



ИННОВАЦИИ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ (МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ)

Материалы IV Всероссийской
научно-практической конференции

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, 2022

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

**ИННОВАЦИИ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
(МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ)**

Материалы IV Всероссийской
научно-практической конференции

Санкт-Петербург
2022

УДК 624:625

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *М. А. Овчинников*
(генеральный директор научно-производственной фирмы «Топоматик»);

д-р техн. наук, профессор *Ю. Г. Лазарев*
(директор Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства
Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического
университета Петра Великого)

Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии) : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции / под ред. М. П. Клековкиной и др. ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2022. – 128 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1248-4

Представлены статьи участников научно-практической конференции Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.

Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ

Редакционная коллегия:

председатель: М. П. Клековкина;

члены: Б. Н. Карпов;

В. А. Быстров;

Е. Н. Корныльев;

А. С. Симонова

ISBN 978-5-9227-1248-4

© Коллектив авторов, 2022

© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2022

УДК 625.71.8

Андрей Юрьевич Белов,
магистрант
Василий Петрович Радов,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: 79111751015@yandex.ru,
vradov56@mail.ru

Andrei Yurievich Belov,
Master's degree student
Vasilii Petrovich Radov,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: 79111751015@yandex.ru,
vradov56@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЙ РАБОТ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE CLASSIFICATION AND TECHNOLOGIES OF WORK ON THE MAINTENANCE OF ROAD PAVEMENTS

В статье указана терминологическая сущность содержания автомобильных дорог, закрепленная на уровне федерального закона Российской Федерации. Определена направленность и уровень целевого воздействия на конструктивные элементы автомобильной дороги при выполнении работ по их содержанию. Определены особенности развития классификации работ по содержанию дорожных одежд за последнее десятилетие. Выделены дополнения и изменения в составе работ по содержанию дорожной одежды, которые были внесены за последнее десятилетие. Выявлено положительное их влияние на возможность: применения стратегии работ по содержанию дорожных одежд, ориентированной на профилактику и предупреждение дефектов эксплуатационного состояния покрытий, продление срока их службы; использования инновационных технологий; обеспечения эффективности дорожных работ и безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: автомобильные дороги, классификация дорожных работ, работы по содержанию автомобильных дорог, инновационные технологии работ по содержанию дорог, содержание дорожных одежд.

The article indicates the terminological essence of the maintenance of highways, enshrined in the federal law of the Russian Federation. The direction and level of targeted impact on the structural elements of the highway during the performance of work on their maintenance have been determined. The features of the development of the classification of works on the maintenance of pavements over the past decade are determined. The additions and changes in the composition of work on the maintenance of road pavements, which have been introduced over the past decade, are highlighted. Their positive influence on the possibility of: application of the strategy of works on the maintenance of pavements, focused on the prevention and prevention of defects in the operational state of the pavements, extension of their service life; use of innovative technologies; ensuring the efficiency of road works and road safety.

Keywords: highways, road works classification, road maintenance works, innovative road maintenance works, road pavement maintenance.

Терминологическая сущность понятия «содержания автомобильной дороги» в настоящее время закреплена законом [1], (далее – ФЗ-№ 257). Терминологическая суть

данного понятия определяет направленность и уровень целевого воздействия на автомобильную дорогу и дорожное движение при выполнении работ по ее содержанию.

Направленность целевого воздействия при выполнении работ по содержанию дороги связана с оценкой и поддержанием ее технического состояния, организацией дорожного движения.

Уровень (результат) целевого воздействия при выполнении работ по содержанию автомобильной дороги – поддержание надлежащего технического ее состояния и обеспечение безопасности дорожного движения.

Ныне действующая классификация дорожных работ, как единая система мероприятий, направленных на обеспечение соответствия транспортно-эксплуатационного состояния (далее – ТЭС) дороги (конструктивных элементов или отдельно выделенной группы элементов в ее составе) нормативным требованиям, основана на принципе, что в зависимости от степени несоответствия ее ТЭС требованиям, установленным с учетом условий движения и транспортной нагрузки, используя классификацию можно определить оптимальную стратегию работ по содержанию, выбрать оптимальную и наиболее экономически эффективную технологию дорожных работ. Поэтому, при планировании дорожных работ, основываясь на результатах оценки ТЭС дороги (конструктивных элементов или отдельно выделенной группы элементов в ее составе), учитывая степень несоответствия ТЭС, используя ныне действующую Классификацию работ, сначала назначают требуемый вид работ, а затем требуемый состав и объемы работ.

Основным критерием для назначения вида работ является показатель прочности дорожной одежды. Однако в современных условиях равное с ним значение приобрели и другие показатели состояния дорог. Поэтому, основой планирования дорожных работ на конкретной дороге являются результаты оценки всего комплекса показателей, оказывающих влияние на обеспеченную эксплуатационную скорость движения, аварийность, прочность дорожной одежды, ровность и сцепные качества покрытия.

В связи с увеличением нормативных межремонтных сроков дорожных одежд (до 24 лет) с усовершенствованным типом покрытий (до 12 лет), планирования работ на основе нормативов финансовых затрат на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог, изменениями норм проектирования и, в частности, методов конструирования и расчета нежестких дорожных одежд, предусматривающих использование инновационных материалов в конструктивных слоях дорожных одежд, применения современных технологий производства дорожных работ в классификацию дорожных работ [2], были внесены соответствующие изменения и дополнения.

Существенное влияние на изменения, внесенные в классификацию работ по содержанию дорог, оказал ГОСТ Р 50597-2017 [3]. Требования настоящего стандарта направлены на обеспечение безопасности дорожного движения, сохранение жизни, здоровья и имущества населения, охрану окружающей среды.

Высокий уровень требований стандарта к эксплуатационному состоянию покрытий и требуемым срокам ликвидации дефектов, предопределили изменение в составе работ по содержанию дорожных одежд.

В результате этих изменений было предусмотрено восстановление изношенных верхних слоев асфальтобетонных покрытий (без ограничения протяженности изно-

шенных участков), что позволило при содержании асфальтобетонных покрытий существенно расширить использование методов регенерации и повторного применения материалов, повысить качество и эффективность работ по содержанию асфальтобетонных покрытий, продлить срок их службы.

Продлению срока службы дорожных покрытий способствовало включение в классификацию работ по содержанию дорожных одежд работ по устройству защитных слоев, слоев износа и поверхностной обработки дорожного покрытия.

Обеспечению высоких требований по безопасности дорожного движения способствовало включение в классификацию работ по содержанию дорожных одежд работ по:

- устройству защитных слоев, слоев износа и поверхностной обработки дорожного покрытия;
- восстановлению сцепных свойств покрытия путём устройства защитных слоев, слоев износа или поверхностной обработки.
- аварийно-восстановительные работы в местах ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

На обеспечение оптимальной стратегии содержания автомобильных дорог, в том числе дорожных одежд, направлено включение в состав прочих работ по содержанию положений, предусматривающих:

- разработку проектов содержания автомобильных дорог;
- работы по организации дорожного движения согласно классификации работ по организации дорожного движения.

Обеспечению безопасности дорожного движения, продлению срока службы дорожных одежд и сохранности покрытий способствует стратегия содержания дорожных одежд, ориентированная на своевременное выявление дефектов, реализацию мероприятий по их профилактике и предупреждению.

Актуальность и эффективность реализации стратегии содержания дорожных покрытий, ориентированной на своевременное выявление, профилактику и не допущение дальнейшего развития дефектов содержания до уровня предельно-допустимых значений, установленных из условия обеспечения безопасности дорожного движения подтверждается практическим опытом управления ТЭС дорог, как в нашей стране, так и за рубежом.

Согласно [4], при использовании технологий, указанных в таблице, на ранней стадии эксплуатации покрытий, удастся достичь наибольшее продление расчетного срока службы покрытий, когда состояние покрытий характеризуется, как «Хорошее».

Продление расчетного срока службы (в годах) при использовании различных технологий по обработке и защите поверхности покрытий

| Обработка поверхности при использовании | Состояние покрытия | | |
|---|--------------------|------------|--------|
| | Хорошее | Нормальное | Плохое |
| Технологии <i>Fog Seal</i> | 3–5 | 1–3 | 1–2 |
| Технологии <i>Chip Seal</i> | 7–10 | 3–5 | 1–3 |
| Технологии <i>Slurry Seal</i> | 7–10 | 3–5 | 1–3 |

| Обработка поверхности при использовании | Состояние покрытия | | |
|---|--------------------|------------|--------|
| | Хорошее | Нормальное | Плохое |
| Технологии <i>Micro-surfacing</i> | 8–12 | 5–7 | 2–4 |
| Технологии <i>UTBWC</i> | 10 | 5–10 | 2–10 |
| Тонкого слоя горячей асфальтовой смеси | 10–12 | 5–7 | 2–4 |

Литература

1. Федеральный закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 № 257-ФЗ.

2. Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог», утвержденной Министерством Транспорта Российской Федерации приказом от 16 ноября 2012 г. № 402 (с изменениями и дополнениями на 12 августа 2020 года).

3. ГОСТ Р 50597-2017 «Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля», введенный в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2017 г. № 1245-ст.

4. Меры по сохранению дорожного покрытия и стратегии работ. Конференция в рамках программы LTPR штата Северная Дакота, март 2008 г.

УДК 625.739.4

Зинаида Витальевна Бородкина,
магистрант
Александр Владимирович Юннинен,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Zinaidaborodkina54@gmail.com,
Ololoshev98@mail.ru

Zinaida Vitalevna Borodkina,
Master's degree student
Alexander Vladimirovich Iunninen,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Zinaidaborodkina54@gmail.com,
Ololoshev98@mail.ru

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ТИПА ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ

ANALYSIS OF TRAFFIC CONDITIONS WHEN CHOOSING THE TYPE OF TRANSPORT INTERCHANGE

В статье произведен анализ условий дорожного движения, в соответствии с которым обоснована необходимость и целесообразность использования того или иного типа транспортной развязки. На основании современной научной и нормативной литературы использован метод сравнения, который позволит выявить основные преимущества и недостатки отдельно взятого способа организации транспортного потока по следующим критериям: безопасность дорожного движения, наличие конфликтных точек, пропускная способность. Для оценки безопасности движения применен метод Раппопорта.

Ключевые слова: повышение безопасности, организация движения, транспортная развязка, ромбовидные развязки, транспортный поток, пропускная способность, конфликтные точки.

The article analyzes the traffic conditions, according to which the necessity and expediency of using a particular type of transport interchange is justified. Based on modern scientific and regulatory literature, a comparison method was used, which will reveal the main advantages and disadvantages of a single method of organizing traffic flow according to the following criteria: road safety, the presence of conflict points, throughput. The Rappoport method was used to assess traffic safety.

Keywords: safety improvement, traffic management, transport interchange, diamond-shaped interchanges, traffic flow, capacity, conflict points.

Автомобильная дорога – сложнейший линейный инженерный комплекс, предназначенный для безопасного, комфортного, непрерывного пропуска автомобильного транспорта при любых погодных условиях. С точки зрения безопасности дорожного движения одними из наиболее сложных и опасных элементов дорожно-транспортной сети являются пересечения и транспортные развязки, так как на них осуществляется движение автомобильного транспорта в различных, зачастую конфликтующих между собой, направлениях.

Для оценки безопасности на развязках применен метод конфликтных точек (метод Раппопорта) [1]. Суть метода – наибольшее количество дорожно-транспортных происшествий возникает в местах, где происходит взаимодействие транспортных средств или взаимодействие транспортных средств с пешеходами в одном уровне, а также в местах пересечения, слияния и ответвления транспортных потоков. При расчете показателя сложности транспортного узла за единицу сложности принято ответвление.

В условных баллах: точка ответвления – 1 балл; точка слияния – 3 балла; точка пересечения – 5 баллов.

Показатель сложности рассчитывается по формуле (1):

$$m = m_o + 3n_c + 5n_{\Pi} \text{ [баллов]}, \quad (1)$$

где, n_o , n_c , n_{Π} – число точек, соответственно, ответвления (отклонения), слияния и пересечения.

Согласно [2] различают дорожные узлы:

- малой сложности, $m < 40$;
- средней сложности, $40 \leq m \leq 80$;
- сложные, $81 \leq m \leq 150$;
- очень сложные, $m > 150$.

В таком случае всегда возникает вопрос, какой тип транспортной развязки будет целесообразен в конкретных условиях улично-дорожной сети. Так, к примеру, уже на этапе проектирования необходимо учитывать, что с течением времени условия дорожного движения усложняются: увеличивается интенсивность, видоизменяется состав транспортного потока. Эти ключевые факторы снижают пропускную способность. Зачастую, развитие улично-дорожной сети происходит в стесненной точечной застройкой местности, что также накладывает ограничения на использовании некоторых из типов транспортных развязок.

1. Типы транспортных развязок

Развязки в одном уровне [3, 4]:

- Светофорная:

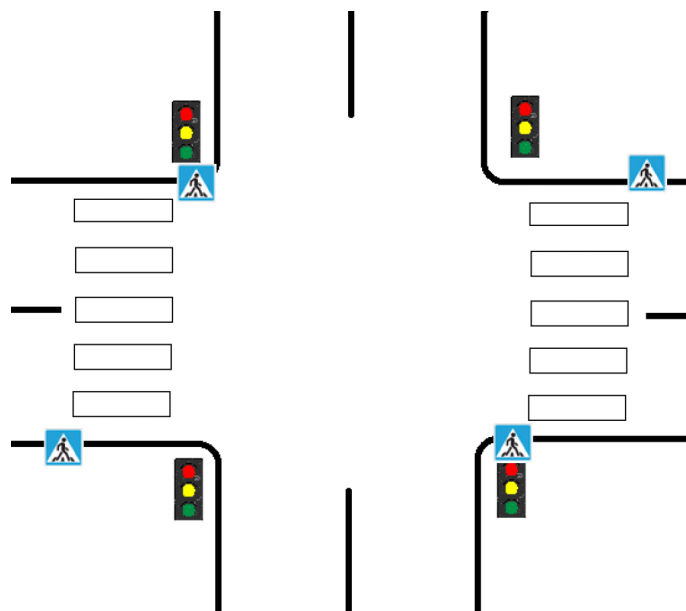


Рис. 1. Светофорная развязка

Представляет собой пересечение двух и более дорог под произвольным (чаще всего прямым) углом.

Конфликтные точки – 32 шт. Из них: 16 шт. – точки пересечения; 8 шт. – точки слияния; 8 шт. – точки ответвления. Пропускная способность зависит от продолжительности зеленой фазы светофора.

$$m = 8 + 3 \cdot 8 + 5 \cdot 16 = 112 \text{ баллов}$$

Преимущества:

- 1) Простота светофорных циклов;
- 2) Возможность выделить отдельный цикл для пешеходов;
- 3) Занимает наименьшие пространства, по ширине равные количеству полос в каждом из направлений движения транспорта.

Недостатки:

- 1) Требуется выделение в цикле светофора времени на левосторонний поворот;
- 2) Длительные ожидания разрешающего для движения сигнала, следовательно, присутствует риск возникновения «пробок»;
- 3) При большой загруженности возникают сложности в организации движения пешеходов и выделения в светофорном цикле времени для этих целей. Возникает необходимость в организации надземных или подземных пешеходных переходов.

- Круговая

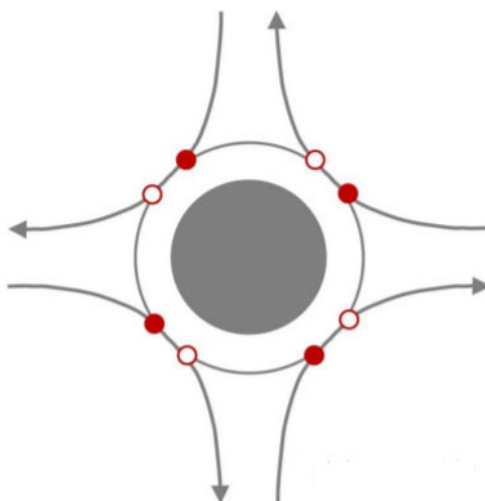


Рис. 2. Круговая развязка

Направления соединены между собой окружностью, по которой осуществляется въезд и выезд по направлениям следования автомобильного транспорта.

Конфликтные точки – 8 шт.: точки пересечения – отсутствуют; точки слияния – 4 шт.; точки ответвления – 4 шт. Пропускная способность увеличивается с введением светофорного регулирования движения и увеличением радиуса кольца.

$$m = 4 + 3 \cdot 4 + 5 \cdot 0 = 16 \text{ баллов}$$

Преимущества:

- 1) Количество светофорных циклов снижается до минимально возможного – на движение автотранспорта и движение пешеходов.

- 2) При правостороннем движении отсутствует проблема левостороннего поворота;
- 3) При помощи такого типа развязки реально связывание между собой более четырех направлений движения.

Недостатки:

- 1) Нет возможности выделить приоритетное положение ни одному из направлений;
- 2) Высокая аварийность, обусловленная малой обзорностью в боковые зеркала автомобиля при движении по кругу;
- 3) Требуется для размещения большие, по сравнению с обычным перекрестком, пространства;
- 4) Пропускная способность ограничена длиной окружности.

Развязки в разных уровнях [1]:

- Светофорно-тоннельная:

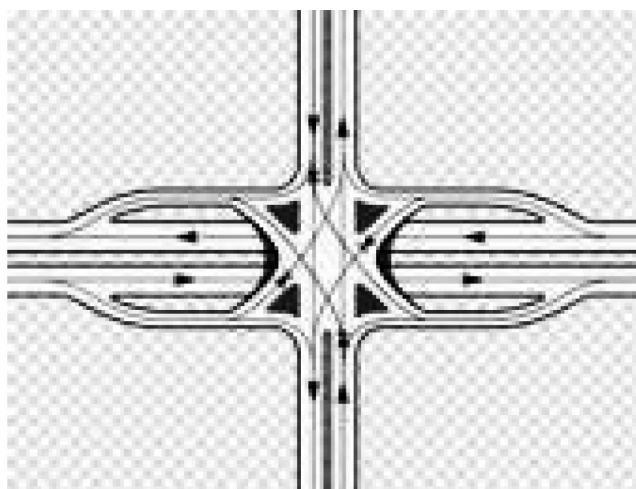


Рис. 3. Светофорно-тоннельная развязка

На главной дороге для движения прямо строится тоннель (или эстакада), для остальных сохраняется светофорное движение.

Конфликтные точки – 16 шт.: точки пересечения – 4 шт.; точки слияния – 6 шт.; точки ответвления – 6 шт. Возможно повышение пропускной способности при введении светофорного регулирования для точек пересечения.

$$m = 6 + 3 \cdot 6 + 5 \cdot 4 = 44 \text{ балла}$$

Преимущества:

- 1) Есть возможность выделить главный (преобладающий) поток без ущерба для второстепенной дороги. Как следствие, возможно построение маршрутов движения общественного транспорта по преобладающему потоку, что уменьшит нагрузку на дорожную сеть по сравнению с транспортными развязками в одном уровне.
- 2) Верхнюю зону можно сделать преимущественно пешеходной.

Недостатки:

- 1) Необходимо преобладание одного из потоков над другим;
- 2) Необходимо большее расстояние перед следующим перекрестком по сравнению со светофорной развязкой в одном уровне.

- Ромбовидная:

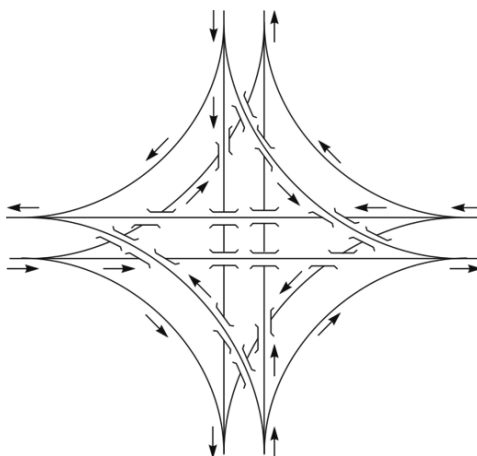


Рис. 4. Ромбовидная развязка

На подходах к развязке дороги разветвляются на правый и левый повороты; пересечение потоков разводится мостом. Внутри ромба, образуемого дорогами для левых поворотов, строится прямое пересечение как ответвление от них.

Конфликтные точки – 8 шт.: точки пересечения – отсутствуют, так как пересечения устраиваются в разных уровнях; точки слияния – 4 шт.; точки ответвления – 4 шт.

$$m = 4 + 3 \cdot 4 + 5 \cdot 0 = 16 \text{ баллов}$$

Преимущества:

- 1) Высокая пропускная способность и скорость движения, по сравнению с развязками в одном уровне, что достигается посредством исключения пересечений между потоками;
- 2) Левые повороты имеют такой же большой радиус, как и правые;
- 3) Левый поворот интуитивно понятен.

Недостатки:

- 1) Необходимость строительства множества (как минимум 5) искусственных сооружений для пропуска автотранспортных потоков;
- 2) Разворот для главной дороги невозможен.

- Ромбовидная развязка с изменением сторонности:



Рис. 5. Ромбовидная развязка с изменением сторонности

На главной дороге для движения прямо строится тоннель (или эстакада), для второй сохраняется светофорное движение. Причем на второстепенной дороге меняется сторонность движения в пределах развязки.

Конфликтные точки – 18 шт. Из них: 2 шт. – точки пересечения; 8 шт. – точки слияния; 8 шт. – точки ответвления. Количество конфликтных точек повышается при увеличении полос движения на развязке. Возможно повышение пропускной способности при введении светофорного регулирования для точек пересечения.

$$m = 8 + 3 \cdot 8 + 5 \cdot 2 = 42 \text{ балла}$$

Преимущества:

- 1) Позволяет выделить главный (преобладающий) поток без ущерба для второстепенной дороги;
- 2) Две фазы для светофоров вместо трех в классической ромбовидной развязке;
- 3) По сравнению с классическим вариантом ромбовидной развязки большая пропускная способность;
- 4) Увеличена безопасность движения за счет снижения скорости движения по второстепенной дороге и меньшему количеству конфликтных точек;
- 5) Есть возможность разворота для главной дороги.

Недостатки:

- 1) Сложна для водителей, требуется регулярное обновление разметки;
 - 2) Не может работать без светофорного регулирования.
- Клеверообразная:

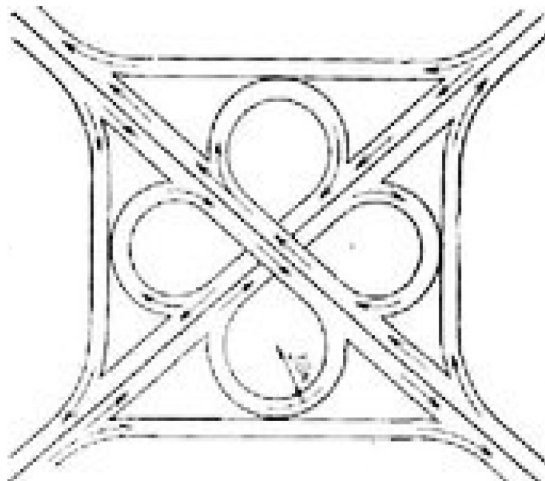


Рис. 6. Клеверообразная развязка

Представляет собой развязку, по форме напоминающую клеверный лист. Включает в себя комплекс искусственных сооружений, состоящий из путепровода и примыканий к нему.

Конфликтные точки – 16 шт.: точки пересечения – отсутствуют, так как пересечения устраиваются в разных уровнях; точки слияния – 8 шт.; точки ответвления – 8 шт. Скорость и соответствующая ей пропускная способность зависит от радиуса лепестков на развязке.

$$m = 8 + 3 \cdot 8 + 5 \cdot 0 = 32 \text{ балла}$$

Преимущества:

- 1) Компактная относительно иных типов транспортных многоуровневых развязок;
- 2) Возможен разворот в базовой конфигурации;
- 3) Требуется сооружение только одного путепровода в отличие от других типов транспортных многоуровневых развязок.

Недостатки:

- 1) Наиболее критичной конфликтной точкой является близкий переход от въезда на путепровод к выезду с него;
 - 2) Малая скорость по сравнению с другими типами транспортных многоуровневых развязок.
 - 3) Необходимо совершение большого количества маневров при развороте.
- Турбинная развязка:

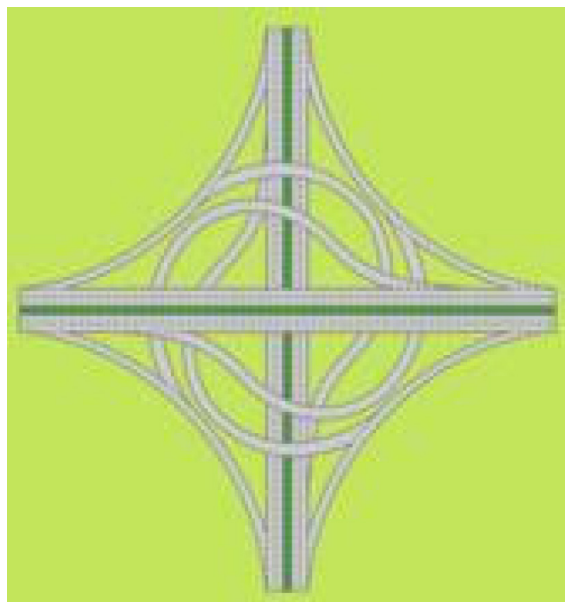


Рис. 7. Турбинная развязка

Данный тип развязки представляет собой форму путепровода в форме спирали, съезды с которой располагаются ближе к центру развязки. Обычно, содержит в себе 2–3 уровня.

Конфликтные точки – 16 шт.: точки пересечения – отсутствуют, так как пересечения устраиваются в разных уровнях; точки слияния – 8 шт; точки ответвления – 8 шт.

$$m = 8 + 3 \cdot 8 + 5 \cdot 0 = 32 \text{ балла}$$

Преимущества:

- 1) Съезды обладают большими по сравнению с другими типами развязок радиусами поворота, что повышает скорость, и, соответственно, пропускную способность;
- 2) Снижена необходимость перестроения потоков перед выездами, что увеличивает безопасность движения по развязке.

Недостатки:

- 1) Требуется обширное пространство для строительства;
- 2) Требуется сооружение не менее чем 11 путепроводов;
- 3) Необходимо сооружение дополнительных дорог для возможности разворота.

2. Оценка безопасности транспортных развязок по методу конфликтных точек

Согласно показателю сложности транспортного узла по методу конфликтных точек наиболее сложной, соответственно, наименее безопасной представляется светофорная развязка. Это объясняется наибольшим количеством пересечений транспортных потоков в одном уровне, но этот тип является зачастую единственно возможным в городских условиях. Несмотря на малый показатель сложности, круговая развязка является одной из наиболее опасных, так как с увеличением количества полос движения на развязке появляются точки пересечения. Исходя из показателя сложности наиболее безопасным типом развязки является ромбовидная развязка, что обусловлено отсутствием конфликтных точек пересечения при движении по ней транспортных потоков.

Оценка безопасности транспортных развязок по методу конфликтных точек

| Тип развязки | Количество баллов |
|--------------------------------------|-------------------|
| Светофорная | 112 |
| Светофорно-тоннельная | 44 |
| Ромбовидная с изменением сторонности | 42 |
| Клеверообразная | 32 |
| Турбинная | 32 |
| Круговая | 16 |
| Ромбовидная | 16 |

Таким образом, исходя из анализа выборки по типам развязок, учитывая особенности их расположения, преимущества и недостатки можно сделать вывод:

- если улично-дорожная сеть стеснена точечной застройкой и инженерными сетями, то возможным решением в выборе развязки могут стать светофорные развязки как с применением кармана для левостороннего поворота, так и без него, в ином случае возможно использование круговых развязок. Одним из наиболее действенных способов повышения пропускной способности будет создание наземных (подземных) пешеходных переходов.

- в случае отсутствия ограничений улично-дорожной сети и высокой интенсивности движения следует прибегнуть к созданию многоуровневых развязок. Причем с точки зрения безопасности лидирующее положение будет занимать ромбовидная развязка с изменением сторонности, так как на ней происходит постоянное светофорное регулирование, она имеет малое количество взаимных пересечений автотранспортных потоков, но не обладает высокой пропускной способностью относительно других типов многоуровневых развязок; с точки зрения занимаемого пространства наиболее

выгодной будет являться «Клеверный лист»; с точки зрения пропускной способности наиболее выгодной будет являться турбинная развязка, на которой благодаря большим радиусам закругления и отсутствию пересечений на въезде возможно поддерживать наибольшие скорости относительно других типов развязок.

Литература

1. *Селиверстов С. А.* Методы организации и анализа транспортной системы мегаполиса с минимизацией уровня конфликтности дорожных ситуаций: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 – Санкт-Петербург, 2016 – 227 с.

2. *Клинковштейн, Г. И.* Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – М. : Транспорт, 2001 – 247 с.

3. *Лобанов Е. М., Поспелов П. И.* Свод правил по проектированию геометрических элементов автомобильных дорог и транспортных пересечений, 2013. 212 с.

4. ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» (утв. Распоряжением Минтранса РФ от 24.06.2002 N ОС-557-р) – 156 с.

УДК 625.71.8

Юлия Сергеевна Бояджи,

студент

Сергей Викторович Алексеев,

канд. воен. наук, доцент

Владимир Анатольевич Трепалин,

канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский политехнический

университет Петра Великого)

Лилия Николаевна Юстикова,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет)

E-mail: juliasb1501@mail.ru,

sergeyaleks1966@gmail.com,

v.trepalin.spb@yandex.ru,

lnyustik@mail.ru

Yulia Sergeevna Boyadzhi,

student,

Sergey Victorovich Alekseev,

PhD in Sci. Mil., Associate Professor

Vladimir Anatolyevich Trepalin,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Peter the Great St.Petersburg

Polytechnic University)

Liliya Nikolaevna Yustikova,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: juliasb1501@mail.ru,

sergeyaleks1966@gmail.com,

v.trepalin.spb@yandex.ru,

lnyustik@mail.ru

БАЗАЛЬТОВЫЕ ДРЕНАЖНЫЕ ТРУБЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

THE BASALT DRAIN-PIPES OF THE MOTORROADS

В современный мир все больше внедряются изделия из композитных материалов. Из-за их высокой прочности и малого веса они получили распространение и в строительстве. Также Правительство Российской Федерации способствует развитию российской композитной отрасли внедряя различные программы. В данной статье рассматриваются базальтовые трубы в качестве альтернативы классическим дренажным трубам автомобильных дорог. Они сравнивались по следующим показателям: срок службы, толщина труб, масса, нормативной длине и кольцевой жесткости. Проведенное исследование показывает, что базальтовые трубы по своим характеристикам сравнимы с трубами из классических материалов, а в некоторых случаях и превосходят их. Таким образом, применение базальтовых труб в дренажной системе автомобильных дорог теоретически возможна.

Ключевые слова: композитные материалы, базальтовые трубы, дренажная система, базальтоволокно, современные строительные материалы.

In the modern world products made of composite materials are increasingly being introduced. They have become widespread in construction due to their high strength and low weight. The Government of the Russian Federation also keeps the development of the Russian composite industry by implementing various programs. This article discusses basalt pipes as an alternative to the classic drainage pipes of highways. They were compared according to the following indicators: service life, pipe thickness, weight, standard length and ring stiffness. The study shows that basalt pipes in their characteristics are comparable to pipes made of classical materials, and in some cases they are superior to them. Thus, the use of basalt pipes in the drainage system of highways is theoretically possible.

Keywords: composite material, basalt pipes, drainage system, basalt fiber, present-day building material.

Базальтопластик является композитным материалом на основе базальтовых волокон и органического связующего. Это современный материал, составляющий сильную

конкуренцию металлу и превосходящий его по множеству физико-химических характеристик: отсутствие коррозии, малый удельный вес, низкая теплопроводность и прочее. Но стоимость изделий из композитных материалов остается выше стоимости аналогов из классических материалов.

Отраслевой союз *Composites Germany* в 2020 провел исследования, результаты которого отображены на диаграмме 1 [1].



Рис. 1. Результаты опроса *Composites Germany* участников рынка композитов о прогнозе развития применения композитов по отраслям

По данным диаграммы рис. 1 видно, что строительство прогнозируется как одна из передовых отраслей, где применение композитных материалов возрастет. И дорожное строительство не является исключением.

10 мая 2016 года вышло распоряжение Правительства Российской Федерации о стратегии развития строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года, в котором прописано, что внедрение инновационных и композитных строительных материалов быстро развивается. Они улучшают эксплуатационные характеристики сооружений и увеличивают темпы строительства [2].

Согласно данному распоряжению примерно 30 % мирового производства полимерных композитов составляет продукция именно для строительной отрасли. Наиболее широко изделия из композита востребованы в строительстве транспортной инфраструктуры, промышленном и гражданском строительстве. Так применение арматуры из композитных материалов позволяет продлить срок службы конструкции в 2–3 раза, чем срок службы металлической [3, 4]. А межремонтный срок у мостовых сооружений достигает минимум 50 лет и более, если они изготовлены с применением материалов из полимерного композита [5, 6].

Цель работы – сравнить базальтопластиковые трубы с трубами, применяемыми в дренажной системе автомобильных дорог на сегодняшний день.

Дренажная система дорожной одежды включает в себя плоскостной горизонтальный дренаж, дополняемый при необходимости прикромочным и поперечным дренажом мелкого заложения.

Поперечный дренаж мелкого заложения устраивается для перехвата воды в поперечном направлении, движущейся в дренирующем слое вдоль дороги, на участках с продольным уклоном свыше 20 %, а также с затяжными продольными уклонами, превышающими поперечные, в местах вогнутых вертикальных кривых и на участках уменьшения продольных уклонов.

Дренажные трубы и дренирующие геокомпозиты следует размещать ниже глубины промерзания на 0,2 м. В случае невозможности обеспечения этого мероприятия обеспечивается защиту дренажной системы от промерзания (устройство теплоизолирующих слоев из теплоизолирующих материалов или геоплит).

Так же трубы для устройства дрен должны отвечать следующим общим требованиям:

1. обладать достаточной водопропускной способностью для отвода всей воды, которая поступает в них;
2. через водоприемные отверстия в дренажи не должны внедряться частички материала дренирующего слоя;
3. выдерживать давление от слоев, которые лежат выше грунта и одежды, а также от временных нагрузок;
4. обладать высокой морозостойкостью;
5. сохранять перечисленные свойства на протяжении продолжительного времени.

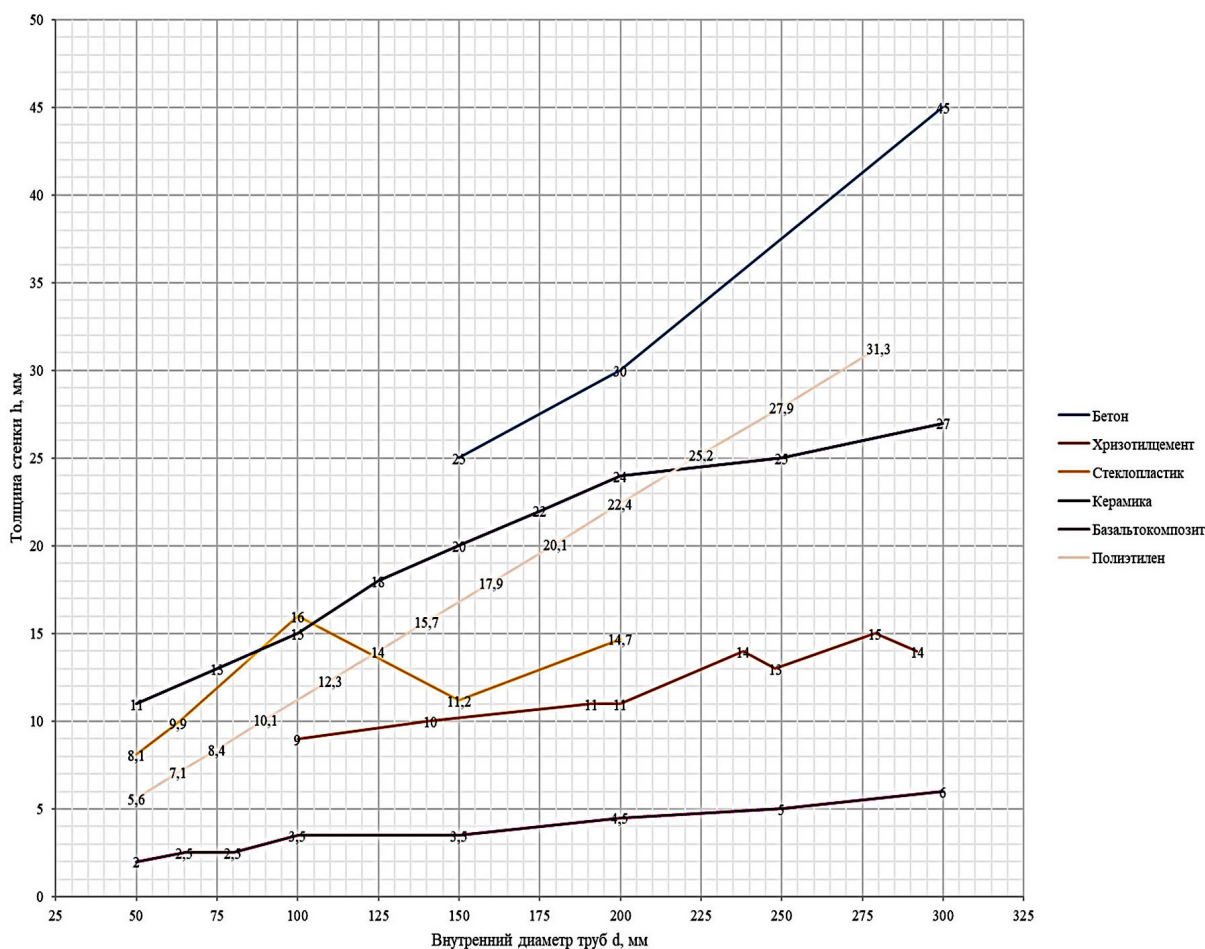


Рис. 2. График зависимости толщины стенки трубы от диаметра и материала трубы

В качестве дренажных труб в теле автомобильных дорог в настоящее время рекомендуется применять трубы диаметром 50–300 мм из таких материалов, как бетон, хризотилцемент, пластмасса, керамика и стеклопластик (ОДМ 218.2.055–2015).

Данные для сравнения труб получены из действующих нормативных документов и расчетным путем (ГОСТ 8411–74, ГОСТ 20054–2016, ГОСТ 18599–2001, ГОСТ Р 53201–2008, ГОСТ Р 55068–2012, ГОСТ 31416–2009)

Так как одним из важных факторов, влияющих на пропускную способность трубы, является внутренний диаметр, то сравнение в этой статье идет относительно внутреннего диаметра.

Большая часть затрат на строительство приходится на земляные работы. Следовательно, из двух труб одинакового внутреннего диаметра больше земляных работ на разработку траншеи будет у той, у которой будет больше внешний диаметр (или толщина стенки). На графике рис. 2 представлена зависимость толщины стенки трубы при равных внутренних диаметрах от материала трубы. Величина толщины стенки взята согласно актуальным нормам и требованиям к выпускаемым трубам.

Наибольший объем земляных работ при прокладке траншеи будут иметь бетонные, полиэтиленовые и керамические трубы, и наименьшую – базальтокомпозитные)

Также на стоимость строительства будет влиять и монтажные работы. С увеличением монтажных соединений труб возрастает и количество трудозатрат. При увеличении длины трубы количество соединений уменьшается. На графике рис. 3 отображены нормативная максимальная и минимальная длина трубы.

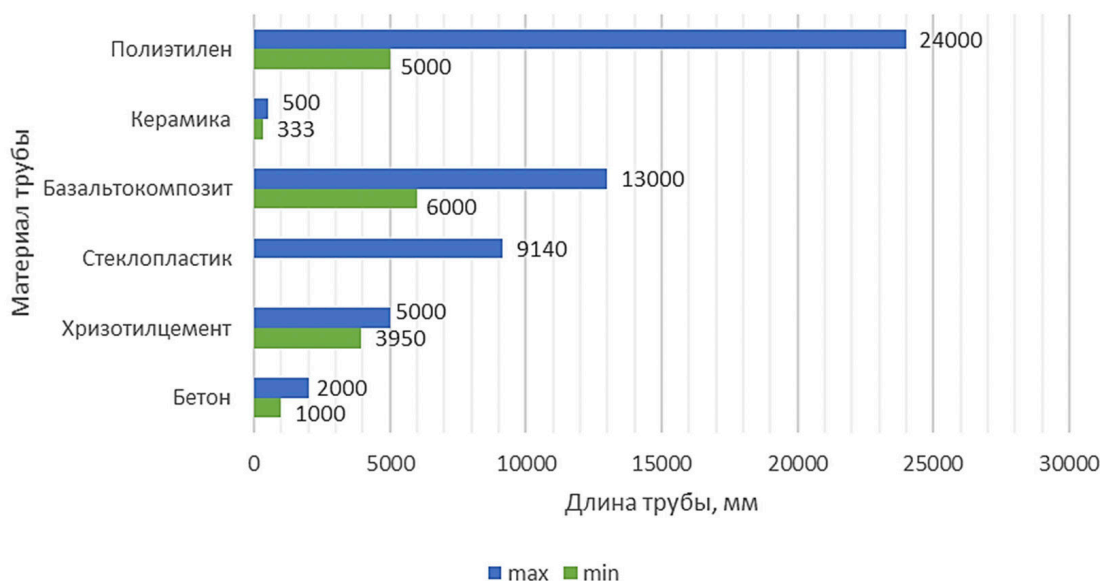


Рис. 3. Длины выпускаемой трубы в зависимости от материала

Можно сделать вывод, что самыми короткими изготавливают трубы из керамики и бетона, а самыми длинными – из полиэтилена, базальтокомпозитные и стеклопластиковые.

От массы трубы зависит и выбор грузоподъемной техники для ее монтажа, и способ транспортировки. На графике рис. 4 показана зависимость массы 1 п. м. трубы от материала трубы при равных внутренних диаметрах.

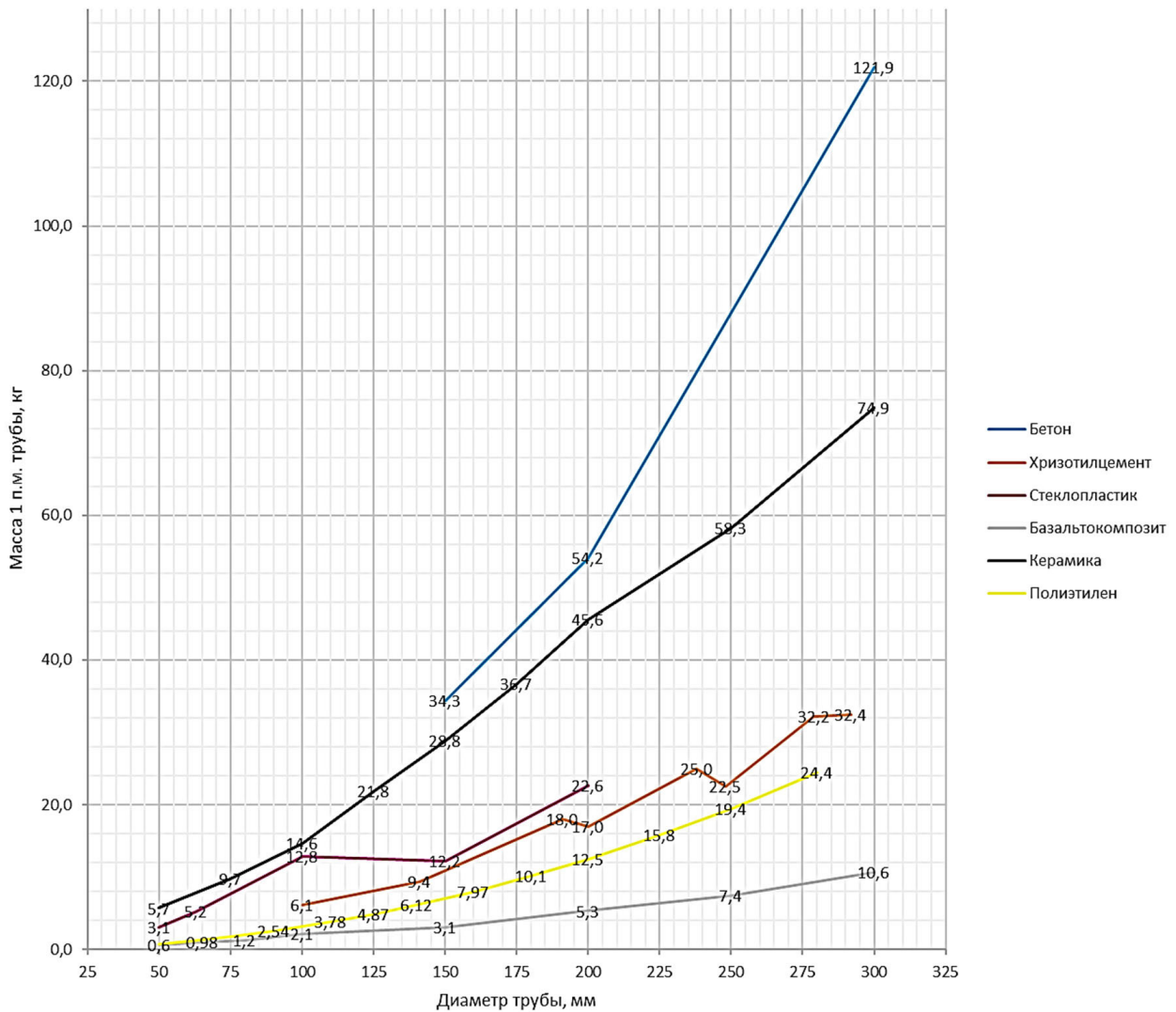


Рис. 4. Зависимость массы трубы от ее материала и диаметра

В результате можем увидеть, что самыми тяжелыми трубами являются трубы из керамики и бетона, а самыми легкими – базальтокомпозита и полиэтилена. Следовательно, чтоб экономить на технике (выбрать менее дорогую технику с меньшей грузоподъемностью, или сократить количество рейсов поставки за счет увеличения объема партии), можно выбрать базальтовые трубы.

Срок эксплуатации автомобильной дороги зависит от многих факторов, в том числе и от срока эксплуатации дренажной системы, которая, в свою очередь, зависит от срока эксплуатации труб.

Можем заметить, что самый большой минимальный срок службы у труб из керамики, которых составляет 75 лет. Минимальный срок службы базальтовых труб немного уступает керамическим и равен 60 годам.

Так как на трубу действует несколько видов нагрузок (боковая нагрузка от грунта, вертикальная нагрузка от грунта и конструкции земляного полотна, нагрузка от движущегося транспорта и т. д.) необходимо, чтоб ее прочностные характеристики были соответствующие.

Кольцевая жесткость показывает, как труба реагирует на внешнюю нагрузку в поперечном разрезе. Чем она больше, тем большую нагрузку она может выдержать. Она зависит от модуля упругости материала трубы E ; момента инерции площади поперечного сечения трубы на единицу длины I и среднего диаметра трубы D_{cp} .

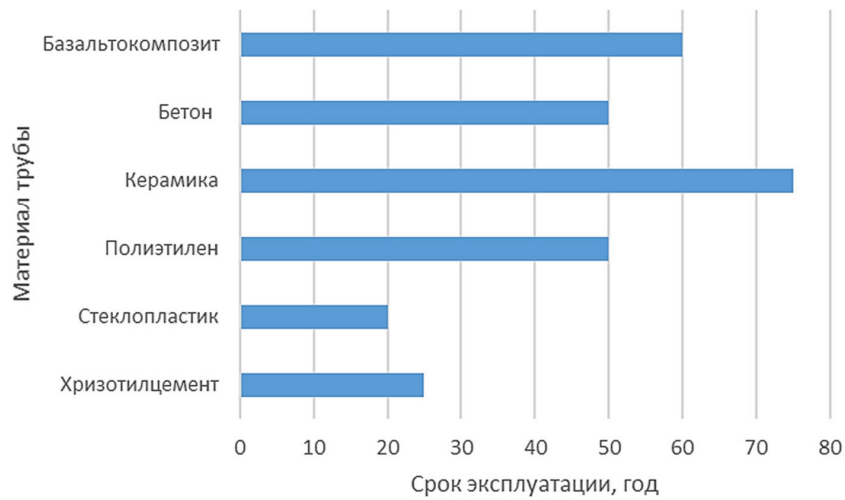


Рис. 5. Минимальный срок эксплуатации труб

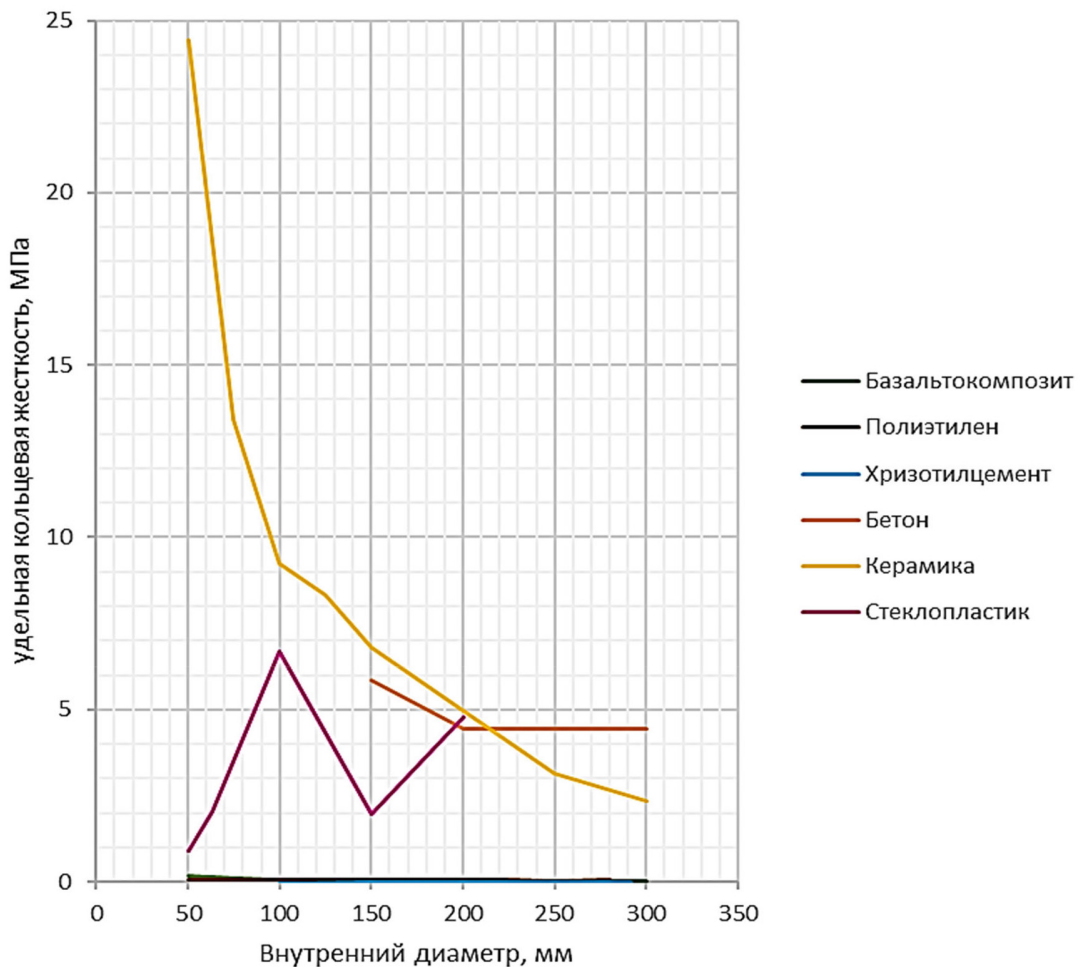


Рис. 6. Зависимость удельной кольцевой жесткости от внутреннего диаметра трубы

По графику рис. 6 видно, что наибольшую кольцевую жесткость имеют бетонные и керамические трубы, а наименьшую – хризотилцементные. Если проследить за изменением величины удельной кольцевой жесткости от диаметра трубы, то у керамических труб оно больше, чем у базальтокомпозитных. С другой стороны, базальтовые трубы более гибкие, чем бетонные и керамические, поэтому они менее восприимчивы к деформациям грунта (просадка, пучение).

Выводы

Т. к. на сегодняшний день отсутствует проведение широкого круга научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для выявления наиболее эффективных материалов, конструкций и изделий для их дальнейшего широкого применения в дорожном строительстве, специалисты не обладают достаточной информацией о возможностях полимерных композитов, как и об уже реализованных проектах.

Но, несмотря на это, эксперты композитной отрасли прогнозируют увеличение применения композитных материалов в строительстве. В Российской Федерации создаются специальные программы в поддержку композитного производства.

Исследования, проведенные в данной статье, показывают, что базальтовые трубы (как представители изделий из композитных материалов) по своим характеристикам сравнимы с трубами из классических материалов, а в некоторых случаях и превосходят их. Из этого можно сделать вывод, что применение базальтовых труб в дренажной системе автомобильных дорог теоретически возможна.

Литература

1. 15th Composites Market Survey. [Электронный ресурс]// Composites Germany. Frankfurt am Main, 2020. URL:<https://www.composites-germany.org/index.php/en/news-en/press-publications> (Дата обращения: 06.11.2020).

2. Программа федерального дорожного агентства по внедрению композиционных материалов (композитов), конструкций и изделий из них на 2015-2020 гг. [Электронный ресурс] // Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное дорожное агентство. Москва, 2014. URL:<http://rosavtodor.ru/eye/page/297/1036> (Дата обращения: 10.12.2020).

3. *Аверченко Г. А., Огуцов Г. Л.* Перспективы использования композитного материала в мостостроении. В сборнике : Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 229–231.

4. *Аверченко Г. А., Кириллова Д. Ю.* Исследование работы стеклопластиковых балок. В сборнике : Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.. отв. ред. Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. 2019. С. 42–44.

5. *Лысянников А. В., Третьякова Е. А., Лысянникова Н. Н.* Переработанный пластик в дорожном строительстве // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула : Изд-во Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», 2017. № 7. С. 105–115.

6. *Мухина М. А.* Изготовление мостовых конструкций из композиционных материалов// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Москва, 2020. № 3. С. 34–35.

УДК 625.717.2

Анастасия Юрьевна Галкина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: kennych.anage@mail.ru

Anastasia Yurievna Galkina,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: kennych.anage@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ АЭРОДРОМОВ

MODERN TRENDS OF AERODROME INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT

В статье описываются современные тенденции развития инфраструктуры аэродромов, включающие такие вопросы, как реконструкцию сети взлётно-посадочной полосы, светосигнального оборудования, строительство патрульной дороги, а также строительство и модернизация других объектов аэродромной инфраструктуры. При строительстве взлетно-посадочных полос используют геосинтетические изделия для армирования оснований конструкций и распределения местных нагрузок. Для обеспечения водоотвода часто применяют нетканый геотекстиль в качестве фильтров в дренажной системе. Для обеспечения безопасности полетов в строительстве и реконструкции аэродромов используется инновационное радиолокационное оборудование, при наличии которого допускается посадка при минимальной видимости на ВПП и минимальной высоте принятия решения или без ограничения по высоте.

Ключевые слова: аэродром, инфраструктура, строительство, геотекстиль, оборудование, реконструкция.

The article describes modern trends in the development of airfield infrastructure, including such issues as the reconstruction of the runway network, lighting equipment, the construction of a patrol road, as well as the construction and modernization of other airfield infrastructure facilities. During the construction of runways, geosynthetic products are used to reinforce the foundations of structures and to distribute local loads. To ensure drainage, nonwoven geotextiles are often used as filters in the drainage system. To ensure flight safety in the construction and reconstruction of aerodromes, innovative radar equipment is used, in the presence of which it is allowed to land with a minimum visibility on the runway and a minimum decision-making height or without height restrictions.

Keywords: airfield, infrastructure, building, geotextile, equipment, reconstruction.

По мере роста объемов авиаперевозок все острее проявляется несовершенство инфраструктуры аэродромного комплекса, потребность в сбалансированном развитии всех ее звеньев на конкурентном рынке услуг, что обуславливает актуальность данной статьи.

Одним из первенствующих направлений в части обновления и развития аэродромной инфраструктуры является исполнение задач в рамках Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры Российской Федерации на период до 2024 года и других государственных программ. В данном документе говорится, что приоритетом транспортной части Комплексного плана является инновационное преобразование отрасли инфраструктурного строительства. В этих целях планируется введение и обширное использование современных технологий, а также

наилучших практик, цифровизация транспортной сферы и логистических процессов. Среди основных целей Комплексного плана фигурирует увеличение количества введенных в эксплуатацию взлетно-посадочных полос до 48 единиц и вспомогательных объектов аэропортовой инфраструктуры до 20 единиц к 2024 году за счёт их реконструкции (строительства). [1]

В числе инновационных решений в строительстве аэродромов находится использование геосинтетических материалов. Геосинтетические материалы позволяют получить более прочное и надежное основание, а также дают возможность почти в половину снизить объем зернистых материалов в строительстве. Известен и широко применяется в мировой практике аэродромного строительства способ упрочнения покрытия путем введения в один из ее слоев геосинтетических материалов, таких как геотекстиль (рис. 1) и объемные георешетки [2].



Рис. 1. Иглопробивной геотекстиль

Данная инновация не только обеспечит устойчивость всей многослойной конструкции взлетно-посадочной полосы, но и создаст эффективный дренаж, пропуская сквозь себя дождевую и талую воду.

Также геосинтетический материал необходим для предотвращения переувлажнения грунта и предупреждения диффузии (смешивания) конструктивных слоев, так как он препятствует поступлению влаги снизу-вверх. Так называемая геомембрана (рис. 2) предотвращает просадочные и карстовые явления, предупреждает разрушение насыпи вследствие размыва основания, снижает давление на земляное полотно, которое возникает при замерзании грунта и сводит к минимуму заиливание подстилающих слоев.

Примером инновационных технологий при реконструкции аэродромов является новое радиолокационное оборудование. Двухканальная двухчастотная радиомаячная система посадки СП-2010 с международным форматом сигналов ILS специализирована с целью предоставления посадки самолетов, а также отвечает требованиям ИКАО для систем I, II, III категорий [3]. Преимуществами системы посадки СП-2010 выступают компьютеризация ввода данных, снижение потребления электроэнергии, умень-

шенный объем аппаратуры, дистанционный контроль и повышенная надежность данной конструкции (рис. 3). Система посадки СП-2010 уже применяется в аэропортах Волгограда, Самары и Челябинска. Благодаря новейшему радиолокационному оборудованию данные аэродромы увеличили свою пропускную способность, и сейчас она составляет свыше тысячи пассажиров в час.

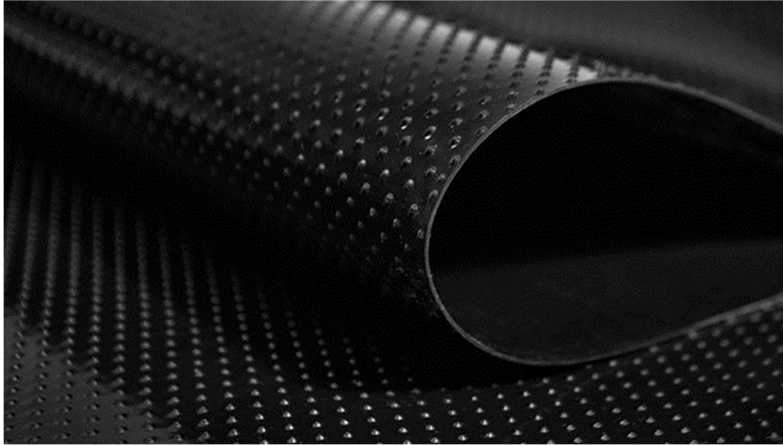


Рис. 2. Профилированная геомембрана



Рис. 3. Радиолокационное оборудование СП-2010

Важное значение в социально-экономическом развитии страны имеет развитие авиасообщения между городами и регионами. Для этого требуется применение новых технологий в строительстве и реконструкции аэродромов, таких как геосинтетические материалы или новейшее радиолокационное оборудование. Применение эффективных инновационных технологий обеспечивают долговечность и высокое качество объектов аэродромной инфраструктуры. Использование инноваций рассчитано на всех стадиях строительства или реконструкции аэродромов.

Литература

1. О комплексном плане модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года [Текст]: Распоряжение Правительства РФ от 30 сентября 2018 года № 2101-р // Собрание законодательства Российской Федерации, № 42 (ч. II), 15.10.2018, с. 64–80.
2. Патент РФ № 2010153423/03, 28.12.2010. Механизированный способ укладки геосинтетических материалов (геотекстиля и объемной георешетки) в конструкцию дороги // Патент России № 2010153423 2013 Бюл. № 6. / Муратов Гелий Ростиславович (RU), Соловьев Виктор Алексеевич (RU), Дудин Виктор Иванович (RU) [и др.].
3. *Борисова Н. А.* – Возникновение радиолокации в разных странах: сравнительно-исторический анализ // Genesis: исторические исследования. – 2020. – № 7. – С. 51–73. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33501.

УДК 625.717.2

Анастасия Юрьевна Галкина,

магистрант

Анна Станиславовна Липатова,

магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: kennych.anage@mail.ru,

anusua97@inbox.ru

Anastasia Yurievna Galkina,

Master's degree student

Anna Stanislavovna Lipatova,

Master's degree student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: kennych.anage@mail.ru,

anusua97@inbox.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ПОЛОС В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

FEATURES OF THE DESIGN OF RUNWAYS IN THE ZONE OF DISTRIBUTION OF PERMAFROST SOILS

Важным этапом социально-экономического развития Российской Федерации является развитие транспортной сети регионов дальнего востока. Строительство автомобильных и железных дорог затруднено сложными геологическими условиями - многолетнемерзлыми грунтами. Поэтому строительство новых аэродромов на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов является важной составляющей транспортного развития страны. В статье описаны способы возведения взлетно-посадочных полос в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов с целью сохранения вечной мерзлоты в основании. Представленные способы и материалы необходимо доработать в натуральных условиях, чтобы выявить их реальную эффективность, в том числе и экономическую, а также возможные недостатки.

Ключевые слова: аэродром, вечная мерзлота, теплоизоляция, теплоизоляционные материалы.

An important stage in the socio-economic development of the Russian Federation is the development of the transport network of the regions of the Far East. The construction of roads and railways is hampered by complex geological conditions - permafrost soils. Therefore, the construction of new airfields in the territories of permafrost distribution is an important component of the country's transport development. The article describes the methods of constructing runways in permafrost zones in order to preserve permafrost at the base. The presented methods and materials need to be refined in full-scale conditions in order to identify their real effectiveness, including economic, as well as possible disadvantages.

Keywords: airfield, permafrost, thermal insulation, thermal insulation materials.

Повышение среднегодовых и максимальных температур воздуха приводят к негативному влиянию на эксплуатационное состояние взлетно-посадочных полос аэродромов. Увеличивается периода с положительными температурами воздуха приводит к увеличению теплового воздействие на основание сооружения, а именно на многолетние грунты. Оттаивание вечной мерзлоты в основаниях сооружений в свою очередь приводит к снижению несущей способности, просадке покрытия взлетно-посадочных полос и к росту числа дефектов покрытия. Поэтому важным этапом проектирования взлетно-посадочных полос являются решения по теплоизоляции основания для сохранения многолетнемерзлых грунтов.

Основным и самым распространенным способом теплоизоляции является применение плит из экструдированного пенополистирола (рис. 1). Он зарекомендовал себя на рынке как качественный и удобный в применении материал, однако со временем он может терять свои свойства и разрушаться, что приведет к снижению несущей способности. В своей статье Кличков Я. В. писал: «В местах повышенного динамического воздействия и при неблагоприятных инженерно-геологических условиях технические характеристики пенополистирола не позволяют в полной мере ликвидировать причины деформацией» [1]. В связи с этим, предложенный им теплоизоляционный материал с высокой прочностью – пеностекольный щебень, будет лучшим вариантом для теплоизоляционного слоя на взлетно-посадочных полосах.



Рис. 1. Плиты из экструдированного пенополистирола

Другим способом защиты грунта от оттаивания является повышение альбедо (отражающей способности) покрытия. При естественном покрытии альбедо поверхности $\alpha = 25\%$, а при окраске покрытия белой краской отражающая способность возрастает до 75% , что значительно снижает поглощение солнечной радиации и предотвращает оттаивание грунта в основании сооружения. Использование белой краски на поверхностях взлетно-посадочных полос позволяет снизить среднюю температуру грунта на $1-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако этот метод не получил широкого применения, поскольку не соответствует требованиям нанесения белой и желтой разметки на поверхность взлетно-посадочных полос.

Для быстрого возведения взлетно-посадочных полос аэродромов на многолетнемерзлых грунтах существует способ, который описан в Патенте № 2017146179 Трофимова В. И., включающий в себя подсыпку с теплоизоляцией на мерзлом грунтовом основании и полотно из сборного покрытия, состоящего из плит. Сборное покрытие выполнено в виде пакета сборно-разборных звеньев, состоящих из отдельных секций, установленное на винтовых сваях с образованием вентилируемого зазора между грунтовым основанием и полотном взлетно-посадочной полосы с регулируемой по высоте свайными оголовками и оснащенные системой терморегулирования, при-

чем на грунтовом основании уложен слой теплоизоляции, закрытый непроницаемым полотнищем, а на внутренней стороне полотна ВПП закреплены греющие элементы. В конце полосы вмонтирован трамплин с регулируемым углом подъема, включающий узел сочленения трамплина с полотном ВПП, состоящий из системы валиков, заключенных в резиновые оболочки, и установленных на подъемных устройствах, а в начале полосы установлен пандус. По краям полотна ВПП закреплены поворотные аэродинамические экраны. Полотно ВПП оборудовано роликами и установлено на системе круговых рельсовых путей, закрепленных на винтовых сваях [3]. Данная конструкция (рис. 2) не только помогает сократить объемы грунтовых работ, связанные с организацией искусственного основания, но и позволяет быстро и качественно выполнить ремонтные работы по обслуживанию взлетно-посадочной полосы в суровых природно-климатических условиях строительства.

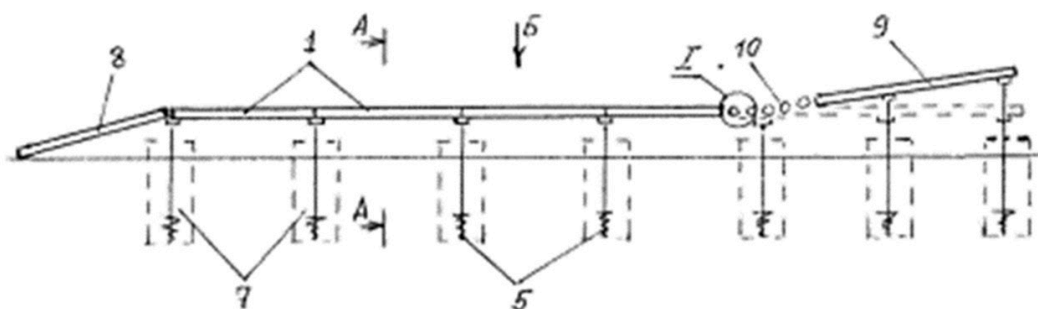


Рис. 2. Быстровозводимая конструкция ВПП на многолетнемерзлых грунтах

Представленные методы и материалы проектирования ВПП способствуют качественному строительству и долгому сроку эксплуатации аэродромов в сложных геологических условиях. Для проектирования взлетно-посадочных полос на многолетнемерзлых грунтах допустимо использование теплоизоляционного материала без серьезных изменений в конструкции аэродромного покрытия, либо полностью отойти от устоявшихся методов проектирования, создав новую конструкцию, предназначенную исключительно для трудных природно-климатических условий строительства. Данные методы проектирования помогут социально-экономическому развитию страны, но требуется финансирование проектов строительства за счет федерального бюджета.

Литература

1. Кличков Я. В., Непомнящих Е. В., Линейцев В. Ю. Применение пеностекла для регулирования теплового режима грунтов в сложных условиях // Науки о Земле, Вестник ЗабГУ № 06(121) 2015, С 9–15.
2. Кондратьев В. Г. Деформации забайкальской части федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов : причины и пути решения проблемы (на примере перехода через руч. Чичон) // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Чита, 2016, 225 с.
3. Патент РФ № 2017146179, 26.12.2017. Взлетно-посадочная полоса на мерзлых грунтах // Патент России № 2017146179 2018 Бюл. № 35. / Трофимов Валерий Иванович (RU).

УДК 625.7

Виталий Андреевич Гребнев,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: grebnev.vit@yandex.ru

Vitaliy Andreevich Grebnev,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: grebnev.vit@yandex.ru

АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

ANALYSIS OF THE SUITABILITY OF MATERIALS FOR SOIL REINFORCEMENT

В статье рассмотрены особенности применения различных вяжущих веществ минерального типа при использовании технологии комплексной стабилизации или комплексного укрепления грунтов. В ходе данной работы рассмотрена дорожная классификация стабилизаторов. Описаны свойства грунтов, полученные в результате применения технологии укрепления грунтов, и изучены процессы взаимодействия материалов с дисперсными связными грунтами и химические реакции, происходящие при укреплении грунтов.

Ключевые слова: стабилизация, грунт, цемент, известь, летучая зола, доменный шлак.

The article discusses the features of the using various cement-type binders in the technology of stabilization of soils. The road classification of stabilizers is considered. The properties of soils obtained as a result of the application of soil stabilization technology are described. The processes of interaction of materials with fine-grained soils and chemical reactions that occur during soil stabilization are studied.

Keywords: stabilization, soil, cement, lime, fly ash, blast furnace slag.

Грунты играют значительную роль с точки зрения строительства и инженерного проектирования, так как являются материалом для оснований, которые воспринимают нагрузки от автомобильных дорог и транспортных сооружений.

Прочностные характеристики различных типов грунтов могут достаточно сильно различаться. И если на участке для строительства конкретной конструкции основание имеет низкую прочность, для исключения экономических затрат, связанных с использованием привозного материала, необходимо улучшать прочность местного грунта. Это возможно с помощью технологии укрепления грунтов – технологического процесса получения материалов на основе грунтов и других материалов, обеспечивающий изменение водно-физических свойств грунтов (снижение оптимальной влажности, повышение плотности, уменьшение пучинообразования и т. п.).

Минеральные (глинистые) грунты по сравнению с другими имеют большую площадь поверхности за счет плоской и вытянутой формы частиц. Органоминеральные грунты (илы, сапропели) являются одним из структурно-неустойчивых видов грунтов, они чувствительны к небольшому изменению влажности, что может создать трудности во время укрепления. Для органических грунтов (торфов) характерна влажность до 2000 %, высокая пористость и высокое содержание органических веществ. Консистенция заторфованных грунтов может варьироваться от мутного до волокнистого, и в большинстве случаев мощность торфяных залежей в среднем 2 м, но может

и достигать 5–6 м. В таких грунтах успешная стабилизация и укрепление должны зависеть от правильного выбора самого связующего материала и от его количества.

Для достижения желаемых инженерных свойств оснований укрепление должно проводиться на связных грунтах (глинистых, илистых, заторфованных грунтах, сапропелях;). Так как дисперсные связные материалы (с механическими и водно-коллоидными структурными связями) легче всего стабилизировать из-за их большой площади поверхности по отношению к диаметру их частиц. Укрепление часто применяется для повышения прочности грунтовых оснований, укрепления откосов выемок дорог; увеличения коэффициента уплотнения грунта; снижения пучинистости грунтов.

Применительно к дорожному строительству согласно ОДМ 218.3.076–2016 «Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства» существует классификация стабилизированных грунтов. Грунты, обработанные стабилизаторами, следует подразделять на грунты:

- стабилизированные;
- комплексно стабилизированные;
- комплексно укрепленные.

Стабилизированные грунты получают по технологии перемешивания грунтов при оптимальной влажности с малыми дозами стабилизаторов – активных добавок, не являющимися вяжущими. Комплексно стабилизированные грунты получают по той же технологии, но с использованием, помимо добавок стабилизаторов, еще и до 2 % вяжущих (органических или минеральных). И наконец, комплексно укрепленные грунты отличаются от комплексно стабилизированных содержанием вяжущих более 2 % [1].

Технологии комплексной стабилизации глинистых грунтов, кроме улучшения их водно-физических свойств, способствует образованию жестких кристаллизационных связей, что положительно сказывается на увеличении физико-механических характеристик грунтов и в первую очередь таких, как сдвиговая прочность и модуль деформации. В свою очередь увеличение прочностных и деформационных характеристик комплексно стабилизированных глинистых грунтов дает возможность использовать их для устройства не только рабочего слоя, но и для обочин, а также грунтовых оснований дорожных одежд и покрытий местных (сельских) дорог.

Применение технологии комплексной стабилизации или комплексного укрепления предусматривает использование стабилизаторов и/или вяжущих веществ – активных добавок, вступающих в химическую реакцию с грунтом и/или грунтовыми водами и образующих с грунтом новые структурные связи с целью улучшения его геотехнических свойств, таких как сжимаемость, прочность, водопроницаемость и долговечность. В качестве минеральных вяжущих используют цемент, известь, летучая зола, доменный шлак.

Цемент. Реакция цементации не зависит в значительной степени от минеральных компонентов грунта, и ключевую роль играет его реакция с водой, которая может присутствовать в любом грунте. Это может быть причиной того, что цемент используется для стабилизации широкого спектра грунтов. Сейчас в строительной отрасли доступны многочисленные виды цемента: это и обычный портландцемент, шлакоцемент, сульфатостойкий цемент и высокоглиноземистый цемент. Обычно выбор цемента зависит от типа обрабатываемого грунта и желаемой конечной прочности.

Реакция, при которой происходит цементация – реакция гидратации – процесс присоединения молекулы воды к другим молекулам или ионам. Процесс начинается, когда цемент смешивается с водой и другими компонентами, что в результате приводит к затвердеванию. Затвердевание (схватывание) цемента фиксирует положение объема грунта в условиях его естественного залегания как клей. Реакция гидратации медленная, идущая от поверхности зерен цемента, и поэтому центры самих зерен могут оставаться негидратированными. Гидратация цемента – комплексный процесс со сложной серией химических реакций.

Однако на этот процесс могут повлиять:

- наличие посторонних предметов или примесей
- водоцементное соотношение
- температура, при которой происходит затвердевание
- наличие добавок
- удельная поверхность смеси.

В зависимости от задействованных факторов, окончательное влияние на схватывание и увеличение прочности грунта, стабилизированного цементом, может быть разным, поэтому это следует учитывать при подборе смеси для достижения желаемой прочности. Трёхкальциевые и двухкальциевые силикаты – $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и $2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$ (сокращенно C_3S и C_2S) – это два основных вяжущих, составляющие обычный портландцемент, отвечающих за приобретение прочности. Одним из продуктов гидратации портландцемента является гидроксид кальция (гашеная известь) – сильное основание, которое в дальнейшем может вступить в реакцию с пуццолановыми материалами, находящимися в стабилизированном грунте, что также образует сцементированный материал. Обычно используется небольшое количество цемента, но для улучшения инженерных свойства грунтов и улучшение катионного обмена глинистых грунтов эффект значителен. Грунты, стабилизированные цементом, обладают следующими улучшенными свойствами: снижение когезии, снижение объемного расширения или сжатия, повышенная прочность.

Укрепление цементом допускается грунтов как совместно, так и без введения добавок других веществ (жидких нефтяных битумов или битумных эмульсий). Глинистые грунты должны иметь влажность на границе текучести не более 55 %.

Известь

Известь также может являться материалом для укрепления различных грунтов. Основные активные составляющие извести – CaO и MgO , являющиеся соединениями, на основе которых существуют современные неорганические вяжущие (портландцемент и магнезиальный цемент, соответственно), превращаются в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и в $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Вода, проникая в глубину известковых зерен, вступает в химическое взаимодействие с CaO , и выделяющиеся при этом тепло превращает воду в пар [2]. Глинистые грунты становятся суше и менее подвержены изменениям содержания воды. Укрепление известью может относиться к пуццолановой реакции, при которой пуццолановые материалы вступают в реакцию с известью в присутствии воды с образованием вяжущего соединения. Эффект может принести либо негашеная известь, CaO , или гашеная известь, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Известь также можно использовать на сухих грунтах, в условия, при которых вода может потребоваться для достижения эффективного уплотнения.

Твердение гашеной извести происходит медленно и обусловлено двумя процессами: высыханием раствора, и как результат – сближение кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и их срастание; и карбонизацией извести под действием углекислого газа, содержащегося в воздухе – $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, образуя кристаллы CaCO_3 , которые срастаются с кристаллами $\text{Ca}(\text{OH})_2$, повышая прочность укрепленного грунта.

Негашеная известь – это наиболее часто используемая известь, и ниже приведены преимущества негашеной извести по сравнению с гашеной:

- более высокое содержание доступной свободной извести на единицу массы
- плотнее гашеной извести (требуется меньше места для хранения) и меньше пыли
- выделяет тепло, которое ускоряет набор прочности и значительное снижение влажности содержания в соответствии с уравнением реакции: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ – данная реакция экзотермическая, которая происходит с выделением 67 кДж/моль.

Известки характеризуются очень медленным твердением и набором требуемой прочности через длительный срок влажного твердения – 90–120 сут. и более. Поэтому после приготовления смесей и оптимального их увлажнения возникает задача ускорения структурообразования и твердения. Для ускорения твердения указанных смесей целесообразно применять добавки хлористого кальция, магния, натрия и др. веществ.

Технология стабилизации известью широко используется в дорожном строительстве при устройстве оснований дорожных одежд, стабилизации откосов и повышении несущей способности грунтов оснований, например, использование известковых свай или столбов из стабилизированного известью грунта. Однако присутствие серы и органических материалов может препятствовать процессу стабилизации известью. Сульфаты (например, гипс) реагирует с известью и набухает, что может повлиять на прочность грунта.

Предпочтительно укреплять известью глинистые грунты с числом пластичности не менее 5. Для укрепления песчаных и пылеватых глин с числом пластичности от 17 до 22 следует применять известь как отдельно, так и совместно с различными добавками (хлористый кальций, жидкое стекло, сернистый натрий) для достижения укрепленным грунтом большей прочности и водостойкости.

Золы уноса. Летучая зола является побочным продуктом угольных электростанций и мусоросжигательных заводов во многих странах, получаемым после сжигания каменного или бурого угля, горючих сланцев либо торфа. Летучая зола может быть использована для:

- 1) снижения содержания воды в грунте;
- 2) повышения удобоукладываемости
- 3) увеличения прочности грунта.

Летучая зола обладает меньшими вяжущими свойствами по сравнению с известью и цементом, и сама по себе не может дать желаемого эффекта. Однако в присутствии небольшого количества активатора он может химически реагировать с образованием вяжущего, способствующего повышению прочности дисперсных связных грунтов. Летучая зола – доступный, дешевый и экологически чистый материал.

Для стабилизации грунтов возможно использовать два класса летучей золы, определенные согласно стандарту *ASTM C618*: Класс *F* и Класс *C*. Главное различие между

этими классами – количество кальция, кремния, алюминия и железа в золе. Химические свойства золы во многом зависят от химического состава сжигаемого угля.

Летучая зола Класс С – зола, образующаяся при сжигании бурого угля или черного лигнита, и в дополнение к пуццолановым свойствам, имеет свойство само-цементирования. При добавлении воды летучая зола Класса С затвердевает и набирает прочность с течением времени. Зола класса С обычно содержит более 20 % извести (CaO). Содержание щелочей и сульфатов (SO₄) обычно выше в летучей золе Класса С.

Сжигание более твердого и старого антрацита и каменного угля обычно приводит к появлению летучей золы Класса F. Это золы пуццолановые по природе, и содержат менее 10 % извести (CaO). Обладая пуццолановыми свойствами, стеклянный кремнезем и глинозем летучей золы Класса F требует цементирующего агента, такого как цемент, известь, или гашеная известь, с добавлением воды для того, чтобы прошли реакции для образования цементных соединений.

Укрепление летучей золой часто используется в качестве конструктивного решения при наличии влажных грунтовых условий, а погодные условия или временные ограничения не позволяют подрядчику осушить грунт. Летучая зола снижает влажность и пластичность грунта и улучшает удобоукладываемость.

Это позволяет построить подходящую рабочую платформу для строительных работ. Летучая зола также используется для уменьшения возможности усадки/набухания глинистых грунтов. Прочность на сжатие без ограничений для глинистых грунтов, стабилизированных летучей золой, может быть улучшена в зависимости от источника летучей золы, нормы внесения и стабилизируемого материала.

Золы уноса сухого отбора, может применяться в качестве самостоятельного вяжущего (при укреплении крупнообломочных грунтов неоптимального и оптимального гранулометрического состава, супесей, песков), а также как компонент смешанного вяжущего (вместе с активатором – известью или цементом).

Доменные шлаки. Это побочный продукт при производстве чугуна. По химическому составу доменный шлак схож с химическим составом цемента, так как основными составляющими доменного шлака помимо кварца являются оксиды кальция, алюминия и магния. Несмотря на то, что сам по себе доменный шлак не является вяжущим веществом, он обладает скрытыми гидравлическими свойствами, которые могут развиваться при добавлении извести или щелочного материала. В зависимости от применения системы охлаждения отходов металлургии доменный шлак можно разделить на три вида:

- шлаковая пемза, полученная путем контролируемой обработки жидкого шлака до вспученного доменного шлака
- негранулированный доменный шлак, который является результатом медленного охлаждения на открытом воздухе горячего шлака после выхода из доменной печи (образование кристаллизованного шлака)
- гранулированный доменный шлак, который образуется при внезапном охлаждении горячего шлака водой или воздухом

Данные виды шлаков могут быть использованы при производстве различных бетонов. Однако хорошие вяжущие свойства сам по себе имеет только гранулированный доменный шлак, который может использоваться как минеральная добавка, в том

числе и при стабилизации грунтов. Добавка шлака приводит к увеличению кристаллов гидроксида кальция в процессе его кристаллизации. Образование более крупных кристаллов приводит к дополнительной растворимости гидроксида кальция, а, следовательно, к повышению морозостойкости грунтов, укрепленных известью.

Суглинки и глины с числом пластичности более 12 допускается укреплять гранулированным и дисперсным металлургическими шлаками после предварительного улучшения свойств добавками извести и цементной пыли.

Таким образом сделан анализ основных вяжущих материалов для применения технологии комплексной стабилизации и комплексного укрепления грунтов. Успешная стабилизация зависит от правильного выбора самого связующего материала, от его количества, а также от условий строительства. Цемент – универсальное минеральное вяжущее, которое может использоваться как отдельно, так и с добавками различных материалов. Гранулированные доменные шлаки, золы уноса рекомендуется применять в качестве медленноотвердеющих вяжущих с добавками активаторов твердения. То же самое можно сказать и про известь, процесс твердения которой очень длительный. Отдельно известью предпочтительно укреплять глинистые грунты с числом пластичности менее 5.

В дорожном строительстве составлена классификация по целевым функциям обработки грунтов добавками. В зависимости от конечной функции обработанного стабилизаторами грунта выбирается определенный вид обработки грунта с учетом свойств грунта по pH и вида стабилизатора. Для глинистых грунтов с более высоким числом пластичности и с более высоким водородным показателем pH целесообразно применение технологий комплексной стабилизации и комплексного укрепления. По функции свойств грунта может выбираться или устанавливаться назначение материала в требуемый слой конструкции дорожной одежды автомобильной дороги.

Литература

1. ОДМ 218.3.076-2016 «Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства». М. : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). 2017. 37 с.

2. Самедов А. М. Укрепление переувлажненных глинистых грунтов молотой негашеной известью или жженой магнезией / А. М. Самедов, Д. В. Ткач // Известия Тульского государственного университета «Науки о Земле». – Тула : ТулГУ, 2012. – Вып. 2. – С. 162–170.

3. Безрук В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М. : Транспорт, 1971. 248 с.

4. Безрук В. М., Гулячков И. Л., Луканина Т. М., Агапова Р. А. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве). М. : Транспорт, 1982. 231 с.

УДК 625.71.8

Дмитрий Ринатович Зарипов,
студент

Сергей Александрович Уколов,

канд. техн. наук, доцент

Владимир Анатольевич Трепалин,

канд. техн. наук, доцент

Глеб Александрович Аверченко,
ассистент

(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)

Лилия Николаевна Юстикова,
магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: rusbim.com@ya.ru,

zaripov.dr@edu.spbstu.ru,

serj.ukolov2011@yandex.ru,

v.trepalin.spb@yandex.ru,

lnyustik@mail.ru

Dmitry Rinatovich Zaripov,
student

Sergey Aleksandrovich Ukolov,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

Vladimir Anatolyevich Trepalin,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

Gleb Alexandrovich Averchenko,
assistant lecturer

(Peter the Great St.Petersburg
Polytechnic University)

Liliya Nikolaevna Yustikova,
Master's degree student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: rusbim.com@ya.ru,

zaripov.dr@edu.spbstu.ru,

serj.ukolov2011@yandex.ru,

v.trepalin.spb@yandex.ru,

lnyustik@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕКРЫТИЙ И ПРОЛЕТОВ МОСТОВ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

EXPERIMENTAL STUDIES OF FLOORS AND SPANS OF BRIDGES MADE OF EXPANDED CLAY CONCRETE

Плиты из керамзитобетона – универсальный строительный компонент, использующийся при строительстве различных сооружений. Общие области применения данных плит: ограждающие конструкции зданий и сооружений; звукоизоляционные конструкции; система вентиляции; фундаменты под деревянный сруб; возведение наружных ограждений; укладка бордюра. Для широкого применения керамзитобетона тот должен обладать рядом технических характеристик, подтверждение которых проходит экспериментальным путем. В рамках данной статьи, будет рассмотрен опыт Института «ПромстройНИИпроект».

Ключевые слова: композитные материалы, плиты перекрытий и пролетов мостов, современные строительные материалы.

Expanded clay concrete slabs are a universal building component used in the construction of various structures. General applications of these plates: enclosing structures of buildings and structures; sound-proof design; ventilation system; foundations for a wooden log house; construction of external fences; laying the curb. For a wide application of expanded clay concrete, it must have a number of technical characteristics, the confirmation of which is carried out experimentally. In this article, the experience of the Institute “PromstroyNIIProekt” will be considered.

Keywords: composite materials, floor slabs and bridge spans, modern building materials.

Санкт-Петербургским политехническим университетом (СПбПУ) разработаны и исследованы плиты перекрытий и пролетов мостов из керамзитобетона.

Номинальные размеры плит: ширина – 1,5 м, длина – 6 и 12 м, толщина – 0,3 и 0,35 м. Комплексные плиты слоистой конструкции: наружные слои выполнены из конструкционного керамзитобетона М200 при пролете 6 м и М300 при пролёте 12. Средний слой – из крупнопористого керамзитобетона М25 плотностью 500–600 кг/м³ [2–5].

Армирование плит предусмотрено стержневой предварительно напряженной арматурой класса располагаемой в нижнем слое с шагом 400 мм верхний слой армируется сеткой. Совместная работа слоев обеспечивается постановкой арматурных каркасов [6–7].

В опорных участках покрытий устанавливается целесообразный сетки на длину 450 мм. Для обеспечения анкеровки предварительно напряженной арматуры в тонком слое керамзитобетона на концы стержней устанавливаются спирали из проволоки класса В-I диаметром 4 мм.

Таблица 1

Исследование плиты перекрытий и пролетов мостов из керамзитобетона

| Виды керамзитобетонов | Проектная марка по прочности на сжатие | Плотность бетона, кг/м ³ | Прочность при сжатии | | Прочность при растяжении | Начальные модули упругости E, МПа |
|-----------------------|--|-------------------------------------|----------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|
| | | | R, МПа | R, МПа | | |
| Конструкционный | 300 | 840 | 31 | 9,7 | – | 9500 |
| | 300 | 800 | 28 | 8,9 | – | 8500 |
| Теплоизоляционный | 25 | 860 | 3,4 | 4,0 | 0,24 | 800 |
| | 25 | 600 | 2,5 | 9,5 | 0,175 | 500 |
| Конструкционный | 200 | 650 | 3,5 | – | 2,55 | 3700 |
| | 200 | 700 | 21,0 | 18,1 | 2,67 | 20 900 |
| Теплоизоляционный | 25 | 700 | 2,8 | – | – | – |
| | 25 | 800 | 3,5 | – | – | – |

Плиты рассчитаны как изгибаемые элементы с опиранием по коротким сторонам для 4 района снеговых нагрузок. Они предназначены для одноэтажных и многоэтажных промышленных зданий с неагрессивной газовой средой в условиях нормального к сухого температурно-влажностного режима.

Опытные образцы комплексных плит пролетом 6 м были изготовлены на комбинате железобетонных и металлических конструкций, а плиты пролетом 12 м на Ачинском производственном объединении строй индустрии глав красноярского строя конструкционные керамзитобетон приготавливается в смесителях принудительного действия, а крупнопористые – в смесителях гравитационного типа [8].

Натяжения арматурных стержней производилась электротермическим методом на упоре форм величина натяжения контролировалась специальными тензодинамометрами. Формирование панели и производилось в начале укладывался нижний слой и уплотнялся на вибростенде затем средний слой с кратковременным уплотнением на вибростоле в течении 15–20 секунд верхний слой керамзитобетона уплотнялся с помощью виброрейки [9–10].

Отформованные изделия пропаривают термопакетах по принятым на заводах режимом. Отпуск предварительного напряжения арматурных стержней производился обрезкой электросваркой поочередно с 1 и другой стороны панелей опытные плиты транспортировались к месту испытаний автотранспортом на расстоянии до 200 км. Испытания панели производили загрузкой в рабочем состоянии нагрузка прикладывалась штучными грузами равномерно по всей поверхности, а также с 1 стороны имитирующий снеговой мешок в местах перепада высоты здания. В процессе загрузки панели для контрольных нагрузок по жесткости в растянутой зоне появились трещины. Плитах 20 и 60 трещины появились при нагрузках, не значительно превышающих собственный вес. Для повышения трещиностойкости конструкций плитам пролетом 6 м было увеличено предварительное напряжение арматуры с 400 до 500, а в плитах пролетом 12 м увеличена толщина среднего слоя до общей толщины плиты 350 м. Принятые меры повысили нагрузку трещина образования и обеспечили минимальную ширину раскрытия трещин при нормальных нагрузках [11–15].

Жесткость опытных плит - удовлетворительная. Увеличение толщины плиты размером пролета 12 м до 350 м позволило уменьшить прогиб с 28,2 до 20,8 мм. Относительный прогиб опытных плит составил части пролета. Результаты испытаний плит сведены в таблицы 2, 3.

Разрушения образных плит характеризовалась текучестью арматуры в зоне действия максимального изгибающего момента с образованием пластического шарнира. Разрушения предшествовало раскрытия трещин до 2–3 мм и интенсивное нарастание прогибов в середине пролёта конструкций. Все опытные плиты имели необходимый запас прочности при коэффициенте $C=1,35$ – $I-64$ [15–20].

Кроме статических испытаний были проведены следования теплозащитных свойств на фрагментах. Для этого была изготовлена специальная установка, позволяющая проводить испытания одновременно на 2 фрагментах при направлении теплового потока сверху и снизу-вверх. По результатам теплотехнических испытаний установлено, что коэффициент теплопроводности зависит от направления теплового потока. Исследуемые комплексной плиты могут применяться в покрытиях и цокольном перекрытии здания нормальным влажностным режимом при расчетной температуре наружного воздуха до -44°C .

Таблица 2

Результаты испытаний плит по второй группе предельных состояний

| Испытываемый образец | Контрольная нагрузка по жесткости, кг/м | Нагрузка трещинообразования, кг/м | Прогиб конструкции, мм | Относительный прогиб | Ширина раскрытия трещин |
|----------------------|---|-----------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 | 154 | 305 | 28,2 | I/420 | 0,15–0,18 |
| 2 | 170 | 471 | 20,8 | I/570 | 0,05–0,1 |
| 3 | 585 | 940 | 8,8 | I/662 | 0,03–0,05 |
| 4 | 585 | 826 | 8,5 | I/685 | 0,03–0,06 |
| 5 | 430 | 355 | 9,3 | I/626 | 0,1–0,16 |

Результаты испытаний плит по первой группе предельных состояний

| Испытываемый образец | Расчетная нагрузка, кг/м ² | Масса (собст. вес), кг | Разрушающая нагрузка | | Коэффициент запаса прочности <i>C</i> |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| | | | <i>P</i> , кг | <i>q</i> , к/м ² | |
| 1 | 450 | 11 000 | 10 990 | 611 | 1 |
| 2 | 500 | 10 800 | 13 770 | 683 | 2 |
| 3 | 975 | 3200 | 10 950 | 1572 | 3 |
| 4 | 975 | 3200 | 11 200 | 1600 | 4 |

Таким образом, проанализировав все материалы, которые используют для строительства, можно определить оптимальный вариант цементный бетон состава материалов для строительства. Этим материалом является цементный бетон, который обладает таким необходимым дорожному полотну свойству, как прочностью.

Литература

1. Пугин К. Г., Юшков В. С. Строительство автомобильных дорог на основе вторичных материалов // Приволжский научный вестник. 2012. № 4 (8). С. 25–29.
2. Скрытников А. В., Скворцова В., Кондрашова Е. В., Вакулин А. И., Логачев В. Н. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно- эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации // М. : ООО «ФЛИНТА», – 2013 г. – 312 с.
3. Клюев С. В., Авилова Е. Н. Бетон для строительства автомобильных дорог на основе сланцевого щебня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2013. № 2. С. 38–41.
4. Павлова Л. В. Реконструкция автомобильных дорог // Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет ЭБС АСВ, 2013. 208 с.
5. Стородубцева Т. Н., Аксомитный А. А. Исследование влияния свойств древесного заполнителя на трещиностойкость композиционного материала // Лесотехнический журнал. 2014. № 3(15). С. 213–220.
6. Бунькина И. А. Управление качеством в дорожном строительстве // Научное обозрение. 2015. № 18. С. 372–376.
7. Ковалев Н. С. Морозостойкость шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2012. 180 с.
8. Бедрин Е. А., Завьялов А. М., Завьялов М. А. Обеспечение термической устойчивости основания земляного полотна автомобильных дорог // Омск : Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2012. 178 с.
9. Кузнецов И. С., Кузнецова Г. А., Мкртчян А. Г. Алгоритмы поиска оптимальной трассы прокладки автомобильной дороги // Научный журнал. Системы и сооружения. 2014. № 2(15). С. 73–79.
10. Тюремнов И. С., Игнатьев А. А. Уплотнение грунтов вибрационными катками // Ярославль: ЯГТУ, 2012. 140 с.
11. Krayushkina K., Bieliatynskiy A., Prentkovskis O., Junevičius R. Use of steel slags in automobile road construction // TRANSPORT. 2012. № 2. С. 129–137.
12. Denisov M. V., Kizim A. V., Matokhina A. V., Sadovnikova N. P. Repair and maintenance organization with the use of ontologies and multi-agent systems on the road sector example // WORLD APPLIED SCIENCES JOURNAL. 2013. № 24. С. 31–36.

13. *Abdolvand B., Mez L., Winter K., Mirsaedi-Globner S., Bar J., SchÜtt B., Rost K.T.* The dimension of water in central asia: security concerns and the long road of capacity building // ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES. 2014. № 2. С. 897–912.
14. *Gladkikh V. A., Korolev E. V.* Suppressing the hydrogen sulfide and sulfur dioxide emission from sulfur-bituminous concrete // advanced materials research. 2014. Том: 1040. С. 387–392.
15. *De Grandpr É. I., Fortier D., Stephani E.* Degradation of permafrost beneath a road embankment enhanced by heat advected in groundwater // Canadian journal of earth sciences. 2012. № 8. С. 953–962.
16. *Doudkin M. V., Pichugin S. Y. U., Fadeyev S. N.* The analysis of road machine working elements parameters // World applied sciences journal. 2013. № 2. С. 151–158.
17. *Petrov A., Petrova D.* Assessment of spatial unevenness of road accidents severity as instrument of preventive protection from emergency situations in road complex // innovative technologies in engineering. VII International Scientific Practical Conference. Conference Proceedings. National Research Tomsk Polytechnic University. 2016.
18. *Yemshanov D., Koch F. H., Ducey M., Koehler K.* Mapping ecological risks with a portfolio-based technique: incorporating uncertainty and decision-making preferences // Diversity & distributions. 2013. № 5–6. С. 567–579.
19. *Efimenco S. V., Badina M. V.* Road-building climatic zoning in west Siberia // vestnik of tomsk state university of architecture and building. English version appendix. 2015. № 2. С. 79–86.
20. *Onyshchenko A. M., Voznyi S. P.* Method for determining the fatigue indicator for monolithic road-building materials // international scientific and practical conference world science. 2017. № 5(21). С. 32–36.
21. *Васильев К. А., Борисов В. А., Аверченко Г. А.* Понтонные (наплавные) мосты из некондиционных труб полиэтилена низкого давления. Транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 37–45.
22. *Аверченко Г. А., Борисов В. А., Васильев К. А.* Оценка эксплуатационных свойств полимерных композиционных материалов по результатам экспресс-испытаний. В сборнике: Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 29–31.
23. *Шашко А. И., Рудакова Е. А., Аверченко Г. А.* Конструкция и расчет безметалльного анкера гладкого стеклопластикового стержня. В сборнике : Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 83–87.

УДК 625.71.8

Илья Николаевич Игнатъев,
студент
Галина Ивановна Артюхина,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: jei.vitaa@gmail.com,
removna62@rambler.ru

Ilya Nikolaevich Ignatev,
student
Galina Ivanovna Artyukhina,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: jei.vitaa@gmail.com,
removna62@rambler.ru

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РАЙОНАХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

EXPERIENCE IN BUILDING ROADS IN PERMAFROST AREAS

В статье рассматривается отечественный и зарубежный опыт строительства автомобильных дорог в зоне распространения вечномёрзлых грунтов. Площадь вечной мерзлоты на земле составляет 35 миллионов квадратных километров и занимает 25 % площади всей суши. Территории, находящиеся под влиянием многолетнемерзлых грунтов – северные регионы России, север Аляски, Канады, Европы, острова Северного Ледовитого океана. Особенности природных условий оказывают решающее влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию автомобильных дорог. А также проанализированы различные вариации охлаждения и сохранения многолетнемерзлых грунтов под основанием автомобильной дороги.

Ключевые слова: вечномёрзлый грунт, многолетнемерзлые грунты, геосинтетический материал, строительство, проектирование, автомобильная дорога, вечная мерзлота, Аляска.

The article deals with domestic and foreign experience in the construction of highways in the permafrost zone. The overall area of permafrost is 35 million square kilometers and occupies 25 % of the entire land area. Territories located in permafrost are the Northern regions of Russia, the North of Alaska, Canada, Europe, and the Islands of the Arctic ocean. Features of environmental conditions of the North have a decisive influence on the design, construction and operation of highways. Different variations of cooling and preserving permafrost soils under the roadbed are also analyzed.

Keywords: permafrost, eternally frozen ground, geosynthetic, civil engineering, engineering design, highway, Alaska.

Площадь вечной мерзлоты на планете составляет 35 миллионов квадратных километров и составляет 25 % площади всей суши. Территории, находящиеся под влиянием многолетнемерзлых грунтов (ММГ) – северные и северо-восточные регионы России, Аляски, Канады, Европы, острова Северного Ледовитого океана. В России вечномёрзлые грунты занимают около 65 % всей территории.

Известны два способа строительства дорог в зоне вечной мерзлоты: с сохранением вечномёрзлого грунта в основании земляного полотна на протяжении всего жизненного цикла дороги или с допущением оттаивания грунтов основания в процессе эксплуатации дороги с учётом возможных вследствие этого деформаций земляного полотна.

Выбор того или иного способа строительства должен обосновываться техническим решением и регламентирующими мероприятиями, которые обеспечивали бы эти условия, то есть что бы грунты под инженерным сооружением всегда находились

в выбранном состоянии. Для этого в процессе изыскания и проектирования автомобильных дорог необходимо обращать внимание на то, какая мерзлота распространена в той или иной местности: сплошная, прерывистая, островная, каковы ее состав, структура и текстура, тепловой режим. Зачастую строительство ведется с использованием одного принципа. Это приводит к образованию просадок и пучин.

Практика строительства автомобильных и железных дорог в зоне распространения ВМГ дает много примеров деформаций и разрушений на дорогах. Результаты обследования аварийных участков трассы «Амур» показали, что возникновение аварийных участков на дороге связано с отсутствием учета особенностей района проложения трассы, а также нарушением технологии производства работ. Наибольшие деформации наблюдаются в поймах рек и надпойменных террасах там, где развиты подземные льды и льдистые грунты. Строительство дороги изменило условия теплообмена, и льдистые грунты где-то начали протаивать, а в некоторых условиях промерзать. Это и привело к просадкам и пучению земляного полотна.

На участках дорог, где в основании залегают подземные льды или супеси с льдистостью около 80 %, а также в сильно заболоченных местах под насыпью устраивают прослойки из геотекстиля, что значительно снижает удельное давление на грунт от подвижной нагрузки. Геотекстильные синтетические материалы укладывают в основании, теле и верхней части земляного полотна в виде плоских прослоек, обойм и полуобойм.

При строительстве дорог с сохранением ММГ в основании находят применение естественные и искусственные теплоизоляционные материалы. В России используются пенополистирольные плиты «Пеноплэкс», «*TERMIT XPS*». Применение пенополистирольных плит приводит к поднятию верхней границы многолетнемерзлого грунта (ВГММГ) до подошвы основания насыпи или выше. Однако поднятие ВГММГ происходит не по всей площади основания и поэтому необходимо решать вопрос сохранения в мерзлом состоянии грунт, расположенный под откосами. Искусственный теплоизолятор, расположенный локально под откосной частью земляного полотна, обеспечивает поднятие верхней границы ММГ. Величина поднятия ВГММГ и ширина её распространения зависят от толщины, количества и геометрического расположения теплоизоляционного материала, высоты насыпи. Были проведены теплотехнические расчеты и построение моделей распределения температурных полей в поперечном сечении насыпи с определением верхних границ ММГ, необходимых для обеспечения устойчивости земляного полотна автомобильной дороги в период её эксплуатации. Результаты исследований свидетельствуют о том, что локальное расположение теплоизоляционного материала поднимает верхнюю границу ММГ на 10 %, увеличивает ширину распространения верхней границы на 6,4–8,5 % от ширины подошвы насыпи, даёт возможность уменьшить высоту насыпи. Применение теплоизоляционного материала на откосах позволит снизить стоимость возведения земляного полотна на 20 % [1, 2].

Для повышения надёжности сохранения грунтов основания в мерзлом состоянии устраивают обтекаемые насыпи и выемки, что позволяет ограничивать толщину и плотность снежного покрова на откосах и сохранять отрицательные значения среднегодового теплового баланса на поверхности грунтового массива. Имеются и более

сложные способы регулирования динамики криогенных процессов: устройство охлаждающих термосифонов различной конструкции, защитные навесы, отражающие поверхности, поперечные вентилируемые трубы, устройство вентилируемых насыпей и др.

Зарубежные коллеги тоже сталкиваются с проблемами проектирования, строительства и эксплуатации дорог в районах вечной мерзлоты. Повышение температуры в северной Канаде оказывает значительное влияние на состояние дорог, построенных в зоне распространения вечномерзлых грунтов и особенно на южных границах этой зоны, где температура островной вечной мерзлоты колеблется от $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Связанное с потеплением таяние вечной мерзлоты приводит к осадке грунта, неустойчивости склонов, проблемам водоотвода и разрушению дорог. В Канаде предотвращение оттаивания грунта основания земляного полотна достигается устройством массивной грунтовой насыпи или насыпи с теплоизолирующими слоями, применяя теплоизоляционные материалы: полистирол, полиуретан, пенобетон и пенополистирольные блоки. Для защиты откосов насыпей от снега устраивают навесы. Навесы позволяют холодному воздуху циркулировать зимой и устраняют прямое солнечное излучение летом. Способ зарекомендовал себя во многих регионах, но требует регулярного технического обслуживания и представляет опасность при большой снежной нагрузке [3,4].

Окрашивание поверхности асфальтобетонных покрытий в белый цвет уменьшает поглощение солнечного излучения и снижает глубину оттаивания. Однако, не смотря на эффективность, этот метод имеет высокую себестоимость.

Для обеспечения отвода тепла через естественную конвекцию устраиваются воздухопроводы, которые могут быть ориентированы в направлении преобладающего ветра или построены горизонтально [4].

На территориях Северного Квебека для охлаждения грунта, повышения верхней границы вечномерзлого грунта и стабилизации фундаментов находят применение термосифоны – пассивные охлаждающие устройства [4].

Аляска (США) построена на вечной мерзлоте. Реконструкция Северо-Аляскинского шоссе 10–15 лет назад вызвала таяние вечной мерзлоты. В результате шоссе постоянно подвергается сильным осадкам и продольным трещинам. В настоящее время повышенное внимание уделяется проблеме таяния вечной мерзлоты в связи с глобальным потеплением.

Компания «*Yukon Highways and Public Works*» предприняла обширный исследовательский проект, направленный на поиск экономически эффективных методов строительства автомобильных дорог для уменьшения таяния вечной мерзлоты под насыпью.

Опыт строительства дорог на Аляске не сильно отличается от опыта строительства дорог в Канаде.

При строительстве дорог используются насыпи воздушной конвекции (*ACE*), тепловые отводы, продольные воздухопроводы, осветленное покрытие, снежные навесы, геотекстильные материалы и др [5].

На рис. 1 показана схема насыпи полной воздушной конвекции из крупнообломочных горных пород фракции 150–300 мм.

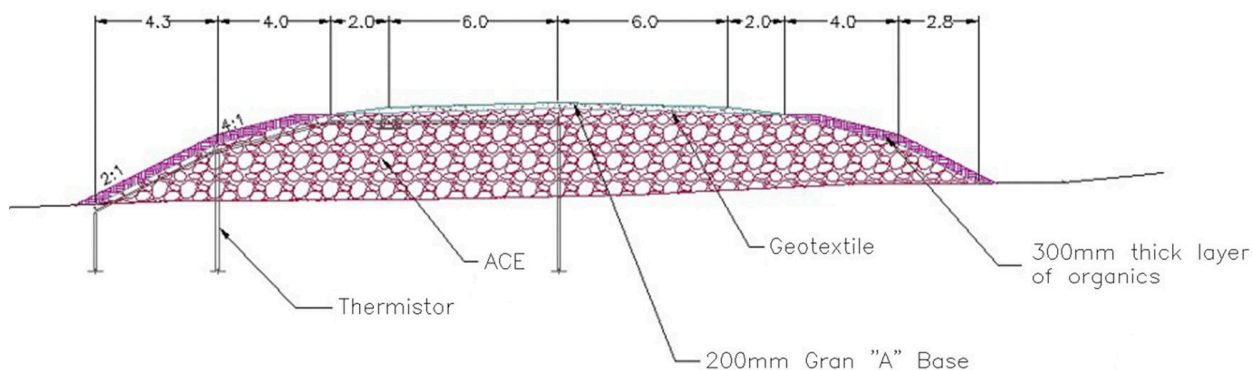


Рис. 1. Схема насыпи полной воздушной конвекции с материалом: ACE Thermistor – термистор; ACE – воздушно-конвективная насыпь; 200 mm Gran „A“ base – 200 мм дорожной одежды; Geotextile – геотекстиль; 300 mm Thick layer of organics – 300 мм слоя органики

На рис. 2 показана схема насыпи неполной воздушной конвекции на откосах насыпи из крупнообломочных горных пород фракции 150–300 мм и с установкой вентиляционных труб вдоль дороги с интервалом 10 метров.

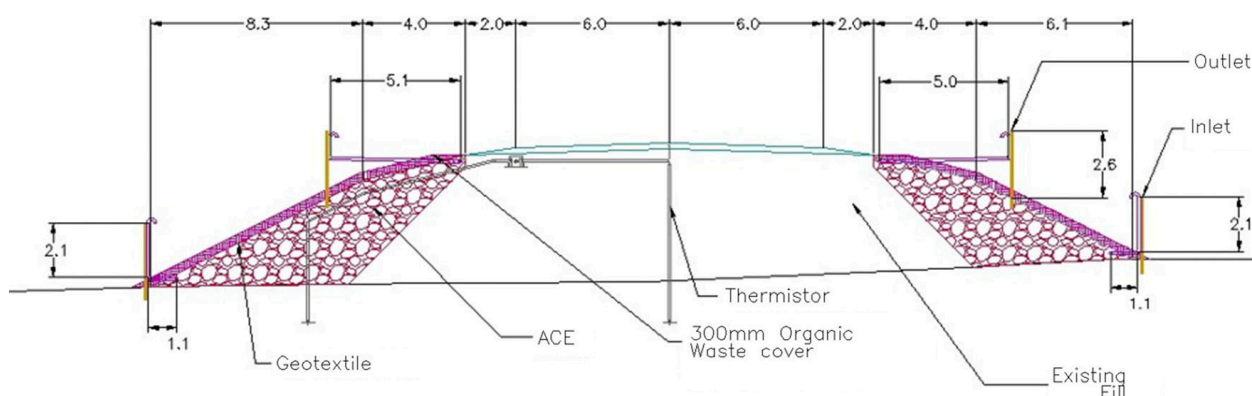


Рис. 2. Схема насыпи неполной воздушной конвекции с материалом ACE и вентиляционными трубами: Geotextile – геотекстиль; ACE – воздушно-конвективная насыпь; 300 mm organic waste cover – 300 мм органического отхода; Thermistor – термистор; Existing fill – существующее заполнение (насыпь); Inlet – входное отверстие; Outlet – выходное отверстие вентиляционной трубы

Тепловые отводы позволяют пропускать охлажденный воздух в насыпь, что позволяет сохранить вечную мерзлоту под насыпью. Под всей насыпью или в боковых откосах укладывается слой геокомпозита – синтетического материала, покрытого с обеих сторон геотекстилем. Трубы крепятся к геокомпозиту параллельно дорожной насыпи и соединяются через равные промежутки со стоячими трубами, которые служат входами и выходами для проникновения холодного воздуха внутрь и выпуска теплого из насыпи [5].

ВМГ относятся к специфическим грунтам. Устойчивость дорог, построенных на вечной мерзлоте, с большой степенью определяется стабильностью состояния земляного полотна и грунтов основания, которая в свою очередь, во многом зависит от температурно-влажностного режима грунтов. Знания этих параметров и возможно их

динамики, строгое соблюдение технологий строительства позволит избежать появления деформаций и разрушений на дорогах в течении ее длительной эксплуатации.

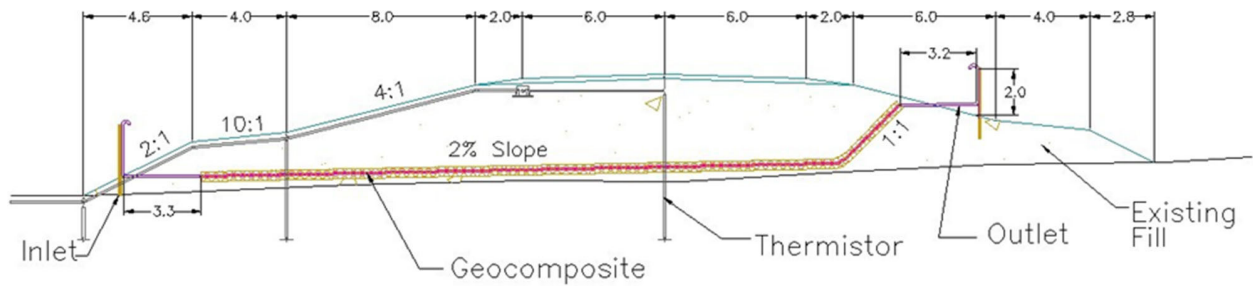


Рис. 3. Схема полного отвода тепла: Geocomposite – геокompозит; Existing fill – существующее заполнение (насыпь); Thermistor – термистор; Inlet – входное отверстие; Outlet – выходное отверстие вентиляционной трубы

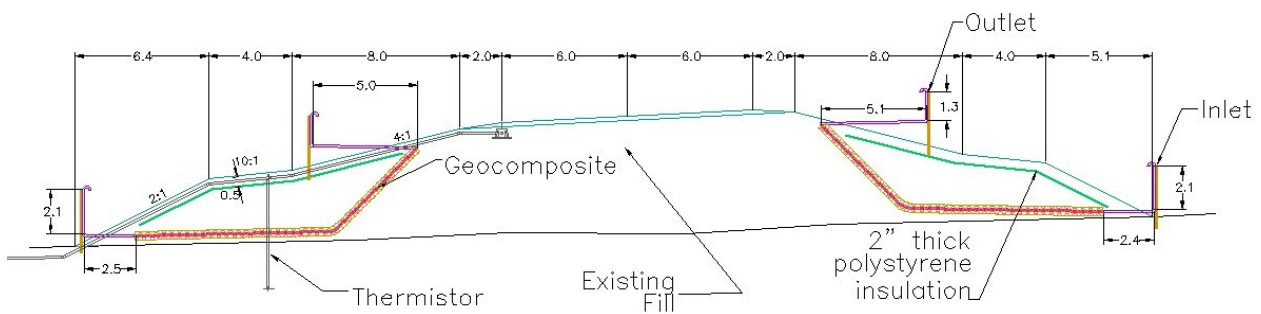


Рис. 4. Схема тепловых стоков на боковых откосах: Geocomposite – геокompозит; Thermistor – термистор; Existing fill – существующее заполнение (насыпь); 2" thick polystyrene insulation – 2 слоя полистирола; Inlet – входное отверстие; Outlet – выходное отверстие вентиляционной трубы

Литература

1. Санников С. П., Белкин В. В. Оптимизация конструкций земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах. сб. «Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры», СПбГАСУ, СПб, 2019, с.65–69.
2. Кондратьев В. Вечная проблема железных дорог на вечной мерзлоте // журнал «Инженерная защита», вып. 10, 2015 г.
3. Deformations and ground temperatures at a road embankment in northern Canada. URL:<https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.1139/cgj-2012-0425> (дата обращения: 2.11.2020).
4. Conceptual design of road and bridge substructure in northern Canada with considerations for constructability and climate change URL:https://csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2019/pdfs/PaperPDFversion_39_0404061242.pdf (дата обращения: 3.11.2020).
5. Cost and Constructability of Permafrost Test Sections Along the Alaska Highway, Yukon. URL:https://www.researchgate.net/publication/268815619_Cost_and_Constructability_of_Permafrost_Test_Sections_Alone_the_Alaska_Highway_Yukon (дата обращения: 3.11.2020).

УДК 625.7

Александр Николаевич Кланюк,

студент

Вера Дмитриевна Тимоховец,

старший преподаватель

(Тюменский индустриальный университет)

E-mail: klanyuksasha@mail.ru,

timohovetsvd@tyuiu.ru

Alexander Nikolaevich Klanyuk,

student

Vera Dmitrievna Timokhovets,

senior lecturer

(Industrial University of Tyumen)

E-mail: klanyuksasha@mail.ru,

timohovetsvd@tyuiu.ru

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ Г. ТЮМЕНИ

SOCIO-ECONOMIC FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE TYUMEN ROAD NETWORK

В статье рассматриваются социально-экономические особенности развития улично-дорожной сети г. Тюмени. Выделены этапы развития системы УДС. Выявлены основные проблемы и задачи. Намечены перспективы развития, ведущие к снижению проблем улично-дорожной сети и повышению оптимальности обстановки на улицах города.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, городские дороги, подъездные пути, градостроение, инфраструктура города.

The article discusses the socio-economic features of the development of the Tyumen Road network. The stages of the development of the UDS system are highlighted. The main problems and tasks are identified. The prospects of development are outlined, leading to a reduction in the problems of the road network and an increase in the optimality of the situation on the streets of the city.

Keywords: street and road network, city roads, access roads, urban planning, city infrastructure.

Ускорение темпов развития города Тюмени существенно повышает актуальность проблемы низкой плотности улично-дорожной сети.

Архитектурный облик любого города не возможен без сети улиц и городских дорог, в г. Тюмени она была относительно сформирована в период с конца XIX по начало XX столетия. На данный момент у неразвитости уличной системы города множество причин, связанных в частности с особенностями истории развития градостроения.

Слабо сформировавшаяся улично-дорожная сеть в Тюмени, требовала специализированного подхода к решению этой задачи. В ходе выполнения детального анализа формирования рассматриваемой городской единицы авторами выделено несколько этапов развития системы улиц:

- Дореволюционные годы. В эти годы складывается планировочная структура улиц. В данный период времени город имеет слаборазвитую улично-дорожную сеть. Проблемы, которые характерны для этого времени: малое количество разветвленных улиц с массой тупиков; нерациональное проложение проездов и наоборот, их отсутствие там, где в этом есть необходимость; низкая развитость водопровода и отсутствие канализаций с каналами. Все вышеперечисленные факты – показатель того, что город не готов к развитию сети улиц.



Рис. 1. Диаграмма изменения сети улиц города

- Годы Великой Отечественной войны – время масштабного развития улично-дорожной сети города. В этот период решены многие проблемы, например, такие как: устранение и пробивка тупиков, разветвление и уширение улиц, прокладка городских дорог до обособленных пунктов (станции, базары и прочее). При этом оставался открытым вопрос технического состояния линейно-транспортных сооружений. Практически все строительство осуществлялось собственными силами горожан. Численность улиц, которые имели дорожное покрытие, была очень мала и составляла около 8 % от всей протяженности улично-дорожной сети города.

- Период освоения нефти и газа. Наплыв ученых, геологов, инженеров и рабочих в связи с добычей нефти и газа оказал соответствующее влияние и на строительство линейных сооружений. Приток людей существенно повлиял на численность населения (рис. 2), что только благоприятствовало развитию города. Вместе с деятелями нефтегазовой отрасли, в Тюмень приезжают ученые и инженеры в области строительства дорог. Они разрабатывают новые виды дорожных покрытий, которые со временем применяются на практике. С этого момента Тюмень перестает быть «изрытой ямами и траншеями» [3]. Совместно с преобразованием внешнего вида улиц создается сеть подземных канализаций для отвода воды с поверхности покрытия. Параллельно разрабатывается проект по системе непрерывного водоснабжения потребителей, предназначенный для проведения воды в жилые дома и предприятия. По сути, это проект – усовершенствование существующей системы водопровода в глобальных объемах. Все эти наработки были введены в план по улучшению улиц, которые стали приобретать современный вид. Из недостатков того периода стоит отметить, что дальнейшего развития улично-дорожной сети не произошло, так как главной задачей являлось

создание условий передвижения от научных центров и институтов к местам отправки деятелей на территории освоения нефтегазовой продукции. Другие проблемы так и не были решены, с периода Великой Отечественной войны.

Изучив развитие системы улиц и то, как оно менялось поэтапно, можно указать следующие трудности совершенствования улично-дорожной сети. К проблемам развития транспортной сети дорог города относится отсутствие планов развития города в целом и улично-дорожной сети в частности. Это связано с тем, что не имелось точных инструкций по планировке города и его заселению жителями. Наплыв населения был быстрый, ощущался острый дефицит мест проживания и работы, вследствие чего планировка шла хаотично. Однако второй, не менее важный, фактор, низкой развитости улично-дорожной сети, – география города. Застройка проходила в сложных грунтово-геологических и климатических условиях.

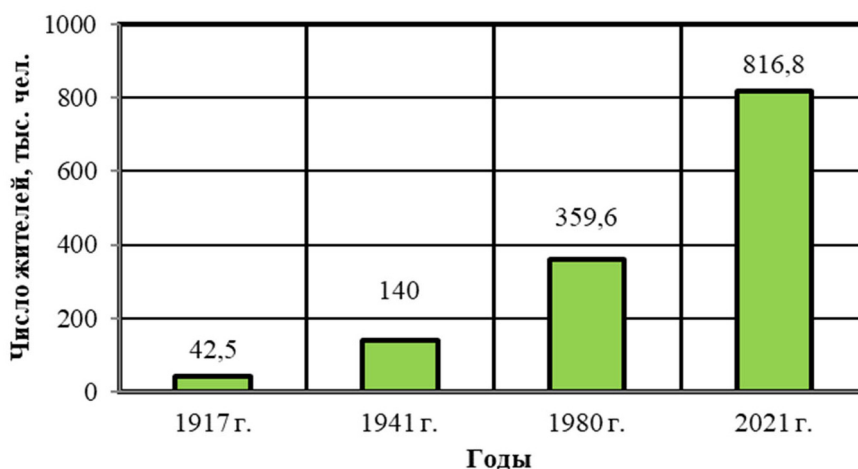


Рис. 2. Диаграмма численности населения

Так, например, в 1933 году в Тюмени образовался деревообрабатывающий комбинат «Красный октябрь» — отсюда появилось и сокращённое название ДОК. Сам микрорайон находится всего в километре от левого края тюменской набережной, но жители города привыкли считать его отдалённым. Факторы, относящиеся к проблематичности развития сетей улиц, наглядно отражаются в данном микрорайоне. ДОК, с одной стороны окружался болотом, а с другой – протекающей рекой (рис. 3). Соединялся этот полуостров с городом единственной улицей Коммунистической. Ныне на этом участке линейного сооружения имеются заторы, регулирование которых, не представляется возможным, так как требуется дополнительное линейно-транспортное сооружение. Соответственно, высокая загруженность ДОК в настоящее время – актуальная ныне проблема, являющаяся следствием истории развития улиц города Тюмени на ранних этапах.

На физической карте микрорайона ДОК изображены его границы, а также местоположение улицы Коммунистическая. Для улучшения дорожно-транспортной сети требуются качественно спроектированные планы улиц для въезда и выезда на данную территорию с учетом заболоченности местности.

Для ликвидации рассмотренных в работе проблем определено два основных решения [4]. Первое заключается в том, чтобы на основе детального анализа каждого

района запроектировать и реализовать улично-дорожную сеть в виде непрерывной системы с учетом функционального назначения улиц и дорог. Второе решение – на ранних этапах проектирования и планирования вновь развивающихся районов города создать корректную сеть улиц, чтобы затраты времени на передвижение от мест проживания до мест работы не превышали нормативного значения. Эти решения, выполненные для устранения проблем улично-дорожной сети, в совокупности приведут к повышению оптимальности обстановки на улицах города.

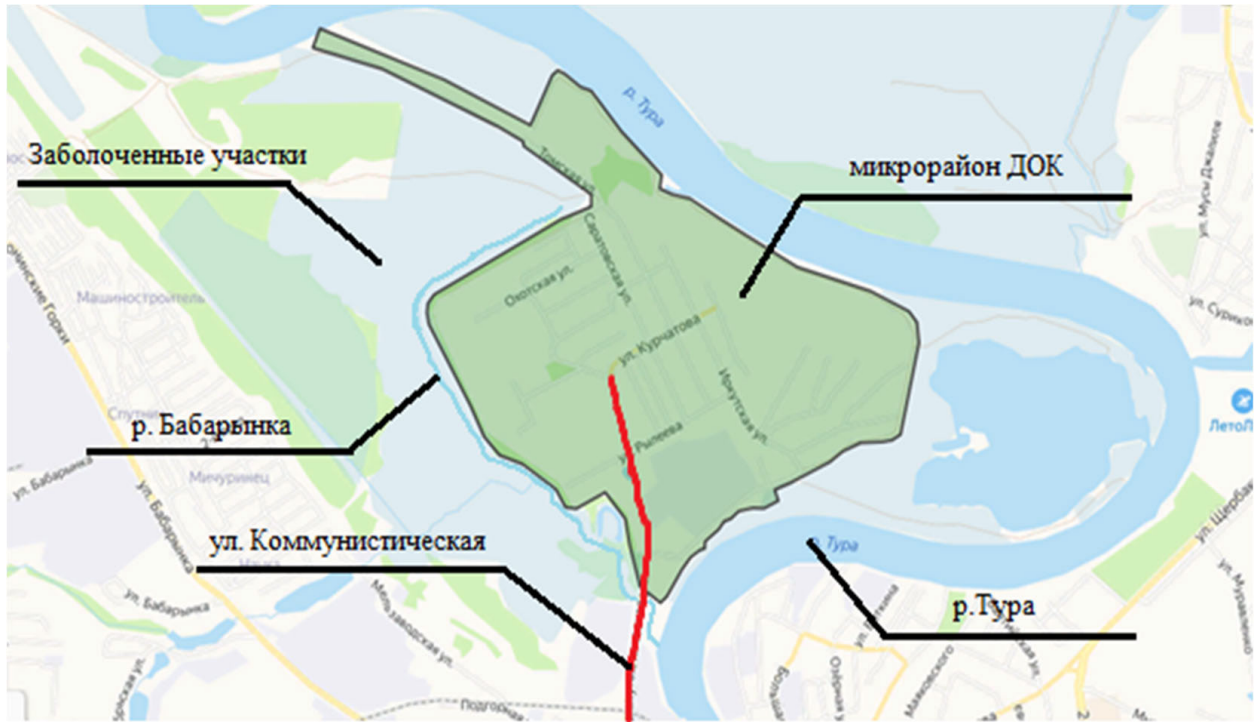


Рис. 3. Карта микрорайона ДОК

Литература

1. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие / Д. С. Мартяхин, А. В. Косцов, С. С. Мордвин. – М. : МАДИ, 2018. – 68 с.
2. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.

УДК 625.7

Александр Дмитриевич Королев,
студент
Сергей Викторович Рехов,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: san.corolew@yandex.ru,
srekhov@mail.ru

Aleksandr Dmitrievich Korolev,
student
Sergey Viktorovich Rekhov,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: san.corolew@yandex.ru,
srekhov@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

SMART TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS

В статье представлены интеллектуальные системы управления дорожным движением. Выделены проблемы, с которыми сталкиваются улицы и магистрали, и их негативные последствия. Представлены современные программные решения, которые призваны увеличить скорость и безопасность движения. Описаны преимущества, принцип работы и возможности интеллектуальной системы управления дорожным движением. Объяснена разница между различными видами маршрутизаторов. Показана роль датчиков дорожного движения в городской инфраструктуре, а также на примере скорой помощи подчеркнута важность мобильных приложений. Выделены преимущества подключения транспортных средств к системе, в том числе и такая инновационная разработка, как «умная парковка».

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления дорожным движением, безопасность движения, заторы, маршрутизаторы, датчики движения, «умная парковка».

This article presents Smart Traffic Management Systems. The problems faced by streets and highways and their negative consequences are highlighted. Modern software solutions, which are designed to increase the speed and traffic safety, are presented. The advantages, operating principles and capabilities of the Smart Traffic Management Systems are described. The difference between different types of routers is explained. The role of traffic sensors in the urban infrastructure is shown, and the importance of mobile applications is emphasized, using the example of ambulance service. The advantages of connecting vehicles to the system are also highlighted, including such an innovative development as Smart Parking.

Keywords: Smart Traffic Management Systems, road safety, congestion, routers, traffic sensors, Smart Parking.

Для увеличения скорости, экономически эффективного повышения безопасности и урегулирования транспортного потока на улицах городов сегодня в улично-дорожную сеть могут быть интегрированы такие технологические решения, как интеллектуальные системы управления дорожным движением. Внедрение таких систем поможет значительно сэкономить средства муниципального бюджета и повысить безопасность дорожного движения.

В целях мониторинга и автоматического управления дорожным движением, а также для уменьшения заторов в данных системах задействованы датчики, камеры, сотовые маршрутизаторы и автоматика. В то же время эти технологические решения готовят «умные города» к развитию технологий в ближайшем будущем, а именно: к подключению транспортных средств к единой системе и полному развертыванию сетей 5G.

Средства, выделенные на развитие инфраструктуры всегда ограничены, а строительство дорог и мостов требует больших затрат. Интеграция же интеллектуальных технологий управления дорожным движением имеет преимущество в том, что можно добиться большей эффективности от существующей инфраструктуры с гораздо более меньшим количеством расходов.

Нам давно известны проблемы, с которыми сталкиваются наши улицы и магистрали. Замедление движения приводит к огромнейшим заторам, что ведёт к загрязнению воздуха в городах, а также предприятия страдают от задержек поставок грузов и снижения производительности. Автомобили экстренных служб застревают в общих потоках и зачастую не успевают к местам происшествий. Тем самым снижается общее качество жизни в городе.

Обычно городские и региональные власти предъявляют высокие требования к своим специалистам по управлению дорожным движением, инженерам-строителям и бригадам по обслуживанию дорог, требуя делать больше при меньших затратах. Для решения этих проблем «умные города» должны задействовать скоординированный набор современных программных решений, необходимых для увеличения скорости движения и повышения безопасности. Интеллектуальные системы управления дорожным движением как раз и являются автоматизированными системами, в которых используются последние достижения в области интернет-технологий.

Они помогают оптимизировать транспортный поток и повысить безопасность с помощью датчиков, камер, маршрутизаторов и сотовых технологий для динамической настройки механизмов управления, а именно: светофоров, счётчиков на въезде на автостраду, полос скоростного автобусного сообщения, информационных табло на шоссе.

Чтобы иметь возможность подключения, требуются высокоскоростные маршрутизаторы, которые могут работать в условиях повышенной влажности, при резких перепадах температур.

Например, система, рассчитывающая интенсивность движения на полосе с помощью ультразвуковых датчиков и камеры. Значения, зафиксированные датчиком, и изображения, снятые и обработанные камерой, отправляются в онлайн-хранилище [1]. Это позволяет данным не пропасть при возможном выходе из строя системы датчиков. Также технические специалисты, наблюдая за перекрестками, имеют возможность контролировать весь город из центра управления дорожным движением.

Обнаружение заторов позволяет осуществлять адаптивное управление, что приводит к динамической корректировке систем, включая светофоры, и полосы скоростного автобусного движения.

Новейшая технология подключения автомобилей, включающая придорожное устройство для подключенных транспортных средств, дает им возможность напрямую связываться с перекрестками.

Ещё одним важным преимуществом интеллектуальной системы управления дорожным движением является то, что она предлагает градостроителям точные прогнозы уровня загрязнения и выбросов. Кроме того, городские транспортные средства достигают наилучшей топливной эффективности, которой раньше не было.

Также важнейшим фактором в применении системы является возможность предоставления приоритетного доступа полиции, пожарным и скорой помощи.

Для обеспечения работы всех этих функций требуется надежная высокоскоростная передача данных и автоматизация. Один специально разработанный сотовый маршрутизатор может эффективно справляться с задачей управления всеми функциями.

Существуют различные модели маршрутизаторов: от специально разработанных для спецслужб, имеющих более расширенный набор функций и высокую стоимость, до упрощённых версий с меньшей стоимостью. Но абсолютно все маршрутизаторы имеют высокоскоростные каналы связи, передающие данные в единый центр управления движением. Ведь главной целью системы является обеспечение особо важных коммуникаций, безопасности и надежности в управлении движением.

Датчики дорожного движения также играют важную роль в городской инфраструктуре. К примеру, беспроводные датчики измеряют транспортный поток, прогнозируют заторы и управляют маршрутами движения, обеспечивая информированность, которая позволяет эффективно использовать ресурсы и инфраструктуру. Важнейшей является идентификация заторов, которая чаще всего осуществляется на основе изображений или видео, снятых интеллектуальными камерами. Основываясь на анализе, предупреждающие сообщения передаются с помощью смартфонов, телевизоров, световых сигналов, радио или дисплеев. Среди них наибольшей популярностью пользуются мобильные приложения. Создано такое приложение, которое при чрезвычайной ситуации отправляет водителю скорой помощи информацию об образовавшихся пробках в радиусе двух километров. В данной ситуации водитель может открыть карту, на которой красной линией показаны заторы [2].

В разработке находится система мониторинга дорожного движения в реальном времени для динамического управления сигналами светофора. Ультразвуковые датчики используются для обнаружения транспортных средств, а данные отправляются на сервер для последующего анализа. В дополнение к сигналам светофора система подает сигнал тревоги при выявлении ложных действий транспортных средств.

Постепенно планируется подключать к интеллектуальным системам и автомобили. Такое решение является сегодня одним из примеров инноваций, которые окажут огромное влияние на технологическое планирование «умных городов». По результатам испытаний на полигонах выяснено, что технология подключенных автомобилей позволяет обеспечить связь между транспортными средствами на перекрёстках и их автоматическое торможение. По мере повышения скорости сетей и уменьшения задержек увеличится способность мгновенного принятия автоматизированных решений автомобиля с целью обеспечения безопасности водителей и пешеходов.

Также перспективной инновационной разработкой является «умная парковка». С помощью искусственного интеллекта водителю будет поступать информация о наличии свободных парковочных мест в режиме реального времени. Информация собирается с помощью различных датчиков, расположенных на парковках, для создания карты парковки, которую владельцы автомобилей могут использовать со своих смартфонов [3]. Дорожные службы используют данные об интеллектуальных парковках для контроля дорожного движения и выявления нарушений правил парковки.

«Умная парковка» играет важную роль в экосистеме «умного города», обеспечивая удобство, снижение затрат, городскую мобильность, борьбу с пробками, а также практическую доставку информации и интеллектуальных данных.

Таким образом, интеллектуальные системы управления дорожным движением способствуют повышению безопасности и удобства на дорогах, а также снижению затрат для решения подобных проблем.

Литература

1. *Naga Harsha. J, Sheena Mariam Jacob, Nikhil Nair, J. John Paul*, Density Based Smart Traffic System with Real Time Data Analysis Using IoT, IEEE ICCTCT 2018.
2. *G. Lakshminarasimhan, V. Parthipan, Mohammed Irfan Ahmed, Sri Harsha K Nvm, Dr. D. Dhannasekaran*, «Traffic density detection and signal automation using iot», International Journal of Pure and Applied Mathematics Volume 116 № 21. 2017.
3. *Paidi, V.; Fleyeh, H.; Håkansson, J.; Nyberg, R.G.* Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: A review. IET Intell. Transp. Syst. 2018.

УДК 625.8

Лев Михайлович Коротяев,
магистрант
Владимир Александрович Новаторов,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: korotyaevlev@yandex.ru,
vladimirnovatorov@outlook.com

Lev Mikchailovich Korotyayev,
Master's degree student
Vladimir Aleksandrovich Novatorov,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: korotyaevlev@yandex.ru,
vladimirnovatorov@outlook.com

СПОСОБЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

METHODS OF SURFACE TREATMENT OF CONCRETE PAVEMENT

В статье выполнен анализ традиционных и инновационных способов поверхностной обработки (текстурирования) цементобетонных покрытий автомобильных дорог. Рассмотрены методы повышения сцепных свойств при одновременном увеличении шумопоглощения покрытия. В ходе данной работы был рассмотрен опыт и современные исследования зарубежных стран. Изложенный материал позволяет сделать выводы о необходимости проведения поверхностной обработки свежеложенных покрытий из цементобетона при строительстве или ремонте автомобильных дорог в связи со значительным повышением эксплуатационных характеристик покрытия, а также необходимости проведения более детальных исследований в данной области.

Ключевые слова: поверхностная обработка, цементобетон, дорожное покрытие.

In this article, the analysis of traditional and innovative methods of surface treatment (texturing) of concrete road pavements is carried out. Methods of increasing friction characteristics while increasing the noise absorption of pavement are considered. In this work, the experience and modern research of foreign countries were considered. The presented material allows us to draw conclusions about the need for surface treatment of freshly laid concrete pavements during the construction or repair of roads due to a significant increase in the performance characteristics of pavement, as well as the need for more detailed research in this area.

Keywords: surface treatment, cement concrete, road surface.

Сцепление является важным показателем дорожного покрытия, так как оказывает влияние на уровень шума и устойчивость к скольжению в сухую и влажную погоду. Трение, необходимое для устойчивости к скольжению, увеличивается при увеличении шероховатости (текстуры) покрытия. На текстуру оказывают влияние материалы, входящие в состав бетонной смеси, а также поверхностная обработка покрытия.

Устройство поверхностной обработки цементобетонных покрытий повышает сцепные свойства покрытия, защищает его от износа и преждевременного разрушения, а также воздействия окружающей среды. Помимо этого, поверхностная обработка позволяет устранить незначительные неровности и дефекты покрытия [1].

Продолжается работа по поиску оптимальных средств достижения удовлетворительного коэффициента сцепления при одновременном увеличении шумопоглощения покрытия [2]. Исследования и практический опыт в данной области можно условно

разделить на традиционные и инновационные методы поверхностной обработки цементобетонных покрытий.

Традиционные методы, как правило, предусматривают текстурирование поверхности свежееуложенного бетона при помощи различных инструментов или материалов. Например, увлажненной мешковины, метел, стальной щетины и искусственного дерна.

Перемещение искусственного дерна или увлажненной грубой мешковины по поверхности свежееуложенного пластичного бетона позволяет создать неглубокую текстуру поверхности. Этот метод поверхностной обработки является недорогим, обеспечивает относительно тихое покрытие и достаточное сцепление для многих дорог, особенно с низкими скоростями движения. Обработка данным способом позволяет обеспечить достаточное сцепление на дорогах с более высокими скоростями движения в случае, когда бетонная смесь содержит достаточное количество прочного (кремнистого) песка [3].

Поверхностная обработка затвердевшего бетонного покрытия возможна при помощи алмазного шлифования (*grinding*). Данная технология традиционно использовалась для устранения дефектов существующего дорожного покрытия. Однако, согласно исследованиям доказано, что этот метод в значительной степени влияет на шумопоглощение цементобетонного покрытия и увеличивает коэффициент сцепления; поэтому алмазное шлифование стало эффективным, хотя и несколько дорогостоящим вариантом для текстурирования недавно уложенных бетонных покрытий после минимального заданного времени отвердевания [4].

Еще одним способом поверхностной обработки для улучшения сцепления и водоотвода с поверхности бетонного покрытия является технология нанесения борозд (*grooving*), при которой расстояние между алмазными дисками составляет более 10 мм. Комбинация нарезки борозд и алмазного шлифования покрытия позволяет достичь максимального эффекта. Положение алмазных дисков настраивается таким образом, что в результате текстура покрытия состоит из чередования одной глубокой борозды и 3–4 маленьких (см. рисунок).



Комбинирование алмазного шлифования и нарезки борозд

Требуемая текстура покрытия достигается при помощи продольного или поперечного шлифования. Текстура с продольным шлифованием создается путем перемещения устройства по поверхности пластичного бетона в направлении уклона дорожного покрытия. Хотя коэффициент сцепления при продольном шлифовании может быть не таким высоким, как у поверхностей с поперечным шлифованием, оно обеспечивает достаточное сцепление на скоростных дорогах, значительно снижая шум от шин на дорожном покрытии.

Изменения в количестве бетона, вытесняемого на поверхность во время укладки, по-видимому, влияют на уровень шума от шин и дорожного покрытия. В результате имеются противоречивые сообщения о влиянии глубины шлифования на уровень шума. Необходимы дальнейшие исследования, прежде чем можно будет рекомендовать оптимальные размеры борозд.

При поперечном шлифовании зубцы могут быть равномерно или произвольно разнесены, а также наклонены под углом. Поперечное шлифование – недорогой метод создания прочных дорожных покрытий с высоким коэффициентом сцепления. Данный метод позволяет заметно увеличить коэффициент сцепления на мокрых покрытиях и снизить влияние эффекта аквапланирования. Однако, равномерное поперечное шлифование приводит к увеличению уровня шума при движении транспортного потока и его следует, по возможности, избегать. Если используется поперечное шлифование, рекомендуется выдерживать расстояние между зубцами равное 12–15 мм и соблюдать однородную текстуру.

В европейских странах цементобетонные покрытия с обнаженным заполнителем считаются одним из наиболее практичных методов снижения шума при одновременном обеспечении достаточного сцепления. Устройство покрытий с обнаженным заполнителем производится при двухслойной укладке слоев покрытия. При наборе бетоном необходимой прочности, поверхность обрабатывается стальными щетками для обнажения заполнителя, после чего повторно наносится кюринг для создания пленкообразующего слоя.

Таким образом при устройстве покрытия в два слоя с обнаженным заполнителем и при условии достижения требуемых показателей сцепления и шумопоножения можно значительно снизить потребности в высококачественном щебне, что является существенным фактором для снижения затрат при строительстве.

Виды поверхностной обработки цементобетонных покрытий автомобильных дорог приведены в таблице.

Виды поверхностной обработки

| Вид обработки | Описание |
|---|---|
| Перемещение мешковины, искусственного дерна | Производится путем перемещения материала по поверхности цементобетонного покрытия. Производит борозды глубиной 1,5–3 мм |
| Поперечное шлифование стальной щеткой | Получается при помощи ручного или механического устройства для шлифования, которое проводит щетиной стальной щетки по поверхности. Производит борозды глубиной 1,5–3 мм |

| Вид обработки | Описание |
|---|--|
| Продольное шлифование стальной щеткой | Достигается аналогично поперечному текстурированию стальной щеткой, за исключением того, что щетина располагается параллельно осевой линии автомобильной дороги |
| Произвольное поперечное шлифование (перпендикулярное или скошенное) | Достигается с помощью механического устройства, оснащенного режущей головкой, которая перемещается по ширине поверхности дорожного покрытия в боковом направлении или с наклоном. На небольших площадях достаточно ручного инструмента |
| Продольное шлифование | Достигается аналогично поперечному шлифованию, за исключением того, что зубцы располагаются параллельно осевой линии автомобильной дороги |
| Покрытия с обнаженным заполнителем | Есть два основных метода устройства покрытий с обнаженным заполнителем – нанесение замедлителя схватывания (кюринга) на новое бетонное покрытие, покрытия пластиковой пленкой, а затем вымывание или шлифование раствора для обнажения заполнителя; другой метод включает равномерное нанесение заполнителей на свежееуложенный бетон и механическое истирание раствора в более позднем возрасте |
| Алмазное шлифование (<i>grinding/grooving</i>) | Продольная текстура получается при помощи оборудования с использованием алмазных пильных дисков, установленных на режущей головке. Режущая головка производит 150–200 борозд/м и может удалять 3–20 мм с поверхности покрытия |

Новые методы строительства, в том числе поролоновые, эвфонические и сборные покрытия, продемонстрировали свою способность снижать уровень шума. Однако необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы спрогнозировать степень шумопоглощения и характеристики сцепления при применении данных методик.

Литература

1. Ушаков В. В. Ремонт дорожных одежд, состоящих из цементобетонных покрытий, перекрытых асфальтобетонными слоями : учебное пособие / В. В. Ушаков, В. А. Ярмолинский. – М. : МАДИ, 2016. – 128 с.
2. Rasmussen, R. O., Resendez Y. A., Chang G. K., Ferragut T. R. Concrete Pavement Solutions For Reducing Tire-Pavement Noise // FHWA / Ames, IA : Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, 2004.
3. Wiegand, Ferragut P. T., Harrington D. S., Rasmussen R. O., Karamihas S., Cackler T. Evaluation of U.S. and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods // FHWA / Ames, IA: Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, 2006.
4. Peter C. Taylor, Steven H. Kosmatka, Gerald F. Voigt, et al. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual // National Concrete Pavement Technology Center / Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, 2006.

УДК 625.7

Анна Станиславовна Липатова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: anusua97@inbox.ru

Anna Stanislavovna Lipatova,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: anusua97@inbox.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НАСЫПЕЙ В ЗОНЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

MODERN THERMAL INSULATION MATERIALS FOR THE CONSTRUCTION OF EMBANKMENTS IN THE PERMAFROST DISTRIBUTION ZONE

Для современного развития транспортной инфраструктуры страны важным этапом является освоение Арктической зоны Российской Федерации. В последние десятилетия происходит систематическое потепление воздуха, что является причиной оттаивания вечной мерзлоты. Прогнозируемое воздействие потепления на объекты автотранспортной инфраструктуры является негативным, поэтому проблема разрушения вечной мерзлоты отнесена к наблюдаемым опасным геокриологическим процессам. Поэтому вопрос теплоизоляции сооружений, для поддержания грунта в мерзлом состоянии, остается актуальным. В статье выполнен анализ некоторых видов теплоизоляционных материалов, применяемых в Российской Федерации в настоящее время. Проведено сравнение материалов по их технико-экономическим свойствам и сделан вывод по эффективности их применения при строительстве насыпей в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов.

Ключевые слова: автомобильная дорога, насыпь, вечная мерзлота, теплоизоляция, теплоизоляционные материалы, пеностекло, пенополистирол.

For the modern development of the country's transport infrastructure, an important stage is the development of the Arctic zone of the Russian Federation. In recent decades, there has been a systematic warming of the air, which is the reason for the thawing of permafrost. The predicted impact of warming on the objects of road transport infrastructure is negative, therefore, the problem of permafrost destruction is attributed to the observed dangerous geocryological processes. Therefore, the issue of thermal insulation of structures to maintain the soil in a frozen state remains relevant. The article analyzes some types of thermal insulation materials used in the Russian Federation at the present time. The materials were compared according to their technical and economic properties and a conclusion was made on the effectiveness of their use in the construction of embankments in the permafrost distribution zone.

Keywords: automobile road, embankment, permafrost, thermal insulation, thermal insulation materials, foam glass, polystyrene.

В России территория распространения многолетнемерзлых грунтов занимает большую часть территории (60–65 %), и на сегодняшний день в соответствии со Стратегией пространственного развития Российской Федерации до 2025г, приоритетным регионом, с точки зрения экономического роста и стратегического влияния, является Арктическая зона Российской Федерации.

Процессы оттаивания вечной мерзлоты в последние десятилетия усилились, поскольку территории распространения многолетнемерзлых грунтов являются наиболее уязвимыми к систематическому потеплению воздуха.

На оттаивающих грунтах невозможно устраивать надежное основание, поэтому вопрос разработки эффективных конструктивно-технологических и организационных решений, которые создают условия, при которых грунты под сооружениями всегда остаются в мерзлом состоянии, остаётся актуальным.

Для предотвращения деградации вечной мерзлоты в дорожных насыпях в настоящее время в России чаще всего применяются плиты из экструдированного пенополистирола. Это материал, имеющий закрытую ячеистую структуру с размером ячеек до 0,2 мм, он обладает небольшой теплопроводностью и водопоглощением. Однако со временем пенополистирол теряет свои теплозащитные свойства, что приводит к оттаиванию грунта, помимо этого плиты из пенополистирола достаточно хрупкие, поэтому могут ломаться при транспортировке, укладке и устройстве вышележащих слоев насыпи. Со временем это приводит к ненормативным деформациям земляного полотна.

Распространенным теплоизоляционным материалом, применяемом за границей является пеностеклянный щебень (рис. 1). Пеностекло представляет из себя вспененную при высоких температурах стеклянную массу и имеет высокую прочность. Сырьем для производства пеностекла являются отходы битого стекла, что позволяет сокращать отходы, выбрасываемые в окружающую среду.



Рис. 1. Пеностеклянный щебень после дробления

Пеностекло имеет высокую пористость (до 97 %), следовательно имеет низкую теплопроводность и водонасыщение. Материал имеет высокие показатели прочности, экологичен, пожаробезопасен, прост в транспортировке и монтаже, что делает его превосходным теплоизоляционным материалом. Единственным недостатком пеностеклянного щебня является его стоимость, поскольку технология его производства сложная и трудоемкая, а это сразу ограничивает возможность его применения.

Близким аналогом пеностеклянного щебня является – «ДиатомИК» (рис. 2), который имеет аналогичные характеристики. Сырьем для производства служат опалкristобалитовые горные породы (диатомит, трепел, опока), которые имеют большую сырьевую базу на территории России, что значительно снижает стоимость готового материала.

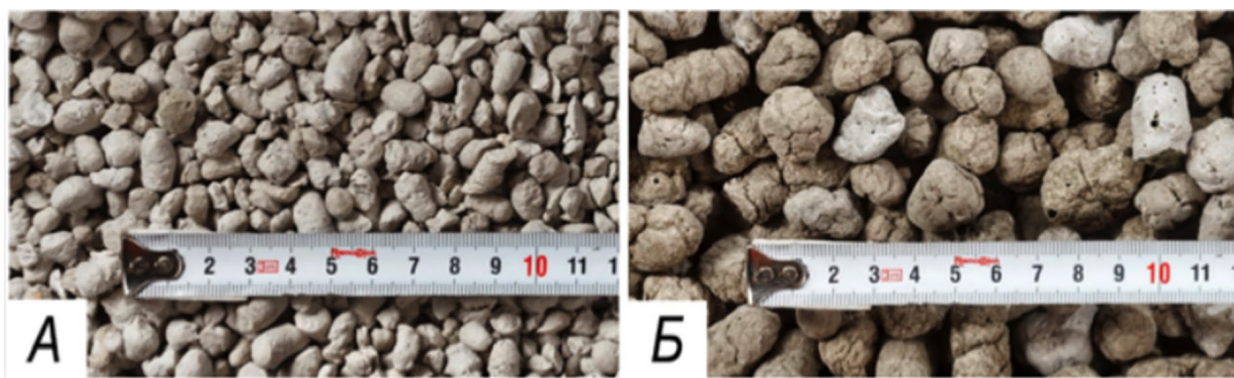


Рис. 2. Гранулированный материал «ДиатомИК»: А – фракция 5–10 мм; Б – фракция 10–20 мм

Сравнение характеристик рассмотренных материалов представлено в таблице.

Характеристики материалов

| Показатель | Экструдированный пенополистирол | Пеностекольный щебень | Материал «ДиатомИК» |
|---|---------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Насыпная плотность, кг/м ³ | 25–38 | 100–240 | 120–640 |
| Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·К) | 0,027–0,035 | 0,062–0,08 | 0,050–0,13 |
| Прочность при сжатии, МПа (т/м ²) | 0,15–1,0 (15–100) | 0,35–1,98 (35–198) | 1,2–16 |
| Температурный интервал эксплуатации, °С | От –70 До +75 | от –200 до +550 | от –200 до +700 |
| Уровень горючести | Г3–Г4 | НГ | НГ |

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что лучшими теплоизоляционными материалом для строительства насыпей в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов являются материал «ДиатомИК» и пеностекольный щебень.

С экологической точки зрения будет рационально использовать пеностекольный щебень, поскольку при его производстве используются вторичные отходы битого стекла. При этом правильное обращение населения с отходами и правильная утилизация сырья может значительно уменьшить стоимость производства пеностекольного щебня.

Литература

1. *Квартальнов С. В., Макулов В. В.* Пеностекло как перспективное развитие инженерной мысли // European science № 12 (22), 2016. С. 15–16.

2. *Шаламова Е. Н., Чудинов С. А.* Применение современных теплоизоляционных материалов в конструкциях дорожных одежд // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ» 2013. № 4 (63). С. 151–156.

3. *Мельников В. П., Галлямов Д. Р., Иванов К. С.* Применение гранулированного теплоизоляционного материала «Диатомик» в экспериментальной технологии его укладки в дорожные конструкции // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 5 (71). № 3. 2019 г. С. 218–225.

УДК 625.76

Дмитрий Павлович Лучинский,
заместитель главного инженера
(АО «Мостострой – 11», г. Тюмень)
Вера Дмитриевна Тимоховец,
старший преподаватель
Александр Александрович Овчинников,
студент
(Тюменский индустриальный университет)
E-mail: luchinsky@ms11.ru,
verochka1987@mail.ru,
aleksandrovchinnikov72@mail.ru

Dmitry Pavlovich Luchinsky,
deputy Chief Engineer
(JSC „Mostostroy-11“, Tyumen)
Vera Dmitrievna Timokhovets,
senior lecturer
Alexander Alexandrovich Ovchinnikov,
student
(Industrial University of Tyumen)
E-mail: luchinsky@ms11.ru,
verochka1987@mail.ru,
aleksandrovchinnikov72@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОДЕРЖАНИЯ УЛИЦ И ГОРОДСКИХ ДОРОГ С УЧЕТОМ КЛИМАТО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ Г. ТЮМЕНИ

IMPROVING THE QUALITY OF MAINTENANCE OF STREETS AND CITY ROADS, TAKING INTO ACCOUNT THE CLIMATIC AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF THE CITY OF TYUMEN

В статье рассматривается вопрос о наличии грунта на поверхности проезжей части города Тюмень. Определяются основные причины появления грунта на улицах в зимний и летний периоды. В работе выполнены экспериментальные исследования по определению гранулометрического состава песка, входящего в состав пескосоляной смеси. На основе результатов исследования предлагается ряд мероприятий, применение которых позволит предотвратить загрязнение городских дорог грунтом, например, благоустройство территории, прилегающей к городской дороге.

Ключевые слова: грунт, городские улицы, проезжая часть, технически тротуар, благоустройство, ливневая канализация.

The article considers the issue of the soil appearance on the streets of Tyumen, based on the territorial location features as well as the soil composition of the region. The main reasons for the appearance of soil on the roadway of city streets in summer and winter periods are determined. In this work experimental studies are carried out to determine the granulometric composition of sand which is a part of the sand-salt mixture. Based on these results a number of measures were proposed, which can prevent the contamination of urban roads with soil, for example, the improvement of the territory adjacent to the highway.

Keywords: soil, city streets, roadway, technical sidewalk, landscaping, storm sewer.

Тюмень один из крупных и быстроразвивающихся городов Западной Сибири. Подобные темпы развития города приводят к увеличению населения, жилых кварталов, и как следствие заполненности улично-дорожной сети. Возникает необходимость не только в строительстве новых городских дорог, но и в содержании уже имеющихся. Одной из важнейших задач эксплуатации является зимнее и летнее содержание городских транспортных объектов [11]. Дорожные подразделения в силу ряда индивидуальных природно-климатических особенностей Тюменского региона применяют

адаптивный комплекс мер в процессе содержания городских дорог в различные периоды года. На первом этапе содержания каждого рассматриваемого объекта в первую очередь выполняется его визуальная оценка.

В процессе диагностики дорожно-транспортной сети был выявлен широкий спектр причин образования загрязнений грунтовыми отложениями улиц города в зимний и летний периоды (рис. 1).



Рис. 1. Причины загрязнения грунтом улиц города в летний и зимний периоды

В связи с повышенной опасностью и как следствие необходимостью принятия оперативных мер по регулированию состояния транспортной сети в зимний период, он в работе рассмотрен первым. Так, в частности, изучен процесс патрульной снегоочистки и обработки проезжей части противогололедными материалами (далее ПГМ), с последующим их удалением [2, 3]. Учитывая тот факт, что автомобильная дорога вне населенных пунктов в основном представлена насыпью, возвышающейся над поверхностью, удаление отработавшего ПГМ за пределы насыпи даст ожидаемый результат в борьбе с зимней скользкостью. Иначе обстоит ситуация на городских улицах, которые в основном выглядят как площадные объекты – проезжие части, ограниченные по кромкам бортовым камнем и наличием множества перекрестков, автобусных остановок, приближенных к кромке опор наружного освещения и другими элементами городской инфраструктуры, значительно усложняют процесс удаления льда, обработанного ПГМ [13].

Самым распространенным видом применяемого ПГМ на территории Тюмени и в ее окрестностях является пескосоляная смесь (далее ПСС). В ее составе соль работает на растапливание снега и льда, а песок служит как фрикционный материал,

который истирает образовавшиеся ледяные отложения. Мелкие пески, применяемые на территории Тюменского региона для приготовления ПСС, приводят к таким негативным последствиям как [4]:

- снижение фрикционных свойств материалов в следствии применения песка мелких фракций (около 5 %), и уменьшение силы трения между автомобильным колесом и поверхностью проезжей части (рис. 2.);

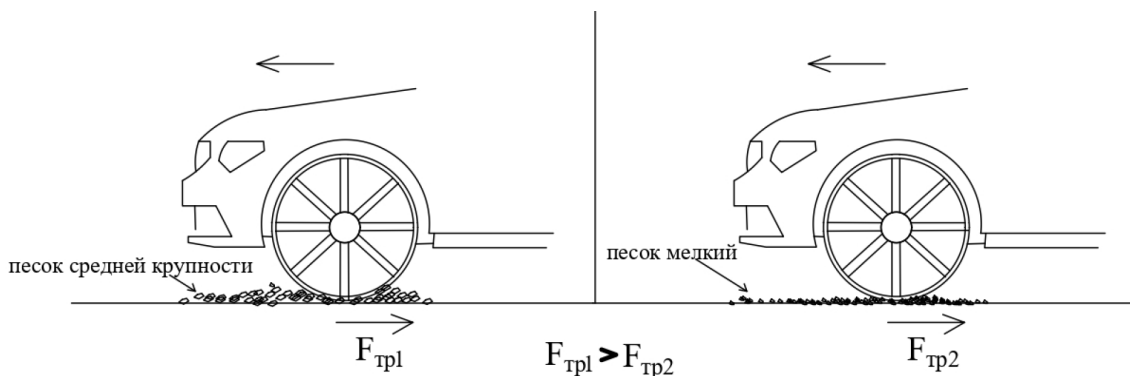


Рис. 2. Коэффициенты трения между автомобилем и поверхностью дороги при мелком и среднем песках

- обработка ездового полотна пескосоляной смесью в состав которой входит песок с содержанием глиняных частиц (около 11 % по массе), что приводит к образованию илистой пленки – слоя, трудноудаляемого при помощи механического прометания, которое производится после обработки (рис. 3);



Рис. 3. Изображение илистой пленки до удаления отработавшего ПГМ и после

- сохранение илистой пленки на проезжей части, до летнего периода, что влечет за собой появление значительного объема пыли на поверхности проезжей части и прилегающей территории (рис. 4);

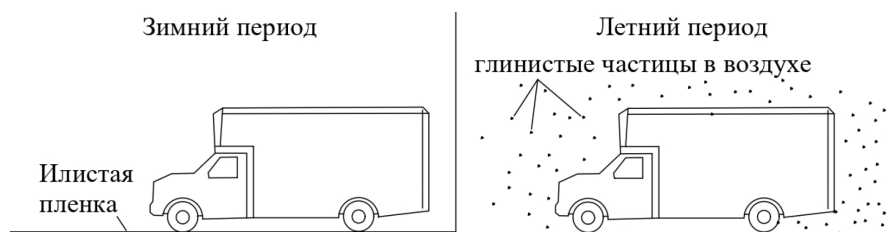


Рис. 4. Илистая пленка в летний и зимний периоды

- образование отложений в ливневой канализации в следствии содержания в песке мелких и глинистых частиц. А также налипание мокрого рыхлого снега с включениями

глинистого грунта на колеса автомобилей и дальнейшего распространения его по длине улицы (рис. 5).

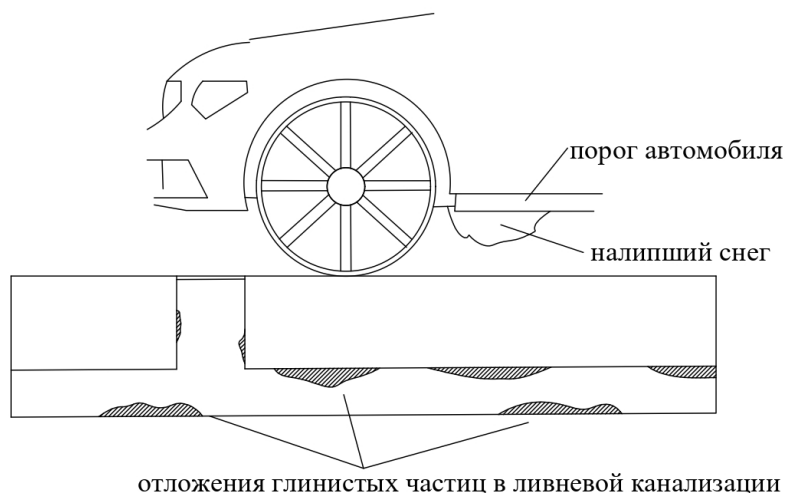


Рис. 5. Загрязнение глинистыми частицами ливневой канализации и перенос налипшего снега автомобилями

На основе вышевыявленных факторов для детального анализа гранулометрического состава песка, используемого для приготовления ПСС в городе Тюмени, были выполнены лабораторные испытания песка различных карьеров. Для исследования были взяты 20 навесок по 100 грамм каждая. В результате просеивания навески через сита с различными диаметрами отверстия определен гранулометрический состав грунта.

По полученным результатам, заключено, что песок содержит более 75 % частиц размером 0,1 мм, то есть является мелким для данного вида работ. Далее в работе выполнено сопоставление результатов испытаний с данными, представленными в ОДН 218.2.027, определяющих основные требования по изготовлению ПГМ, результаты которого приведены в таблице.

Сопоставление результатов лабораторных испытаний с данными, представленными в нормативной литературе

| | Зерновой состав, %, массовая доля частиц размером | | | |
|----------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|------------------------|
| | св. 10 мм | св. 5 мм до 10 мм, не более | св. 1 мм до 5 мм, не менее | 1 мм и менее, не более |
| ОДН 218.2.027 | – | 5 | 75 | 20 |
| Лабораторное испытание № 1 | – | – | – | 100 |
| Лабораторное испытание № 2 | – | – | – | 100 |

Из таблицы видно, что грунт содержит преобладающее количество частиц размером 1 мм и менее, что на 80 % больше допустимого значения, подавляющий процент указанных частиц – это илистые. Данный факт, согласно действующей нормативной

документации, не позволяет достичь нормативного уровня очистки улиц и городских дорог в процессе борьбы с зимней скользкостью [6].

Выше отмечено, что остатки илистой пленки на городских дорогах после завершения периода зимнего содержания остаются до летнего.

В поздний весенний и летний периоды года удаление грунта и пыли с поверхности покрытия дороги возможно также за счет естественного смывания дождевой водой в систему ливневой канализации и подметания механическим способом с добавлением воды.

Однако для обеспечения смывания с поверхности покрытия необходима определенная скорость потока и полноценно действующая сеть ливневой канализации на всей территории города. Согласно требованиям СП 42.13330.2011 уклон на проезжей части должен составлять 4–5 ‰ до точки приема потока воды или всего участка улицы, что обеспечит необходимые условия смывания, попавшего на проезжую часть грунта.

Геологические особенности расположения Тюмени (Западно-Сибирская равнина) обосновывают преобладание равнинного рельефа местности на территории города [1]. Данный факт создает трудности для естественного удаления с водой постоянно возникающего наноса грунта.

На поверхности покрытия при минимальном количестве воды часть глинистых частиц превращается в подобие пластичного коллоидного раствора (ила), не обладающего стабильной геометрической формой и меняющего размеры при приложении минимальной нагрузки [6, 7]. Грунт с включением илистых частиц при поглощении воды обладает повышенным показателем текучести [15].

Газоны из растительного грунта, обочины, прилегающие зеленые зоны к проезжей части и др. с дождевой водой переносят растворенный ил на проезжую часть через минимальные разрывы в конструктивных элементах дорог, в последствии он оседает на покрытии у бортового камня. В силу того, что размер илистых частиц составляет от 0,1 до 0,005 мм, тогда как допустимые разрывы бортового камня 0,5 см, вынос грунта через разрывы неизбежен.

На основе выполненного в работе анализа причин возникновения загрязнений в разные периоды года, авторами предложен спектр мероприятий для их устранения. К основным из них можно отнести:

Приготовление ПСС согласно нормативной документации. Благодаря реализации данного мероприятия становится возможным исключение илистой пленки на улицах города, повышение коэффициента сцепления между покрытием и колесом.

Приготовленная ПСС, согласно ОДН, повысит коэффициент сцепления шин с поверхностью, сокращая количество ДТП, связанных со скользкостью проезжей части на 5–6 %.

Устройство технического тротуара [5]. Повсеместное внедрение данного конструктивного элемента исключит вынос грунта на проезжую часть с прилегающих территорий через разрывы в бортовом камне. Технический тротуар предотвратит вынос отработавшего ПГМ во время патрульной снегоочистки на 51 %, что в свою очередь окажет положительный эффект на экологическое состояние прилегающей к проезжей части зоны.

Благоустройство территории, прилегающей к городской дороге. Результатом также станет уменьшение выноса грунта на ее поверхность [14].

Развитие сети ливневой канализации. Технологическое решение, которое позволит удалять грунт с улиц города естественным путем с помощью дождевой воды, снижая частоту применения механического подметания [9, 10, 12].

Создание искусственного рельефа с требуемым уклоном. Данное мероприятие улучшит водоотвод и как следствие облегчит процесс смывания грунта с кромки за счет дождевой воды естественным путем.

Внедрение двух последних мероприятий сократит затраты на содержание дорог в летний период на 17–19 %.

Реализация рекомендаций, приведенных в статье, позволит существенно сократить расходы на содержание дорог в зимний и летний периоды, а также уменьшить длительность нахождения поверхности проезжей части в состоянии отличном от требуемого по нормам безопасности, особенно в зимний период. Последний факт будет способствовать снижению количества дорожно-транспортных происшествий, что является важным аспектом в развитии дорожно-транспортной сети как города, так и региона в целом.

Литература

1. География Тюменской области : Учеб. пособие / В. В. Бакулин, В. В. Козин. – Екатеринбург : Сред.-Урал. кн. изд-во, 1996. – 235 с.
2. Зимнее содержание городских дорог: Учеб. пособие / Н. В. Борисюк. – Вологда: Инфа-Инженерия, 2019. – 148 с.
3. Золотцев О. А. Содержание дорог в зимний период // Фундаментальные и прикладные проблемы эффективности научных исследований и пути их решения <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27563400&selid=27563499>: междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2021. Ч. 1. С. 89–91.
4. Каретин Л. Н. Почвы Тюменской области. – Москва : Наука, 1990. – 289 с.
5. Лучинский Д. П., Тимоховец В. Д., Санников Д. П., Мармур А. В. Модернизация конструкции технического тротуара для расширения сфер его применения // Вестник Волгоградского архитектурно-строительного университета. 2019. № 2 (75). С. 101–107.
6. Меренцова Г. С., Строганов Е. В. Повышение эффективности пескосоляных смесей для ликвидации зимней скользкости // Актуальные проблемы современного строительства: 63-я науч.-техн. конф. Омск : СибАДИ, 2011. Ч. 1. С. 127–130.
7. Механика грунтов: учебное пособие для вузов / А. З. Абуханов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 336 с.
8. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах): учеб. пособие / Г. Г. Болдырев, М. В. Мальшев. 4-е изд., перераб. и доп. – Пенза : ПГУАС, 2009. – 412 с.
9. Павлова Л. В., Алексанян А. А. Исследование проблем водоотведения городских дорог // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2017. С. 188–192.
10. Примин О. Г., Верещагина Л. М. Методика оценки поступления сточных вод в ливневую канализацию города // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 2. С. 26–31.
11. Ремонт и содержание автомобильных дорог: справочник / Васильев А. П. [и др.]. – Москва : Транспорт, 1989. 287 с.
12. Семенова Ю. Тюмень знакомится с инновационными разработками для сетей ливневой канализации // Полимерные трубы. 2018. С. 27.

13. *Слепцов И. В.* Особенности содержания городской улично-дорожной сети // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27563400&selid=27563499>: 66-я междунар. науч.-практ. конф. Омск: СибАДИ, 2012. Ч. 1. С. 114–118.

14. *Слободчикова Н. А., Иванилова Е. А.* Озеленение городских улиц и дорог // Взаимодействие науки, образования и производства. 2018. С 10–19.

15. *Цытович Н. А.* Механика грунтов. – Москва : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 437 с.

УДК 625.724

Владимир Александрович Новаторов,
магистрант
Лев Михайлович Коротяев,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: vladimirnovatorov@outlook.com,
korotyaevlev@yandex.ru

Vladimir Aleksandrovich Novatorov,
Master's degree student
Lev Mikchailovich Korotyayev,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: vladimirnovatorov@outlook.com,
korotyaevlev@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ КРИВЫХ, РАССЧИТАННЫХ НА ПЕРЕМЕННУЮ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАСС АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

PERCULIARITIES OF TRANSITION CURVES USAGE FOR VARIABLE SPEED WITHIN THEIR LIMITS IN AUTOMOBILE ROADS DESIGN. AUTOMATIZATION

В статье обозначены основное допущение, согласно которому общепринята геометрическая функция клотоиды для очертания переходной кривой, и, как следствие этого допущения, недостатки данной геометрической функции. Приведен способ альтернативного расчета длины переходной кривой, которая должна удовлетворять критерию перемены скорости при движении по ней, и приведен вариант ее геометрического представления. Предложено решение конкретной практической задачи с использованием рассматриваемой переходной кривой. Обозначена необходимость автоматизации расчета и геометрического построения рассматриваемой переходной кривой. Определен вектор последующей работы в данном направлении.

Ключевые слова: переходная кривая, клотоида, переменная скорость, автоматизация.

The article outlines the basic assumption according to which the geometric function of Euler spiral is generally accepted for the outline of the transition curve, and, as a consequence of this assumption, the disadvantages of this geometric function. A method of alternative calculation of the length of the transition curve, which must match the indicator of speed change and a variation of its geometric representation is given. The solution of a specific practical problem using this transition curve is proposed. The necessity of automating the calculation and geometric construction of this transition curve is indicated. Determined the vector of subsequent work in this direction.

Keywords: transition curve, Euler spiral, variable speed, automatization.

Объемы работ по проектированию автомобильных дорог постоянно увеличиваются. Кроме того, увеличивается сложность условий размещения автомобильных дорог на местности. Такими сложными условиями могут быть и плотность застройки в границах полосы отвода, и наличие ценных сельскохозяйственных угодий, и условия капитального ремонта и реконструкции, и сложные участки рельефа, которые ввиду ряда причин обойти стороной не представляется возможным (горная и пересеченная местность). Поэтому возрастают требования к качеству, к выделяемому времени на проектирование автомобильных дорог и, как итог, к их стоимости. Этап пер-

вичного проектирования автомобильных дорог является во многом определяющим и последующие трудовые и стоимостные затраты на их строительство и содержание.

Переходная кривая. Чтобы повысить уровень комфорта и безопасности пользования автомобильной дорогой, вводятся переходные кривые на участках сопряжения в плане прямых вставок трассы с элементами круговых кривых, а также при сопряжении круговых кривых, отличающихся значением радиуса более чем в 1,3 раза, между собой согласно п. 5.8 СП 34.13330.2021.

В СП 34.13330.2021 написано: «Переходная кривая – геометрический элемент переменной кривизны, предназначенный для зрительного ориентирования и информирования водителей о тенденции развития трассы и принятия ими своевременных мер для плавного, безопасного и комфортного изменения режимов скорости».

Стоит обозначить, что геометрическая функция, по которой описываются очертания переходных кривых, может быть разной. Более подробно с этим можно ознакомиться в [2]. Геометрия описания переходной кривой зависит от условий и предполагаемого режима движения автомобиля по ней. Наибольшее значение из таковых условий имеет сохранение постоянства скорости движения на переходе между прямолинейным участком трассы и круговой кривой (или круговыми кривыми между собой).

В Российской Федерации для переходных кривых на автомобильных дорогах принято очертание по функции клотоиды.

Клотоида (радиоидальная спираль) – кривая, радиус кривизны которой изменяется линейно. Общая функция клотоиды записывается следующим образом (1).

$$\rho = \frac{A^2}{S}, \quad (1)$$

где ρ – радиус кривизны кривой; S – длина кривой; A – параметр кривой.

Функция клотоиды (1) полностью соответствует уравнению переходной кривой так таковой (2).

$$R = \frac{A^2}{L}, \quad (2)$$

где R – радиус круговой кривой (кривизна в конце переходной кривой, когда ее длина равна L ; A – параметр переходной кривой.

Однако основным из допущений при расчете переходной кривой и, как следствие, при ее описании по функции клотоиды является как раз постоянство скорости движения автомобиля по ней, т. к. параметр переходной кривой $A = \text{const}$. Поэтому изменение скорости при движении по клотоиде с заданным параметром A приводит к изменению значения нарастания центростремительного ускорения, что влечет за собой снижение уровня комфорта и даже занос автомобиля.

На практике не единичны случаи, в которых необходимо рассчитать длину переходной кривой и подобрать геометрию ее описания так, чтобы переходная кривая отвечала условиям движения по ней с переменной скоростью, например [3]. Как правило, этой переменной скоростей являются или линейное торможение, или линейное ускорение.

Замахеев М. С. писал: «При движении по прямому участку дороги автомобиль развивает скорость в зависимости от величины геометрических элементов и состояния

дорожной одежды, причем, как правило, скорость движения на прямом участке больше, чем на круговой кривой сравнительно малого радиуса. Вследствие этого на протяжении входной переходной кривой шофер должен постепенно снижать скорость движения, а на выходной соответственно увеличивать».

Далее приведена формула длины переходной кривой, учитывающей разность начальной v_n (при входе на кривую) и конечной v_k (при выходе из кривой) скоростей (3).

$$L = \frac{v_n^2 - v_k^2}{2a}, \quad (3)$$

где a – величина принятого ускорения (отрицательного или положительного) из условия комфортного движения.

Стоит отметить, что практический интерес формула (3) имеет при проектировании круговых кривых (кривых постоянной кривизны) малого радиуса.

Геометрическое очертание переходной кривой, рассчитанной на переменную скорость движения, может быть представлено в виде составной кривой, содержащей в себе две и более клотоиды разных параметров A , совмещенных в одном общем радиусе R_c с общей касательной в этой точке (рис. 1).

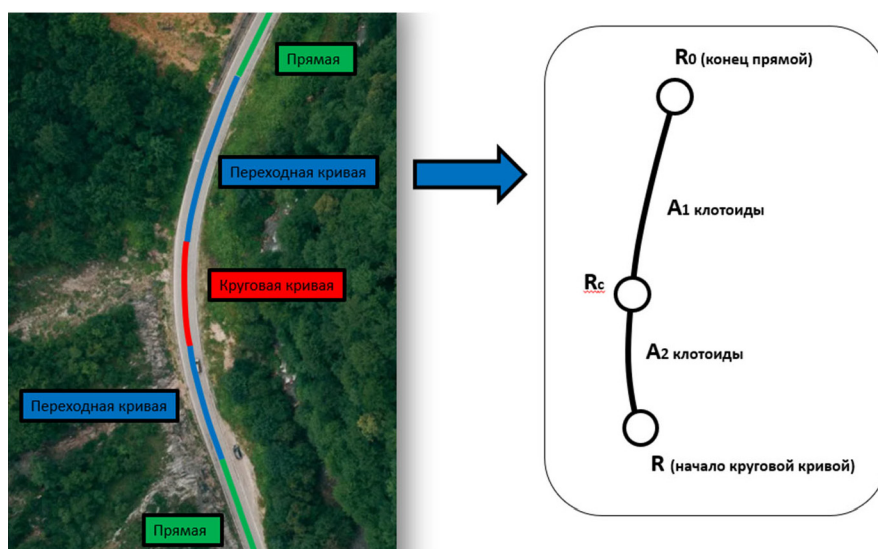


Рис. 1. Составная переходная кривая, содержащая в себе две клотоиды разных параметров A , совмещенных в одном общем радиусе R_c , с общей касательной в этой точке

Замахаев М. С. писал: «Наиболее сложным является проектирование закруглений с радиусами от 20 до 150 м. В этом случае рекомендуется проектировать составную переходную кривую, состоящую из двух переходных кривых, которые в точке совмещения имеют один общий радиус и общую касательную».

На примере составной кривой, содержащей в себе два участка клотоид (рис. 1), параметры A_1 и A_2 первого и второго участков соответственно, а также общий радиус их совмещения R_c можно найти по формулам (4), (5) и (6):

$$A_1 = C_1 \sqrt{RL}; \quad (4)$$

$$A_2 = C_2 \sqrt{RL}; \quad (5)$$

$$R_c = C_3 R, \quad (6)$$

где C_1, C_2, C_3 – коэффициенты, которые определяют в зависимости от отношения скоростей на прямом участке и круговой кривой [2].

Особенностью переходных кривых такого типа являются практические задачи, которые можно решить с их помощью.

Например, при проектировании пересечений в разных уровнях (транспортных развязок) одной из часто встречающихся задач на практике является перенос трассы съезда в плане так, чтобы его переходно-скоростная полоса (ПСП) не попадала своим участком отгона или полной шириной на путепровод или под него. Однако ввиду возможной сложности ситуации, на которой размещается транспортная развязка, таковой перенос осуществить не представляется возможным, а обоснование меньшей длины ПСП путем расчета выполнить не удастся. Как обозначено во введении, такими сложными условиями могут быть рельеф местности, ценные сельскохозяйственные угодья, плотность застройки или инженерные сети, проходящие в непосредственной близости к транспортной развязке, и, в целом, уже утвержденная граница отвода земель.

Ввиду этого решением данной задачи может стать перенос участка торможения/ускорения на переходную кривую, запроектированную по типу кривой, состоящей из клотоид разных параметров A , совмещенных в одном общем радиусе R_c с общей касательной. Это позволит вести расчет ПСП, используя большее значение выходной (для ПСП торможения) и входной (для ПСП ускорения) скоростей, что сократит ее итоговое значение длины.

Как итог будет значительно снижена стоимость путепровода.

Автоматизация проектирования. В настоящее время ключевую роль с точки зрения сокращения издержек на строительство автомобильных дорог играет автоматизация процесса их проектирования.

Автоматизация как следствие научно-технического прогресса, использует технические средства и математические методы с целью освобождения специалиста от рутинных операций, связанных с вычислением и черчением, позволяя сосредоточиться на контроле процесса проектирования.

Порог вхождения персонального компьютера (ПК) и прикладного программного обеспечения (ПО) в среду проектирования автомобильных дорог уже настолько низок и оправдан, что выполнение проектной документации «от руки» не имеет смысла.

Поэтому на фоне общепризнанной полезности прикладного ПО в среде проектирования автомобильных дорог, формируются общие понятия, принципы и правила разработки таких средств автоматизации.

Современное проектирование автомобильных дорог осуществляется через взаимодействие специалиста с ПК посредством использования соответствующего прикладного ПО, которое в свою очередь содержит набор реализованных алгоритмов геометрического расчета элементов автомобильной дороги. Таким образом обеспечивается некоторый уровень автоматизации процесса проектирования (рис. 2).



Рис. 2. Современный подход к проектированию автомобильной дороги

Из выше сказанного, возвращаясь к переходным кривым, рассчитанным на переменную скорость движения, встает вопрос о необходимости автоматизации их геометрического расчета.

Реализацию алгоритма построения рассматриваемой переходной кривой считаю оправданной, т. к. наличие такого выделенного функционала в специализированном прикладном ПО позволит решать задачи с использованием переходных кривых такого типа качественно, быстро и неотрывно от устоявшегося современного подхода к проектированию автомобильных дорог.

В качестве программной платформы выбрана платформа Robur («Научно-производственная фирма «Топоматик»), в которой имеются все математические модели, необходимые для реализации алгоритма построения рассматриваемой переходной кривой [5].

Реализуемый алгоритм преимущественно будет сосредоточен на поиске радиуса совмещения R_c составных частей переходной кривой и размещении ее в координатном пространстве.

В качестве заключения следует сказать, что исследование в данной области продолжается, а также ведется реализация алгоритма построения рассматриваемой переходной кривой. Результаты исследования и практические наработки будут отражены в последующих работах.

Литература

1. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги СНиП 2.05.02-85*.
2. *Замахаяев М. С.* Переходные кривые на автомобильных дорогах – М. : Транспорт, 1965. – 116 с. : рис., схем., табл., 1 вкл. л.
3. Интернет-ресурс. URL: https://ru.wikibooks.org/wiki/Тормозная_кривая_в_дорожном_строительстве (дата обращения: 24.12.2021).
4. *Новиков Б. Г., Попов Н. Н.* Анализ некоторых геометрических и динамических свойств переходных кривых тормозного типа – Проектирование и строительство автомобильных дорог на северо-западе РСФСР. – Межвузовский тематический сборник трудов. – Л. : ЛИСИ, 1983. 118 с.
5. Интернет-ресурс. URL: <http://help.topomatic.ru/current/doku.php?id=developers:start> (дата обращения: 24.12.2021).

УДК 625.7

Полина Леонидовна Пеклина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Pol2612@yandex.ru

Polina Leonidovna Peklina,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Pol2612@yandex.ru

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ТИПОВ ПОКРЫТИЯ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ДОРОЖЕК

ANALYSIS AND COMPARISON OF BIKE COVERING TYPES

В статье представлен обзор существующих типов покрытий велосипедных дорожек и полос, применяемых в городских условиях. Описаны отличительные особенности каждого из типов покрытия, а также особенности технологии укладки описанных покрытий и выбора материалов для них. Типы покрытий показаны на примере существующих велосипедных дорожек и полос в городах России и Европы. Проанализирован зарубежный опыт применения различных типов покрытий велосипедных дорожек и полос. Произведен анализ и сравнение типов покрытий по различным признакам. Сделаны выводы о целесообразности использования каждого вида покрытия в условиях большого города с точки зрения обеспечения безопасности велосипедного движения, уменьшения вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий и снижения травматизма.

Ключевые слова: велосипед, велосипедная инфраструктура, покрытие, велосипедная дорожка, велосипедная полоса.

This article provides an overview of the existing types of bicycle paths and lanes used in urban environments. The distinctive features of each type of coating, as well as the features of the technology of laying the described coatings and the choice of materials for them are described. The types of pavements are shown on the example of existing cycle paths and lanes in cities of Russia and Europe. The foreign experience of using various types of surfaces for bicycle paths and lanes is analyzed. The analysis and comparison of the types of coatings on various grounds has been carried out. Conclusions are made about the advisability of using each type of coverage in a large city from the point of view of ensuring the safety of cycling, reducing the likelihood of road accidents and reducing injuries.

Keywords: bicycle, bicycle infrastructure, coverage, bicycle path, bicycle lane.

В последние годы наличие пробок в больших городах, низкая скорость передвижения и плохая экология – одни из самых актуальных проблем городской транспортной инфраструктуры в городах России и во всем мире. Внедрение альтернативных методов передвижения, например, велосипедного и пешеходного движения необходимо для развития транспортной инфраструктуры больших городов.

При проектировании сети велосипедных маршрутов важно не только выделить пространство для движения велосипедистов, но также обеспечить их безопасность и комфорт передвижения.

Важным фактором, оказывающим влияние на безопасность велосипедного движения, является тип покрытия велосипедных дорожек и полос, а также качество его укладки и содержания в период эксплуатации. Рассмотрим и произведем сравнение самых распространенных типов покрытий велосипедных дорожек и полос.

Асфальтобетон. Наиболее часто встречается асфальтобетонное покрытие велосипедных дорожек. Данный вид покрытия обеспечивает необходимую ровность дорожки, а также обладает достаточным коэффициентом сцепления для комфортного и плавного движения на велосипеде.

С целью выделения велосипедной полосы или дорожки на местности и улучшения ее внешнего вида, применяется покрытие из цветного асфальтобетона. Слой из цветной асфальтобетонной смеси укладывают на нижний слой асфальтобетонного покрытия толщиной около 1,5–2,5 см. [1]

Плитка. В городах России и Европы применяется плиточный тип покрытия велодорожек и велосипедных полос. Существуют два варианта плиточного покрытия, существенно отличающиеся друг от друга с точки зрения безопасности и удобства передвижения.

Первый вариант (рис. 1) больше распространен в городах России, и имеет ряд недостатков:

- из-за наличия фасок на каждой плитке поверхность велодорожки получается неровной и некомфортной для передвижения;
- в стыках плиток может скапливаться вода и образовываться лужи;
- от постоянного воздействия велосипедных колес плитки разрушаются, что снижает ровность, комфорт и безопасность передвижения.

Второй вариант (рис. 2) является оптимальным при применении плиток. В данном случае покрытие строится из крупных плиток с ровными краями без фасок, что позволяет сделать поверхность ровной и швы незаметными.



Рис. 1. Покрытие велосипедной дорожки мелкой плиткой с фасками, Россия, г. Великий Новгород [2]



Рис. 2. Покрытие велосипедной дорожки крупной плиткой без фасок, Германия [3]

Проведенные в Германии исследования показали, что, по сравнению с асфальтобетонным покрытием, плитка с фаской увеличивает сопротивление качению на 40 %, а плитка без фаски на 30 %. [3] Данные величины справедливы для велосипедной до-

рожки с ровно уложенной плиткой без сколов. На изношенном покрытии велосипедисту требуется прилагать еще больше усилий для преодоления силы качения.

При укладке и ремонте плиточного покрытия не требуются какие-либо дорогостоящие средства механизации, в отличие от укладки асфальтобетона. С точки зрения экологии плиточное покрытие считается более безопасным, чем асфальтобетонное, так как бетон и натуральные камни не выделяют в атмосферу вредных веществ [4].

Приведем примеры конструкций дорожной одежды велосипедных дорожек из асфальтобетона (рис. 3) и плитки (рис. 4).

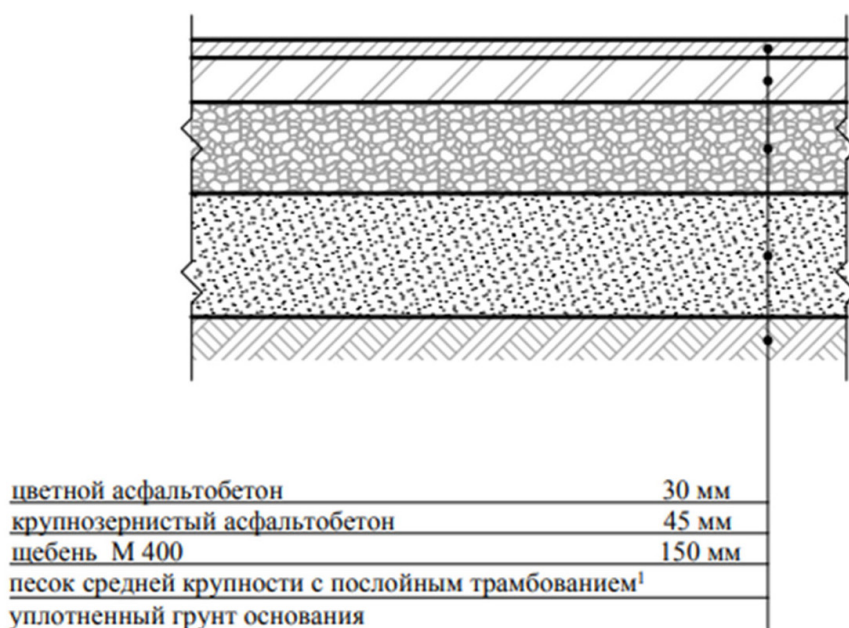


Рис. 3. Асфальтобетонное покрытие велосипедной дорожки [4]

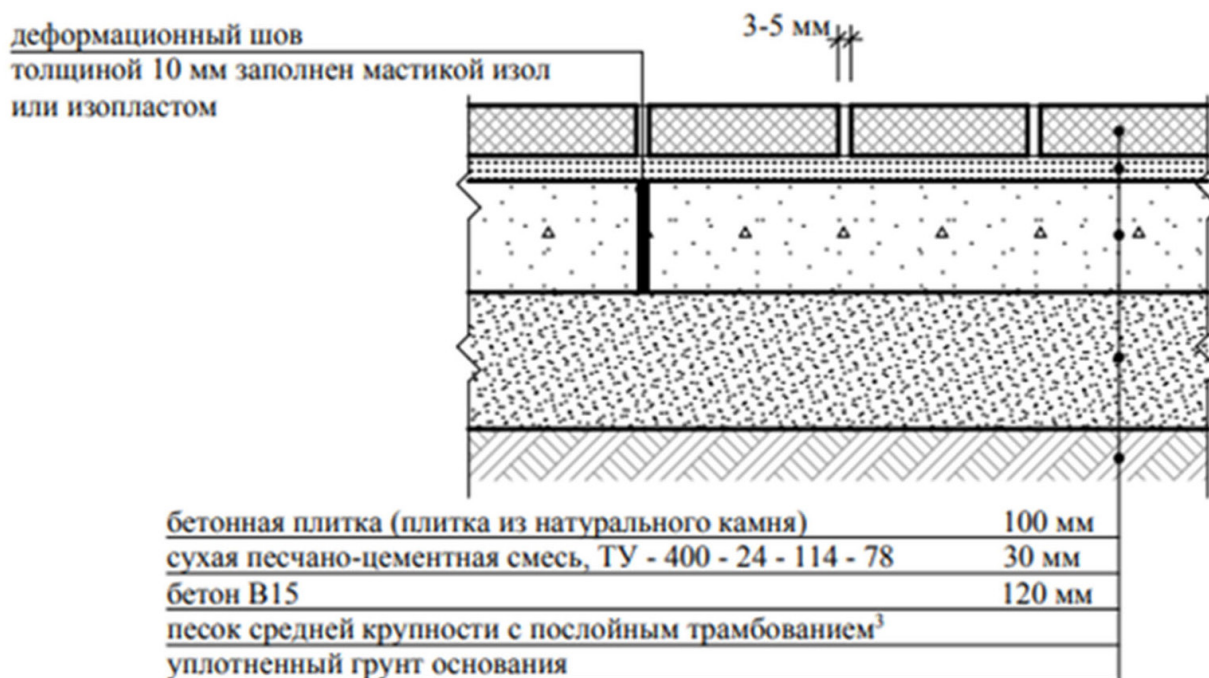


Рис. 4. Плиточное покрытие велосипедной дорожки [4]

Монолитный бетон. Данный тип покрытия имеет преимущество при устройстве небольших криволинейных участков велосипедных дорожек. Также он применяется в качестве связующего элемента в комбинированных покрытиях велосипедных дорожек между разными типами покрытий.

Применяется покрытие из монолитного бетона довольно редко из-за трудоемкости производства работ и сложности выполнения ремонта.

На бетон зачастую наносят декоративное покрытие для улучшения его свойств и защиты поверхности. Декоративный бетон состоит из смеси устойчивых пигментов, молотого наполнителя из гранита или кварцевого песка, а также вяжущего. Он обладает хорошим коэффициентом сцепления, не выцветает, а также, в отличие от плиточного и асфальтобетонного покрытия, более устойчив к перепадам температур [1].

Акрил. Применяется как поверх асфальтобетонного покрытия, так и покрытия из монолитного бетона. Акрил обладает хорошими противоскользящими свойствами, а также стойкостью к механическим и климатическим нагрузкам. Акриловое покрытие значительно ярче цветного асфальтобетона, что важно с точки зрения эстетики и отделения велосипедной полосы или дорожки от основной проезжей части или тротуара.

Технология нанесения не требует дорогостоящих средств механизации, однако, качество окончательного акрилового покрытия напрямую зависит от ровности слоя основания из бетона или асфальтобетона, так как акрил повторяет все неровности нижележащих слоев. Конструкция акрилового покрытия (рис. 5) состоит из нескольких слоев. Велосипедная дорожка с акриловым покрытием приведена на рис. 6.

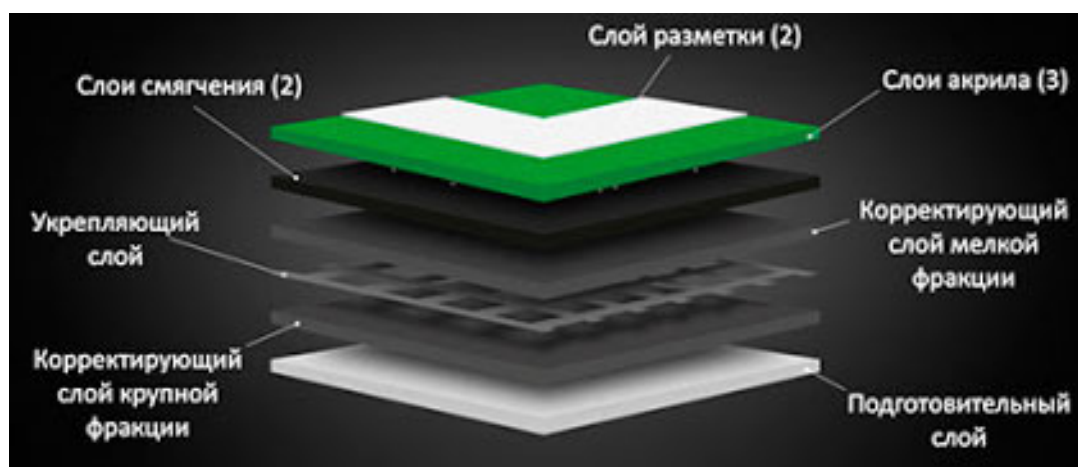


Рис. 5. Конструкция акрилового покрытия велосипедной дорожки [5]

Резиновое покрытие. Данный тип покрытия является бесшовным и выполняется из резиновой или каучуковой крошки, окрашенной в различные яркие цвета. Основание под покрытием из резиновой крошки может быть твердым бетонным или асфальтобетонным, а также насыпным из гравия, песка или гравийно-песчаных смесей. Пример конструкции покрытия из резиновой крошки приведен на рис. 7.

Покрытие из резиновой крошки (рис. 8) устойчиво к перепадам температур и механическим повреждениям, а также хорошо пропускает воду, за счет чего на дорожках не скапливается вода и не образуются лужи. Однородность бесшовного покры-

тия способствует мягкому движению без шума и сохраняет хорошее сцепление колеса велосипеда с покрытием.



Рис. 6. Акриловое покрытие велосипедной дорожки [6]

Резиновое покрытие обладает значительным преимуществом перед перечисленными выше типами покрытия за счет того, что упругость резиновой крошки снижает риск получения серьезных травм или ссадин при падении велосипедиста на данный тип покрытия.

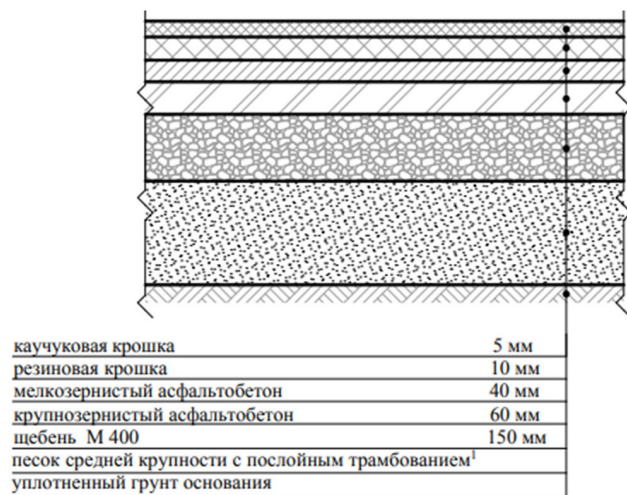


Рис. 7. Конструкция резинового покрытия велосипедной дорожки [4]



Рис. 8. Покрытие велосипедной дорожки из резиновой крошки [7]

Грунт. Наиболее дешевое и простое по технологии устройства покрытие. Применяют различные материалы: щебень, песок, грунт и мягкий гравий. При строительстве грунтовых покрытий необходимо увеличивать продольные и поперечные уклоны, в отличие от велосипедных дорожек с твердым покрытием, а также большое внимание уделять уплотнению и профилированию проезжей части велосипедной дорожки [8].

Грунтовые покрытия целесообразно применять в парковых зонах и на загородных участках велосипедной сети с низкой интенсивностью движения.

При выборе оптимального типа покрытия учитываются различные факторы:

- Ровность. При выборе по данному критерию имеют преимущество монолитные бесшовные конструкции, в отличие от сборных плиточных покрытий.
- Ремонтопригодность. Сложнее всего проводить ремонт у покрытий из монолитного бетона. Для ремонта асфальтобетонных покрытий требуются средства механизации, что усложняет процесс. Резиновое и плиточное покрытия имеют преимущество в простоте обслуживания, по сравнению с вышеперечисленными типами.
- Трудоемкость укладки покрытия. Асфальтобетон и бетон используются как самостоятельные покрытия и для их укладки требуются средства механизации. Для плиточного покрытия может применяться бетонное основание, при этом работы зачастую производятся вручную. Акриловое покрытие используется вместо цветного асфальтобетона поверх твердого бетонного или асфальтобетонного основания и не требуют дополнительных механизмов для укладки. Резиновое покрытие укладывается не только на твердые основания, но также и на грунтовые, что может облегчить и удешевить процесс.

Литература

1. Литвиненко Т. П., Смилянец Л. В. Дорожные покрытия, которые могут применяться при строительстве велосипедных дорожек // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности // Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь), 2013 – С. 103–115.
2. Велодорожка на Каберова-Власьевской: плюсы и минусы URL: <http://novgorod.me/live/910/> (01.12.2020).
3. О том, почему не надо делать покрытие велодорожек из плитки или особенности будущей велодорожки пр. Мира — ул. Псковская URL: <http://novgorod.me/live/192/> (01.12.2020).
4. Альбом типовых решений (стандартов) комплексного благоустройства территории «вылетных» магистралей города Москвы. URL: https://archsovet.msk.ru/image/uploads/file/Tom_2_1.pdf (19.12.2020).
5. Спортивные покрытия. URL: <http://www.slsport.by/public/sport-pokr-hidden/sport-pokr-tennis-hidden> (19.12.2020).
6. Акриловые покрытия для дорожек. URL: http://mfdesna.ru/catalog/bezshovnoe_pokrytie/dlya_otkrytyh_sportivnyh_ploshchadok/akrilovoe-pokrytie-dlya-velosipednyh-dorozhek/ (19.12.2020).
7. Покрытия для велодорожек URL: <https://trAMPLINSport.ru/pokrytiya-dlya-velodorozhek> (19.12.2020).
8. Чазов А. В., Шишмакова М. С. Шлакощелочные материалы в дорожном строительстве // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 114–116.

УДК 625.7

Анна Александровна Секретева,
магистрант
Анастасия Дмитриевна Спехина,
магистрант
Андрей Дмитриевич Этманов,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sekrann@rambler.ru,
20000248@edu.spbgasu.ru,
20000264@edu.spbgasu.ru

Anna Aleksandrovna Sekreteva,
Master's degree student
Anastasiya Dmitrievna Spekhina,
Master's degree student
Andrey Dmitrievich Etmanov,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: sekrann@rambler.ru,
20000248@edu.spbgasu.ru,
20000264@edu.spbgasu.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА НЕСТАБИЛЬНЫХ ГРУНТАХ В РАЙОНАХ I ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

DESIGN OF ROADS ON UNSTABLE SOILS IN AREAS OF THE I ROAD-CLIMATIC ZONE

В статье описываются исследования нобелевских лауреатов премии по физике 2021 года, которые позволяют оценить глобальные изменения климата. Математические модели и модели климата, созданные учеными, доказывают, что глобальный климат на Земле изменяется в сторону потепления в связи с активным накоплением углекислого газа в атмосфере в следствии деятельности человека. В сфере дорожного строительства данные исследования особенно актуальны при проектировании автомобильных дорог в первой дорожно-климатической зоне, так как распространенные там многолетнемерзлые грунты находятся в большой зависимости от климатических факторов. Это вызывает необходимость учета изменения климата во времени при проектировании автомобильных дорог.

Ключевые слова: дорога, климат, мерзлые грунты, глобальное изменение климата, геологические изыскания.

The article describes the research of the Nobel laureates of the Physics Prize in 2021, which allows us to assess global climate change. Mathematical models and climate models created by scientists prove that the global climate on Earth is changing towards warming due to the active accumulation of carbon dioxide in the atmosphere as a result of human activity. In the field of road construction, these studies are especially relevant when designing highways in the first road-climatic zone, since the permafrost soils common there are highly dependent on climatic factors. This makes it necessary to take into account climate change over time when designing highways.

Keywords: road, climate, frozen soils, global climate change, geological surveys.

В современном мире можно часто услышать фразы о глобальном потеплении или похолодании. Также мнения людей разделяются на тех, кто верит в изменения климата и на тех, кто считает это вымыслом. В 2021 году Нобелевскую премию по физике вручили трем ученым: климатологам Клаусу Хассельману и Сюкуро Манабэ «за моделирование физики климата Земли, математическое описание изменчивых систем и точное предсказание глобального потепления» и физику Джорджо Паризи «за открытие взаимосвязей в хаосе и флуктуациях в физических системах от атомарных

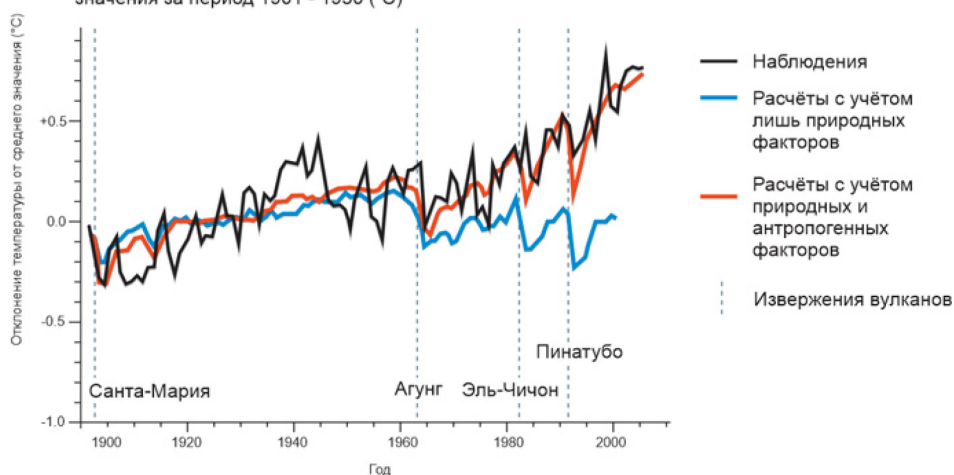
до планетарных масштабов». Ученые доказали изменения глобального климата на планете, создали математические модели, описывающие сложную систему из огромного числа неупорядоченных частиц и факторов, влияющих на них, и предсказали нынешнее положение вещей.

Основа изучения глобального климата была заложена Сьюкуро Манабэ в 1960-х годах. Его исследования начались с исследования атмосферной динамики и поиска взаимосвязей между ростом концентрации углекислого газа в атмосфере и ростом глобальных температур. В результате были получены следующие закономерности: изменение содержания азота и кислорода мало влияло на температуру, но всего лишь удвоение количества CO₂ приводило к росту температуры сразу на 2 °С. В 1967 году была опубликована упрощённая модель климата Земли, которая была признана мировым научным сообществом. Так благодаря работам Сьюкуро Манабэ были заложены основы современного климатического моделирования

Спустя примерно десять лет после представления модели Манабэ, Клаус Хассельман смог обнаружить способ описания связи между погодой и климатом. Так его теория была в том, что погода и климат можно было сравнить с элементарными частицами и тем, что из них состоит. Для установления взаимосвязей между целым и его частями можно было воспользоваться схожими стохастическими методами, такими как случайное блуждание. В результате своих исследований Клаус Хассельман смог установить, что различные природные явления, такие как извержения вулканов или изменение солнечной активности, влияют на результаты расчетов характерным образом. У каждого явления, включая всевозможные сферы человеческой деятельности, были свои, так называемые, «отпечатки пальцев» и, воспроизводя метеорологические наблюдения, можно было понять, какой же из факторов в результате оказывает большее влияние (см. рисунок).

Климатические отпечатки пальцев

Клаус Хассельман разработал метод, позволяющий различать вклады различных источников в температуру атмосферы. На графике показаны отличия от среднегодовой температуры относительно среднего значения за период 1901 - 1950 (°С)



Результаты климатического моделирования, показывающие отклонение среднегодовой температуры относительно среднего значения для 1901–1950 годов с учетом только природных (синий график) и природных и антропогенных факторов (красный график)

Третий из ученых, Джорджо Паризи, занимался исследованием сложных неупорядоченных систем. Несмотря на то, что исследования такого рода систем не связаны напрямую с климатом его вклад в изучение, описание и создание математических моделей нельзя приуменьшать. Благодаря его математическим моделям, описывающим неупорядоченные системы, появилась возможность предсказывать глобальные изменения климата.

В настоящее время жизненный цикл того или иного объекта может быть непредсказуем. Этапы изысканий и проектирования нередко разнесены во времени друг от друга, а этап строительства, особенно в северных труднодоступных районах, начинается отнюдь не сразу после успешного прохождения экспертной оценки. Временные рамки от идеи до воплощения в жизнь проекта могут достигать достаточного времени для того, чтобы считать данные изысканий недостоверными учитывая тенденции изменения климата, в частности инженерно-геологические изыскания.

Грунты в таких районах можно назвать нестабильными, ведь со временем, в процессе проектирования, строительства и эксплуатации, под действием климатических изменений будут изменяться их характеристики и свойства. Пригодность использования того или иного вида мерзлого грунта и способа его эксплуатации в итоге обуславливается его стабильным и предсказуемым поведением.

Прогнозирование климатических изменений и изучение влияния их на свойства вечномёрзлых грунтов являются одними из основных принципов проектирования в районах I дорожно-климатической зоны. Современные исследования и признание их мировым научным сообществом подтверждают факт глобального изменения климата. Так же эти исследования подтверждают возможность методов математического моделирования давать достоверные прогнозы поведения когда-то непредсказуемых систем, таких как климат и его изменения.

Литература

1. Интернет ресурс: URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/press-release/> (дата обращения: 22.12.21).
2. Интернет ресурс: URL: <https://www.co2.earth/> (дата обращения: 22.12.21).

УДК 656.02:629.35

Елизавета Викторовна Солодкова,
студент
Анна Сергеевна Лебедева,
канд. экон. наук
(Национальный исследовательский
университет ИТМО)
E-mail: elizavetasolodkova283@gmail.com,
aslebedeva@itmo.ru

Elizaveta Viktorovna Solodkova,
student
Anna Sergeevna Lebedeva,
PhD in Sci. Ec.
(National Research
University ITMO)
E-mail: elizavetasolodkova283@gmail.com,
aslebedeva@itmo.ru

ГЕНЕЗИС И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТОВАРНОГО БЕТОНА

GENESIS AND INNOVATIVE DEVELOPMENT OF COMMERCIAL CONCRETE TRANSPORTATION TECHNOLOGIES

Сегодня бетон является самым распространённым строительным материалом в мире. Как правило, бетонные смеси, которые используются для строительства крупных зданий и сооружений, изготавливаются на бетонном заводе и транспортируются до места заливки специальным транспортным средством. Транспортировка бетона является одним из важнейших этапов в процессе строительства, поскольку может повлиять на качество бетона и, как следствие, на качество готовой конструкции. В связи с увеличением строительства и повышением требований к поставляемой бетонной смеси изучение процесса транспортировки приобретает особую актуальность. Можно выделить четыре направления инновационного развития технологии транспортировки бетона, среди которых: модернизация состава бетонной смеси, автоматизация процесса транспортировки, цифровизация процесса транспортировки, модернизация транспортных средств для доставки бетона. В данной статье будут описаны инновации, связанные с модернизацией транспортных средств, а именно, автобетоносмесителей посредством которых осуществляется доставка бетона.

Ключевые слова: инновационные технологии, транспортировка бетона, тенденции развития, автобетоносмеситель.

Today concrete is the most common building material in the world. As a rule, concrete mixes that are used for the construction of large buildings and structures are manufactured at a concrete plant and transported to the place of pouring by a special vehicle. Transportation of concrete is one of the most important stages in the construction process, since it can affect the quality of concrete and, as a result, the quality of the finished structure. Due to the increase in construction and increased requirements for the supplied concrete mix, the study of the transportation process becomes particularly relevant. There are four directions of innovative development of concrete transportation technology, among which: modernization of the composition of the concrete mixture, automation of the transportation process, digitalization of the transportation process, modernization of vehicles for concrete delivery. This article will describe innovations related to the modernization of vehicles, namely, concrete mixers through which concrete is delivered.

Keywords: innovative technologies, concrete transportation, development trends, concrete mixer truck.

Бетон является самым популярным строительным материалом в мире. При строительстве крупных зданий и сооружений бетонные смеси, как правило, производятся на бетонном заводе и нуждаются в транспортировке до места заливки. Самыми рас-

пространственными транспортными средствами для доставки бетона являются автобетоносмесители, поскольку они могут обеспечить поддержание заданного качества бетонной смеси в процессе транспортировки. За период существования бетоносмесителей в их конструкции и функциональности произошли значительные изменения. Рассмотрим эти изменения подробнее.

Первые бетоносмесители, предназначенные для транспортировки бетона появились еще в начале XX века. Так, в 1904 году Ричардом Бодландером был запатентован первый бетоносмеситель. Он представлял собой телегу, на конной тяге, где передние колеса были заменены большим барабаном с лопастями для взбивания бетона, который перемешивался при движении телеги. Такая конструкция была очень тяжелой и требовалось очень много времени для транспортировки груза, однако именно она положила начало для дальнейшего развития средств для транспортировки бетона [1].

В 1909 году изобретатель Альвах Хандзель запатентовал конструкцию смесителя с шестигранным барабаном и зубчатой передачей для привода цепи, который не катился по земле, а приводился в действие угольным паровым котлом, прикрепленным к поршневому насосу. Добавление силового агрегата было таким гигантским прорывом, что в течение десятилетия конструкция не менялась [1].

Первый автомобильный бетонный смеситель появился в 1920 году и имел название «Аппарат для бетонных работ». Он был разработан и запатентован Акертом Бикелем. Это был автомобиль с двигателем внутреннего сгорания и ручным стартером. Создание данного аппарата позволило увеличить скорость доставки бетонной смеси по сравнению с предшествующими моделями бетоносмесителей. Однако конструкция имела недостаток – большое количество пустого пространства между барабаном, где находилась бетонная смесь, и кабиной водителя, что существенно снижало его грузоподъемность, но несмотря на это, автомобиль считался лучшим в своем классе до 1930 года [2].

В 1930 году Чарльз Болл запатентовал усовершенствованную модель автобетоносмесителя, в которой пустое пространство было ликвидировано, и за счет этого автомобиль имел большую грузоподъемность. Кроме того, в последующие два года изобретатель существенно изменил конструкцию смесительного барабана и лопастей, что позволило более эффективно смешивать бетонную смесь в процессе транспортировки.

Однако следует отметить, что конструкция наиболее приближенная к современным автобетоносмесителям была запатентована в 1933 году Стивеном Степаняном. В данной модели автобетоносмесителя кручение барабана достигалось с помощью электропривода. Кроме того, была модернизирована конструкция лопастей, которая направляла поток бетонной смеси к разгрузочному отверстию и делало возможным самоочищение кузова и создание единого герметичного загрузочно-разгрузочного отверстия. Это было действительно революционное изобретение в строительной отрасли [3].

В последующие годы (примерно с 1950 года) к конструкции был добавлен резервуар для воды, который располагался за или над кабиной водителя в зависимости от модели. Вода в резервуаре предназначалась для промывки барабана и добавления ее в бетонную смесь, если это было указано в технологическом регламенте. Кроме того, барабан стал иметь грушевидную форму с углом наклона 15–20 % к горизонту. Такие нововведения позволили обеспечивать лучшую перемешиваемость смеси в пути [4].

Важно отметить, что в современных автобетоносмесителях использование резервуара для воды изменило технологию транспортировки. Если раньше бетонную смесь загружали в автобетоносмеситель уже затворенную водой и в процессе транспортировки она перемешивалась, то сейчас большую часть пути цемент, наполнители и добавки, из которых состоит бетон, перемешиваются без добавления воды. Вода в нужной дозировке добавляется в барабан по мере приближения к строительной площадке. Таким образом, становится возможным приготовление смеси в пути. Применение данной технологии позволяет осуществлять транспортировку на дальние расстояния и увеличивать время допустимое время в пути без потерь качества бетона. Кроме того, сейчас активно ведутся исследования направленные на улучшение конструкции лопастей и увеличение грузоподъемности бетоносмесителей: если раньше грузоподъемность была 2–4 м³, то уже существуют автобетоносмесители с данным показателем более 13 м³ [4].

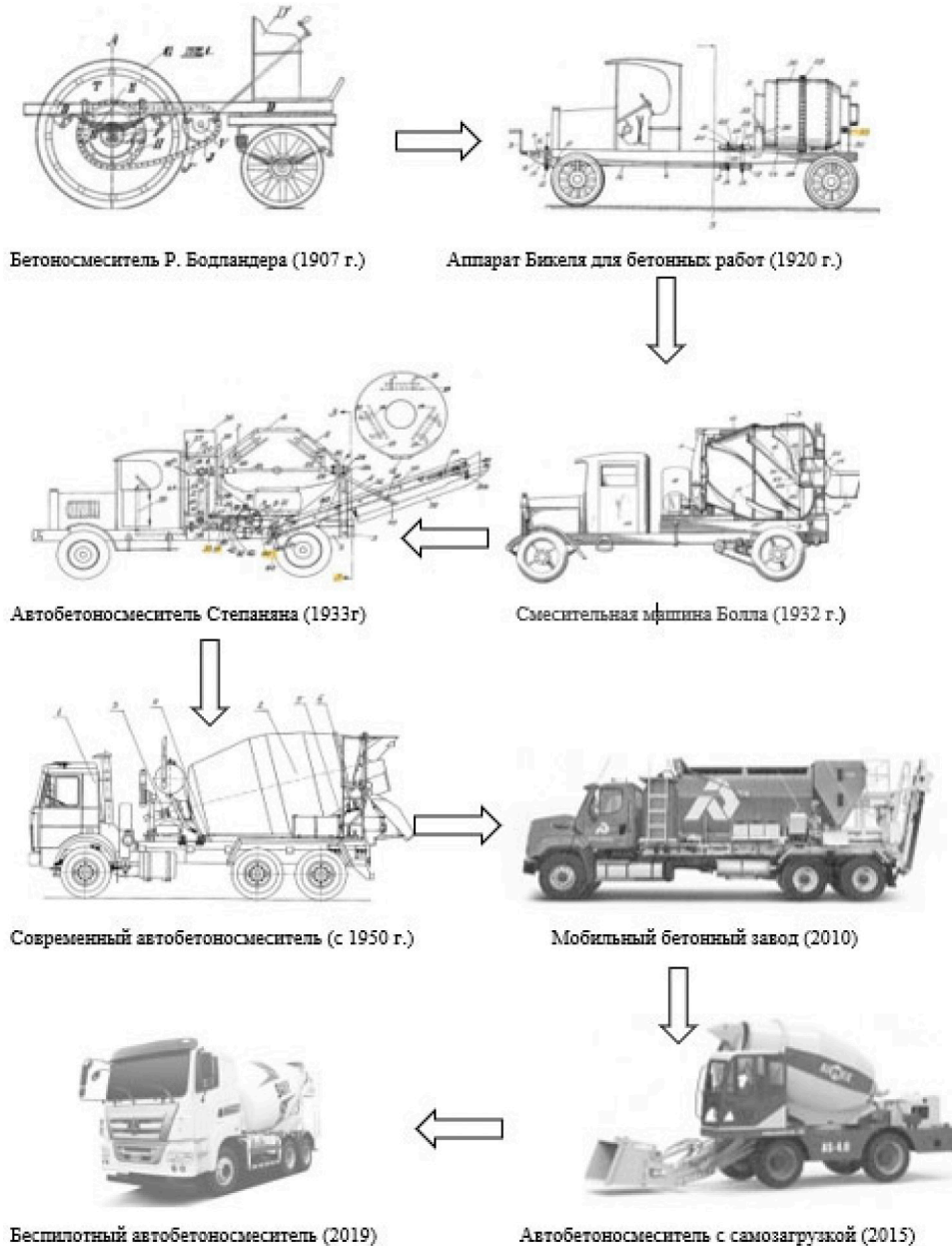
В наши дни инновационной разработкой в области доставки бетона является создание мобильного бетонного завода на шасси. Такие машины могут доставлять бетон на самые удаленные строительные площадки и заменить целый небольшой завод по производству бетона. Точная дозировка материалов и система подачи готовой смеси позволяет минимизировать отходы и повысить эффективность производства смесей. Регулировка концентрации ингредиентов может выполняться в реальном времени исключая время простоя и ожидания новой партии бетона. Принцип работы выглядит следующим образом: после загрузки необходимыми для производства бетона ингредиентами, автомобиль перемещается на место доставки, а на площадке оператор (водитель) смешивает ингредиенты, контролируя систему с помощью монитора, установленного в кабине автомобиля. Использование мобильного бетонного завода позволяет создавать бетонные смеси строго по рецептуре. Однако важно отметить, что машина позволяет смешивать ингредиенты в разных пропорциях по требованиям того или иного объекта уже на месте отгрузки. Таким образом, обеспечивается производство бетона именно той прочности и того состава, который необходим по месту и в нужном количестве (согласно производительности) и качеству. Мобильные бетонные заводы уже применяются для заливки фундаментов, строительстве буровых установок и монолитных жилых зданий. Они имеют автономный запас воды, автоматическую систему подачи смеси и могут быть оснащены ленточным конвейером для подачи готовой бетонной смеси на удаленное расстояние. Их производительность может достигать до 50 м³/час [5].

Кроме того, появились и автобетоносмесители с самозагрузкой. Такие машины способны самостоятельно загружать ингредиенты, взвешивать и смешивать их с предельной точностью, а также транспортировать и разгружать бетон на строительном участке. Система способна создавать отчеты о произведенной смеси и проверять ее соответствие запрограммированному рецепту. Производительность таких машин от 3 до 15 м³/час. Они в большей степени подходят для небольших строительных объектов [6].

Последней инновацией в области транспортных средств для транспортировки бетона является запуск в 2019 году первого в мире беспилотного электрического автобетоносмесителя корпорацией SANY, при создании которого она применила 18 своих

запатентованных решений. На данный момент он находится на тестовой эксплуатации. Принцип его работы схож с другими беспилотными средствами, которые тестируются в мире. Следует отметить, что данный автобетоносмеситель оснащен системой постоянного регулирования температуры бетонной смеси. Однако данных о других характеристиках компания пока не сообщает [7].

Эволюция автобетоносмесителей представлена на рисунке.



Эволюция автобетоносмесителей

Таким образом, проанализировав некоторые патенты и инновационные технологий в области транспортировки бетона, можно сделать вывод, что совершенствование автобетоносмесителей направлено на увеличение их грузоподъемности, улучшение перемешивания смеси и сохранения ее качества в пути. Кроме того, применение инновационных технологий делает возможным увеличение продолжительности времени

транспортировки, приготовление смеси в процессе доставки или непосредственно на строящемся объекте, что существенно снижает риски получения бетонной смеси плохого качества. При этом в то время, как технологии автобетоносмесителей с возможностью приготовления смеси в пути, мобильные бетонные заводы и самозагружающиеся автобетоносмесители уже активно применяются как на российском, так и на зарубежном рынках, технологии беспилотной доставки бетона только тестируются. В связи с этим возможность применения беспилотных автобетоносмесителей на территории России требует дополнительного исследования.

Литература

1. *Yasin Engin*. Beton Transmikserinin İcat Edilme Süreci. URL: <https://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-transmikseri> (дата обращения 23.11.2021).
2. *Sofiane Amziane, Chiara F. Ferraris Eric Koehler*. Feasibility of Using a Concrete Mixing Truck as a Rheomete. National Institute of Standards and Technology. 2006.
3. *Ренкель А. Ф.* Из истории появления бетона и бетономешалок. «Журнал Суда по интеллектуальным правам», № 21, сентябрь 2018 г., с. 101–105.
4. *Новоселов В.* Советский автобетоносмеситель с иностранным акцентом. Специализированный журнал «Строительная техника и технологии». № 2(36)2005.
5. Мобильные бетоносмесительные установки на шасси грузовых автомобилей. URL: <https://os1.ru/article/5209-mobilnye-betonosmesitelnye-ustanovki-na-shassi-gruzovyh-avtomobiley> (дата обращения 05.12.2021).
6. Для чего нужен бетоносмеситель с самозагрузкой? URL: <https://arena-tex.by/samozagruzka/> (дата обращения 08.12.2021).
7. SANY запустил первый в мире беспилотный электрический автобетоносмеситель. URL: <http://www.trucksale.ru/news/SANY-%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BB-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B2%D1%8B%D0%B9-%D0%B2-%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B5-%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C--7037/> (дата обращения 15.12.2021).

УДК 338.47

Анастасия Александровна Степанова,
магистрант
Елена Викторовна Будрина,
д-р экон. наук, профессор
(Национальный исследовательский
университет ИТМО)
E-mail: stasiast98@gmail.com,
evbudrina@itmo.ru

Anastasiia Aleksandrovna Stepanova,
Master's degree student
Elena Victorovna Budrina,
Dr. Sci. Ec., Professor,
(National Research
University ITMO)
E-mail: stasiast98@gmail.com,
evbudrina@itmo.ru

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ УСЛОВИЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ НОВЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ МЕГАПОЛИСА

ANALYSIS OF THE MAIN CONDITIONS AND FEATURES OF THE INTEGRATION FOR NEW TYPES OF TRANSPORT INTO THE TRANSPORT SYSTEM OF THE MEGAPOLIS

В данной статье рассматривается возрастающая роль современных видов транспорта, которые применяются для транспортных систем мегаполисов. Выделяется проблема недостаточной подготовленности городского пространства для использования современных средств передвижения, которая приводит к нарушению правил дорожного движения и усиливает опасность перемещения для всех участников дорожного движения. Проводится анализ мер, правил и ограничений, введенных в городах по всему миру для регулирования использования электросамокатов, а также рассматриваются технологии, необходимые для эффективного контроля за их движением. Анализируется пример комплексного и грамотного внедрения современных видов транспорта в городскую транспортную систему Тель-Авива. Приводится краткая характеристика текущей ситуации с альтернативными видами транспорта в России. Предлагается создание выделенных зон для новых видов транспорта с целью снижения возможных рисков в процессе движения и повышения привлекательности альтернативных видов транспорта для пользователей.

Ключевые слова: мегаполис, транспорт, транспортная система, электросамокат, средства индивидуальной мобильности, микромобильность.

This paper considers the increasing role of modern types of transport that are used for transport systems of megapolises. The problem of insufficient preparation of the urban space for the usage of modern types of transportation which leads to violations of traffic rules and increases the danger of moving for all road users is highlighted. This article analyses measures, rules, and restrictions imposed in cities around the world to regulate the usage of electric scooters and considers technologies needed for the effective control for their moving. The example of comprehensive and competent integration of modern types of transport in the urban transportation system of Tel Aviv is analyzed. The brief description of the current situation with alternative types of transport in Russia is given. This article proposes to form designated areas for new types of transport in order to reduce possible risks in the traffic process and increase the attractiveness of alternative types of transport for users.

Keywords: megapolis, transport, transport system, electric scooter, personal mobility devices, micromobility.

Актуальность. Различные современные виды транспорта, к которым, например, относятся моно-колесо, сигвей, гироскутер, фэтбайк, электросамокат и велогибрид,

предполагают улучшение мобильности отдельных участников дорожного движения. Как показывают исследования в данной области, альтернативные виды транспорта в основном подходит для поездок на короткие расстояния в городских районах, предоставляя при этом такие сопутствующие преимущества, как снижение загруженности дорог, уменьшение потребляемой энергии и положительное влияние на состояние здоровья. Однако на данный момент времени городское пространство еще не приспособлено для использования этих средств передвижения, поэтому такой транспорт зачастую использует инфраструктуру, созданную для транспортных средств или пешеходов, что далеко не всегда обеспечивает выполнение правил дорожного движения, соответственно, и не гарантирует безопасность для всех участников дорожного движения. Более того, в настоящее время руководства по планированию городских улиц игнорируют присутствие альтернативных видов транспорта в городском трафике.

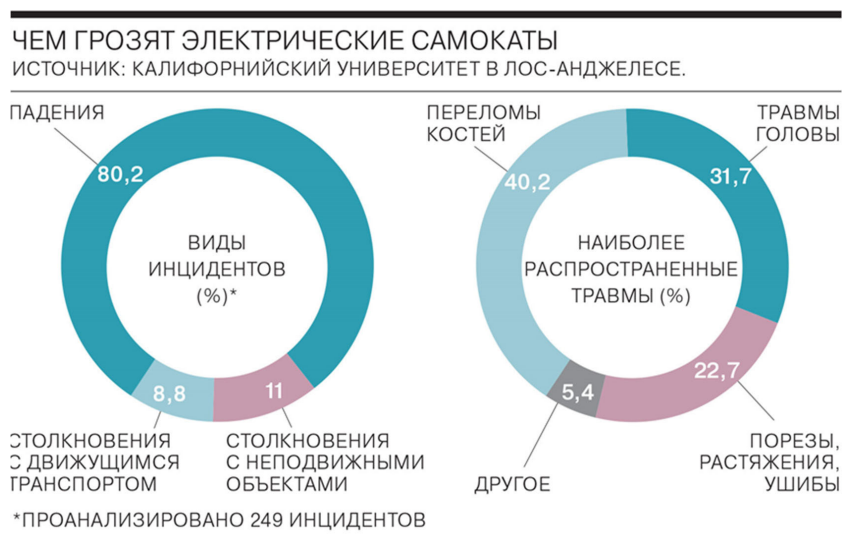
Целью исследования является проведение анализа ключевых условий и особенностей, необходимых для внедрения новых видов транспорта в транспортную систему мегаполиса, на примере использования электросамокатов и прочих средств индивидуальной мобильности (СИМ), работающих за счёт электрического двигателя.

Широкое распространение альтернативных видов транспорта в последнее время, к сожалению, также сопровождается увеличением связанных с их использованием случаев травматизма. В подтверждение данного факта рассмотрим исследование ученых Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе относительно инцидентов с участием электрических самокатов. Именно электрические самокаты за последние годы вышли на пик своей популярности в городах по всему миру, так как данные средства передвижения являются удобными в использовании в условиях городской среды и становятся дополнением, а зачастую и даже заменой общественного транспорта или личного автомобиля. Массовому распространению тренда по всему миру способствуют как компании по прокату электросамокатов и мода на здоровый образ жизни, так и простота взятия в аренду электросамоката.

Для того чтобы арендовать электросамокат, достаточно скачать мобильное приложение, пройти в нем регистрацию и привязать банковскую карту для оплаты. Приложение само находит на карте место, где расположен ближайший свободный самокат. Далее необходимо просканировать на самокате специальный QR-код, чтобы оплатить использование, и можно начинать поездку. К сожалению, рост использования самокатов выявил и определенные опасности, которые могут постигать неподготовленных должным образом пользователей.

По результатам данных, поступивших от двух отделений неотложной помощи Лос-Анджелеса, с сентября 2017 года по август 2018 года было выявлено 249 пострадавших. Основные результаты данного исследования графически представлены на рисунке. Как видно из рисунка ниже, среди 249 происшествий преобладали такие виды инцидентов, как падения, столкновения с различными неподвижными объектами или движущимися транспортными средствами. Что же касается видов полученных травм, то у большинства пострадавших были зафиксированы достаточно серьезные повреждения, среди которых наибольшую долю составили переломы костей (40 %), а также травмы головы (31,7 %), порезы, растяжения и ушибы (22,7 %).

Средний возраст пострадавших установился на отметке в 34 года, несмотря на то, что возрастной диапазон среди всех пациентов двух рассматриваемых отделений неотложной помощи очень обширный (от 8 до 89 лет, 9 из 10 являлись совершеннолетними). Более 90 % пострадавших в момент инцидента сами управляли самокатами, хотя также были зафиксированы случаи, когда травмы получили и пешеходы, которые были сбиты электросамокатом или же споткнулись об него. Стоит отметить, что всего лишь 4,4 % пострадавших в момент аварии находились в защитных шлемах, которые предписаны правилами безопасности большинства компаний по производству электросамокатов [1].



Последствия инцидентов с участием электросамокатов [1]

Популярность использования электросамокатов и сопутствующий рост травматизма в странах по всему миру уже привел к началу обсуждений по поводу введения ограничений или ужесточения правил при использовании данных средств передвижения. Но на данный момент времени на городских улицах достаточно часто встречаются пользователи электросамокатов без шлемов и каких-либо средств защиты (наколенники, налокотники, защита на запястья), которые на ходу пьют кофе или же отвлекаются на свои смартфоны.

Далее необходимо рассмотреть, какие меры, правила и ограничения уже введены в городах по всему миру для регулирования использования электросамокатов. Данные предписания подразделяются в зависимости от того, на какую сферу оказывается их воздействие, а именно на технологии, поведение пользователей, инфраструктуру и конструкцию электросамокатов, а также законодательство и управление, что отражено в таблице.

Из таблицы следует, что на текущий момент времени во всем мире решаются самые разные вопросы в области регулирования движения электросамокатов.

Что касается сферы технологий, то важной особенностью электросамокатов является то, что ими можно управлять на расстоянии при помощи навигационных данных. Например, геофенсинг – это технология, позволяющая создавать на карте виртуальные зоны и выполнять на мобильном устройстве определенные действия, когда

оно пересекает границу такой зоны [2]. Таким образом, данная технология позволяет отслеживать и ограничивать максимальную скорость движения электросамокатов в зонах, где необходимо передвигаться с низкой скоростью. Технология интеллектуального масштабирования в свою очередь на основе данных о производительности позволяет операторам компаний по прокату электросамокатов регулировать количество электросамокатов в зависимости от фактического спроса на них, сокращая потребности в парковочных местах. В городах могут быть использованы обе эти технологии совместно с собственно разработанными информационными технологиями.

Обзор основных мер, правил и ограничений для регулирования использования электросамокатов в городах мира [3]

| Меры, правила и ограничения для регулирования использования электросамокатов согласно сфере воздействия | Город |
|--|---|
| Технология | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Геофенсинг для ограничения максимальной скорости при въезде в зоны с низкой скоростью. – Интеллектуальное масштабирование для мониторинга использования электросамокатов и корректировки их количества, чтобы не допустить заполнения городов слишком большим количеством электросамокатов. – Приложение для отслеживания и оповещения о сломанных или неправильно припаркованных электросамокатах операторов компании по прокату с целью того, чтобы они были оперативно убраны в установленные сроки | <p>Брисбен (Австралия) Даллас (США)</p> <p>Лос-Анджелес (США)</p> |
| Поведение пользователей | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Проведение социальных кампаний, связанных с безопасностью движения на электросамокатах. – Запрет катания в паре, когда два пользователя электросамокатов едут рядом друг с другом. – Проведение социальных кампаний, связанных с информированием о правилах и законодательстве в отношении электросамокатов. – Ограничение максимального числа пользователей во время поездки – один пользователь на один электросамокат. – Запрет использования мобильного телефона во время езды. – Установление максимально допустимой концентрации алкоголя в крови при управлении электросамокатом | <p>Брисбен (Австралия)</p> <p>Вена (Австрия)</p> |
| Инфраструктура и конструкция электросамокатов | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Специальные парковочные зоны для электросамокатов. – Конструкция электросамоката, включающая светоотражатели и специальную подсветку | <p>Лос-Анджелес (США) Вена (Австрия)</p> |
| Законодательство и управление | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Дифференциация ограничения скорости в зависимости от участков движения. – Использование только велосипедной инфраструктуры для движения на электросамокатах. – Обязательное ношение шлемов для всех пользователей. – Штрафы за игнорирование правил дорожного движения | <p>Брисбен (Австралия)</p> |

| Меры, правила и ограничения для регулирования использования электросамокатов согласно сфере воздействия | Город |
|---|--|
| Законодательство и управление | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Максимально разрешенная скорость движения для электросамокатов 25 км/ч. – Запрет езды по тротуарам. – Обязательное ношение шлемов для пользователей младше 12 лет. – Установление минимального возраста использования электросамоката на уровне 18 лет. – Подзарядка от возобновляемых источников энергии. – Ограничение количества сервисов по прокату электросамокатов. – Ограничение количества электросамокатов | <p>Вена (Австрия)</p> <p>Стокгольм (Швеция)</p> <p>Париж (Франция)</p> <p>Копенгаген (Дания)</p> |

Например, в Париже существует специальное мобильное приложение под названием «*Dans ta rue*» («На моей улице»), с помощью которого можно сообщать о неправильно припаркованных или сломанных электросамокатах.

Учитывая важность поведенческих аспектов, некоторые города мира инициируют социальные кампании по привлечению внимания пользователей электросамокатов к безопасности. Например, в Малаге была создана кампания «Уважай езду», включающая в себя следующие рекомендации по движению на электросамокате:

- всегда передвигаться ответственно;
- по возможности надевать шлем;
- соблюдать все правила дорожного движения и соблюдать скоростной режим;
- передвигаться только по специально отведенным местам, таким как велосипедные дорожки или улицы со скоростью движения не более 30 км/ч.

Кроме того, данные кампании могут подкрепляться лекциями полиции для обучения нарушителей и разъяснения существующих мер за проступки.

Инфраструктурные меры, прежде всего, включают в себя создание парковочных зон для электросамокатов. Например, в Париже создано 2500 специально отведенных зон для аренды и возврата электросамокатов в пределах 150 м друг от друга.

Различные меры в сфере законодательства и управления – это категория, которая включает в себя политику в отношении максимально допустимой скорости движения электросамокатов и соответствующей скорости в пешеходных зонах, а также требования к использованию защитной экипировки, минимальному возрасту для езды на электросамокате или величине штрафов. Размер штрафов в основном обсуждается в контексте нарушений правил парковки и того, к кому все же они должны применяться – к сервисам по прокату электросамокатов или к самим пользователям.

Электросамокаты являются весьма привлекательным видом транспорта в городской среде, и ожидается, что их число с каждым годом будет только расти. Тем не менее, их повсеместное внедрение также вызывает достаточно споров о разграничении пространства, допустимой скорости движения и мерах безопасности, а также о поведении пользователей. Важным вопросом для градостроителей и высших должностных лиц является то, как можно минимизировать такие конфликты.

Проанализировав текущую ситуацию с использованием электросамокатов в мире, можно сделать вывод, что многих конфликтов возможно избежать или свести к минимуму, независимо от размера или структуры города. Например, ограничение скорости движения электросамокатов до 20–25 км/ч может снизить нагрузку на транспортные потоки, так как это выровняет движение электросамокатов и велосипедов. Разрешение пользователем электросамокатов перемещаться только по велосипедной инфраструктуре позволит избежать конфликтов из-за использования тротуаров. Парковка электросамокатов только в специально отведенных местах может решить проблему загромождения ими улиц. Ограничение числа лицензированных прокатов в городе уменьшит избыточное предложение электросамокатов, их неэффективную подзарядку и а также позволит более грамотно распределять их в городской среде. Что же касается других аспектов, таких как требования к использованию защитной экипировки или минимальному возрасту пользователей, то наиболее подходящие решения могут быть приняты в каждом отдельном городе на основе местной транспортной культуры.

Далее рассмотрим пример, иллюстрирующий комплексное и грамотное внедрение альтернативных видов транспорта в городскую транспортную систему. Так, Тель-Авив (Израиль) реконструировал городское дорожное пространство, чтобы начать строительство большего числа велосипедных дорожек, повышая привлекательность и популярность велосипедного движения, использования электросамокатов и прочих средств индивидуальной мобильности, работающих за счёт электрического двигателя, в городе. В связи с умеренным и субтропическим средиземноморским климатом город предрасположен к интеграции различных СИМ в городскую транспортную систему в качестве неотъемлемой ее части. Чтобы обеспечить плавную интеграцию СИМ в существующую систему транспорта, для них были разработаны подробные правила дорожного движения. Согласно этим правилам, пользователи СИМ, передвигающиеся по дорогам, где отсутствует соответствующая инфраструктура, должны двигаться по дороге, держась правой стороны дороги возле обочины, а не по самой обочине. На дорогах, где движение велосипедистов и пользователей СИМ осуществляется совместно с обычным дорожным движением, а также в зонах с ограниченным по максимальной скорости движением, пользователи должны двигаться по правой стороне дороги. Однако если дорожное пространство предусматривает наличие велосипедной дорожки, то она всегда должна использоваться велосипедистами и пользователями СИМ. Это могут быть либо велосипедные дорожки на проезжей части, либо отдельные дорожки на обочине или же совместные дорожки для велосипедистов и пешеходов, на которых пешеходы имеют приоритетное право перемещения. Для обеспечения соблюдения этих правил правительство города усиливает применение соответствующих законов для защиты пешеходов от травм, наносимых велосипедами и СИМ. Каждое нарушение закона влечет за собой штраф в размере от 60 до 250 евро.

Для того чтобы снизить количество несчастных случаев со смертельным исходом и сделать использование СИМ более безопасным, власти города также ввели обязанность для пользователей носить шлем и светоотражающий жилет, который необходимо надевать в ночное время. Кроме того, пользователям СИМ запрещается перевозка пассажиров, езда в состоянии алкогольного опьянения, использование мобильного

телефона во время движения и проезд на красный сигнал светофора. Все перечисленные действия наказываются штрафами в соответствии с установленными правилами, чтобы сократить количество многочисленных аварий, которых можно было бы избежать.

Стоит отметить, что полиция Тель-Авива ведет активную работу по систематической проверке пользователей СИМ на предмет соблюдения соответствующих правил. Например, ведутся проверки на наличие алкоголя в крови пользователей при помощи алкотестеров, отслеживаются и впоследствии конфискуются неправильно припаркованные СИМ.

Одна из важных мер, принятая для обеспечения безопасности дорожного движения СИМ, в Тель-Авиве заключается в том, что с января 2020 года поставщики услуг по прокату электросамокатов обязаны прикреплять номерные знаки ко всем своим электросамокатам в городе. Кроме того, было создано официальное мобильное приложение, с помощью которого жители могут немедленно сообщать городским властям и компаниям по прокату о неправильно припаркованных электросамокатах или же инцидентах, связанных с их использованием на основе сделанных фотографий, чтобы можно было оперативно принять меры против правонарушителей. В дополнение к приложению операторы связи также обязаны поддерживать центр обработки вызовов клиентов, в который можно напрямую сообщить о нарушениях и жалобах. За первое правонарушение будет вынесено предупреждение, за второе – уже двухмесячный запрет на использование СИМ, а за третье правонарушение будет вынесен приговор о постоянном запрете использования СИМ. Для обеспечения надлежащего соблюдения этих правил в городе введено подразделение из 22 инспекторов. Также в феврале 2020 года были изданы дополнительные правила, вводящие запреты на движение СИМ в определенных зонах с интенсивным движением, например, порт Тель-Авива, и введение максимального ограничения скорости в некоторых районах города до 15 км/час с использованием технологии геофенсинга. С 15 июня 2020 года компании по прокату СИМ в Тель-Авиве предоставляют всем своим пользователям шлемы, уже прикрепленные к электросамокатам [4].

Рассматривая ситуацию с альтернативными видами транспорта в России, стоит отметить, что по данным аналитического обзора Научного центра безопасности дорожного движения МВД России, число инцидентов с использованием гироскутеров, сигвеев, моноколес и электросамокатов в 2020 году выросло в три раза. Всего в 2020 году с их участием произошло 331 ДТП (+182,9 %), в котором погибли 6 (+50 %) и были ранены 347 (+184,4 %) человек. Наблюдается непосредственная зависимость между ростом продаж средств индивидуальной мобильности, работающих за счет электродвигателя, и ухудшением показателей аварийности среди данных видов транспорта [5].

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что города, заинтересованные в транспортных преобразованиях, поддерживают интерес и рост к различным формам микромобильности на основании аргумента, что пешие прогулки и использование современных видов транспорта снижают нагрузку на городскую транспортную инфраструктуру. Учитывая рост использования различных альтернативных видов транспорта, представляется целесообразным создать целые дорожные системы для микромобильности, чтобы поддержать изменение существующих транспортных систем.

Поскольку микромобильность требует значительно меньше места, чем автотранспорт, это позволит создать пространство даже для тех участников дорожного движения, которые продолжают пользоваться личными автомобилями. Выделенные зоны для новых видов транспорта могут быть легко реализованы во многих городах, особенно в исторически сложившихся центрах городов с высокой плотностью населения. Поскольку такие выделенные зоны снижают предполагаемые и наблюдаемые риски движения, они сделают микромобильность более привлекательной для пользователей и будут способствовать положительной динамике изменения устаревших транспортных систем.

В дальнейших исследованиях по рассматриваемой теме следует рассмотреть потенциальные последствия использования современных видов транспорта для городских транспортных систем. В частности, это касается приоритетных целей поездок, поскольку в настоящее время не до конца ясно, создают ли альтернативные виды транспорта дополнительный транспортный спрос или же они полноценно заменяют поездки посредством традиционных видов транспорта. Поскольку использование новых видов транспорта также связано и с увеличением случаев травматизма, необходимо более подробно определить степень опасности / безопасности всех видов современного транспорта и рассмотреть наиболее частые виды получаемых травм. Кроме того, необходимо изучить существующую транспортную инфраструктуру конкретных мегаполисов и текущую ситуацию с альтернативными видами транспорта в городе, чтобы рассмотреть наиболее оптимальные решения для эффективной интеграции новых видов транспорта в городское пространство.

Литература

1. В Калифорнии проанализировали аварии с участием электрических самокатов. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3880085> (дата обращения: 20.11.2021).
2. Геофенсинг (Geofencing). URL: <https://encyclopedia.kaspersky.ru/glossary/geofencing/> (дата обращения 20.11.2021).
3. Gössling S. Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020. № 79. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920919312829?via%3Dihub> (дата обращения 25.11.2021).
4. Living lab e-micromobility – MOBY Guideline of best practices, and results of e-micromobile integration potentials. URL: https://www.eiturbanmobility.eu/wp-content/uploads/2021/01/EIT-UM_MOBY_DEL03-for-publication-Jan-2021-1.pdf (дата обращения 28.11.2021).
5. В 2020 году число ДТП с участием электросамокатов в России возросло в три раза. URL: <https://www.pnp.ru/economics/v-2020-godu-chislo-dtp-v-rossii-s-uchastiem-elektrosamokatov-vyroslo-v-tri-raza.html> (дата обращения 28.11.2021).

УДК 625.71.8

Хамза Ахмед Хуссейн Ахмед,
студент
Владимир Анатольевич Трепалин,
канд. техн. наук, доцент
Сергей Александрович Уколов,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)
Лилия Николаевна Юстикова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: ahmed.h@edu.spbstu.ru,
v.trepalin.spb@yandex.ru,
serj.ukolov2011@yandex.ru,
lnyustik@mail.ru

Hamza Ahmed Hussein Ahmed,
student
Vladimir Anatolyevich Trepalin,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
Sergey Aleksandrovich Ukolov,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St.Petersburg
Polytechnic University)
Liliya Nikolaevna Yustikova,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: ahmed.h@edu.spbstu.ru,
v.trepalin.spb@yandex.ru,
serj.ukolov2011@yandex.ru,
lnyustik@mail.ru

ОЦЕНКА ИНДЕКСА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ТИПА ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ Г. ГИЗЫ, ХАРТУМ

ASSESSMENT OF THE ROAD SURFACE CONDITION INDEX WITH THE DEFINITION OF THE TYPE OF SERVICE: EXAMPLE FROM GIZA, KHARTOUM

В статье представлен анализ факторов, влияющих на дорожное покрытие. Использовались различные критерия показателей, чтобы фиксировать изменения технических качеств покрытий дорог чтобы быстро выявлять дефекты. Анализ осуществлялся на основе программы исследования стратегических автомобильных дорог США и его применения на автомобильных дорогах в Судане, в городе Гиза на улице Джабра-Норт. Исследовался индекс дефектности дорожного покрытия. Состояние дорожного покрытия влияет на безопасность дорожного движения, поэтому важно выявить дефекты и возможные формы их устранения. В результате исследования было выявлено, что большинство дефектов дороги на улице Джабра-Норт представляют собой трещины различного типа и дефекты поверхности, представленные выбоинами, ямочностью и келейностью. В результате определен тип необходимого содержания дороги – защитный дополнительный слой (overlay).

Ключевые слова: дорожное покрытие, дорожное движение, дефекты дороги, келейность.

The article presents an analysis of the factors affecting the road surface. Various criteria of indicators were used to record changes in the technical qualities of road surfaces in order to quickly identify defects. The analysis was carried out on the basis of the US Strategic Highway Research Program and its application on highways in Sudan, in the city of Giza on Jabra North Street. The road surface defect index was investigated. The condition of the road surface affects road safety, so it is important to identify defects and possible forms of their elimination. As a result of the study, it was revealed that most of the road defects on Zhabra-North Street are cracks of various types and surface defects represented by potholes, dimples and cells. As a result, the type of necessary road maintenance is determined – a protective additional layer (overlay).

Keywords: road surface, traffic, road defects, cell capacity.

Оценка состояния дорожного покрытия и изучение характеристик дефектов поверхности с определением его состояния, которые появляются в гибком покрытии до или после окончания срока эксплуатации, зависит от характеристики выявленных на поверхности, а также его структурного состояния. Его оценка может быть разной по функциональному или конструктивному исполнению.

Функциональный анализ относится к поверхности покрытия, где факторы, влияющие на использование дорожного покрытия, влияющие на его безопасность и комфорт и лучший способ изучить услугу – через пользователя, например, проанализировать, является ли дорога удобной (то есть функциональной для движения) при движении автомобиля по ней [1]. Следовательно, оценка его конструкции связана со средней эксплуатационной скоростью дорожного потока, которая может быть связана с его конструкцией или размерами.

Оценка состояния дорожного покрытия невозможна без системного подхода к планированию и управлению улично-дорожной сетью, представленной на рис. 1 [2].



Рис. 1. Блок-схема для планирования и управления содержанием сети дорог

Используются различные критерии показателей, чтобы фиксировать изменения технических качеств покрытий дорог и быстро выявлять дефекты, чтобы выполнять систематическую оценку развития дорог, избегая при этом личных субъективных суждений и находясь под влиянием в условиях, окружающих систему управления содержанием дорог. Один из используемых методов, – это программа исследования стратегических автомобильных дорог США (SHRP, 1993). Она хорошо известна и широко используется в исследованиях по оценке состояния дорожного покрытия, хоть

и является это установленным параметром для данного состояния, которое обычно требует некоторых корректировок в разных случаях. Определение состояния дорожного покрытия на каждом участке очень важно. Это одно из самых важных в процессе управления оценкой и ремонтом состояния дорожного покрытия. Информационные системы (ГИС, *GPS*) дают возможность фиксировать изменения технических качеств покрытий дорог и быстро выявлять дефекты [2]. Таким образом, регионы быстро определяют потребности в ремонте, что упрощает процесс принятия решений. В связи с этим состав базы данных с географической привязкой информационной системе (ГИС, *GPS*) может быть решающе важным фактором успеха программы оценки состояния дорожного покрытия и его ремонта, индекс дефектности дорожного покрытия (*PCI*), международный индекс ровности (*IRI*), индекс эксплуатационной надёжности покрытия (*PSI*) и *Paver-Micro* календарный метод.

Индекс дефектности дорожного покрытия (*PCI*) – это метод объективного типа для визуальной оценки дорожного покрытия, который учитывает степень и серьезность для оценки поверхности гибких покрытий вместе с Глобальным индексом серьезности, посредством сравнительного анализа, что *PCI* был более полным и более подходящим в оцениваемых условиях. Дефекты, обнаруженные на конкретном исследуемом участке «*Al-Neami et al*». (2017) определили 10 различных вариантов исполнения *PCI*, которые были адаптированы только к трем категориям: хорошее, удовлетворительное и плохое. Из проанализированных секций 48 % были в хорошем состоянии, 25 % – в удовлетворительном и 27 % – в плохом.

IRI обычно имеет обратную связь с *PCI*. Гладкая дорога с низким *IRI* обычно имеет высокий *PCI*. Однако это не всегда так, и дорога с низким *IRI* может также иметь низкий *PCI*, и наоборот. Следовательно, одного из этих показателей эффективности не всегда достаточно для всестороннего описания состояния дороги [3].

Наряду с методами сравнительного анализа величин и динамики изменения диагностики прогнозирования риска банкротства был выбран Американским инженерным корпусом (*ARMY US*). *CROPS* входит в эту группу методов по следующим причинам:

1. Этот метод исчерпывает все возможные причины появления дефектов дорожного покрытия.
2. Это лучший метод, основанный на письменных доказательствах и показанных подробных фотографиях.
3. Легко понять и реализовать.
4. Распространены и используются в разных частях света.
5. Остальные методы так или иначе зависят от метода Бивера.

Исследование проводилось в Судане, в городе Гиза на улице Джабра-Норт, где использовался метод Бивера и объективная оценка методом *PCL*.

Улица Джабра-Норт расположена в штате Хартум, районе Хартума. На рисунке 2 показана улица Джабра-Норт, по всей длине дороги. Протяженность улицы около 2 км.

Исследования проводились на 980 метрах длины дороги, при ширине дороги 7 метров. Полевые исследования проводились при выходе на дорогу, так же проводился визуальный осмотр. Обнаруженные дефекты по рассматриваемому методу сведены в табл. 2.



Рис. 2. Улица Джабра-Норт

Таблица 1

**Основные дефекты проезжей части УДС г. Гизы
(по результатам диагностики 05.10.2015 г.)**

| № п/п | Вид дефекта покрытия | Серьезность дефекта |
|-------|--|---------------------|
| 1 | Выбоины 50–100 мм и более | Высокая |
| 2 | Колейность | Высокая |
| 3 | Ямочность | Высокая |
| 4 | Волны и гребенки | Высокая |
| 5 | Сетка трещин | Средняя |
| 6 | Продольная ровность неудовлетворительная | Низкая |
| 7 | Поперечный уклон соответствующий СНиП 3.06.03–83 | Низкая |
| 8 | Переулок/обочины обрыва | Низкая |

Объективная оценка дефектов методом *PCL* была проведена для каждого сектора отдельно. На основе диаграмм, используемых *SHRP* (1993), дефекты, обнаруженные для каждого сектора, были идентифицированы с учетом их серьезности и интенсивности, а также были оценены и собраны рассчитанные значения скидки (*DV*) и скорректированные значения скидки (*DVD*). После сбора скорректированных значений скидки они вычитаются от 100 до получения *PCL* [4, 5]. При проведении оценки были найдены значения *PCI* для каждого сектора исследуемых дорог. Интервалы *PCI*, принятые в этом исследовании с оценкой значения *PCI* для каждого сектора исследуемых дорог приведены в табл. 2.

Результат оценки значения PCI исследуемых дорог

| № п/п | Расстояние каждого сектора исследуемых дорог, м | Принятые интервалы PCI в этом исследовании, % | Оценка значения PCI для каждого сектора исследуемых дорог, % |
|-------|---|---|--|
| 1 | 0–140 | | 1,68 |
| 2 | 140–280 | 0–9 (очень плохо) | 2,58 |
| 3 | 280–420 | 9–13 (плохо) | 6 |
| 4 | 420–560 | 22–50 (удовлетворительно) | 35 |
| 5 | 560–700 | 90–100 (отлично) | 97 |
| 6 | 700–840 | 80–89 (очень хорошо) | 89,5 |
| 7 | 840–980 | 61–79 (хорошо) | 78 |

Такая классификация состояния дорожного покрытия способствует выявлению конструкций, требующих приоритетных инвестиций, что является важной функцией в управлении дорожной отраслью.

Зная, что состояние дорожного покрытия влияет на количество аварий [6], то есть влияет на безопасность дорожного движения, важно выявить дефекты и возможные формы обслуживания.

Таким образом, предлагаемое техническое обслуживание рассчитывается и определяется на основе значения состояния дорожного покрытия, а значение индекса состояния дорожного покрытия для всей дороги рассчитывается по формуле:

$$PCL = \frac{\sum_{i=1}^n pcl_{sec}}{n},$$

где PCL – справочник по состоянию дорожного покрытия на всей дороге; pcl_{sec} – руководство по состоянию дорожного покрытия для отрасли; n – количество секторов на дороге.

$$PCL = \frac{1,68 + 2,58 + 6 + 35 + 97 + 89,5 + 78}{7} = 44,25 \%$$

Поскольку значение $PCI = 44,25$, предлагаемое обслуживание дороги – защитный дополнительный слой (*overlay*), как показано на рис. 3.

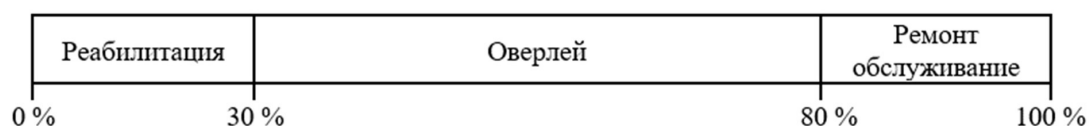


Рис. 3. Взаимосвязь между PCI и типом обслуживания

Таким образом, в этом исследовании для оценки индекса состояния дорожного покрытия с определением типа обслуживания были сделаны выводы: оценка характеристик функционального состояния и дороги с использованием типа руководства

по оценке состояния дороги необходима для получения выгоды для участников дорожного движения, включая обеспеченность безопасностью и комфортом.

Оценка дефектов дорожного покрытия была проведена с использованием различных методов по оценке индекса состояния дороги методом Бивера и объективная оценка методом *PCL*.

Результаты показали, что большинство дефектов дороги на улице Джабра-Норт представляют собой трещины различного типа и дефекты поверхности, представленные выбоинами, ямками и колеиностью. На основе значения индекса состояния дорожного покрытия, который был получен из *PCI*, определен тип необходимого содержания дороги – защитный дополнительный слой (*overlay*).

Литература

1. Архин, С. А.; Уильямс, Л. Н.; Ribbiso, A.; Андерсон, М. Ф. (2015). «Прогнозирование индекса состояния дорожного покрытия с использованием международного индекса шероховатости в плотной городской зоне». Журнал Инженерные исследования. п. 10–17.

2. Ахмед Х.А., Кириллов С.В. Организация и технология ремонта покрытий городских дорог из асфальтобетона и состояние вопроса в Йемене и за рубежом // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2021. С. 344–347.

3. Моделирование характеристик дорожного покрытия – Pavement performance modeling/ Из Википедии, бесплатной энциклопедии https://en.wikipedia.org/wiki/File:IRI_progression.png

4. ASTM (Американское общество испытаний и материалов), 2007. Стандартная практика для дорог и обследование состояния дорожного покрытия парковок. ASTM D6433. Unidos, Estados.

5. Исследование содержания дорог в городе Хартум – пример из практики <http://repository.sustech.edu/jspui/handle/123456789/13265> (дата исследования было проведено 05.10.2015г).

6. Бердник А. В., Шевченко С. М., Новик В. А. [и др.]. Экономические последствия ДТП из-за недостатка освещенности на автомобильных дорогах Ленинградской области // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года – Санкт-Петербург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2021. – С. 333–335.

УДК 625.745.2

Егор Александрович Худоложкин,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: egor.z8497@gmail.com

Egor Alexandrovich Khudolozhkin,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: egor.z8497@gmail.com

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ОСНОВАНИЙ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

CULVERT FOUNDATIONS TREATMENT METHODS

В настоящей статье рассмотрены основные методы повышения несущей способности грунтовых оснований водопропускных труб: полная и частичная замена грунта, устройство армирующих прослоек из геосинтетических материалов, закрепление грунтов различными способами, устройство свайных фундаментов. Проведен анализ данных методов и выделены основные свойства грунтового массива, на которое оказывается наибольшее воздействие. Проведено технико-экономическое сравнение вариантов повышения прочности основания под металлической гофрированной трубой: замена грунта на глубину 3 м и устройство основания, армированного георешеткой. Сделаны выводы о границах применимости представленных мероприятий.

Ключевые слова: водопропускные трубы, основания, замена грунта, георешетки, сваи.

The article presents the main methods load-bearing capacity of the soil culvert foundations complete and partial soft soil replacement, reinforcing layers of geosynthetic material, soil solidification and piles foundations. The analysis of these methods is carried out and the main properties of the soil mass, which is most affected, are highlighted. A technical and economic comparison of options for increasing the strength of the base under a metal corrugated culvert was carried out: replacing the soft soil to a depth of 3 m and installing a base reinforced with a geogrid. Conclusions are drawn about the limits of applicability of the presented methods.

Keywords: culverts, foundations, soft soil replacement, geogrids, piles.

Для беспрепятственного пропуска малых водотоков под автомобильной дорогой применяются водопропускные трубы. Зачастую, данные сооружения устраиваются на естественном основании. Тем не менее, поймы многих водотоков сложены водонасыщенными аллювиальными грунтами, расчетное сопротивление которых не соответствует действительной нагрузкам от водопропускной трубы, веса насыпи и транспортной нагрузки. В соответствии с последними изменениями СП 34.13330.2012 [1] и ГОСТ 33063-2014 [2] к слабым грунтам теперь стоит относить не только грунты с модулем деформации ниже 5 МПа, но также и множество других видов грунтов, в том числе и переувлажненные глинистые ($I_L > 0,5$), хотя данные грунты могут обладать модулем деформации до 20 МПа.

Существует огромное количество способов улучшения свойств грунтов основания. Данные способы можно разделить на 4 группы:

- 1) Уплотнение основания (применение дрен, искусственное уплотнение, песчаные дрены-сваи, вытрамбовка, химическое уплотнение);
- 2) Закрепление основания (различные инъекции, буросмещение, глубинное перемешивание, химическое закрепление);

- 3) Замена грунта в основании;
- 4) Конструктивные мероприятия.

При назначении того или иного метода важно понимать, влияние на какое свойство грунтового массива оказывается:

- на модуль деформации основания E ;
- на гранулометрический состав;
- на коэффициент Пуассона ν ;
- на число текучести I_L ;
- на коэффициент фильтрации.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные способы улучшения свойств грунта основания, применяемых при устройстве водопропускных труб на автомобильных дорогах.

Полная замена слабого грунта. Полное удаление слабых грунтов из основания водопропускной и замены их прочным дренирующим грунтом (песок, песчано-гравийная или щебеночно-песчаная смесь) – наиболее распространенный способ. Основной плюс данного метода заключается в простоте производства работ (при небольшой глубине замены и отсутствии грунтовых вод). Ширина подушки понизу определяется по следующей формуле:

$$B = D + 2H, \quad (1)$$

где D – отверстие трубы, м; H – глубина замены грунта (от низа трубы), м.

При этом ширина песчаной подушки понизу не должна быть менее 4 м [3].

После назначения размеров подушки необходимо проверить несущую способность подстилающего слоя (данная проверка должна производиться и при устройстве трубы на естественном основании при наличии в нижележащем слое потенциально слабого грунта). Расчет производится согласно СП 35.13330.2011 [4]:

$$\gamma(d + z_i) + \alpha(p - \gamma d) \leq \frac{R}{\gamma_n}, \quad (2)$$

где γ – осредненное значение удельного веса грунта, расположенного выше проверяемого слоя, кН/м²; d – заглубление подошвы фундамента трубы от расчетной поверхности грунта, м; z_i – расстояние от подошвы фундамента до поверхности проверяемого слоя, м; α – коэффициент, характеризующий затухание напряжений с глубиной (определяется согласно [4]); R – расчетное сопротивление подстилающего слоя грунта, кПа (определяется согласно методике [4]).

Данный метод повышения несущей способности имеет и ряд недостатков:

1) Глубина замены целесообразна до 2 м, при глубине от 2 до 3 м необходимо технико-экономическое обоснование, а при глубине более 3 м данный способ экономически нецелесообразен;

2) При наличии грунтовых вод (безнапорных) необходимы дополнительные мероприятия: открытый водоотлив, водопонижение, устройство шпунтового ограждения. При наличии напорных вод данный способ неприменим;

3) Наличие хороших привозных или местных грунтов.

На какие свойства влияет: повышение модуля деформации E , изменение гранулометрического состава.

Частичная замена слабого грунта. Данный способ применяется при большой толщине слабого грунта (рис. 1). При этом грунт основания должен иметь следующие характеристики: $I_L < 0,6$; $e < 0,7$ (согласно таблице 2.1 приложения 2 [4] у глинистых грунтов с более низкими характеристиками условное сопротивление не нормируется и расчет по формуле (2) невозможен).

Расчет параметров песчаной подушки (ее толщины и ширины внизу) ведется методом последовательных приближений по формуле (2). Физический смысл расчета: снизить дополнительные напряжения по низу подушки до такого значения, чтобы они не превышали расчетное сопротивление основания на уровне кровли слабого грунта.

Данный метод имеет те же достоинства и недостатки, что и полная замена грунта в основании.

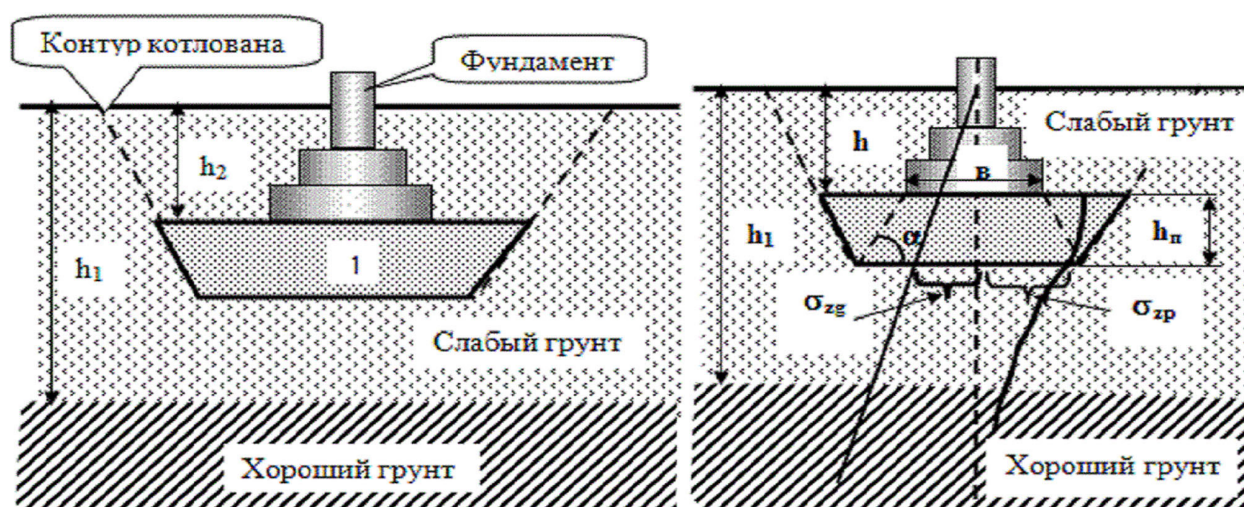


Рис. 1. Частичная замена слабого грунта

Частичной заменой грунта также можно считать устройство песчаных свай. При погружении обсадных труб и заполнении их полостей песком вокруг нее образуется зона уплотнения (рис. 2). Важно при назначении расстояния между сваями обеспечить перекрытие этих зон [5].

При наличии в основании грунтов текучей консистенции при извлечении трубы происходит растекание песчаной сваи. Чтобы исключить это, необходимо устраивать сваи в геотекстиле («в чулке»). Для большего уплотнения окружающего грунта можно использовать метод «свая в сваю» (обсадная труба извлекается и погружает еще раз в центр уже устроенной песчаной сваи с заполнением песком).

Дополнительно песчаные сваи выполняют роль дрен, осушая основание окружающих и нижележащий грунт.

Наряду с песчаными сваями применяют известковые [6]. Процесс устройства известковых свай аналогичен устройству песчаных. Заполнение скважины происходит негашеной известью, которая при гашении увеличивается в объеме на 60–80 % и выделяет тепло. При контакте грунта с известью происходит его физико-химическое закрепление.

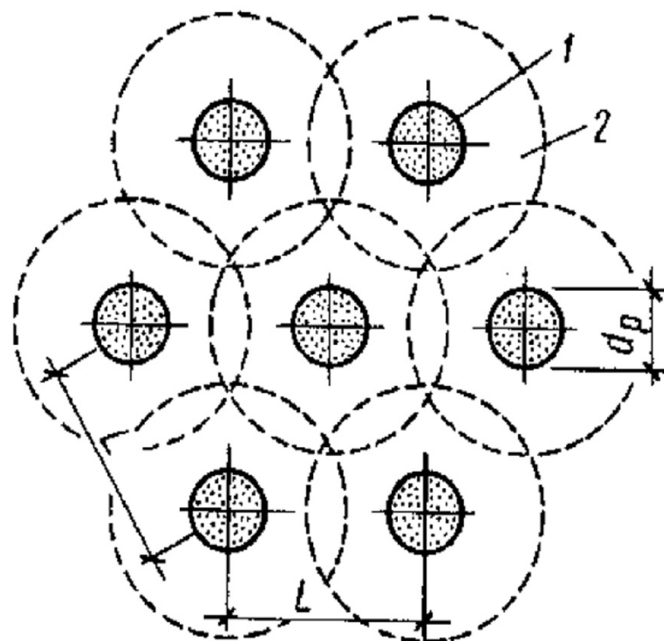


Рис. 2. Зоны уплотнения при устройстве песчаных свай

Главными преимуществами данной технологии по сравнению с обычной заменой является меньшая материалоемкость и меньший объем земляных работ.

На какие свойства влияет: повышение модуля деформации E , изменение гранулометрического состава.

Конструктивные меры. Конструктивные мероприятия представляют собой горизонтальное армирование оснований различными геосинтетическими материалами (геотекстиль, геосетки, георешетки и т. д.). На сегодняшний день данный метод становится все более распространенным ввиду невысокой стоимости и малому объему работ. Под водопропускные трубы довольно часто устраивают искусственное армированное основание в виде георешетки и щебеночного материала. Совместная работа георешетки и крупнозернистого материала создает практически жесткую плиту, обеспечивающую равномерное распределение напряжений по всей ее площади, что, в свою очередь, исключает неравномерные деформации.

Стоит отметить, что при этом обеспечиваются оптимальные условия для уплотнения щебня (происходит расклиновка в ячейках георешетки). В основании водопропускной трубы значительно снижается накопление пластических деформаций, так как большая их часть концентрируется в армированном массиве, который хорошо сопротивляется сдвигу (рис. 3).

Главным недостатком применения геосинтетических материалов является сложность расчета совместной работы с грунтом основания и фундаментом сооружения. Для этого необходимо применять численные методы (метод конечных элементов, метод конечных разностей) в специализированных программных комплексах [7] (Midas, Plaxis, GEO5). Имеются упрощенные эмпирические методики, основанные на натуральных испытаниях геоматериалов (включают в себя коэффициент, учитывающий убывания вертикальных напряжений от действия горизонтальной составляющей нагрузки в армированном слое).

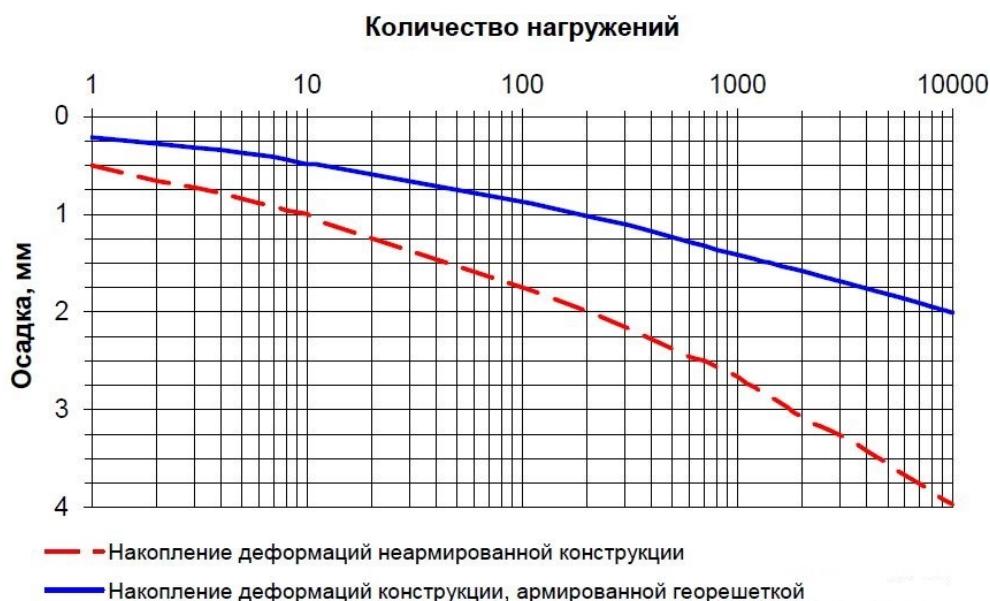


Рис. 3. Сравнительные графики накопления остаточных деформаций конструкций при воздействии многократных кратковременных нагрузок

На какие свойства влияет: уменьшение коэффициента Пуассона ν .

Закрепление грунтов. Закрепление может производиться с помощью инъекции цементных растворов (чистая инъекция, двух- и трехкомпонентная), буросмесительными методами (струйные, механические и глубинные), термическим методов (в основном, применяется на лессовых грунтах), а также химическим (силикатизация, смолизация, битумизация). Общей чертой данных способов является сложность контроля процесса и расчета закрепленного массива. В химических методах закрепления применяются токсичные и ядовитые реагенты, способные нанести большой вред окружающей среде.

Закрепления грунтов экономическая целесообразно на длинных участках ввиду сложности оборудования и дороговизны (к примеру, на автомобильных дорогах нередко применяют механическое буросмешение), поэтому в основаниях водопропускных труб используется при укреплении всего основания земляного полотна.

Довольно интересным способом уменьшения влажности глинистых грунтов (что приводит к увеличению их расчетного сопротивления) является электроосмос. При наложении внешнего электрического поля постоянного тока ионы диффузного слоя воды, менее связанные с поверхностью, смещаются по направлению к полюсу противоположного им знака и в силу молекулярного сцепления и трения увлекают воду за собой. Глинистые частицы имеют, как правило, отрицательный заряд, ионы в диффузном слое — положит.

На какие свойства влияет: повышение модуля деформации E , коэффициент фильтрации.

Устройство свайных фундаментов. Данный метод применяется довольно редко ввиду его высокой стоимости. В основном прибегать к устройству свайного фундамента приходится при наличии в основании водопропускных труб следующих видов грунтов: текучих глинистых грунтов, которые не могут быть использованы в качестве

искусственного основания, торфов, илов, тиксотропных грунтов. В своем большинстве используются железобетонные забивные сваи с устройством железобетонного ростверка.

Расчет свай производится согласно СП 24.13330.2011 [8], при этом необходим учет отрицательного трения по боковой поверхности сваи (при грунтах с модулем деформации менее 5 МПа). Также обязателен расчет свай на горизонтальную нагрузку, так как при слабых грунтах ростверк начинает работать как «высокий» (то есть при воздействии горизонтальной нагрузки пассивный отпор грунта фактически равен 0).

Автором настоящей работы было проведено технико-экономическое сравнение вариантов повышения несущей способности основания при устройстве спиральной круглой водопропускной трубы из гофрированного металла отверстием 1,5 м на слабом грунте. В качестве грунта основания был принят суглинок пылеватый мягкопластичный со следующими характеристиками (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов, принятые в расчете

| Наименование грунта/свойств | Суглинок пылеватый мягкопластичный |
|---|------------------------------------|
| Число пластичности I_p | 0,10 |
| Показатель консистенции I_L | 0,57 |
| Плотность ρ , т/м ³ | 1,99 |
| Коэффициент пористости e | 0,689 |
| Угол внутреннего трения φ , град. | 14 |
| Коэффициент сцепления c , кПа | 13 |
| Модуль деформации E , МПа | 15 |
| Коэффициент Пуассона ν | 0,36 |

При устройстве трубы на естественном основании действующее давление превышало расчётное сопротивление грунта, определенное согласно [2].

На рассмотрение было вынесено два варианта мероприятий по обеспечению достаточной несущей способности:

- замена грунта в основании на привозной песок мелкий на глубину 3 м (расчет по формуле (2));
- армирование основания гексагональной георешеткой. Георешетка укладывается под слой щебеночно-песчаной смеси С4 толщиной 0,4 м

Технико-экономическое сравнение вариантов представлено в табл. 2.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1) Наиболее распространенными способами повышения несущей способности грунта основания водопропускных труб являются замена грунта и армирование георешеткой. Свайные фундаменты применяются редко при сложных геологических и гидрогеологических условиях при невозможности применения иных методов;

2) Замена грунта экономически целесообразна до глубины 2 м. При увеличении глубины растет объем земляных работ и, следовательно, сметная стоимость.

Армирование оснований георешетками является эффективным способом повышения прочности грунтового массива. Тем не менее, адекватный расчет возможен лишь с помощью численных методов, что влечет за собой необходимость приобретения дорогостоящих программных комплексов и обучения специалистов.

3) Проведено технико-экономическое сравнение вариантов улучшения свойств основания: замена грунта на глубину 3 м и армирование основания георешеткой. При укладке георешетки стоимость работ более, чем в 2 раза ниже стоимости замены; объем земляных работ при этом меньше в 20 раз.

Таблица 2

Технико-экономическое сравнение вариантов повышения несущей способности грунта основания

| Наименование параметра | Замена грунта | Армирование георешеткой |
|---|---------------|-------------------------|
| Объем земляных работ, м ³ | 3137 | 152 |
| Объем привозного грунта, м ³ | 3899 | 84 |
| Площадь укладки георешетки, м ² | – | 66 |
| Напряжения от веса конструкции, кПа | 109 | |
| Напряжения по подошве условного фундамента, кПа | 74 | 50 |
| Сметная стоимость, тыс. руб. | 472,83 | 223,92 |

Литература

1. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменениями № 1 и № 2). М. : Стандартинформ, 2019. 184 с.
2. ГОСТ 33063-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Классификация типов местности и грунтов. М. : Стандартинформ, 2016. 49 с.
3. ОДМ 218.2.001-2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон). М. : ФДА «Росавтодор», 2009. 202 с.
4. СП 35.13330.2012. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с изменением № 1). М. : ОАО «ЦНИИС», 2011. 339 с.
5. Мангушев Р. А. Основания и фундаменты / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров, А. И. Осокин. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. 394 с.
6. Ухов С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартirosян, С. Н. Чернышев. – М. : Издательство АСВ, 1994. 525 с.
7. ОДМ 218.3.120-2020. Методические рекомендации по расчету насыпей автомобильных дорог на слабых грунтах основания с применением геосинтетических материалов. М. : ФДА «Росавтодор», 2020. 90 с.
8. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты (с Изменениями № 1, № 2 и № 3). Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М. : Стандартинформ, 2019. 85 с.

УДК 69.07

Андрей Дмитриевич Этманов,

студент

Илья Васильевич Горшков,

студент

Александра Алексеевна Чистякова,

студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: 20000264@mail.ru,

ilich2901@mail.ru, alexandraoct@mail.ru

Andrey Dmitrievich Etmanov,

student

Ilya Vasilyevich Gorshkov,

student

Alexandra Alekseevna Chistyakova,

student

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: 20000264@mail.ru,

ilich2901@mail.ru, alexandraoct@mail.ru

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБИННОГО УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ

ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES OF DEEP STRENGTHENING OF WEAK SOILS

Слабые грунты являются одной из главенствующих проблем в строительстве автомобильных дорог. Дефицит с хорошими грунтами ставит проблему, которая заключается в приведение существующих слабых грунтов к нормативным показателям. Важно уделять должное внимание грунту основания насыпи автомобильной дороги, потому что как бы хорошо не была запроектирована и построена автомобильная дорога, если основание насыпи не будет соответствовать нормативам, дорога быстро придет в негодность или станет непригодной еще на этапе строительства. Такой исход приведет к большим убыткам, доставит дискомфорт и ставит под опасность жизни людей, эксплуатирующих данную автомобильную дорогу. Актуальность проблемы не утихает на протяжении долгих лет, а значит, требует к себе должного внимания. В данной статье проанализированы современные методы укрепления слабых грунтов, а также предложена классификация современных методов укрепления слабых грунтов основания, которая подразделяет их на группы: химические, термические, механические, электрохимические, метод замораживания. Отдельно был проанализирован химический метод с выявлением преимуществ и недостатков популярных и перспективных представителей данного метода. Авторы представили таблицы, которые помогут в выборе той или иной методики в конкретном случае с заданными данными и целями.

Ключевые слова: слабые грунты, джет-граунтинг, методы, искусственное закрепление грунтов, современные технологии.

Weak soils are one of the main problems in the construction of highways. The shortage of good soils poses a problem, which is to bring the existing weak soils to the normative indicators. It is important to pay due attention to the soil of the foundation of the embankment of the highway, because no matter how well the highway is designed and built, if the foundation of the embankment does not meet the standards, the road will quickly become unusable or become unusable at the construction stage. Such an outcome will lead to large losses, cause discomfort and endanger the lives of people operating this highway. The urgency of the problem has not subsided for many years, which means it requires due attention. In this article, modern methods of strengthening weak soils are analyzed, and a classification of modern methods of strengthening weak foundation soils is proposed, which divides them into groups: chemical, thermal, mechanical, electrochemical, freezing method. The chemical method was analyzed separately with the identification of advantages and disadvantages of popular and promising representatives of this method. The authors presented tables that will help in choosing a particular technique in a particular case with the specified data and goals.

Keywords: weak soils, jet-grouting, methods, artificial consolidation grouting, modern technologies.

Введение

С учетом дефицита участков с хорошими грунтами большое количество строительных объектов приходится реализовывать на слабых грунтах, что ставит очень важную задачу перед специалистами – каким образом привести имеющиеся грунты к нормативным показателям. Для повышения несущей способности и снижения деформаций грунтовых оснований существует множество способов искусственного укрепления грунтов.

Вопрос, что хотел разобрать в данной статье – это возможные варианты укрепления слабых грунтов. Подробно разобрать химические методы их преимущества и недостатки в определенных условиях.

В ОДМ 218.2.063–2016 пишется: «слабые грунты: Связные минеральные, органические и органо-минеральные грунты с прочностью на сдвиг при испытании по схеме вращательного среза менее 0,075 МПа или модулем осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модулем деформации ниже 5,0 МПа).» [1]

Важно уделять должное внимание грунту основания насыпи автомобильной дороги, потому что как бы хорошо не была запроектирована и построена автомобильная дорога, если основание насыпи не будет соответствовать нормативам, дорога быстро придет в негодность или станет непригодной еще на этапе строительства. Такой исход приведет к большим убыткам, доставит дискомфорт и ставит под опасность жизни людей, эксплуатирующих данную автомобильную дорогу.

Способов укрепления слабых и нестабильных грунтов на сегодняшнее время довольно много и выбор основывается, исходя из конкретной задачи, опирается на технико-экономические сравнения вариантов, например:

1. наличие специализированного оборудования и транспорта;
2. площадь участка со слабым грунтом;
3. сроки и условия строительства;
4. категория автомобильной дороги и местность проектируемого участка и др.

Методы глубинного укрепления грунтов

Химические – данная технология подразумевает использование специализированных составов, основой которым служат смолы, бетон или битум. Метод, в широком понимании, состоит из двух этапов. К первому этапу относится введение клеящего вещества в грунт через нагнетание путем скважин или инъекторов. Второй этап, непосредственно, твердение (застывание) раствора с образованием твердого массива, который в свою очередь уже имеет улучшенные характеристики.

Термические – суть заключается в том, что структурные связи грунта модифицируются под воздействием высоких температур (действие температур длится определенное время, необходимое для достижения заданных характеристик). Данная технология осуществима в результате сгорания топлива в герметичных скважинах или путем нагнетания под давлением воздуха с температурой от 600 до 800 °С. Способ с применением сгораемого топлива куда более эффективен и экономичен.

Замораживание. Для реализации данного метода используют хладагент (рассол-хлористый кальций). Суть рассола заключается в том, чтобы оставаться жидким, даже при отрицательных температурах. Данное свойство необходимо, чтобы отнимать

тепло у грунта в процессе замораживания. Так же существует метод с применением жидкого азота, который имеет ряд преимуществ над другими промышленными хладагентами (аммиаком, фреоном).

Электрохимический метод укрепления грунтов заключается в воздействии электрического тока (эффект электроосмоса, для этого через грунт пропускают постоянный электрический ток с напряженностью поля 0,5–1 В/см и плотностью 1–5 А/кв.м. на грунт, в который уже заранее ввели химический раствор. В результате такого воздействия на грунт он обретает значительную прочность. Грунты верхней части земляного полотна становятся прочнее до 3-х раз, величина криогенного пучения уменьшается в 2–3 раза.

Механическое уплотнение имеет широкую базу, сюда относятся: сваи, возведение грунтовых подушек, использование геосинтетических материалов и др. Такая широкая разновидность позволяет подобрать метод для множества условий, стоит лишь учитывать их рентабельность в конкретном случае.

Химические методы укрепления слабых грунтов

Силикатизация

Первый способ химического укрепления грунтов – силикатизация. Данный способ широко применяется в России. Сущность метода заключается в нагнетании раствора жидкого стекла в грунт, данные манипуляции приводят к химической реакции, результатом которой является гель кремниевой кислоты, которая как цемент, связывает частицы грунта. Для достижения максимальной эффективности важна последовательная подача компонентов (отвердителя и компонентов клея).

Рекомендуемые грунтовые условия:

1. песчаные грунты с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 80 м/сут
2. лессовые просадочные грунты с коэффициентом фильтрации от 0,2 до 2,0 м/сут.;

Таблица 1

Виды силикатизации и их преимущества и недостатки

| Метод | Разновидность | Преимущества/недостатки |
|---------------|----------------|---|
| Силикатизация | Однорастворная | 1. Экономичность, надежность, долговечность, отсутствие воздействия агрессивных сред. 2. Ограничение по влажности грунта |
| | Двухрастворная | 1. Экономичность, более однородный массив, высокая прочность (по сравнению с однорастворной). 2. Ограничение по влажности грунта |
| | Газовая | 1. Укрепление за короткий промежуток времени. 2. Выше экономические затраты по сравнению с вышеперечисленными разновидностями |

Глубинное смешивание

В ОДМ 218.2.063–2016 пишется: «Технология глубинного смешивания является специальным конструктивно-технологическим мероприятием, предназначенным для

обеспечения устойчивости насыпей, требуемых сроков консолидации их оснований, сложенных слабыми органическими, органо-минеральными и минеральными грунтами, имеющими повышенную влажность. В результате применения технологии достигается увеличение механических свойств слабого грунта (прочностных и деформативных), как правило, на порядок или несколько порядков.» [1]

Сущность технологии глубинного смешивания состоит в смешивании подаваемого под давлением вяжущего (с возможностью добавок из активных материалов), со слабым грунтом. Важным моментом является то, что укреплению подвергается вся ширина насыпи и на всю глубину слабого грунта или ее часть.

Способы глубинного смешивания:

1. сухое смешивание, вяжущее в сухом состоянии (предпочтительно);
2. влажное смешивание, вяжущее в растворе.

Типы глубинного смешивания:

1. сплошное укрепление грунта под насыпью на необходимую глубину – основной тип укрепления (достигается глубинным смешиванием в массиве на технически возможную глубину 5–7 м);
2. укрепление массива грунта под насыпью по типу свайного поля, применяемое в сочетании с основным (достигается глубинным смешиванием в сваях ниже зоны укрепления в массиве).

Области применения глубинного смешивания:

1. обеспечение необходимой устойчивости насыпей;
2. достижение требуемой степени консолидации слабых оснований насыпи до 7 м при мощности толщи слабого грунта от 3 м при строительстве автомобильных дорог;
3. при реконструкции или ремонте автомобильной дороги в местах распространения слабых грунтов;
4. обустройство автомобильных дорог, укрепление слабых грунтов на ограниченных площадях в зонах расположения водопропускных труб;
5. инженерная подготовка территории с целью создания технологического слоя, обеспечивающего работу дорожно-строительной техники, временного проезда транспортных средств.

Таблица 2

Рекомендуемые укрепляющие материалы для различных грунтов

| Виды укрепляющего материала | Группа слабых грунтов по содержанию органических веществ | | | |
|--|--|----------------------------------|--|------------------------------------|
| | Минеральные при $I_r = 0 - 2 \%$ | | Органо-минеральные при $I_r = 2 - 30 \%$ | Органические при $I_r = 2 - 30 \%$ |
| | Илы | Переувлажненные глинистые грунты | | |
| Цемент | ++ | ++ | ++ | +++ |
| Цемент и переувлажненный местный связный грунт | – | – | – | +++ |
| Цемент и гипс | + | + | ++ | ++ |

| Виды укрепляющего материала | Группа слабых грунтов по содержанию органических веществ | | | |
|---|--|----------------------------------|--|------------------------------------|
| | Минеральные при $I_r = 0 - 2 \%$ | | Органо-минеральные при $I_r = 2 - 30 \%$ | Органические при $I_r = 2 - 30 \%$ |
| | Илы | Переувлажненные глинистые грунты | | |
| Цемент и шлак | ++ | ++ | ++ | +++ |
| Известь и цемент | ++ | ++ | + | - |
| Известь и гипс | ++ | ++ | ++ | - |
| Известь и шлак | + | + | + | - |
| Известь, гипс, шлак | ++ | ++ | ++ | - |
| Известь, гипс, цемент | ++ | ++ | ++ | - |
| Известь | - | ++ | - | - |
| Примечания: +++ наиболее эффективный укрепляющий материал, ++ эффективный укрепляющий материал, + эффект иногда может получиться, - не эффективно | | | | |

Ограничения по применению технологии:

1. в конструктивном плане применение технологии зависит от инженерно-геологических условий, исходя из мощности толщин укрепляемого грунта (до 5–7 м);

2. рекомендуется использовать технологию для насыпей до 7 м на минеральных или органо-минеральных грунтах. Содержание органических веществ до 10 % и до 5,0 м на основаниях, сложенных органическими и органо-минеральными грунтами с содержанием органических веществ более 10 %;

3. применение технологии оправдано в слабых связных минеральных грунтах, показатель текучести которых выше 0,5, а также в торфах с влажностью более 500 %. Можно укреплять минеральные грунты с показателем текучести от 0,25 до 0,50, но требуется обоснование с пробным укреплением.

Общий принцип метода глубинного смешивания представлен на рис. 1.

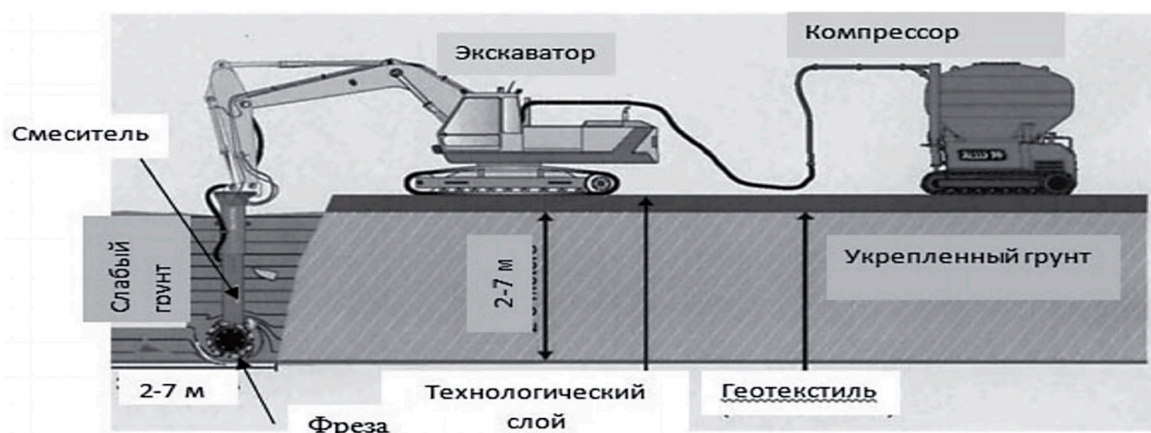


Рис. 1. Схема производства работ по укреплению слабого грунта методом глубинного смешивания

Смолизация

Технология смолизации грунта основана на нагнетании под давлением в грунт карбамидные или другие виды смол, которые, в свою очередь, под воздействием кислот или солей постепенно отвердевают. Процесс поступления раствора в почву осуществляется специальным оборудованием (перфорированные трубы), те, в свою очередь, забивают в скважины или почву. Смолизация эффективна для укрепления песчаных грунтов с коэффициентом поглощения до 5 м/сут., а так же для водонасыщенного слоя почвы.

Таблица 3

Преимущества и недостатки смолизации

| Преимущества | Недостатки |
|---|---|
| 1. Высокая проникающая способность; 2. Универсальность; 3. Прочность полученного основания; 4. Быстрый набор прочности (1–2 суток) 5. Возможность использования метода в условиях плотной застройки | 1. Высокая стоимость работ, относительно других технологий; 2. Токсичность и опасность как для человека, так и для окружающей среды; 3. Строгость в соблюдении технологии |

Результатом применения данной технологии служит твердая смесь грунта и смолы, которая имеет высокую несущую способность с заданными прочностными характеристиками, что важно при выборе метода укрепления слабых грунтов, но не стоит забывать о серьезных недостатках смолизации.

Струйная цементация

Суть струйной цементации заключается в применении энергии струи цементного раствора под высоким давлением, тем самым уничтожается сама структура массива и создается объединенная масса грунта и основного компонента с заранее заданными свойствами (массив). После твердения раствора образуется новый материал – грунто-цемент, обладающий высокими, заранее спрогнозированными, прочностными и деформационными характеристиками

В соответствии с зарубежной классификацией технология струйной цементации относится к методам перемешивания грунтов. Классифицируется следующим образом.

По типу вяжущего:

1. раствор (цементный, цементно-известковый);
2. сухое вяжущее (известь и т. д.).

По способу перемешивания вяжущего:

1. вращение бурового инструмента;
2. вращение и высоконапорная инъекция;
3. высоконапорная инъекция.

По месту перемешивания грунта:

1. в конце буровой колонны;
2. по всей длине колонны.

Преимущества струйной цементации перед другими технологиями укрепления грунтов:

1. стопроцентная предсказуемость планируемых прочностных характеристик;
2. отсутствует вредное влияние на фундаменты близстоящих зданий;
3. высокая скорость процесса;
4. возможность работ в условиях ограниченного пространства – подвалах, в густо застроенных районах, на склонах и т. п. (высота от 1,7 м, ширина от 1 м);
5. Техническая возможность укрепления грунтов всех типов: илистых, песчаных, мелкодисперсных глинистых, глинистых, грунтов с гравийными отложениями и пр.

Недостатки данной технологии:

1. возможна непредвиденная осадка полотна;
2. для устройства jet свай требуется дорогостоящий комплекс оборудования.

Таблица 4

Виды Jet-grouting

| Виды | Описание |
|-------------------------------------|---|
| Однокомпонентная технология (Jet1) | По этой технологии разрушение грунта производят струей цементного раствора. Диаметр грунтоцементных свай составляет 500–600 мм в глинистых грунтах и 700–800 мм в песчаных грунтах. Технология Jet 1 является наиболее популярной, предсказуемой и высокопроизводительной. Это даёт возможность на этапе проектирования достаточно точно предположить диаметр jet свай на основании опыта производства работ |
| Двухкомпонентная технология (Jet 2) | В этом варианте для увеличения длины струи используют энергию сжатого воздуха. Для раздельной подачи в монитор цементного раствора и сжатого воздуха применяют двойные полые штанги. По внутренним штангам подают цементный раствор, а по внешним –сжатый воздух. Диаметр свай, получаемых по этой технологии, в глинах достигает 1200–1500 мм, а в песках – 1500–2000 мм |
| Трехкомпонентная технология (Jet 3) | Этот вариант отличается от предыдущих тем, что водовоздушная струя используется исключительно для размыва грунта и образования в нем полостей, которые впоследствии заполняются цементным раствором. В технологии Jet 3 используются тройные штанги. Для необходимости выполнить полное замещение слабого грунта используется предварительный размыв на воде по технологии Jet2. К недостаткам следует отнести сложность технологической схемы, а также дополнительного технологического оборудования – компрессора и цементировочного насоса |

На данном этапе есть различные методы искусственного улучшения свойств грунтов, но именно «Jet-grouting» удовлетворяет множеству поставленных задач, имея при том не одно преимущество перед другими технологиями. Эффективность и предсказуемость данной технологии подтверждается положительным опытом ее использования в дорожном строительстве в различных, не похожих друг на друга, условиях, а так же активное внедрение дорожно-строительными организациями данной технологии в свой арсенал. Данная технология представлена на рис. 2.

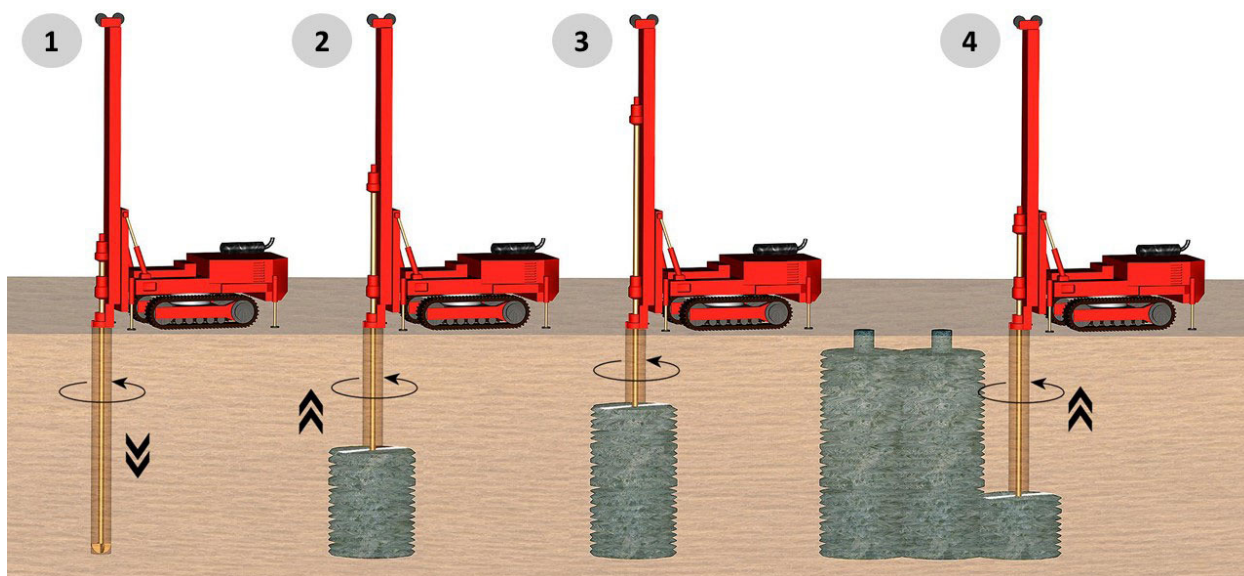


Рис. 2. Подготовка основания для автомобильной дороги методом *Jet-grinding*

Вывод

Авторами проделан анализ и предложена классификация современных методов укрепления слабых грунтов основания, которая подразделяет их на группы: химические, термические, механические, электрохимические, метод замораживания.

Также был подробно проанализирован химический метод с выявлением преимуществ и недостатков популярных представителей данного метода. Используя таблицы и классификацию, можно подобрать подходящий метод закрепления грунтов основания в каждом конкретном случае, что упрощает выбор.

Укрепление слабых грунтов достаточно широкая тема, которую невозможно охватить в полном ее объеме. Проблема и в тоже время возможность – это постоянное совершенствование направление с большой скоростью.

Надо учитывать, что выбор того или иного метода укрепления слабых грунтов индивидуален. Необходимо проанализировать его с разных сторон еще на этапе проектирования, начиная с экономических ограничений и области применения, заканчивая преимуществами и недостатками. Методы могут быть объединены, что позволит решать ситуации больших диапазонов, при правильном анализе и подборе это станет преимуществом, как в экономическом плане, так и на моменте результата.

Литература

1. ОДМ 218.2.063-2016 «Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна».
2. СТО НОСТРОЙ 2.5.135-2013 «Укрепление слабых грунтов органического происхождения методом глубинного смешивания».
3. ГОСТ 25100-2020 Грунты Классификация.
4. СП 34.13330.2021 Автомобильные дороги.
5. *Малинин А. Г.* Струйная цементация грунтов. М. : Стройиздат, 2010. 238 с.

6. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах / Минтранс РФ. Федеральное дорожное агентство. – М. : 2004. – 252 стр.

7. Лазарев Ю. Г., Громов В. А. Современные требования к обеспечению потребительских и эксплуатационных свойств автомобильных дорог // В сборнике: Инновационные технологии в мостостроении и дорожной инфраструктуре. Материалы межвузовской научно- практической конференции. 2014. С. 102–109.

8. Инъекционное химическое закрепление грунтов. Термическое закрепление грунтов : типовая технологическая карта. – СПб., 2009.

9. Жинкин Г. Н., Калганов В. Ф. Электрохимическая обработка глинистых грунтов в основаниях сооружений. – М. : Стройиздат, 1980. – 164 с.

10. Татьянников Д. А., Клевеко В. И. Исследование характера зависимости «деформация – линейная жесткость» для разных типов геосинтетических материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2013. – № 1. – С. 165–172.

УДК 625.739.4

Александр Владимирович Юннинен,
магистрант
Зинаида Витальевна Бородкина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Olooshev98@mail.ru,
Zinaidaborodkina54@gmail.com

Alexander Vladimirovich Iunninen,
Master's degree student
Zinaida Vitalevna Borodkina,
Master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Olooshev98@mail.ru,
Zinaidaborodkina54@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОМБОВИДНЫХ РАЗВЯЗОК С ИЗМЕНЕНИЕМ СТОРОННОСТИ

DESIGN FEATURES OF DIAMOND-SHAPED INTERCHANGES WITH A CHANGE IN STRANGENESS

В статье приводятся основные особенности проектирования ромбовидных развязок с изменением сторонности в соответствии с зарубежными стандартами, в частности, плановое положение, организация дорожного движения, также основные варианты направления вело пешеходных потока. Для Российской Федерации такой тип транспортной развязки является новым и до конца неисследованным явлением, что подтверждает отсутствие нормативно-правовой базы. Сравнительный анализ показывает преимущества применения ромбовидных развязок с изменением сторонности по сравнению с традиционными ромбовидными развязками. Главными сильными сторонами данного типа пересечения является безопасность, высокая пропускная способность и сравнительно невысокая стоимость по отношению к типовым схемам.

Ключевые слова: транспортная развязка ромбовидная развязка с изменением сторонности, пропускная способность, конфликтные точки, велопешеходное движение.

The article presents the main features of the design of diamond-shaped interchanges with a change in strangeness in accordance with foreign standards, in particular, the planned position, the organization of traffic, as well as the main options for the direction of cycling and pedestrian flow. For the Russian Federation, this type of transport interchange is a new and completely unexplored phenomenon, which confirms the absence of a regulatory framework. A comparative analysis shows the advantages of using diamond-shaped interchanges with a change in aspect ratio compared to traditional diamond-shaped interchanges. The main strengths of this type of intersection are security, high throughput and relatively low cost in relation to standard schemes.

Keywords: transport interchange diamond-shaped interchange with changing sides, capacity, conflict points, cycling.

В современном мире для обеспечения экономического и социального роста предъявляются высокие требования к дорожной сети. Автомобильные дороги должны быть качественными, безопасными и комфортными, как для передвижения водителей, так и для пешеходов.

Альтернативные варианты перекрестков и развязок могут повысить безопасность и пропускную способность при более низкой стоимости и с меньшим использованием прилегающей территории, чем традиционные типы. Ромбовидная развязка с изменением сторонности является альтернативой обычной ромбовидной развязки. Основное различие заключается в том, что расположение направленных съездов по обе стороны

от развязки. Это устраняет необходимость в левом повороте для транспортных средств при пересечении со встречными транспортными средствами. Идея ромбовидной развязки с изменением сторонности заключается в том, что при пересечении проезжие части меняются местами (т. е. автомобили одного направления движутся по встречному направлению, а затем возвращаются). Используются только две фазы для светофорного регулирования вместо трёх-четырёх в стандартной ромбовидной развязке.

Конструкция такой ромбовидной развязки показывает улучшение пропускной способности и значительно сокращает количество конфликтных точек между автомобилями по сравнению с обычной ромбовидной развязкой. Изменение сторонности также снижает серьезность аварий, поскольку устраняются конфликты между левоповоротными движениями и встречными сквозными движениями. Остальные конфликты сводятся к точкам слияния и разделения транспортных потоков.

Согласно практическим данным американских коллег пропускная способность такого пересечения до 80 000 автомобилей/сутки. Такая пропускная способность достигается путём задания следующих проектных параметров:

- Проектная скорость на перекрестке 40–45 км/ч на подъезде и пересечении;
- Радиус кривой 60–90 м;
- Ширина полосы на подъезде/пересечении к перекрестку 3,75;
- Угол пересечения перекрестка 40–90 градусов;
- Выдерживание расстояния видимости до остановки и видимость перекрестка.

Меньшее количество конфликтных точек позволяет значительно снизить показатель аварийности до 50 %. [1]

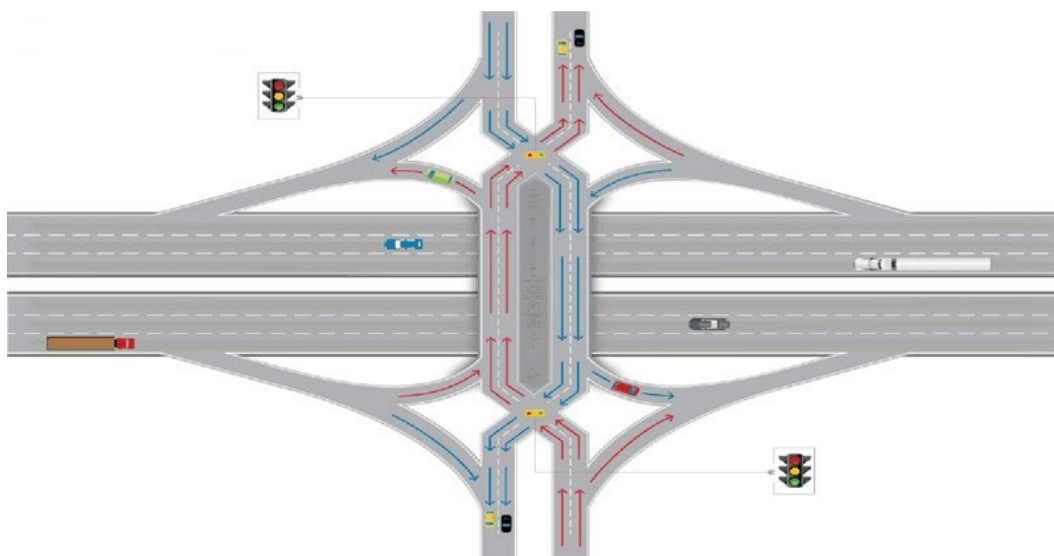


Рис. 1. Схема пересечения

Участок улицы между перекрестками может быть выполнен в виде подземного или надземного перехода, в зависимости от характеристик движения. В большинстве случаев изменение сторонности устраивается над основным направлением движения, такое положение предлагает максимальную гибкость проектирования с точки зрения пешеходного движения. В местах пересечения противоположных направлений движения применяется двухфазное светофорное регулирование.

С точки зрения безопасности дорожного движения данный тип пересечения имеет явное преимущество: минимальное для транспортных развязок 2-го класса количество конфликтных точек: 6 точек слияния, 6 точек разделения и 2 точки пересечения, всего 14 точек. Для сравнения у пересечения типа «ромб» 26 конфликтных точек, из них: 10 точек пересечения, 8 точек слияния и 8 точек разделения потоков движения [2].

Недостатками данного проектного решения являются: непривычная организация дорожного движения для водителей и невозможность работать без светофорного регулирования.

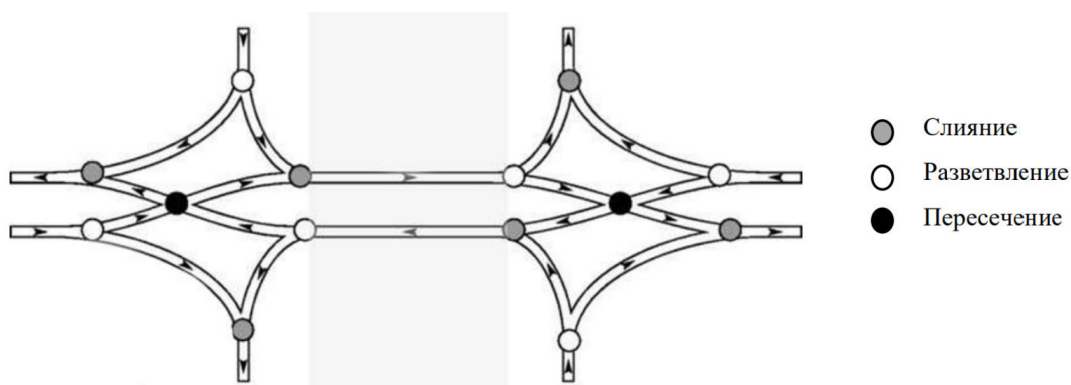


Рис. 2. Количество конфликтных точек у ромбовидного пересечения с изменением сторонности

При проектировании транспортной развязки в черте города или в местах возможного движения пешеходов необходимо предусматривать устройство тротуаров. Для уменьшения пересечений транспортных и пешеходных потоков рационально располагать тротуар (пешеходную дорожку) в разделительной полосе между проезжими частями, то есть по оси путепровода, в начале и конце пересечения у светофоров предусматривается пешеходный переход.

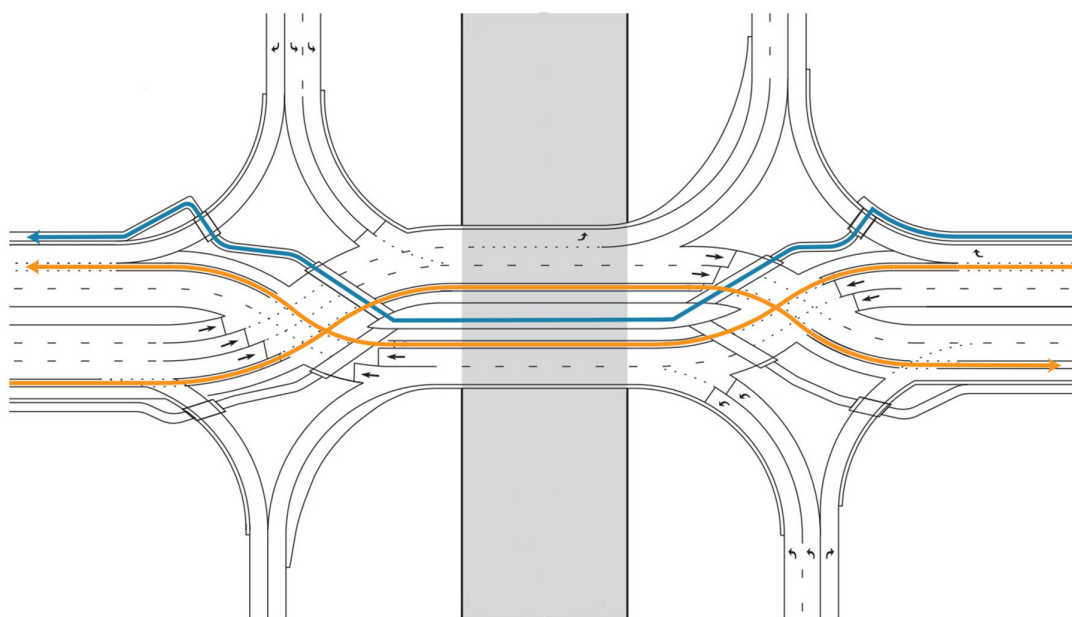


Рис. 3. Схема движения велосипедистов по развязке (голубая линия – по тротуару, оранжевая – по проезжей части)

Для обеспечения безопасного передвижения велосипедистов необходимо минимизировать число конфликтных точек между транспортным средством и велосипедом и организовывать достаточное боковое пространство между транспортным средством и велосипедом, сводящее к минимуму разницу в скорости. Можно выделить два безопасных пути для организации велосипедного движения: совмещение велосипедистов и пешеходов в границах тротуара и размещение велосипедистов на общей полосе движения (рис. 3) [3].

Литература

1. U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration – Diverging diamond interchange. Information Guide // Report No. FHWA-SA-14-067, August 2014. – P. 14–32.

2. *Логинова О. А., Николаева Р. В.* Пересечения в разных уровнях – альтернативное решение развития дорожной сети // Техника и технологии транспорта. 2019. № S13. – С. 61. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N13-61RTS19.pdf>

3. *Joe G. Bared, Tom Granda, Abdul Zineddin.* Drivers' Evaluation of the Diverging Diamond Interchange. TECHBRIEF. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration Office of Safety. 2017. 54 с.

УДК 625.71.8

Игорь Андреевич Ярышкин,
студент
Александр Мордхаевич Симаковский,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: igor1999.yia@gmail.com,
asimanovskiy@lan.spbgasu.ru

Igor Andreevich Yryshkin,
student
Aleksandr Mordhaevich Simonovskiy,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: igor1999.yia@gmail.com,
asimanovskiy@lan.spbgasu.ru

ПРОБЛЕМЫ КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ С АСФАЛЬТОБЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

PROBLEMS OF WHEEL TRUCK RUTTING AND METHODS OF FIGHT AGAINST IT ON HIGHWAYS WITH ASPHALT CONCRETE SURFACING

Интенсивное образование колеи на поверхности дорожных конструкций является одной из основных проблем дорожной отрасли не только России и стран СНГ, но и европейских государств.

Наличие колеи несет за собой снижение безопасности, а также комфортности движения, препятствует отводу воды с проезжей части, уменьшает срок эксплуатации дороги.

Данная статья рассматривает причины ее возникновения, способы борьбы и векторы выбора методик исследования данного вопроса. Автор статьи выдвигает гипотезу с условиями, при которых процент колеи на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием уменьшится, и определяет задачи научного исследования.

Ключевые слова: колеобразование, остаточные деформации, износ, дорожные конструкции.

Intensive wheel truck rutting of the road surface is one of the main road industry problems not only in Russia and neighbor countries, but also in European states.

Wheel truck rutting leads to decrease of safety and traffic comfort, prevents water drainage from the carriageway and reduces the term of the road exploitation.

This article considers the reasons of its emergence, ways of fight and vectors for the choice of the problem research techniques. The author of article makes a hypothesis of conditions under which the tracking percent on highways with an asphalt concrete covering will decrease and defines problems of scientific research.

Keywords: track formation, rest deformation, wear, road constructions.

Изменения и тенденции в дорожно-строительной сфере Российской Федерации, которые отражены в различных государственных документах, в том числе – национальном проекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги», потребовали, чтобы состояние в отечественной дорожной отрасли, результаты ее деятельности соответствовали меняющейся экономической и социально-политической ситуации, достижениям научно-технического прогресса [1]

Интенсивное образование колеи на поверхности дорожных конструкций на данный момент является одной из основных проблем дорожной отрасли не только России

и стран СНГ, но и европейских государств. К причинам возникновения данного явления можно отнести множество факторов, вызванных особенностями конструкции дорожной одежды и земляного полотна, физико-химическими свойствами дорожно-строительных материалов, характером и режимом прикладываемой нагрузки, включая типы транспортных средств, фактические скорости движения транспорта, вид автомобильных шин, массу и форму шипа.

Наличие колейности, или неровности в поперечном профиле, снижает безопасность, и удобство движения, препятствует отводу воды с проезжей части, уменьшает срок эксплуатации дороги. Неучет фактора поперечной ровности при оценке состояния автомобильной дороги может повлечь за собой завышение общего показателя ее качества.

В соответствии с ГОСТ 32825–2014 понятие *колейности* определено как: «колейность – плавное искажение поперечного профиля автомобильной дороги, локализованное вдоль полос наката». [2]

Опыт эксплуатации автомобильных дорог и исследования (в том числе полевые) отечественных, и зарубежных специалистов помогли уточнить влияние различных факторов на колеобразование.

По мнению специалистов-дорожников из Санкт-Петербурга, только 19 % всей колейности обусловлено деформированием собственно асфальтобетонных слоев, а остальные 81 % относятся к остаточным деформациям слоев основания и/или просадкам в теле насыпи [3]

Если 81 % деформации грунтов земляного полотна и материалов основания еще можно объяснить тяжелыми грунтово-гидрологическими условиями Северо-Западного региона России, то определить, какую долю в составе вышеуказанных 19 % занимает абразивный износ (выкрашивание) по полосам наката, а какую – пластические смещения, вызванные сжатием и/или сдвигом, – весьма затруднительно.

Экстремальный рост автомобилизации способствует повышенному колеобразованию, причем не только в крупных городах нашей страны, но и в регионах. По данным Федеральной службы государственной статистики за период с 2000 года до 2019 года число собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения выросло почти в 2,5 раза, а именно с 130,5 ед. до 315,5 ед. Если тенденция сохранится, то через 5 лет это значение может перевалить за 500 автомобилей на 1000 человек [4].

Анализ отчетов по состоянию колейности на магистральных дорогах с высокой интенсивностью, в Санкт-Петербурге, таких как ЗСД (Западный Скоростной Диаметр) и КАД (Кольцевая Автомобильная дорога), показывает, что колея образуется на левой полосе трехполосной, как правило, проезжей части. Нагрузка на этой полосе специфична и обусловлена Правилами дорожного движения. Поскольку движение тяжелых грузовых транспортных средств левее второй полосы движения запрещено, то основной тип нагрузки на левой полосе – легковые автомобили. Разрешенная Правилами скорость движения на указанных магистралях 110 км/час, а с учетом системы штрафов, допускающих превышение этой скорости на 20 км/час, можно констатировать, что скорости движения на левой полосе достигают 130 км/час и более, превышая, тем самым даже расчетную скорость для указанных дорог. При этом необходимо отметить наличие противоположного заключения о локализации колей в поперечном про-

филе. Так, делегация Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан в своем отчете о работе в Санкт-Петербурге сделала вывод о том, что нарушение поперечной ровности асфальтобетонных дорожных покрытий в форме образования колеи обусловлено совместным действием нескольких факторов. В частности, нам представляется важным вывод о том, что «накопление остаточных (пластических) деформаций в асфальтобетоне под действием вертикального давления колес, в первую очередь, грузовых автомобилей в жаркий летний период года. Этот фактор действует преимущественно на правых полосах проезжей части, где преобладает движение грузовых автомобилей» [5]. Данное наблюдение, справедливое с точки зрения учета пластических деформаций, нам представляется не бесспорным в случае трехполосной проезжей части, т. к. ввиду значительного количества примыканий/отмыканий справа на транспортных развязках наиболее нагруженной тяжелым движением оказывается транзитная вторая справа полоса.

Мнение большинства исследователей сходится на том, что пагубное влияние на колееобразование оказывают шипованные шины и высокие разрешенные скорости (которые фактически значительно выше, чем за рубежом и при этом не снижаются в зимний период максимального воздействия шипов на покрытие), Отмеченные факторы, наряду с зимними циклами замерзания-оттаивания представляют серьезную проблему для дорожно-эксплуатационных служб.

Более подробное изучение вопроса позволило нам выявить некоторые противоречия в данной области.

В настоящее время разработано достаточно большое количество расчетных моделей, дающих возможность в той или иной степени описать процесс образования остаточных деформаций и их накопления со временем. Многие из известных работ касаются, как правило, одного из конструктивных слоев покрытия, основания или грунта земляного полотна.

Большинство методов предполагают большое количество лабораторных и полевых испытаний, в определенной мере усложняющих их практическое применение. Упрощенные же отечественные и зарубежные методики, в свою очередь, недостаточно обоснованы с физико-механической точки зрения, так как носят зачастую эмпирический характер и соответственно область их практического применения сужается из-за нехватки исходных показателей, являющихся основаниями для расчета.

Иные разработки, наоборот, представляются слишком сложными для применения. В основе их лежат фундаментальные физико-математические модели с большим числом расчетных параметров, определение которых чаще всего не представляется возможным по тем или иным причинам, от материальной базы до технического оснащения, а решение задач требует большого количества ресурсов [6– 11].

Обозначенные противоречия позволили нам определить **объект, предмет, цель, гипотезу, задачи исследования** и разбить работу на **этапы**.

Объект исследования: колеиность на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием.

Предмет исследования: факторы, определяющие колееобразование; методологическое и ресурсное обеспечение борьбы с колееобразованием на дорогах общего пользования.

Гипотеза исследования:

Процент колеиности, на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием уменьшится, если:

- улучшить характеристики асфальтобетона, а именно увеличить сдвигоустойчивость, прочность при трехосном сжатии и износостойкость;
- сократить остаточные деформации;
- сократить просадки в теле насыпи или слоях основания;
- уменьшить разрешенные скорости и ужесточить штрафные санкции при превышениях нововведенного скоростного режима;
- понизить динамическое воздействие шипа на поверхность дорожной конструкции;
- определить и обеспечить долю развития общественного транспорта с целью корректировки режима движения транспортного потока;
- определить адекватную методику исследования сравнительной характеристики поведения асфальтобетона при приложении многократных нагрузок в определенных температурных условиях испытания.

Для проверки гипотетических положений сформулированы следующие **задачи**:

1) рассмотреть методы улучшения характеристик асфальтобетона путем изучения опыта отечественных и иностранных специалистов и провести соответствующие лабораторные/полевые испытания;

2) изучить грунтово-гидрологическую обстановку исследуемого региона (г. Санкт-Петербург и Ленинградская область), методы проектирования и производства работы по устройству асфальтобетонных покрытий в данных условиях и выбрать оптимальный, по соотношению цена-качество; провести расчётное обоснование выбранного метода;

3) ознакомиться с имеющимся опытом понижения предельно-допустимой скорости движения транспортных средств с целью определения влияния на режим движения для обоснования целесообразности применения выбранного метода;

4) определить влияние и характер взаимодействия покрытия и колеса с шипованной шиной и аналогичными по назначению видами шин (изучить виды шипов шин и их воздействие на покрытие из асфальтобетона);

5) оценить перспективу и эффективность увеличения процентного соотношения общественного транспорта на общее состояние режима движения и дороги на предмет колееобразования;

6) выделить эффективные методы исследования асфальтобетона на колеиность, от измерения имеющейся колеи до прогнозирования, и предложить для практического использования наиболее рациональные из них.

Исследование состоит из трех этапов.

Первый этап – обоснование темы, актуальности, изучение нормативной литературы по проблеме, формулирование общей методологии, определение круга проблематики, целей, рабочей гипотезы и задач для ее проверки. Изучение теоретической литературы по проблеме исследования.

Второй этап – организация эксперимента, выработка стратегии, разработка и апробация диагностических методик. Выявление и фиксация оптимальных решений по проблеме. Накопление исследовательской базы. Апробация первых результатов.

Третий этап – анализ полученных данных, их обобщение, проверка гипотезы исследования и практическое подтверждение полученных результатов. Соотношение намеченных целей и задач с полученными результатами. Оформление выпускной квалификационной работы (ВКР).

Литература

1. Правительство России [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <http://government.ru/rugovclassifier/844/events/> (дата обращения 26.11.2020).
2. ГОСТ 32825–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений (Переиздание).
3. *Васильев Ю. Э.* Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным / Ивачев А. В., Братищев И. С. // [Электронный ресурс] – режим доступа <https://revolution.allbest.ru/construction/d00947559.html/> – Москва 2018.
4. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <https://rosstat.gov.ru/folder/23455> (дата обращения 26.11.2020).
5. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным [Электронный ресурс]. Режим доступа – https://otherreferats.allbest.ru/construction/00947559_0.html/ – Татарстан, 2012.
6. Диагностика и паспортизация элементов улично-дорожной сети системой видеокomпьютерного сканирования / Васильев Ю. Э., Беляков А. Б., Кочетков А. В., Беляев Д. С. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3(16). С. 55.
7. *Костельов М. П.* Практика борьбы с колеиностью асфальтобетонных покрытий может быть успешной / М. П. Перевалов В. П. Пахаренко Д. В // Дорожная техника и технологии : каталог-справочник / ООО «Славутич». – СПб, 2011. – № 57. – С. 46–47.
8. *Мозговой В. В.* Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеиности / В. В. Мозговой, А. Н. Онищенко и др. // Дорожная техника и технологии: каталог-справочник / ООО «Славутич». – СПб., 2010. – С. 114–128.
9. Прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия / Кочетков А. В., Беляев Д. С., Шашков И. Г. / Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 4(17). С. 38.
10. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей / Васильев Ю. Э., Полянский В. Г., Соколова Е. Р., Гарибов Р. Б., Кочетков А. В., Янковский Л. В. // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 101.
11. Совершенствование структуры отраслевой диагностики федеральных автомобильных дорог / Аржанухина С. П., Кочетков А. В., Козин А. С., Стрижевский Д. А. // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4(13). С. 70.

Содержание

| | |
|---|----|
| <i>Белов А. Ю., Радов В. П.</i> Особенности развития классификации и технологий работ по содержанию дорожных одежд | 3 |
| <i>Бородкина З. В., Юннинен А. В.</i> Анализ условий дорожного движения при выборе типа транспортной развязки | 7 |
| <i>Бояджи Ю. С., Алексеев С. В., Трепалин В. А., Юстикова Л. Н.</i> Базальтовые дренажные трубы автомобильных дорог | 16 |
| <i>Галкина А. Ю.</i> Современные тенденции развития инфраструктуры аэродромов | 23 |
| <i>Галкина А. Ю., Липатова А. С.</i> Особенности проектирования взлетно-посадочных полос в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов | 27 |
| <i>Гребнев В. А.</i> Анализ пригодности материалов для укрепления грунтов. | 30 |
| <i>Зарипов Д. Р., Уколов С. А., Трепалин В. А., Аверченко Г. А., Юстикова Л. Н.</i> Экспериментальные исследования перекрытий и пролетов мостов из керамзитобетона | 36 |
| <i>Игнатьев И. Н., Артюхина Г. И.</i> Опыт строительства автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты | 41 |
| <i>Кланюк А. Н., Тимоховец В. Д.</i> Социально-экономические особенности развития улично-дорожной сети г. Тюмени | 46 |
| <i>Королев А. Д., Рехов С. В.</i> Интеллектуальные системы управления дорожным движением | 50 |
| <i>Коротяев Л. М., Новаторов В. А.</i> Способы поверхностной обработки цементобетонных покрытий автомобильных дорог | 54 |
| <i>Липатова А. С.</i> Современные теплоизоляционные материалы для строительства насыпей в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов | 58 |
| <i>Лучинский Д. П., Тимоховец В. Д., Овчинников А. А.</i> Повышение качества содержания улиц и городских дорог с учетом климато-географических условий г. Тюмени | 61 |
| <i>Новаторов В. А., Коротяев Л. М.</i> Особенности использования переходных кривых, рассчитанных на переменную скорость движения, при проектировании трасс автомобильных дорог. Автоматизация проектирования | 68 |

| | |
|--|-----|
| <i>Пеклина П. Л.</i> Анализ и сравнение типов покрытия велосипедных дорожек | 73 |
| <i>Секретева А. А., Спехина А. Д., Этманов А. Д.</i> Проектирование автомобильных дорог на нестабильных грунтах в районах I дорожно-климатической зоны | 79 |
| <i>Солодкова Е. В., Лебедева А. С.</i> Генезис и инновационное развитие технологий транспортировки товарного бетона | 82 |
| <i>Степанова А. А., Будрина Е. В.</i> Анализ основных условий и особенностей интеграции новых видов транспорта в транспортную систему мегаполиса | 87 |
| <i>Хамза Ахмед Хуссейн Ахмед, Трепалин В. А., Уколов С. А., Юстикова Л. Н.</i> Оценка индекса состояния дорожного покрытия с определением типа обслуживания на примере г. Гизы, Хартум | 95 |
| <i>Худоложкин Е. А.</i> Способы повышения прочности оснований водопропускных труб | 101 |
| <i>Этманов А. Д., Горшков И. В., Чистякова А. А.</i> Анализ современных технологий глубинного укрепления слабых грунтов | 108 |
| <i>Юннинен А. В., Бородкина З. В.</i> Особенности проектирования ромбовидных развязок с изменением сторонности | 117 |
| <i>Ярышкин И. А., Симановский А. М.</i> Проблемы колееобразования и методы борьбы с ними на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием | 121 |

Научное издание

**ИННОВАЦИИ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
(МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ)**

Материалы
IV Всероссийской научно-практической конференции

Компьютерная верстка *О. Н. Комиссаровой*

Подписано к печати 23.09.2022. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 14,9. Тираж 300 экз. Заказ 108. «С» 52.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 190005, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.