытной установки по переработке Джакурганской нефти, исследование ее фракций и остатков с целью получения дорожных битумов. Научно-технический отчет. – Уфа. Башкирский НИИ по переработке нефти.1991. -68с.

Современные методы и приборы для определения параметров автомобильных дорог

Семерня П. А., студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»
(Научный руководитель – Мытько Л. М. профессор кафедры «Автомобильные дороги», канд. тех. наук)

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Современные методы и приборы для контроля продолжают делать диагностические исследования дорог более быстрыми и надежными, но они никогда не устранят необходимость в бурении, растачивании и взятии проб. Пробы нужно будет еще проверить. Для проведения контроля потребуются данные калибровки, а также необходимо будет взять образцы для лабораторного анализа.

Существует множество методов проверки толщины дорожной конструкции. Шнековый метод до сих пор используется во многих странах, но основная проблема этого метода заключается в том, что образец можно легко повредить.

Другие хорошие методы включают бурение или системы, в которых пробоотборная труба просверливается или забивается гидравлическим ударом через дорожную конструкцию.

В Швеции используется эффективный способ забить отрезанную стальную трубу в дорогу с помощью гидравлического молота. Половинки стальной трубы удерживаются вместе с помощью специального инструмента. Перед отбором проб в дорожном покрытии алмазным сверлом прodelывается отверстие.

Хороший способ взять образец из основного ряда - выкопать кусок дорожного покрытия. Это обнажит несвязанную поверхность основного слоя, и можно легко взять образец.

Во многих случаях использование экскаватора является наиболее надежным методом проверки конструкций и типа возникающей остаточной деформации.

Если дорога может быть закрыта, экскаватор будет отличным инструментом для проверки дорожных конструкций и их толщины по всему поперечному сечению дороги.

Современные методы цифрового фото и видео предоставляют несколько очень полезных инструментов для документирования дороги и ее окрестностей:

Видео очень полезно для документирования дорог и их повреждений. Одна камера снимает дорогу, а другая - окрестности, особенно водосток. Цифровые видеокамеры можно защитить от дождя и пыли в специальных боксах, которые можно установить на крышу автомобиля.

Визуальная запись дороги, например, в случае проблемы, связанной с перекрытием водопропускной трубы, имеет жизненно важное значение для правильной диагностики проблемы. Посещение, оценка и документирование фактического участка помогают в обнаружении проблем и классификации топографии в районе.

До сих пор оценка проблем с дренажем в основном основывалась только на визуальном осмотре. Хорошая система визуальной документации может помочь внешним экспертам ознакомиться с конкретными проблемами в каждом месте, даже если они не посетили этот объект.



Рис. 1. Взятие пробы при помощи спец машин

Цифровое видео является наиболее полезным и наиболее быстро растущим методом сбора данных сегодня благодаря более дешевым и качественным камерам, большей емкости и более дешевым компьютерным жестким дискам и лучшему программному обеспечению для упаковки.

Видеозапись дает непрерывную запись дороги. Он может обнаруживать состояние дорожного покрытия, повреждение покрытия, дорожную разметку, дорожные знаки и т. Д. Он также может быть очень полезным подспорьем при съемке топографии дороги и ее окрестностей. Видеозапись дороги и канав с аудиокомментариями - это простой способ собрать основную информацию для анализа дренажа.

Видео также можно использовать в процессе закупок. Видеозапись или серия фотоснимков «до и после» контракта (или субподряда или мероприятия) - хороший способ оценить успешность операций по техническому обслуживанию и контролировать дальнейшую работу.

Запись видео может производиться одновременно с другими съемками, например. Измерения с помощью георадара и лазерного сканера, а также все файлы данных могут быть связаны друг с другом. Собранные вместе, они также могут составить яркую презентацию.

Новым очень многообещающим методом съемки дорог, опробованным в проекте ROADEX, является использование современных высокоточных цифровых тепловизионных камер. Этот метод оказался особенно полезным при анализе дренажа, связанном с проектами исследования остаточных деформаций.

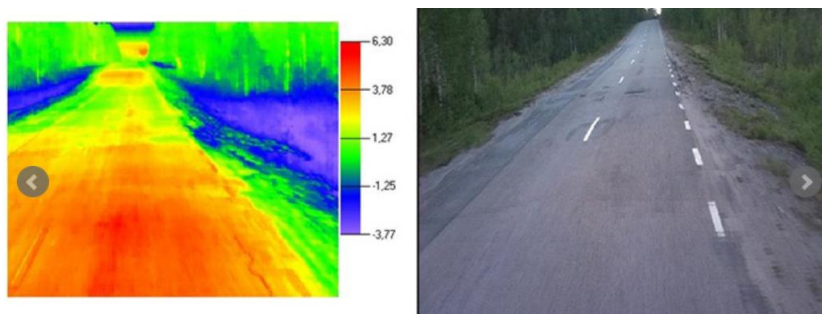


Рис 2. Видеосъемка дороги

Его можно использовать для анализа повреждений дорожного покрытия вместе с традиционным цифровым видео. В некоторых случаях он может даже обнаружить трещины, которые не видны на верхней части тротуара.

Весной и в начале лета тепловизионные камеры могут также определить участки, где под дорогой все еще присутствует мороз.

Еще более полезная функция заключается в том, что можно получить тепловое распределение поверхности дороги. Это может дать ценную информацию о любых аномалиях влажности в дорожном покрытии (например, из-за откачки, трещин или плохого дренажа).

Постоянная деформация практически не возникает, если конструкция дороги и грунт земляного полотна не содержат излишков воды. Поддержание дренажной системы дороги в хорошем состоянии является наиболее выгодным мероприятием по техническому обслуживанию, которое можно проводить на дорогах с низкой интенсивностью движения.

Строительство местных автомобильных дорог в Китае

Тан Дунян

(Научный руководитель – Мытько Л.Р., канд. техн. наук,
профессор)

Белорусский национальный технический университет, Минск

В Китае в 1949 году общая протяженность автомобильных дорог была всего 80,7 тыс. км, а плотность дорог составляла всего 0.8 км/100 км².

К концу 2008 года, общая протяженность автомобильных дорог в Китае достигла уже 3 730 тыс. км, в том числе протяженность скоростных автострад составила 60 300 км, шоссе первого класса- 54 200 км, шоссе второго класса - 285 200 км, дороги второго класса и выше занимают около 11% из общей протяженности всех дорог.

Плотность дорог увеличилась с 0.84 км/100 км² в 1949 году до 38.86 км/100 км², что означает увеличение более чем в 46 раз по сравнению с 1949 годом. [1].

По техническим требованиям автомобильные дороги Китая подразделяют:

- Скоростные автодороги (ширина 25 м)
- Класс I (ширина 25,5 м)
- Класс II (ширина 12 м)
- Класс III (ширина 8,5 м)
- Класс IV (ширина 7 м)

В зависимости от функционального назначения автомобильные дороги подразделяют:

- Национальные
- Провинциальные
- Уездные
- Городские
- Сельские
- Особого назначения

Национальные дороги в Китае обозначаются буквами:

- G - Годао (автодорога государственного значения),

- S - Шэндао (автодорога провинциального значения) и
- X - Сяньдао (автодорога уездного значения).

Быстрыми темпами растет протяженность уездных и сельских дорог и улучшается их качество. К концу 2008 года, общая протяженность местных автомобильных дорог в стране составила 3 125 тыс. км, что составляет около 84% протяженности всех дорог Китая. [2].

Учитывая большую протяженность местных автомобильных дорог, возникла необходимость повышения их эксплуатационных показателей при минимальном расходовании финансовых средств. Снизить стоимость строительства автомобильных дорог можно с использованием местных дорожно-строительных материалов и отходов промышленных предприятий.

Главной отличительной особенностью строительства местных автомобильных дорог, является широкое применение некондиционных дорожно-строительных материалов и отходов промышленных предприятий.

Для строительства местных автомобильных дорог широко используют гравийный материал некондиционного состава. Если карьерный гравийный материал не удовлетворяет требованиям оптимальной смеси, смесь обогащают путем добавления крупных зерен или мелких частиц. [3].

Практически оптимальные смеси состояются одним из следующих способов: отсевом крупных и мелких зерен, составления смеси из гравия различных карьеров или разных слоев одного карьера, добавкой к гравийному материалу крупных зерен после их дробления. Выбор способа получения оптимальных смесей обусловлен в основном экономическими соображениями и наличием оборудования.

Последовательность работ при строительстве гравийных покрытий следующая: профилирование дорожного полотна с приданием поперечного уклона 10-20‰; россыпь песка, других местных материалов или улучшение грунта земляного полотна добавками, уплотнение нижнего слоя основания, вывозка материала или россыпь непосредственно в покрытие распределителями, разравнивание первого слоя покрытия, уплотнение первого слоя, доставка и распределение материала для верхнего слоя, окончательное профи-

лирование, уплотнение верхнего слоя, досыпка и уплотнение обочин.

Для улучшения зернового состава, в гравийную смесь вводятся добавки щебня. Данное мероприятие хоть и удорожает стоимость строительства, но существенно улучшается структура покрытия, и повышаются прочностные характеристики.

Одним из наиболее распространенных методов строительства местных автомобильных дорог является устройство гравийных покрытий. Этот метод получил широкую известность, благодаря простой технологии строительства, не требуется каких-либо специальных машин, а также он самый дешевый. Для строительства дороги с гравийным покрытием, нужны самые низкие капиталовложения.

В связи с развитием базы по производству эмульсий, при строительстве и ремонте дорог с низкой интенсивностью движения могут найти широкое применение гравийно-эмульсионные смеси, позволяющие снизить затраты и решить экологические, энергетические проблемы.

Гравийно-эмульсионная смесь (ГЭС) представляет собой смесь минерального материала определенного зернового состава и катионной битумной эмульсии, полученную путем их смешения в стационарной или мобильной установке в соотношении принятых согласно утвержденному составу или технологическому регламенту. В необходимых случаях в смесь может вводиться вода, стабилизатор, цемент.

Строительство местных автомобильных дорог с покрытием из гравийно-эмульсионной смеси имеет ряд преимуществ:

- для укладки слоя ГЭС используется обыкновенные асфальтоукладчики, которые имеются в любой дорожно-строительной организации;
- гравий – самый распространенный материал, большие его запасы и невысокая стоимость, делают гравий очень привлекательным дорожно-строительным материалом;
- работы можно проводить в температурном диапазоне гораздо большем, чем при использовании асфальтобетона;
- меньше вредных выбросов в окружающую среду.

Для строительства местных дорог целесообразно использовать отходы металлургических предприятий. Побочным продуктом металлургического завода является шлак, который получается в ре-

зультате выплавки стали в дуговых электроплавильных печах. Ежегодно в отвалы поступает большое количество этих отходов [9].

Щебень, полученный из шлака металлургического завода, устойчив против силикатного и известкового распада. Марка щебня из шлака по прочности достигает более 1000. В щебне отсутствуют зерна лещадной и пластинчатой формы. Поверхность щебня шероховатая и имеет хорошую адгезию с вяжущим материалом. Шлаковый щебень пригоден для устройства покрытий и оснований местных дорог.

При необходимости слои из шлакового щебня могут быть укреплены тонкодисперсной частью шлакового материала, который обладает некоторой активностью.

Шлаки металлургического завода могут быть мелкозернистыми. Содержание частиц мельче 5 мм составляет около 60%. Такой материал для устройства дорожных оснований можно использовать в качестве смеси с гравийным материалом или после его активации. В качестве активаторов шлака могут быть использованы известь, портландцемент, жидкое стекло.

При использовании мелкого шлака, активированного известью, могут быть получены материалы с пределом прочности при сжатии до 2,0 МПа. Более высокие показатели имеет шлак с добавкой портландцемента. В результате активации шлака портландцементом могут быть получены материалы с пределом прочности при сжатии до 4,0 МПа.

Наилучшие результаты получены при использовании в качестве активатора жидкого стекла. Шлаковый материал, активированный жидким стеклом, обладает пределом прочности при сжатии до 6,0 МПа [4].

Кроме укрепления одного шлака доказана целесообразность укрепления жидким стеклом смеси шлака и песчано-гравийной смеси. Такой материал можно использовать для устройства дорожных оснований местных дорог.

Использование местных гравийно-песчаных материалов и побочных продуктов металлургического завода позволяют значительно снизить стоимость строительства местных дорог и утилизировать отходы промышленных предприятий.

Для создания твердых покрытий местных дорог с минимальными затратами можно использовать щебень, получаемый путем

дробления отработанных бетонных или железобетонных конструкций. Данный материал более дешевый, чем щебень, получаемый из гранита [5]. Отходы бетона и железобетона образуются при сносе старых зданий. Чаще всего это крупногабаритные отходы, которые дробят и получают новый строительный материал. В Китае перерабатывают более 90% отработанных бетонных и железобетонных конструкций.

В Китае широко применяется технология приготовления асфальтобетонных смесей с использованием асфальтогранулята. На основе технологии повторного использования асфальтогранулята в асфальтобетонных слоях можно достичь замкнутого цикла, при котором потребность в дефицитных и дорогостоящих новых материалах сводится к минимуму. Применение асфальтогранулята для приготовления горячих асфальтобетонных смесей в асфальтосмесительных установках, позволяет [6]:

- использовать весь снятый с автомобильной дороги асфальтобетон;
- широко применять добавки каменных материалов, битума и пластификаторов при регенерации;
- получать асфальтобетонную смесь заданного качества и укладывать ее на участках дорог с соответствующей интенсивностью движения;
- экономить энергию и материальные ресурсы на 20 - 30%.

Для строительства местных автомобильных дорог рекомендуются следующие типы покрытий:

- песчано-гравийные смеси оптимального состава;
- гравийно-эмульсионные,
- металлургические шлаки;
- песчано-гравийные смеси, укрепленные отходами промышленных предприятий;
- из горячего асфальтобетона,
- холодного асфальтобетона,
- цементобетонной смеси,
- укатываемой цементобетонной смеси,
- щебеночно-гравийно-песчаной смеси,
- из цементогранулята бетонных конструкций,
- с использованием асфальтогранулята.

Литература

1. Тан Дунян, Мытько Л.Р. Автомобильные дороги Китая. Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: Материалы Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2020.

2. Тан Дунян. Классификация автомобильных дорог Китая. Новые горизонты - 2020: сборник материалов VII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 17 ноября 2020 года / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2020.

3. Мытько Л.Р., Шумчик К.Ф. Использование промышленных отходов при строительстве внутрихозяйственных дорог // Болгарский журнал “Пътище”. – № 1, 1988.

4. Мытько Л.Р., Шумчик К.Ф., Богданович Т.К. Дорожные основания из шлака Белорусского металлургического завода Информационный листок № 161, 1988. БелНИИНТИ.

5. Возможность замены природного щебня и гравия вторичным сырьем при строительстве и ремонте дорог. (Губская А.Г., Гапотченко А.П., Сенатова К.С., Олецкая Л.П.) Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. Материалы Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2020.

Игошкин Д.Г. Энергосберегающая технология приготовления асфальтобетонных смесей с использованием асфальтогранулята // Материалы Международной научно-технической конференции. Минск: БНТУ, 2020.

Особенности классификации грунтов в стандарте беларуси и в международных системах

Толстикова Н.А., студентка ФТК
(Научный руководитель – Бабаскин Ю.Г. канд. техн. наук,
профессор)

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В данной работе представлены классификации грунтов нормативными документами: СТБ, ГОСТ, международными системами, их характеристика и сравнение классификаций между собой.

Ключевые слова: Грунт классификация грунтов, частицы, горная порода, глина.

Все грунты по генезису подразделяются на естественные и техногенные грунты. К естественным грунтам относятся магматические горные породы, осадочные и метаморфические, а к техногенным относятся уплотненные, закрепленные в естественном состоянии, насыпные и намывные грунты.

Классификация грунтов – это систематизация их разных видов по определённым признакам с присвоением каждому из них определённого обозначения. Что позволяет передать точную информацию о грунтах.

Классификация основана на разделении грунтов на таксономические единицы: класс, группу, подгруппу, тип, вид и разновидность.

Система классификаций грунтов в странах СНГ, в том числе и в Беларуси, существенно отличается от классификаций Западной Европы и северной Америки. В строительстве грунты классифицируются стандартом Республики Беларусь 943-2007 «Грунты. Классификация». Данный стандарт рассматривает следующие классы грунтов:

С жёсткими структурными связями (класс скальных грунтов).

Без жёстких структурных связей (класс нескальных дисперсных грунтов). Класс нескальных дисперсных грунтов включает в себя: осадочные, несцементированные и искусственные грунты. В этот

класс входят: крупнообломочные грунты, песчаные грунты, пылевато-глинистые грунты, обломочные пылевато-глинистые (лессовидные) грунты, озёрные грунты, биогенные (болотные, аллювиально-болотные и др.) грунты, почвы (дерновые, подзолистые и т.д.).

У крупнообломочных грунтов физические характеристики, внешний вид и классификация зависят от размера частиц. У мелкозернистых грунтов физические характеристики и внешний вид зависят от сцепления, параметров пластичности, которые непосредственно связаны с минералогическим составом и содержанием воды в грунте.

Стандарт устанавливает общую классификацию грунтов, применяемую при производстве инженерных изысканий, проектировании и строительстве зданий и сооружений и распространяется на все грунты.

Согласно ГОСТ 25100-2020 грунты подразделяются на три класса: скальные, дисперсные и мёрзлые. В отдельности выделяют класс техногенных грунтов.

К классу скальных грунтов относят грунты, у которых преобладают химические структурные связи, которые образуют два ключевых типа структур, выделенных в два подкласса – кристаллизационные и цементированные.

Дисперсные грунты разделяются на два подкласса: несвязные и связные.

Что касается класса мёрзлых грунтов, к ним относятся грунты, которые обладают криогенными связями. Грунты с криогенными связями подразделяются на три подкласса:

- скальные мёрзлые грунты, в них присутствуют криогенные связи, но преобладают кристаллизационные и цементные структурные связи;
- дисперсные мерзлые грунты с криогенными и физико-химическими структурными связями;
- ледяные грунты, структуру этих грунтов определяют криогенные связи.

Техногенный грунт: грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Система классификации грунтов AASHTO - это система, которая была создана для строительства автомобильных дорог в 1929 году Терцаги и Хогентоглером. С тех пор система классификации AASHTO несколько раз пересматривалась. В настоящее время эта система известна как «Система классификации грунтов американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO)».

Согласно этой системе гравий – это материал размером менее 75 мм (3 дюйма), но удерживаемый на сите № 10 (2 мм).

Крупный песок – это материал, проходящий через сито № 10 (2 мм), но удерживаемый на сите № 40 (0,425 мм). Мелкий песок – это материал, проходящий через сито № 40 (0,425 мм), но удерживаемый на сите № 200 (0,075 мм).

Материал, проходящий через сито № 200 (0,075 мм), является илесто-глинистым.

Чтобы определить частицы, которые составляют менее 0,075 мм необходимо провести метод испытания. То есть подготовленную пробу минерального заполнителя промывают чистой водой через сито с размером ячеек 0,075 мм. После промывки пробы минерального заполнителя, вычисляют потерю массы и рассчитывают процентное содержание частиц с размером менее 0,075 мм.

Почва является зернистым материалом, если менее 35% почвы по весу проходит через сито № 200 (0,075 мм). Гранулированные материалы подразделяются на группы А-1...А-3. Почвы, имеющие более 35% частиц, проходящих через сито № 200 (0,075 мм), являются илесто-глинистыми и попадают в группы А-4...А-7. Почвы, классифицируемые как А-1, обычно представляют собой хорошо градуированные смеси гравия, крупного песка и мелкого песка. Почвы подгруппы А-1-а содержат больше гравия, тогда как почвы подгруппы А-1-б содержат больше песка.

Почвы группы А-3, как правило, представляют собой мелкодисперсные пески, которые могут содержать небольшое количество пластичного ила. Группа А-2 содержит большое разнообразие “пограничных” гранулированных материалов, которые не соответствуют критериям групп А-1 или А-3. Почвы группы А-4-илстые, а группы А-5-высокопластичные упругие илы. Почвы в группе А-6, как правило, являются тощими глинами, а почвы в группе А-7, как правило, являются высоко пластичными глинами.

Классификационная система USCS имеет три основные группы.

Крупнозернистые почвы. В этих почвах 50% или более по массе от общего количества материала, составляет размер сита больше 75 микрон (например, пески и гравий).

Крупнозернистые почвы делятся на два подраздела:

а) гравий: в этих почвах более 50% крупной фракции (+75 мм) имеет размер сита более 4,75 мм. Это подразделение включает гравий и щебнистую почву и обозначается символом G;

б) пески: в этих почвах более 50% крупной фракции меньше 4,75 мм. Этот подраздел включает в себя пески и песчаные почвы.

Мелкозернистые почвы. В этих почвах 50% или более по массе от общего количества материала, меньше 75 микрон (например, илы и глины).

Мелкозернистые почвы далее делятся на три подраздела:

а) неорганические илы и очень мелкие пески - M;

б) неорганические глины - C;

в) органические илы, глины и органические вещества - O.

Мелкозернистые грунты далее делятся на следующие группы на основании значений предела текучести, который является показателем сжимаемости:

а) илы и глины низкой сжимаемости: имея предел текучести менее 35 и представленный символом L;

б) илы и глины средней сжимаемости: имея предел текучести больше 35 и меньше 50 и представленный символом I;

в) илы и глины высокой сжимаемости: имея предел текучести больше 50 и представленный символом H.

Сочетание этих символов указывает на тип мелкозернистой почвы.

Высокоорганические почвы и другие разнообразные почвенные материалы. Эти почвы содержат большой процент волокнистого органического вещества, такого как торф, и частицы разложившейся растительности.

В единой системе используются следующие символы для идентификации:

Классификационная система ASTM D2487 – стандартная классификация грунтов инженерного назначения (Единая система клас-

сификации грунтов) применяемая по всему миру и разрабатываемая в США.

Этот стандарт классифицирует грунты из любого географического положения по категориям, представляющим результаты лабораторных испытаний для определения гранулометрических характеристик, предела текучести и индекса пластичности. Этот стандарт дает возможность анализировать результаты полевых и лабораторных исследований, полученные для геотехнических инженерных целей.

В настоящее время нет общепринятой научным сообществом классификации грунтов, также отсутствуют единые номенклатурные построения и методические подходы. Это приводит к тому, что даже при экспериментальном подходе к систематике грунтов, исследователи применяют различные методы и критерии для классификации грунтов. При этом в классификациях, отличающихся между собой по принципиальным вопросам, часто используются одни и те же названия, что создает дополнительные трудности.

Анализируя классификации грунтов: ASTM D2487, СТБ 943, ГОСТ 25100, можно сопоставить размеры гранулометрических частиц.

Сравнение наименования грунтов по размеру частиц по двум системам приведено в табл. 1. В табл. 2 приведено сравнение наименований грунтов по содержанию глинистых частиц.

На основании рассмотренного материала можно заключить, что международная систематика грунтов очень разнообразна, что часто приводит к противоречивым выводам, сделанным на основании полученных результатов экспериментальных или лабораторных исследований.

Классификации грунтов помогают разобраться в грунте, а именно: какой это грунт, для того что бы строить различные сооружения и здания, а также подобрать подходящий материал для основания, среды или материалов. Хотя у разных стран классификация по определённым параметрам отличается, но в основном это схожие понятия, как для зарубежья, так и для Беларуси. Например в нашей стране применяются СТБ 943-2007, ГОСТ 25100-2020. Это наиболее распространенные классификации грунтов, а за рубежом – ASTM D2487 и различие в этих двух классификациях приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Наименование грунтов по размеру частиц

ASTM D 2487		СТБ 943-93 (ГОСТ 25100)	
Наименование грунта	Размер частиц, мм		Наименование грунта
Coarse Gravel (крупный гравий)	> 6	10...2	Гравий
Fine Gravel (мелкий гравий)	6...2		
Coarse Sand (крупнозернистый песок)	2...0,2	2...0,5	Песок крупный
		0,5...0,25	Песок средний
Fine Sand (мелкозернистый песок)	0,2...0,02	0,25...0,1	Песок мелкий
		0,1...0,05	Песок тонкий
Silt (ил)	0,02...0,002	0,05...0,005	Пылеватые
Clay (глина)	< 0,002	< 0,005	Глинистые

Таблица 2. Наименование грунтов по содержанию глинистых частиц

ASTM D 2487		СТБ 943-93		
Наименование грунта		Содержание глини- стых частиц, %		Наимено- вание
Sands (пески)	Sand(песок)	< 10 и обычно < 5	< 3%	Песок
	Loamy sand (суглинистый песок)	5-10	3-10	Супесь
	Clayey sand (глинистый песок)	5-10	3-10	
Sandy Loams (супеси)	Sandy loam (супесь)	10-15	10-30	Суглинок
	Fine sandy loam (мелкая супесь)	10-20		
	Light sandy clay loam (лёгкий песчаный глинистый грунт)	15-20		
Loams (суглинки)	Loam (суглинок)	около25		
	Loam, fine sandy (суглинки, мелкий псок)	около25		
	Silt loam (илистый суглинок)	около 25 с > 25% ила		
	Sandy clay loam (супесчаный суглинок)	20-30		

Таблица 3. Сопоставление размеров грунтов, определяемых по стандартам ГОСТ 25100 и ASTM D2487.

Крупнообломочные грунты																
Размер частиц, мм	800	630	400	300	200	100	76,2	63	60	40	20	19	10	6,3	4,75	2
ГОСТ	Вулканы, глыбы				Галька, щебень						Гравий, дресва					
	Крупные	Средние	Мелкие		Крупные	Средние	Мелкие		Очень крупные	Крупные	Средние	Мелкие				
ASTM	Boulders (Валуны)			Cobbles (Булыжники)				Gravel (гравий)								
								Coarse (грубый)			Fine (мелкий)					

Пески																
Размер частиц, мм	4,75	2	0,63	0,5	0,425	0,25	0,2	0,1	0,075	0,063	0,05	0,02	0,063	0,005	0,002	
ГОСТ	Песок											Пыль		Глина		
	гравелистый		крупный	средней крупности		мелкий	пылеватый									
ASTM	Sand(песок)								Silt (Ил)				Clay (глина)			
	Coarse (грубый)		Medium (средний)		Fine(мелкий)											

Классификации грунтов необходимы в любой инженерной отрасли и для строительства любых инженерных сооружений. Они позволяют объективно присвоить грунту одно и то же наименование и установить его состояние вне зависимости от того, кем и в каких целях они производятся.

Литература

1. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.
2. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.
3. AASHTO. Система классификации грунтов Американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта.
4. USCS. Единая система классификации почв.
5. ASTM D2487.
6. Моради С.Б. Анализ существующих международных систем классификаций грунтов.

Бабаскин Ю.Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна. М.: «Инфра», 2013. – 462 с.

Композитный материал для устройства покрытий автомобильных дорог

Турцевич А.А., магистрант БНТУ

(Научный руководитель – Куприянчик А.А., канд. техн. наук,
доцент)

Белорусский национальный технический университет, Минск

В ходе испытаний изучено влияние стабилизирующей добавки микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) на сдвигоустойчивость и водостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). Введение добавки повышает коэффициент внутреннего трения минеральной составляющей асфальтобетона. Добавка МКЦ имеет устойчивые связи, обусловленные хемосорбционными взаимодействиями на границе раздела фаз «битум - поверхность волокна», что увеличивает водостойкость ЩМА. Установлено, что введение добавки МКЦ существенно улучшает свойства асфальтобетона в сравнении с импортной добавкой TOPCEL, а также с традиционным асфальтобетоном типа А.

Введение

Сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий определяется пределом прочности на сдвиг верхнего слоя, степенью его сцепления с нижним слоем и общей прочностью на сдвиг перекрываемых слоев покрытия [1]. При возникновении касательных усилий от колес автомобильного транспорта на поверхности покрытия, напряжение возникает прежде всего в верхнем слое, затем при высоком граничном сцеплении эти напряжения передаются на нижний слой.

Практика эксплуатации грузонапряженных автомобильных дорог показала, что наиболее перспективно использовать ЩМА поверх цементобетонного покрытия. При этом нижний слой обладает более высокой прочностью при сдвиге, чем укладываемый новый слой, который защищает цементобетон от коррозии. Поэтому для обеспечения сдвигоустойчивости всей конструкции должно быть уделено внимание прежде всего сдвигоустойчивости верхнего слоя

асфальтобетонного покрытия и прочности его сцепления с нижним слоем.

В последнее время для верхних слоев дорожных покрытий используют ЩМА, который имеет в своем составе волокнистую добавку. Нами предлагается в качестве добавки использовать микрокристаллическую целлюлозу. Микрокристаллическая целлюлоза представляет собой низкомолекулярный тип целлюлозы [2]. Основной МКЦ является хлопковая целлюлоза, получаемая из низкосортного тонковолокнистого и средневолокнистого хлопкового сырья. Характеристики МКЦ: средний размеров кристаллов целлюлозы 80-100 мкм; зольность – 0,08-0,1 %; насыпной вес – 1,495-1,515 г/см³.

Важнейшим свойством ЩМА, предопределяющим долговечность этого материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов [3]. В наших предыдущих исследованиях [4] получены предварительные положительные результаты по применению добавки микрокристаллической целлюлозы в составе ЩМА с целью увеличения прочности асфальтобетона. Установлено, что введение в состав асфальтобетонной смеси незначительного количества МКЦ (0,25-0,35 мас.%) существенно повышает прочностные характеристики ЩМА в сравнение с традиционными добавками TOPCEL, VIATOR. В настоящей работе приводятся данные по результатам исследования сдвигоустойчивости и водостойкости ЩМА.

Определение сдвигоустойчивости

Для испытания асфальтобетона на сдвигоустойчивость были изготовлены образцы из ЩМА с добавкой МКЦ. Полученные результаты сравнивались с показателями образцов асфальтобетона, содержащих добавку TOPCEL, а также асфальтобетона типа А.

Для оценки сдвигоустойчивости ЩМА были определены максимальные нагрузки и соответствующие предельные деформации стандартных образцов при двух деформированных состояниях: при одноосном сжатии и при сжатии по схеме Маршала.

Результаты исследования ЩМА с добавками и асфальтобетона типа А приведены в таблице 1.

Коэффициент внутреннего трения щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавкой МКЦ на 14,5% выше, чем у асфальтобетонной смеси типа А и на одном уровне со ЩМА с добавкой TOPCEL. Асфальтобетон с максимальным показателем внутрен-

него трения обладает повышенной прочностью на сдвиг при высоких летних температурах, а также большой теплостойкостью.

Таблица 1. Сдвиговые характеристики ЩМА

Свойства	ЩМА с добавками		асфальтобетон
	МКЦ	ТОРСЕЛ	тип А
Коэффициент внутреннего трения	0,93	0,92	0,76
Сцепление при сдвиге, МПа	0,47	0,45	0,35

Известно, что на сдвигоустойчивость асфальтобетона влияет сцепление, обуславливаемое степенью взаимодействия минеральных материалов с битумом. Сцепление при сдвиге при температуре 50 °С у образцов ЩМА с добавкой МКЦ на 23,4% выше, чем у асфальтобетона типа А и несколько выше, чем при добавке ТОРСЕЛ.

Как было указано выше, сдвигоустойчивость покрытия из ЩМА зависит от сцепления с нижним слоем. Оценку сдвигоустойчивости щебеночно-мастичного покрытия и его сцепление в зоне контакта с нижележащими слоями в лабораторных условиях проводили на модернизированном стандартном сдвиговом приборе. Испытывались образцы из ЩМА цилиндрической формы диаметром 7,0 см и высотой 3,0 см, уложенные на цементобетон такого же диаметра. Способ изготовления образцов имитировал технологию строительства покрытий с укладкой ЩМА на затвердевший цементобетон.

Для изучения кинетики изменения адгезионной прочности производили формовку ЩМА на цементобетонное основание. Нанесение слоя покрытия на затвердевший цементобетон проводили в следующей технологической последовательности. Образец цементобетона укладывали в металлическую форму, засыпали сверху смесью ЩМА и формовали на гидравлическом прессе под нагрузкой 40 МПа. Температура ЩМА составляла 160°С.

Испытание на сдвиг составленных образцов (ЩМА + цементобетон) производили при температурах 0, +20, +50 и +75°С (см. рис. 1).

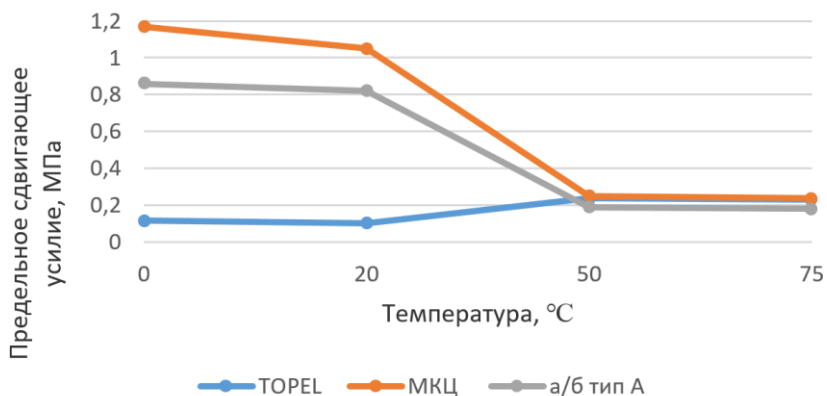


Рис. 1. График зависимости предельного сдвигающего усилия от температуры

Из графика видно, что ЩМА с добавкой МКЦ имеет преимущества по сдвигоустойчивости. Однако при нагреве покрытия выше 50 °С эти преимущества утрачиваются. Поэтому при высоких летних температурах сдвигоустойчивость будет обусловлена только свойствами самого ЩМА.

Определение водостойкости

Влияние МКЦ на водостойкость ЩМА определяли по стандартной методике. Для сравнения в составе ЩМА использовали добавку ТОРСЕЛ, а также подвергли испытаниям асфальтобетон типа А.

Набухание и водонасыщение ЩМА со стабилизирующей добавкой МКЦ находится на одном уровне с добавкой ТОРСЕЛ и меньше по сравнению с асфальтобетоном типа А. Так, после 90 суток водонасыщения набухание образцов ЩМА с добавкой МКЦ увеличилось на 54,2%, с добавкой ТОРСЕЛ- на 56,6% соответственно, а асфальтобетона типа А - на 69,2 %. У образцов ЩМА с добавкой МКЦ показатель водонасыщения после 90 суток испытания увеличился на 24,7%, с добавкой ТОРСЕЛ - на 25,5%, а образцов асфальтобетона типа А - на 48,6%. Результаты представлены на рисунках 2 и 3.

Меньшие показатели набухания и водонасыщения образцов ЩМА, в состав которых входит стабилизирующая добавка МКЦ, свидетельствует о том, что плёнки битума на поверхности исследу-

емого волокна отличаются высокой устойчивостью к отслаиванию при воздействии агрессивной среды.

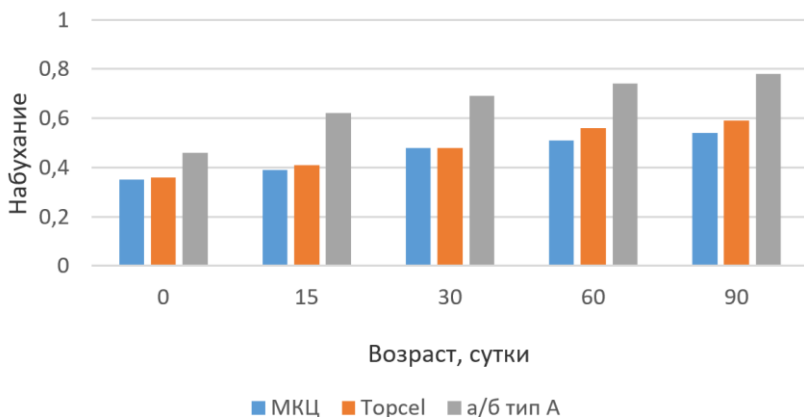


Рис. 2. Изменение набухания в зависимости от возраста

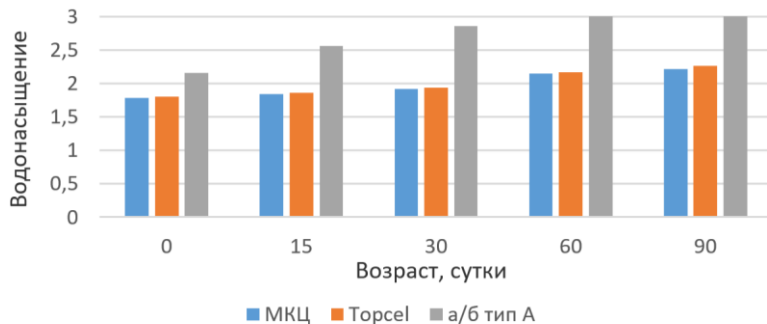


Рис. 3. Изменение водонасыщения в зависимости от возраста

Это препятствует глубокому проникновению воды в поры и капилляры материала, а также диффузии воды под битумную пленку. Такая диффузия опасна тем, что молекулы воды могут легко мигрировать по поверхностям, вновь образуясь в деформированном материале, что приводит к его разрушению. Полученные результаты объясняются наличием прочных адгезионных связей, обусловленных хемосорбционным взаимодействием на границе раздела фаз "битум - поверхность волокна", которые обеспечивают высокую

водоустойчивость ЩМА с использованием волокнистой стабилизирующей добавки МКЦ.

Эти результаты были подтверждены стандартными исследованиями коэффициента водостойкости через 15, 30, 60 и 90 суток водонасыщения (см. табл. 2).

Таблица 2. Сравнение показателей водостойкости ЩМА с добавками

Образцы	Коэффициент водостойкости при длительности водонасыщения, сутки				
	0	15	30	60	90
ЩМА с МКЦ	0,95	0,91	0,89	0,85	0,79
ЩМА с TOPCEL	0,95	0,92	0,88	8,84	0,78
А/б типа А	0,88	0,86	0,81	0,76	0,66

Из таблицы 2 видно, что коэффициент водостойкости ЩМА с добавкой МКЦ вплоть до возраста 90 суток остается более высоким по сравнению с другими материалами. Коэффициент водостойкости через 90 суток водонасыщения у образцов с исследуемой добавкой МКЦ снижается на 21,6%, у образцов с добавкой TOPCEL – на 22,1%, а у асфальтобетона типа А на 33 %.

Выводы

1. ЩМА с применением МКЦ показывает лучшие результаты при определении коэффициента внутреннего трения и сцепления при сдвиге, что должно повысить сдвигоустойчивость покрытия при высоких летних температурах. Улучшение сдвигоустойчивости ЩМА позволяет предполагать более длительные сроки службы таких асфальтобетонов в покрытиях, уложенных на цементобетонный слой;

2. Роль ЩМА как защитного слоя на цементобетонном покрытии требует его повышенной водостойкости. Исследования показали, что коэффициент длительной водостойкости ЩМА с добавкой МКЦ более высокий в сравнении с другими составами;

3. Применение волокнистой добавки расширяет возможности улучшения качества дорог и снижения стоимости их строительства.

Литература

1. Крохин Г.Н. Сдвигоустойчивость асфальтобетона в покрытиях дорог / Г.Н. Крохин // Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог. – М., Тр. Союздорнии. – С. 79–91.
2. Костин В.И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 65 с.
3. Бусел А.В., Чистова Т.А., Наумовец А.Н. Асфальтовяжущее на упрочняющих волокнистых компонентах // Вестник Брестского государственного технического университета. – Строительство и архитектура. – 2014. – № 1 (85). – С. 106 – 109.
4. Оев А.М., Оев С.А. Микрористаллическая стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальта // Наука и техника дорожной отрасли. – М., 2007. – №4 – С. 22 – 23.