



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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ

УНИВЕРСИТЕТ, 2019

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

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

Материалы
научно-практической конференции

Санкт-Петербург
2019

УДК 625;624

Рецензенты:

Овчинников М. А., канд. техн. наук, доцент, генеральный директор НФП «Топоматик»;

Лазарев Ю. Г., канд. техн. наук, профессор кафедры «Дороги автомобильные, мосты и транспортные тоннели», Санкт-Петербургский Политехнический университет им. Петра Великого, Инженерно-строительный институт.

Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии): материалы научно-практической конференции / под ред. М. П. Клековкиной и др. – СПб., 2019. – 149 с.

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

ISBN 978-5-9227-0937-8

Редакционная коллегия:

председатель: М. П. Клековкина

члены: Б. Н. Карпов

В. А. Быстров

Е. Н. Корнильев

А. С. Симонова

ISBN 978-5-9227-0937-8

© Авторы статей, 2019

© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2019

СЕКЦИЯ «ПОВЫШЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ»

УДК 656.11

Роман Валерьевич Андронов,

канд. техн. наук,

доцент

Евгений Эдуардович Леверенц,

аспирант

(Тюменский индустриальный университет)

E-mail: aroma77777@mail.ru,

eduardleverenz@gmail.com

Roman Valerevich Andronov,

PhD in Sci. Tech., Associate

professor

Evgeny Eduardovich Leverents,

post graduate student

(Tyumen Industrial University)

E-mail: aroma77777@mail.ru,

eduardleverenz@gmail.com

УЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПЕРЕУСТРОЙСТВА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

ACCOUNTING THE APPLICATION OF ADAPTIVE MANAGEMENT OF ROAD TRAFFIC ON THE JUSTIFICATION OF THE REESTABLISHMENT OF REGULATED CROSSINGS

Сложившееся транспортная ситуация в крупных и крупнейших городах является результатом интенсивного насыщения улично-дорожной сети городов РФ транспортными потоками [1]. Основная проблема заключается в распространении заторов, которые в первую очередь формируются на транспортных пересечениях. Полное переустройство транспортного пересечения для максимального увеличения пропускной способности должно решить проблему возникающих заторов, но такое решение требует выделения большого количества средств из городского бюджета, а также влияет на архитектурную среду города и это решение повсеместным стать не может. Также, применяя жесткое светофорное регулирование, проблема заторов и низкой средней скорости движения не разрешится. В связи с развитием и применением интеллектуальных систем на транспорте можно использовать скрытые резервы пропускной способности и отдалить по времени вариант строительства развязки. Но как можно увидеть, приведенные решения обладают своими недостатками и, следовательно, выбор актуального решения является нетривиальной задачей.

В статье предлагается комплекс аналитических мероприятий, для выбора наиболее приемлемого решения, для сложившейся транспортной ситуации, что в свою очередь может реализовываться в концепции т. н. «Умного города».

Ключевые слова: регулируемые пересечения, задержки транспортных средств, заторы, транспортные пересечения в разных уровнях, адаптивное управление движением.

The current transport situation in large and major cities is the result of an intense saturation of the road network of Russian cities with traffic flows [1]. The main problem is traffick delay, which is primarily formed at intersections. A complete reorganization of the transport intersection to maximize throughput should solve the problem of congestion, but this solution requires the allocation of a large amount of funds from the city budget, and also affects the architectural environment of the city and this solution cannot become universal. Also, applying a hard traffic light regulation, the problem of congestion and low average speed will not be resolved. In connection with the development and use of intelligent systems in transport, you can use hidden reserves of bandwidth and postpone the option of building a junction. But as you can see, the above solutions have their own drawbacks and, therefore, the choice of the actual solution is a non-trivial task.

The article proposes a set of analytical measures to choose the most appropriate solution for the current transport situation, which in turn can be implemented in the concept of the so-called “Smart City”.

Keywords: controlled intersections, vehicle delays, traffic jams, transport interchanges on different levels, adaptive traffic control system.

Высокий темп роста автомобилизации подверг чрезмерной нагрузке улично-дорожную сеть городов РФ. Часы пик всегда сопровождаются большим количеством транспортных заторов. Основными участками появления заторов стали транспортные пересечения. Данный факт позволил выработать стратегию решения данной проблемы.

В настоящее время, разрабатывается ряд мероприятий по ликвидации заторных явлений на пересечениях. Их можно разделить на два типа:

1. Изменение организации дорожного регулирования, модернизация светофорного регулирования с применением АСУДД и адаптивного управления транспортными потоками, уширение пересечений (условно может быть названа как «терапия»).

2. Переустройство и реконструкция пересечения с устройством дополнительных полос движения, перевод в развязку в разных уровнях неполного или полного типа (условно может быть названа как «хирургия»).

К т. н. «терапевтическим» методам можно отнести реорганизацию параметров движения на улично-дорожной сети и схем преодоления пересечений, введение одностороннего движения, введение методов адаптивного управления дорожным движением, применение АСУДД, разнесение автомобильных и пешеходных потоков, а также прочие мероприятия, не требующие капитального переустройства элементов УДС. Данные мероприятия, позволяют сравнительно экономично решить ряд проблем связанных с формированием заторов, и позволяет снизить транспортные задержки. Минусы этих методов, связаны с тем что, по одному, каждое из этих решений имеет довольно низкий лимит по возможности пропуска транспорта.

К т. н. «хирургии» в свою очередь можно отнести мероприятия, которые уже включают капитальное переустройство, как улиц, так и транспортных пересечений. Это устройство разноуровневых транспортных пересечений, уширение проезжей части или пробивание новых путей. Данное решение наоборот, имеет высокий лимит по пропускной способности, позволяющий на долгое время избежать необходимости дополнительных мероприятий. Недостатками в данном случае будет, высокая нагрузка на бюджет города, а также значительное вмешательство в архитектурный стиль города. Увеличение направленности городской планировки под движения автотранспорта делает некоторые пешеходные маршруты неактуальными, в добавок к выше перечисленному, чаще всего устроить транспортную развязку в центре города практически невозможно при существующей застройке.

Как можно заметить, все приведенные методы имеют разную эффективность, а также разный эффект, в зависимости от уже сложившейся ситуации в области, к которой данное мероприятие будет применяться. Из этого следует, что нам потребуется действенный способ для выбора приемлемого и оптимального решения.

В существующих нормативных документах эту проблему предлагали решать путем предложения номограмм для предварительного выбора типа пересечения. представленная в [2] (рис. 1).

Данный подход позволял определить необходимость тех или иных мероприятий на разного рода пересечениях, что позволяло принять обоснованное решение для устранения транспортных проблем. Основной недостаток этого метода заключается в том, что номограмма, при всем удобстве ее использования, является достаточно закрепощенным инструментом выявления оптимального решения, но не теряющий своей эффективности при своевременном обновлении этого «инструмента».

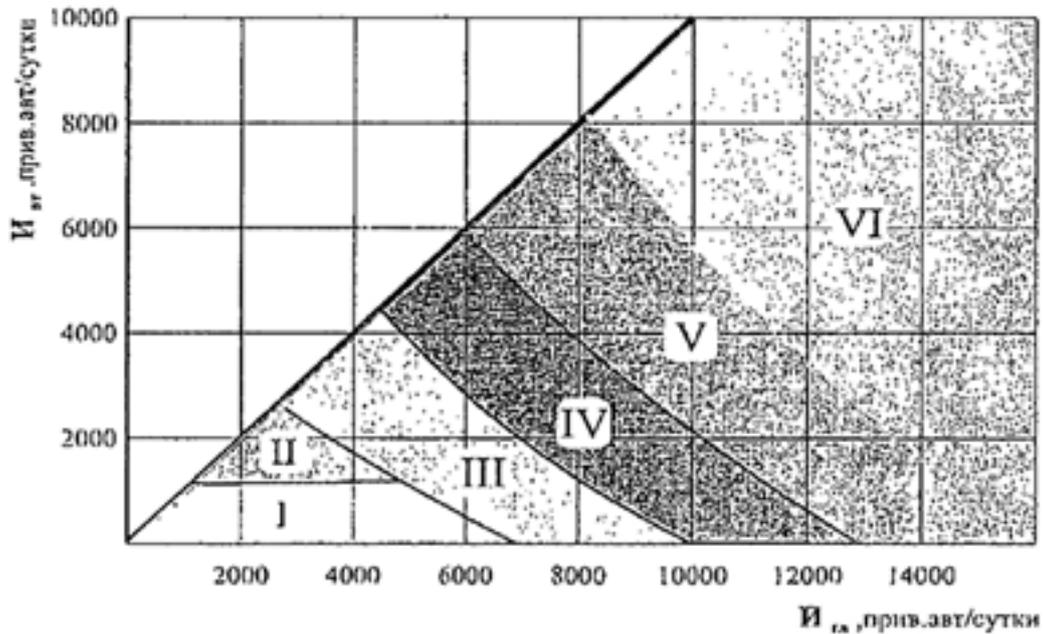


Рис. 1 Номограмма для предварительного выбора вариантов планировочных решений пересечений:
 $I_{вт}$ – перспективная интенсивность движения по второстепенной (менее загруженной) дороге, прив. авт/сут.; $I_{гл}$ – перспективная интенсивность движения по главной (более загруженной) дороге, прив. авт/сут.; I – простое необорудованное пересечение; II – частично канализированные пересечения с направляющими островками на второстепенной дороге; III – полностью канализированные пересечения и примыкания с направляющими островками на обеих дорогах, переходно-скоростными полосами; IV – конкурирующие варианты кольцевых пересечений: а) с центральными островками среднего диаметра; б) с центральными островками малого диаметра; в) с центральными островками большого диаметра; г) с пересечением в разных уровнях; V – конкурирующие варианты для дорог IБ-III категорий: а) кольцевые пересечения, обеспечивающие лучшие условия движения по главному направлению (эллиптический центральный островок); б) в разных уровнях; VI – пересечения в разных уровнях

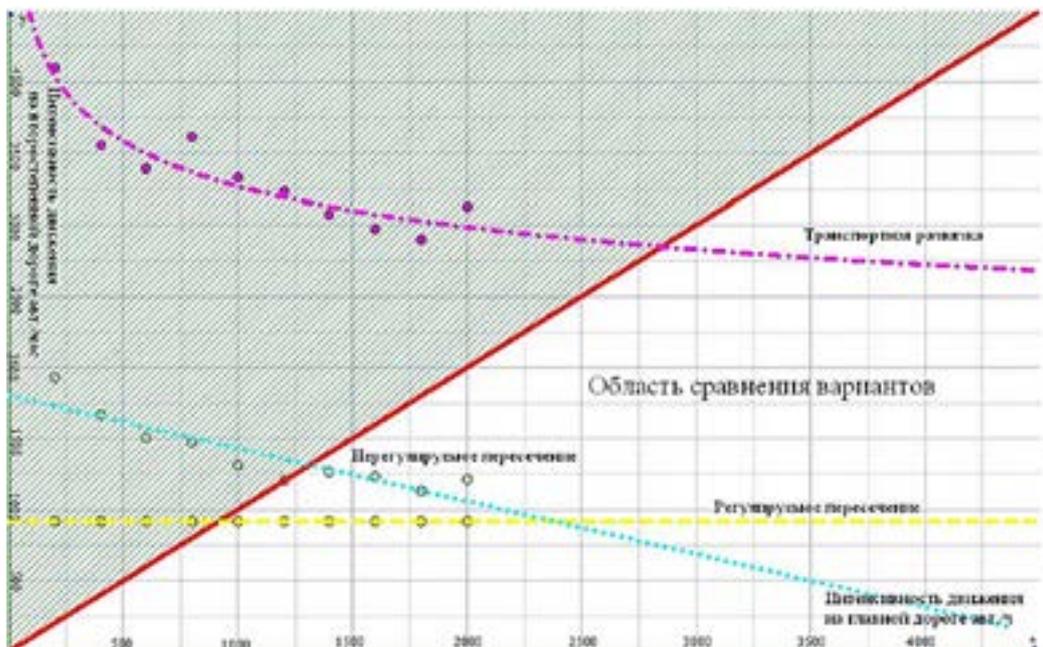


Рис. 2. Номограмма областей эффективного применения основных типов пересечений

Эта номограмма без каких-либо изменений сохранилась с 1986 года. В связи с применением информационных технологий на транспорте требуется произвести актуализацию данной номограммы.

Например в [3] результатом стала следующая номограмма областей применения основных типов пересечений (рис. 2).

Как можно увидеть на номограмме, эффективность применения того или иного метода, будет зависеть от интенсивности основного и второстепенного направления движения. Номограмма позволяет нам, на основе исходных данных по транспортному потоку, выбрать оптимальный вариант. Но при принятии проектного решения появляется ряд практических вопросов, связанных в первую очередь, с дальнейшей эксплуатацией объекта, его стоимостью и скоростью устаревания решения. Темпы роста автомобилизации заставляют обратить внимание также на продолжительность эффективной работы проектного решения. По номограмме также можно выяснить и дальнейшую эффективность мероприятия, учитывая перспективный рост интенсивности дорожного движения.

В приведенной выше номограмме не учтены различные способы оптимизации дорожного движения на пересечениях, такие как применение адаптивного регулирования. Рассматриваемый способ организации дорожного движения, позволит на наш взгляд работать пересечению при существовании светофорного регулирования при более высоких интенсивностях движения.

Обращает внимание на ней существование конкурирующих областей, в которых необходимо производить сравнение вариантов инженерных решений. Это зависит от стоимости работ по переустройству и реконструкции пересечения, а также от уровня применения интеллектуальных систем на транспорте и АСУДД.

Введение адаптивного регулирования на пересечении ул. Мельникайте и ул. Тобольский тракт в г. Тюмени позволило повысить пропускную способность и отложить устройство транспортной развязки [4] (рис. 3).

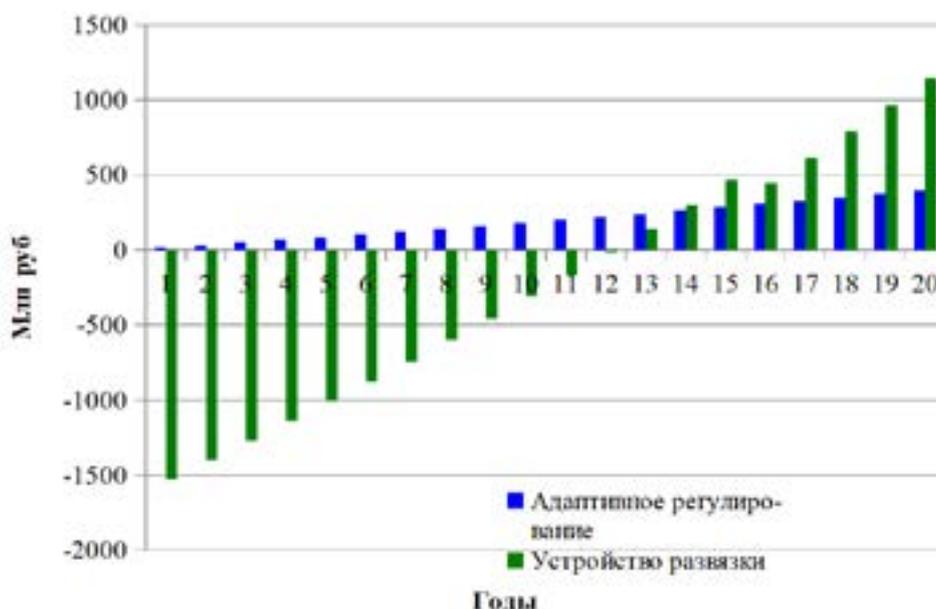


Рис.3. График эффективности применения адаптивного управления светофорным регулированием и предполагаемым устройством транспортной развязки на пересечении ул. Мельникайте и ул. Тобольский тракт в г. Тюмени

Эффективность в данном случае определялась по экономическому эффекту от учета транспортных задержек при введении того или иного варианта регулирования, а также срока окупаемости варианта. Таким образом введение варианта транспортного пересечения с системой адаптивного регулирования, позволило использовать метод «терапии» преодолеть сложившуюся ситуацию, связанную с неспособностью транспортного пересечения, оборудованного жесткой системой регулирования, справиться с высокой интенсивностью дорожного движения. Дальнейшее совершенствование методов адаптивного регулирования так же должно скорректировать границы, определяющих эффективность тех или иных методов устройства транспортного пересечения.

Из этого следует заключение о том, что номограмма эффективного применения основных типов пересечений нуждается в добавлении к ней графика отвечающего и за адаптивное регулирование.

Возвращаясь к вышеупомянутому примеру, на основе метода минимума суммарных приведенных затрат, предварительно были получены данные, позволяющие расширить область применения светофорного регулирования на узле, применяя адаптивное регулирование и «отодвинуть» применения транспортной развязки (рис. 4).

Как можно видеть номограмма дает представление о самых эффективных методах, что позволяет нам выработать стратегию решения возникающих проблем связанных с возникновением заторов на транспортных пересечениях.

Высокая пропускная способность транспортных развязок позволяет сделать поспешный вывод о крайней эффективности данного типа пересечений. И во многих случаях введение транспортной развязки в разных уровнях неизбежно, но более тщательный анализ транспортного пересечения может повлечь за собой другое развитие переустройства пересечения.

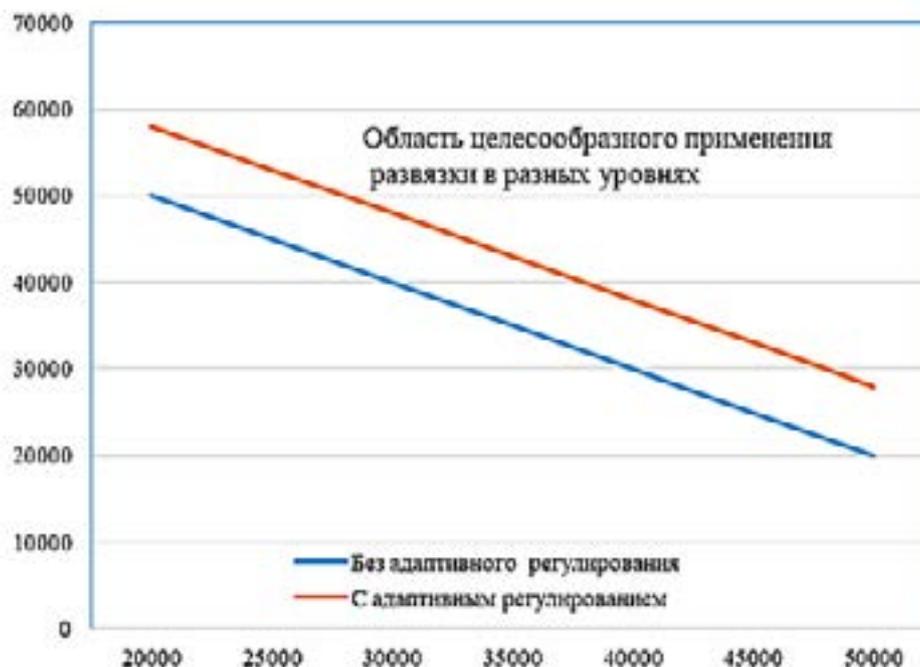


Рис. 4. Смещение границ применимости светофорного регулирования и устройство развязки в разных уровнях

Более детальный анализ пересечения ул. Мельникайте и ул. Тобольский тракт позволил обосновать достаточную эффективность введения адаптивного регулирования. Расчет эффективности осуществлялся путем моделирования транспортного пересечения, и анализа роста транспортных задержек с течением времени, транспортные задержки впоследствии вычислялись согласно [5].

Совершенствование алгоритмов адаптивного регулирования позволяет достаточно сильно расширить область эффективного действия той или иной схемы, что в свою очередь позволяет пропускать более насыщенные транспортные потоки или отдавать приоритет пропуску общественного транспорта [6].

Таким образом в ряде случаев актуальность именно терапевтических методов, таких как, адаптивное регулирование, позволит отсрочить устройство транспортной развязки в разных уровнях или исключить такой вариант при существовании плотной застройке района.

Несмотря на необходимость создания и усовершенствования подобных номограмм, определяющих оптимальные области инженерных решений, достоинством которых будет простота интерпретации, будут существовать т. н. «спорные» области, где применение того или иного инженерного решения будет требовать детальных обоснований. Ввиду этого предлагается в дальнейшем создать программный продукт, который бы рассчитывал эффективность применение различного типа мероприятий на изолированном пересечении или системе пересечений.

В результате работы можно сформулировать следующие выводы:

1. В связи с постоянно повышающимся уровнем автомобилизации и интенсивностью движения возрастает загруженность пересечений улично-дорожной сети крупных и крупнейших городов и встает задача выбора оптимального способа переустройства пересечений и организации движения на них.

2. Использование номограмм, регламентирующих рациональные зоны применения различных типов пересечений при активном использовании АСУДД и интеллектуальных систем на транспорте является сравнительно неэффективным методом, т. к. стоимости работ по переустройству узлов являются различными, а использование АСУДД позволяет использовать скрытые резервы пропускной способности регулируемых пересечений.

3. Необходимо индивидуально подходить к переустройству пересечения и/или организации движения на нем и проявлять системный подход при переустройстве рядом расположенных узлов.

Литература

1. Гольц Г. А. Автодорожный комплекс в условиях взрывной автомобилизации: тенденции, закономерности, прогноз // Проблемы прогнозирования. – 2002. – № 4.
2. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: ОДМ 218.4.005 – 2010: утв. распоряжением Федерального дорожного агентства от 12.01.2011 № 13-р. – М.: Росавтодор. – 2011. – 50 с.
3. Боярский, С. Н. Повышение эффективности функционирования пересечений автомобильных дорог с высоким значением коэффициента загрузки движением: дис. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2015. – 135 с.
4. Андронов Р. В., Леверенц Е. Э., Морозов В. В. Применение адаптивного регулирования на пересечении городских улиц в сравнении с устройством развязки в разных уровнях // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №. 4. – С. 194–200.

5. Андронов, Р. В. Моделирование очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города в условиях плотных транспортных потоков: дис. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Тюмень, 2007. – 184 с.

6. Andronov R., Leverents E. Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 143. – С. 04008.

УДК 625.89

Эльвира Дмитриевна Бондарева,
канд. техн. наук,
доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: bondareva_ed@mail.ru

Elvira Dmitrievna Bondareva,
PhD in Th. Sci. Ec.,
Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: bondareva_ed@mail.ru

**ТРЕБОВАНИЯ К ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ,
ПРИМЕНЯЕМЫМ В ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ**

**THE REQUIREMENTS FOR GEOSYNTHETICS
USED IN ROAD CLOTHES**

В статье приведены требования к геосинтетическим материалам, используемым в дорожных одеждах автомобильных и городских дорог для армирования асфальтобетонных покрытий, несвязных слоев основания и усиления, грунта рабочего слоя.

Ключевые слова: Геосинтетические материалы, георешётка, геотекстиль, дорожная одежда, слои основания, армирование, дренирование, разделение слоёв.

To the article requirements are driven to the geosynthetic materials, used in road clothes of automobile and city roads for reinforcement of asphalt concrete coverings, incoherent layers of founding and strengthening, soil of working layer.

Keywords: Geosynthetic materials, geogrid, geotextile, road clothes, basis layers, reinforcing, division of layers.

Опыт многих лет применения геосинтетических материалов в конструкциях дорожных одежд показал эффективность таких конструкций, поскольку снижаются объемы использования строительных материалов, сокращаются сроки строительства, увеличивается срок службы дорожной одежды.

Назначение и рекомендуемые материалы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Область применения геосинтетических материалов в дорожных одеждах

Назначение	Материал	Полимер
Армирование асфальтобетонных покрытий	Георешетка	Полиэфир, поливинилспирт
Армирование дисперсных слоев основания	Георешетка	Полипропилен, полиэтилен, полиэфир
Армирование, разделение и дренирование на границе «дорожная одежда – грунт рабочего слоя»	Георешетка, геоткань, нетканый геотекстиль	Полипропилен, полиэтилен, полиэфир

Армирование асфальтобетонных покрытий георешетками способствует повышению сдвигоустойчивости слоев покрытия в местах значительных горизонтальных усилий и уменьшению трещинообразования и колееобразования, а следовательно долговечности асфальтобетонных покрытий, что актуально в связи с все возрастающей интенсивностью движения и наметившейся тенденцией роста осевых нагрузок на автомобильных дорогах и городских улицах.

Основные требования к полимерной арматуре:

- георешетки должны обладать высокой термостойкостью при достаточно высоких температурах укладки асфальтобетонной смеси. Армирующий материал должен иметь температуру размягчения минимум на 20 °С выше, чем температура укладки асфальтобетонной смеси, то есть не ниже 200 °С;
- адгезия георешетки к асфальтобетону должна быть очень высокая, чтобы избежать расслоения асфальтобетона;
- модуль упругости арматуры должен быть на порядок выше модуля упругости асфальтобетона (иначе армируемый материал может получить избыточные горизонтальные деформации раньше, чем арматура воспримет и перераспределит растягивающие напряжения);
- коэффициенты температурного расширения армируемого материала и асфальтобетона должны иметь близкие значения;
- размеры ячеек должны быть достаточны для взаимопроникания смеси и обеспечения хорошего сцепления между слоями покрытия и соответствовать требованиям $0,5 (D + + d) \leq 0,8A$.



Рис. 1. Укладка георешетки Хателит С на улице Санкт-Петербурга

При применении горячих асфальтобетонных смесей на вязких битумах по ГОСТ Р 52029–2012 [1] прочность на растяжение в продольном и поперечном направлениях георешетки должна быть не менее 40 кН/м, относительное удлинение при максимальной на-

грузке в продольном и поперечном направлениях – не более 13 %, размеры ячеек – в диапазоне 30–40 мм.

Хорошо себя зарекомендовали георешетки фирмы Хьюскер (ГФР) из полимеров: полиэфира – Хателит С и поливинилспирта – Хателит Д. Обе марки выпускаются с подложкой из нетканого материала, назначение которой увеличение адгезии георешетки к нижележащему слою асфальтобетона (рис. 1). Геосетка Хателит Д предпочтительней в условиях достаточно сурового климата России, поскольку обладает большей устойчивостью к ползучести.

Следует отметить, что применение георешеток из стекловолокна и базальта в асфальтобетонных покрытиях, работающих в условиях многократного приложения нагрузок, нецелесообразно, поскольку они выдерживают значительно меньшее количество приложений нагрузки, по сравнению с георешетками из полиэфира и поливинилспирта.

В соответствии с нормативным документом [2] при расчете асфальтобетонных покрытий на изгиб эффект армирования достигается:

1. Введением коэффициента k_{Np} , учитывающего уменьшение влияния усталостных процессов на прочность при расчете коэффициента усталости асфальтобетона k_1 :

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{(\sum N_p) \cdot k_{Np}}}$$

2. Введением коэффициента k_a , учитывающего повышение сопротивления растягивающим температурным напряжениям при изгибе армированной конструкции:

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_a (1 - v_R \cdot t).$$

Рекомендуемые значения коэффициентов k_{Np} и k_a для полимерных георешеток в зависимости от дорожно-климатической зоны приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов армирования для полимерных георешеток

Прочность на растяжение георешётки, R_p кН/м	Относительное удлинение при максимальной нагрузке ε , %	Дорожно-климатическая зона					
		I		II-III		IV-V	
		k_a	k_{Np}	k_a	k_{Np}	k_a	k_{Np}
Менее 40	До 13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
40	До 13	1,00	1,00	1,025	0,95	1,05	0,90
80	До 13	1,05	0,90	1,075	0,825	1,10	0,75
150 и более	До 13	1,10	–0,75	1,15	0,675	1,20	0,60

Получаемый в результате армирования асфальтобетонных покрытий эффект выражается в уменьшении толщины асфальтобетонных слоёв или в продлении сроков службы, повышении эксплуатационной надёжности дорожных конструкций, снижении эксплуатационных затрат, улучшении транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог.

В дорожных одеждах геосинтетические материалы целесообразно применять в качестве армирующих прослоек на контакте слоёв из зернистых материалов, то есть на границе щебень – песок или песок – грунт земляного полотна.

Следует отметить, что напряженно-деформированное состояние промежуточных слоёв дорожной одежды из необработанных вяжущими зернистых материалов из-за их дискретной структуры существенно отличается от напряженно-деформированного состояния монолитных слоёв, обработанных различными вяжущими.

В щебеночном слое при нагружении проявляется свойство делатансии – стремление к изменению объема при изменении формы взаимного расположения отдельных зерен. Явление делатансии приводит к разуплотнению щебеночного слоя и снижению его распределяющей способности при динамических воздействиях автотранспорта в процессе эксплуатации дороги.

В армированной конструкции щебень совместно с георешеткой образует гибкую плиту – геокомпозитную структуру, которая, деформируясь под нагрузкой от воздействия колеса автомобиля, обеспечивает увеличение распределяющей способности щебеночного основания, что приводит к уменьшению напряжений в нижележащих слоях дорожной одежды.

Армирующий эффект геосинтетической прослойки (георешетки) достигается за счет:

- собственной прочности и высокого начального модуля упругости георешетки;
- перераспределения напряжений в грунте и передачи нагрузки с более загруженных зон на соседние незагруженные участки.

Выделяют следующие характерные зоны, где по-разному проявляется механизм взаимодействия системы «зернистое основание – геосинтетическая мембрана – песчаное (или грунтовое основание)»:

- зона под колесом автомобиля, где частицы зернистого основания пытаются проникнуть в грунт. Прослойка из геосинтетического материала, препятствуя перемещению частиц, повышает жесткость основания, тем самым, снижая вертикальные нагрузки на грунт и уменьшая колееобразование;

- зона вне колеи автомобиля, где благодаря обратному изгибу мембраны, обеспечивается эффект перераспределения нагрузки.

Армируют основания из зернистых материалов, укладывая, как правило, георешетки между слоями: фракционным щебнем и ЩПС, щебнем и песком и др. Для армирования щебеночных оснований применяют плоские георешетки двуслоноориентированные (с квадратной формы ячейками) и трехслоноориентированные (с треугольной формы ячейками). Структура таких георешеток препятствует взаимопроникновению материалов, обеспечивая заклинку щебня в решетке, что приводит к совместной работе щебня и георешетки.

Требования к георешеткам, предназначенным для армирования несвязных оснований, приведены в ГОСТ Р 56338–2015 [3]: георешетки должны иметь прочность на растяжение в продольном и поперечном направлениях – не менее 30 кН/м, относительное удлинение при максимальной нагрузке в продольном и поперечном направлениях – не более 20 %.

Применение георешеток для армирования щебеночных оснований позволяет решить следующие задачи:

- повысить сопротивляемость сдвигу на уровне заложения георешетки;
- увеличить общий модуль упругости дорожной одежды;
- сократить толщину несущего слоя основания;
- уменьшить колеюность на полосах наката в дорожной конструкции;
- исключить взаимное перемешивание дисперсных слоев (щебня и песка) в процессе производства работ и при динамических воздействиях от проходящего транспорта в процессе эксплуатации дороги.

Георешетки при армировании щебеночного основания расположены, как правило, на глубине 0,5–0,7 м от поверхности покрытия, где напряжения от собственного веса вышележащих слоев невелики, поэтому явлением ползучести в георешетке можно пренебречь. В этой связи для армирования щебеночных оснований можно применять георешетки, изготовленные из полипропилена и полиэтилена, более дешевых полимеров, по сравнению с полиэфиром.

Размер ячейки георешетки должен быть меньше максимального диаметра частиц щебня. В этом случае на границе раздела двух дисперсных материалов, например, щебня и песка, достигается повышенное сцепление с нижележащим слоем за счет образования пограничного слоя из щебенки, защемленных в ячейках георешетки.

Размер ячеек плоских георешеток, применяемых для армирования щебеночных оснований, устроенных из фракционного щебня по способу заклинки мелким щебнем, определяется по формуле:

$$0,5 (D + d) \leq 0,8 A,$$

где D , d – соответственно наибольший и наименьший диаметр частиц каменного материала, применяемого для устройства щебеночного основания, мм; A – размер ячейки георешетки, мм.

Для армирования щебня фракции 40–70 мм следует применять георешетки с размером ячеек не менее 40–50 мм.

В дорожных одеждах капитального и облегченного типов при укладке геосинтетической прослойки на грунт, работающий практически в стадии упругих деформаций, напряженное состояние после введения геосинтетической прослойки практически не изменяется, поэтому говорить об армирующей роли геосинтетической прослойки можно весьма условно.

В дорожных одеждах переходного и низшего типов грунтовое основание работает в стадии упруго-вязких деформаций и в момент, когда рост деформаций в грунте превышает рост напряжений, проявляется мембранный характер работы прослойки. Деформируясь совместно с грунтом, геосинтетическая мембрана удлиняется не менее чем на 3–5 %, по сравнению с первоначальной длиной, поэтому в ней возникают растягивающие напряжения. При этом равновесие в трехслойной системе: «дорожная одежда – геосинтетическая прослойка – грунт рабочего слоя» – достигается под воздействием колесной нагрузки при меньшей величине остаточной деформации – осадке (колее) грунта.

В таких конструкциях применение георешеток или геотканей позволяет существенно снизить толщину слоя покрытия или основания. Применение геотканей даже предпоч-

тительней, чем георешеток, так как они одновременно с армированием выполняют функции разделения и дренирования.

Для армирования грунтовых оснований можно также применять объемные георешетки (геокаркасы), представляющие из себя сотовые конструкции различной формы, заполняемые дисперсным материалом.

При расчете дорожных одежд эффект армировании несвязных слоев оснований и грунта достигается за счет увеличения допускаемых напряжений сдвига на величину k_0 [4].

Литература

1. ГОСТ Р 52029–2012. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для армирования асфальтобетонных слоев дорожной одежды. Технические требования. М. 2012.
2. ОДМ 218.5.001–2009. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешеток для армирования асфальтобетонных слоев усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. М. 2009.
3. ГОСТ Р 56338–2015. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для армирования нижних слоев основания дорожной одежды. Технические требования. М. 2015.
4. ОДН 218.5.003–2010. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог РОСАВТОДОР. М. 2010.

УДК 625.02

Дарья Андреевна Воронцова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Darya675@mail.ru

Daria Andreevna Vorontsova,
student
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Darya675@mail.ru

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПУЧИНООБРАЗОВАНИЯ НА АВТОДОРОГАХ

WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF HEAVING SOILS ON ROADS

Пучинообразование на автодорогах является серьезной проблемой, требующей решения. В статье рассмотрены возможные мероприятия по предотвращению пучинообразования: замена пучинистых грунтов песком; устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов; устройство теплоизолирующих слоев из пенопласта. Статья является обзорной, направленной на дальнейшее сравнение вариантов. Особое внимание уделяется использованию плит из пенопласта в качестве теплоизоляционного слоя. Также представлены варианты программных средств для дальнейшего расчета конструкций, главным образом для определения температурных полей и определения прочности и деформаций дорожной одежды.

Ключевые слова: пучинистый грунт, теплоизоляция, морозостойкость, пенопласт, автодорога.

Heaving soils on the roads is a serious problem that needs solving. The article discusses possible measures to prevent heaving: replacement of heaving soils with sand; device frost protection of non-flowing mineral materials; device of insulating foam layers. The article is an overview, aimed at further comparison of options. Particular attention is paid to the use of foam plates as a thermal insulation layer. Also software options are presented for further structural calculations, mainly for determining temperature fields and determining the strength and deformations of the pavement.

Keywords: billowing soil, heat insulation, frost resistance, foam plastic, road.

Морозоустойчивость дорожных одежд является важной проблемой для автомобильных дорог с сезонным промерзанием грунтов. В результате сезонного промерзания и оттаивания на дорогах появляются пучины, которые серьезно влияют на безопасность и скорость движения транспорта. На отдельных участках дорог России их протяженность может достигать 30 % и более. По данным ИркутскгипродорНИИ за 1998 г. на участке дороги «Байкал» граница Красноярского края – Иркутск, от 1689 км до 1712 км имеются 10 пучинистых мест протяженностью 6,8 км. На участке дороги Тюмень – Омск от 248 км до 297 км имеются 7 пучинистых мест протяженностью 6,5 км [1].

Существует множество мероприятий для обеспечения морозоустойчивости, в статье же будут рассмотрены три из них: замена пучинистых грунтов на глубину промерзания кондиционным песком; устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов (в данном случае стиропорбетон); устройство теплоизолирующих слоев из пенопласта. Целью статьи является рассмотрение данных вариантов и попытка обозначить достоинства и недостатки каждого из них.

Традиционным вариантом устройства морозозащитного слоя является слой из песков, гравия, укрепленных грунтов, песчано-гравийной смеси или из других непучинистых материалов. Одним из самых распространенных материалов является песок. Чем он крупнее и чем меньше в нем пылевато-глинистых частиц, тем выше его фильтрующие и водоотводящие свойства. Для дренирующих слоев желательнее применять пески с коэффициентом фильтрации от 3 м/сут. В методических рекомендациях написано: «Строительство дренирующих слоев состоит из следующих операций: доставка материала автомобилями-самосвалами и выгрузка на земляное полотно; разравнивание материала авто-грейдером путем круговых проходов после вывоза всего материала на захватку или бульдозером после доставки каждой партии; увлажнение материала и уплотнение пневмоко-лесными или комбинированными катками» [2].

Надо отметить, что толщина морозозащитного слоя может превышать 1 м участках дороги с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями, поэтому будет проблематично обеспечить требуемое количество материалов для морозозащиты. К тому же в некоторых районах в принципе нет подходящих по характеристикам материалов, а дальность перевозки песков необходимого качества порой составляет сотни километров, что влияет на общую стоимость. Однако перевозки материала не являются единственной проблемой подобного варианта. Например, если проблемы с автодорогами возникают в зоне городской застройки, где к тому же располагается исторический центр, увеличить высоту насыпи будет весьма проблематично. Кроме того, зона пучинистости может располагаться на дороге, проходящей под мостом. Не менее важно, что при устройстве насыпи необходимо учитывать нижележащую канализацию, которая влияет на тепловой режим в несущих слоях основания дороги.

Вторым вариантом является устройство теплоизолирующего слоя. Их предусматривают на тех участках, где экономически невыгодны или в принципе невозможны традиционные мероприятия по обеспечению морозоустойчивости. Одним из вариантов устройства подобного слоя являются легкие бетоны, в частности стиропорбетон. Стиропорбетоном является бетон, в который введены вспученные гранулы полистирола или частицы крупностью 5–30 мм, полученные в результате измельчения отходов жестких пенопластов. Он является конструкционно-теплоизоляционным материалом,

включенным в конструкцию в том числе как несущий элемент. Состав имеет довольно низкий показатель поглощения воды – 4 %.

Стиропорбетон приготавливают в передвижных или стационарных бетономешалках принудительного действия. Его перевозят в автомобилях-самосвалах открытого типа к месту укладки; далее материал укладывают при помощи бетоноукладочных машин в один слой за один проход. Продольные и поперечные швы нарезаются в затвердевшем бетоне и заполняются требуемым материалом. Слой свежеложенного материала необходимо накрыть влажной мешковиной. Движение по слою построечного транспорта будет разрешено через 5 суток после укладки. Важно, что стиропорбетон в теплоизолирующем слое не предотвратит промерзания, а лишь уменьшит его глубину, поэтому требуется устройство дренирующего слоя, который также является морозозащитным.

В настоящее время наилучшими теплоизоляционными характеристиками обладают пенопласты. Однако из-за высокой стоимости и дефицита этого материала его применяют только при особо неблагоприятных условиях, например, при расположении земляного полотна в нулевых отметках. На сегодняшний день на рынке представлено множество фирм, выпускающих теплоизоляционные материалы. Среди них особо примечательны «Пеноплэкс», «Теплоизолит», «Styrofoam».

Рассмотрим технологический процесс при устройстве плит «Пеноплэкс». В методических рекомендациях по устройству теплоизоляционных слоев написано: «технологический процесс включает в себя следующие работы: планировка и уплотнение земляного полотна; отсыпка, уплотнение выравнивающего слоя из песка толщиной 5–10 см; в соответствии со схемами раскладки происходит укладка вручную; далее выполняется закрепление крайних рядов плит металлическими штырями длиной 400 мм и диаметром 6–8 мм; отсыпка первого слоя над плитами по способу «от себя»; распределение песка грейдером или бульдозером; уплотнение вибрационными средствами» [3].

Сами плиты представляют собой экструзионный пенополистирол, имеющий как достоинства (маленькая плотность, низкие теплопроводность и водопоглощение в сравнении с песком и стиропорбетоном), так и недостатки (высокие паропроницаемость и горючесть). При использовании подобного материала в теплотехнических расчетах следует принимать во внимание толщину его стандартных плит. У «Пеноплэкс» плиты для дорожного строительства имеют длину 2400 мм с выборкой четверти по периметру.

Одним из преимуществ использования данных плит является то, что в верхней части полотна могут применяться местные грунты без замены, что значительно снижает временные и финансовые затраты. Также можно понизить рабочие отметки насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют ограничения. Не менее важно, что требуемая толщина дренирующего слоя меньше, чем при использовании легкого бетона и песка, из-за отсутствия поступления воды.

«При возведении полотна нужно уплотнять грунты рабочего слоя до требуемой плотности. При устройстве дорожной одежды, например, с асфальтобетонным покрытием плотность грунта должна быть не ниже 0,98 максимальной плотности» [4]. Обеспечить стройку подобными грунтами зачастую затруднительно, поэтому в таких ситуациях целесообразнее использовать плиты.

«Выбор конструкции и тип дорожной одежды должен быть обоснован технико-экономическим сравнением вариантов. Сам процесс расчета дорожной одежды является довольно сложным и включает в себя следующие этапы: выбор вида покрытия; назначение

конструктивных слоев, их размещение в конструкции и назначение толщин; оценку необходимости назначения дополнительных морозозащитных мер, мер по осушению конструкции, а также по повышению трещиностойкости; оценку целесообразности укрепления рабочего слоя; выбор наилучшего варианта» [5].

Так как расчет дорожной одежды является трудоемким процессом, целесообразно использовать для этого различные программные комплексы. Двумя основными задачами, которые необходимо решить с их помощью, является определение температурных полей и определение прочности и деформаций дорожной одежды. Что касается определения температурных полей, в настоящее время существует около 70 методик теплотехнических расчетов грунтового массива. В данную область внесли свой вклад такие ученые, как В. С. Лукьянов, В. А. Кудрявцев, В. В. Пассек, А. М. Бродский и др. Однако большинство методов является вариантами решения задачи Стефана о фазовых переходах. Методики имеют ряд недостатков: в основном они применяются для оснований искусственных сооружений, сложенных грунтами ненарушенной структуры; методики не вполне учитывают факторы, которые влияют на процесс теплопередачи, что не может дать прогноза оттаивания грунтов; отсутствует информация о факторах, влияющих на температурное поле.

Для моделирования теплофизических процессов промерзания-оттаивания грунтов в настоящее время разработано множество универсальных программ, например, Frost 3D universal, Ansys, Ls-dyna, Nastran, Cosmos/m и др. Следует учитывать, что ряд допущений существенно искажает характер температурных полей.

Одной из программ для данной цели является программа Permafrost 3D. «Она позволяет решать следующие виды задач: расчет нестационарного температурного поля грунтов; прогноз просадок при оттаивании; прогноз фазового состояния грунтов для заданного периода времени; получение необходимых температурных и прочностных характеристик грунтов; учет влияния мероприятий по регулированию теплового режима грунтов; оценка степени опасности при активизации мерзлотно-геологических процессов и явлений» [6]. Преимущество программы заключается в том, что из-за отсутствия предела числа расчетных блоков программа позволяет осуществлять расчеты действительно крупных протяженных объектов.

Существует также множество программ для расчета прочности дорожной одежды, одной из них является программа Радон. Проектировщик сам выбирает необходимую ему методику расчета, что дает понимание происходящих процессов, а также облегчает анализ полученных результатов и последующие действия по изменению конструкции. Одним из плюсов программы является наличие библиотек материалов, в том числе инновационных, а также возможность создавать собственные материалы с необходимыми характеристиками и обмениваться данными с коллегами.

Существуют также и комплексные программы, выполняющие сразу несколько функций. Одной из них является система расчета дорожных одежд IndorPavement. В работе Петровой К. А. написано: «В программе имеются расчёты на прочность (по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных слоёв при статической и динамической нагрузке, по упругому прогибу, на сопротивление монолитных слоёв усталостному разрушению от растяжения при изгибе) с возможностью корректировки результатов при применении геосинтетических материалов, проверка морозоустойчивости конструкции и расчёт дренарующего слоя» [7].

В систему IndorPavement также входит библиотека типовых конструкций дорожной одежды. Пользователю следует ввести минимальный набор параметров: техническая категория дороги, дорожно-климатическая зона, тип дорожной одежды, схема увлажнения, тип грунта земляного полотна, расчётное число автомобилей. Далее система предложит от 1 до 5 подходящих вариантов конструкции, которые можно использовать для дальнейшего проектирования. Важно, что программа способна одновременно работать с несколькими вариантами, что позволяет наглядно сравнивать их. Упорядоченные по стоимости варианты, удовлетворяющие расчётным критериям, представляются в таблице. Наилучшие варианты могут быть выбраны для последующего проектирования.

Таким образом, выбор мероприятий для обеспечения морозоустойчивости является важной задачей при проектировании. От рационального выбора мероприятия зависит множество факторов, начиная от экономических затрат и заканчивая качеством дороги при ее эксплуатации. Не менее важны начальные условия и проблема, которую необходимо решить. Однако для более подробного рассмотрения темы необходимо производить вариантное проектирование.

Литература

1. Рувинский В. И. Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из пенопласта Styrofoam на автомобильных дорогах России. М.: Транспорт, 2000. 71 с.
2. Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизолирующих слоев на пучиноопасных участках автомобильных дорог / М. Б. Корсунский, П. Д. Россовский, В. Н. Гайворонский и др. М.: Союздорнии, 1976. 97 с.
3. Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс». М.: Росавтодор, Союздорнии, 2000. 51 с.
4. Правила приемки и оценки качества работ при строительстве и ремонте городских дорог. М.: Стройиздат, 1982. 65 с.
5. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М.: Информавтодор, 2001. 145 с.
6. PERMAFROST 3D Версия 2.0. Руководство пользователя. Ярославль: ООО «ПермафростИнжиниринг», 2015. 30 с.
7. Перова К. А., Скворцов А. В., Рукавишникова Е. Е. Система расчёта дорожных одежд IndorPavement: Руководство пользователя. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. 218 с.

УДК 625.731,1

Денис Александрович Денисенко,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: denisenko_1993@mail.ru

Denis Aleksandrovich Denisenko,
post-graduate student
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: denisenko_1993@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АРМОГРУНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

APPLICATION OF ARMO-SOIL STRUCTURES OF THE ROADBED ON HIGHWAYS

Проведено исследование применения армогрунтовых конструкций земляного полотна автомобильных дорог с учетом отечественного и зарубежного опыта. Проведен анализ существующих методов расчета грунтовых стенок. Предложены способы совершенствования этих методов.

Ключевые слова: автомобильная дорога, земляное полотно, подпорная стенка, геосинтетический материал, деформативные свойства

The study of the application of armo-soil structures of the roadbed of highways taking into account domestic and foreign experience is carried out. The analysis of existing methods of calculation of soil walls is carried out. Methods for improving these methods are proposed.

Keywords: road, earthen cloth, retaining wall, geosynthetic material, deformative properties

Армирование откосов насыпей геосинтетическими материалами целесообразно при применении для устройства насыпи связных грунтов, при необходимости повышения крутизны откосов, по сравнению с рекомендуемыми нормативными документами, при устройстве высоких насыпей на подходах к искусственным сооружениям (в городских условиях) и в других случаях.

Конструкции с армированными откосами крутизной до 90° (армогрунтовые стенки) являются альтернативным решением подпорным стенкам из камня или железобетона.

Идея применения в строительстве различных материалов для армирования (упрочнения) грунтовых сооружений не нова, однако, только в последние 40 лет, в связи с появлением на рынке различных геосинтетических материалов, стало возможным широкое применение перечисленных выше конструктивных решений, прежде всего в дорожном строительстве.

Применение геосинтетических материалов (решеток и тканых) для армирования массивов грунта основано на совместной работе прослоек и грунта и частичном восприятии ими растягивающих напряжений, стремящихся вызвать оползание откоса.

Методика расчета армогрунтовых откосов состоит из двух этапов, на которых решаются разные задачи:

Этап 1: определение общей – внешней устойчивости откоса.

Как правило, для расчета коэффициента устойчивости применяется метод круглоцилиндрических поверхностей. При проверке армированного откоса или стенки на общую устойчивость гарантируется устойчивость откоса как целого массива от сдвига, сползания, опрокидывания и других деформаций. Согласно действующим нормативным документам в РФ, устойчивость земляного полотна считается обеспеченной, если требуемый коэффициент устойчивости $K_{уст}^{пр} \geq 1,3$.

Этап 2: проверка на внутреннюю устойчивость откоса, обеспечиваемую достаточной прочностью самого армирующего материала.

При необеспеченной внутренней устойчивости геосинтетический материал может быть в процессе эксплуатации частично или полностью разорван, выдернут из устойчивой части тела насыпи или получить недопустимый прирост деформаций $\nabla \epsilon$. При расчете предполагают, что одинаково вероятны все механизмы потери внутренней устойчивости.

Таким образом, оценка внутренней устойчивости заключается в определении расстояния между армирующими элементами, ширины их заделки в грунтовый массив и прочностных характеристик арматуры.

Оптимальным расположением арматуры в грунтовых конструкциях с вертикальными стенками является горизонтальное направление, совпадающее с вектором растягивающих напряжений. Это направление на практике, как правило, и принимается в армогрунтовых конструкциях.

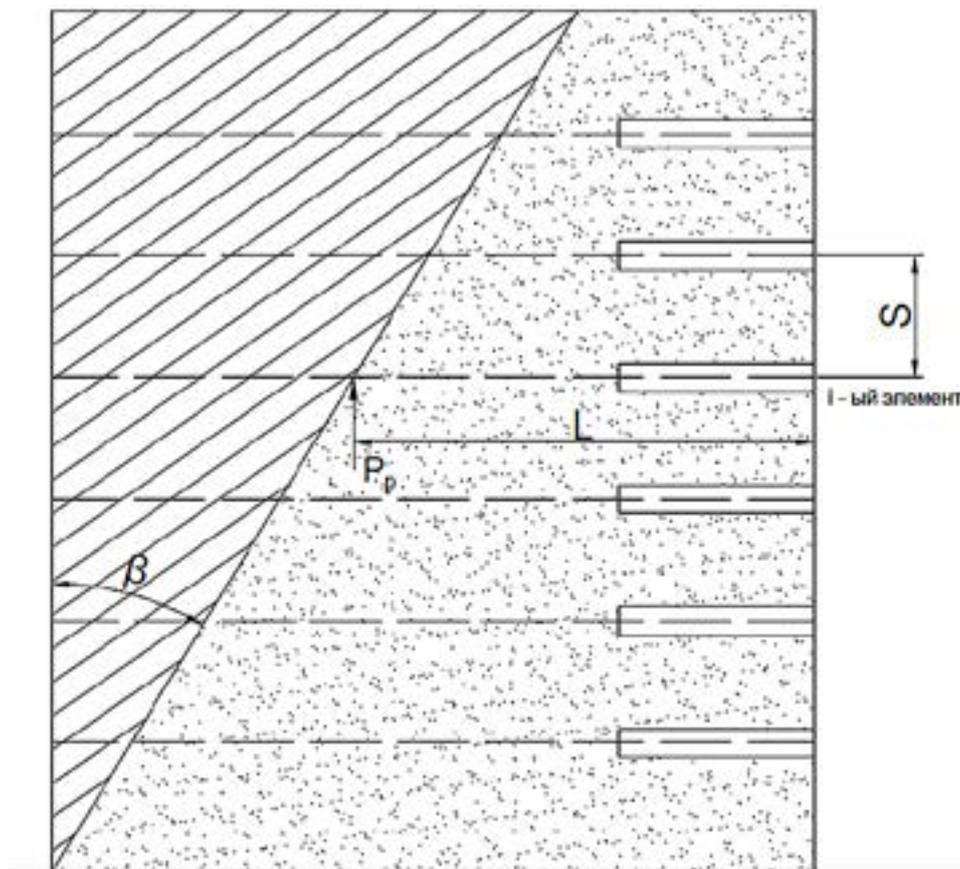


Рис. 1. Схема к расчету потери внутренней устойчивости из-за разрыва армирующего элемента

Прочностные свойства армированного грунта зависят от прочности арматуры P_p и шага S между горизонтальными рядами арматуры (рис. 1).

Упрощенная формула для определения усилия в арматуре $P_{max i}$ на каждом уровне i , полученная на основе решений теории упругости методом конечных элементов, имеет вид [1]:

$$P_{max i} = 0,35P_iS,$$

где h_i – i -ый уровень, считая от поверхности насыпи, на котором расположена арматура; $P_i = \gamma h_i$ – нагрузка на i -ом уровне.

Возрастание прочности армированного грунта не пропорционально числу армирующих элементов. Начиная с некоторой величины шага S , как правило, меньшего 0,4 м, прочность грунта почти не увеличивается.

В большинстве случаев расстояние между армирующими элементами принимается одинаковым, хотя известно, что под действием вертикальной нагрузки от транспорта и собственного веса грунтового массива в нем возникают разные по величине напряжения: большие в нижних частях откоса (стенки) и меньшие ближе к поверхности откоса. В этой связи расстояния между рядами и прочностные характеристики армирующих элементов должны приниматься различными по высоте стенки.

Исследования показали, что более прочная арматура с большим шагом является эффективней, чем менее прочная арматура с меньшим шагом. Хотя выбор расхода арматуры –

задача технико-экономическая, поскольку с увеличением прочности арматуры увеличивается и ее стоимость.

Методика расчета внутренней устойчивости в настоящее время носят приближенный характер, так как не в полной мере учитываются особенности работы армирующего материала в грунте и его механические и деформативные свойства.

Совершенствование метода расчета армогрунтовых насыпей, на наш взгляд, должно проводиться в направлении повышения уровня соответствия расчетной схемы реальным условиям работы армирующих прослоек в конструкции.

Внутренняя устойчивость армированного откоса во многом зависит от величины коэффициента трения между грунтом и армирующим элементом.

Поскольку сам грунт практически на растяжение не работает, основное назначение армирующего элемента – геосинтетической прослойки в грунте – восприятие растягивающих усилий. В армированном массиве грунта арматура включается в работу не сразу, а по мере роста сдвигающих напряжений в грунте, передающихся на арматуру. Более прочная связь имеет место между георешеткой и крупноблочным грунтом, менее прочная – между геотканью и тонкодисперсным (связным) грунтом.

Для оценки степени сцепления арматуры с грунтом в работе [1] предложен параметр – коэффициент взаимодействия при выдергивании f_B , определяемый по формуле:

$$f_B = \text{tg } \varphi_s / \text{tg } \varphi,$$

где $\text{tg } \varphi_s$ – коэффициент внутреннего трения на поверхности «грунт – геосинтетический материал» при его выдергивании; $\text{tg } \varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта.



Рис. 2. Армогрунтовая стенка с облицовкой из шестигранных бетонных блоков

В первом приближении для определения коэффициента взаимодействия «арматура – грунт» могут быть рекомендованы следующие эмпирические формулы [2]:

– для одноосной экструдированной георешетки Tensar 120 RE

$$f_B = 0,31 \cdot \varphi_s - 0,3193;$$

– для двухосной тканой георешетки из высокомодульных полиэфирных нитей Fortrac 80/80 T

$$f_B = 0,021 \cdot \varphi_s - 0,0414;$$

– для геоткани из высокопрочных полиэфирных нитей Стабиленка 120/120

$$f_B = 0,037 \cdot \varphi_s - 0,07647.$$

Армогрунтовые конструкции, как правило, защищают от воздействия внешних погодных факторов (ультрафиолетового облучения, микроорганизмов и др.) ограждающими конструкциями: из бетонных блоков различной конфигурации, габионов или геокантосов, заполненных крупнообломочным материалом, и др.

На рис. 2. приведена для примера армогрунтовая стенка с ограждающей конструкцией из шестигранных бетонных блоков.

Согласно отечественного и зарубежного опыта, при применении армогрунтовых стенок на автомобильных дорогах и городских улицах обеспечивается уменьшение трудозатрат и снижение стоимости строительства не менее чем в 1,5–2,0 раза.

Литература

1. Джоунс, К. Д. Сооружения из армированного грунта: перевод с английского В. С. Забавина, под ред. д-ра техн. наук В. Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1989. – 279 с.
2. Семендяев, Л. И. Методика расчета насыпей, армированных различными материалами / Л. И. Семендяев / УНР 494. – М., 2001. – 44 с.

УДК 625.8

Игорь Сергеевич Дроздецкий,
магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)
Анатолий Николаевич Новик,
канд. воен. наук,
доцент
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)
Павел Александрович Петухов,
руководитель группы по контролю
дорожно-строительных материалов (ДСМ)
(ОАО «Асфальтобетонный завод №1»)
Никита Витальевич Лабусов,
магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого)
E-mail: blackbirdspb@mail.ru,
novik.anatoliy@inbox.ru, ppetukhov@abz-1.ru,
cyrok_nikita@mail.ru

Igor Sergeevich Drozdetskiy,
student
(Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University)
Anatoliy Nikolaevich Novik,
PhD of Sci. Mil.
Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University)
Pavel Aleksandrovich Petukhov,
Head of the group for the control
of road construction materials (MPC)
JSC «Asphalt plant №1»
Nikita Vitalyevich Labusov,
student
(Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University)
E-mail: blackbirdspb@mail.ru,
novik.anatoliy@inbox.ru, ppetukhov@abz-1.ru,
cyrok_nikita@mail.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ
В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

**JUSTIFICATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS
OF ROAD CLOTHES FOR OPERATION
IN THE CONDITIONS OF SAINT-PETERSBURG**

В статье рассмотрены проблемы проектирования дорожных одежд. Проанализирована техническая документация, а также научные работы, связанные с этим вопросом. Выявлены основные недостатки технической документации, приводящие к преждевременному разрушению дорожных одежд, такие как неполное соответствие расчётных схем реальным условиям работы конструкций, несоответствие нормативных прочностных характеристик фактическим нагрузкам, отсутствие учёта многих погодных условий, изменения температуры асфальтобетона в период его работы и т. д. Предложено усовершенствование нормативно-технической документации путём уточнения характеристик материалов, а именно учёта коэффициента Пуассона для асфальтобетона.

Ключевые слова: расчёты, дорожные одежды, прочностные характеристики, асфальтобетон, коэффициент Пуассона.

The problems of road pavement design are considered in this article. There were analyzed technical documentation, as well as scientific work related to this issue. The main deficiencies of technical documentation that lead to premature destruction of pavements are revealed, such as incomplete compliance of design schemes with actual working conditions of structures, inconsistency of standard strength characteristics with actual loads, lack of consideration of many weather conditions, changes in temperature of asphalt concrete during its work, etc. It is proposed to improve the regulatory and technical documentation by clarifying the characteristics of materials, namely, taking into account the Poisson's ratio for asphalt concrete.

Keywords: calculations, road pavements, strength characteristics, asphalt concrete, Poisson's ratio.

Улучшение состояния дорожно-транспортной сети Российской Федерации и ввод в эксплуатацию новых автомобильных дорог общего пользования являются одними из основных составляющих Государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» и «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года». Подчеркивается, что состояние транспортной системы не отвечает потребностям и перспективам развития и модернизации государства. Более трети протяжённости автомобильных дорог требуют улучшения прочностных характеристик.

С начала периода активной автомобилизации и до настоящего момента наблюдается постоянное возрастание интенсивности движения транспорта по сети городских дорог и улиц и, как следствие, колоссальное увеличение нагрузки на дорожные покрытия. На дорогах, построенных по старым нормативам и не рассчитанных на такие условия, явно проявляется повышенная деформативность как в поперечном, так и в продольном направлениях. При нарушении ровности покрытия возникают усиливающиеся динамические нагрузки, что в свою очередь приводит к ускоренному их разрушению [1]. Дополнительным неблагоприятным фактором в условиях Санкт-Петербурга является климатическое воздействие.

Одной из главных проблем проектирования дорожных одежд является несоответствие нормативных деформативно-прочностных характеристик конструктивных слоев их фактическим значениям. Это связано с тем, что в современных нормативных документах различные характеристики грунтов, песчаных подстилающих слоёв и в особенности асфальтобетона основываются на усреднённых табличных значениях, принятых ещё в 60–70 гг, либо имеют большой диапазон возможных принимаемых значений [2].

Для проектирования качественных дорожных одежд, необходимо применять нормативные документы, соответствующие современным и перспективным требованиям. На настоящий момент применяется ОДН 218–046–01 (МОДН 2–2001), а также вводится ПНСТ 2652018, призванный заменить ОДН. Так как ПНСТ является доработанной версией ОДН, он перенял часть ошибок и неточностей, поэтому справедливо рассмотрение проблем документов на основе ОДН.

Знания о расчёте дорожных конструкций по упругому прогибу, расчёте на сдвигоустойчивость подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоёв и расчёте монолитных слоёв на усталостное разрушение от растяжения при изгибе, положенные в основные расчёты на прочность в ОДН 218.046–01, МОДН 2–2001 и ПНСТ 265–2018, появились ещё в 1940–50 годах [2, 3, 4].

Нормативный документ ОДН 218.046–01, имеет много неточностей и ошибок и требует значительной переработки [5].

Одной из проблем в ОДН и ПНСТ является отсутствие учёта изменения модуля жёсткости (упругости) от температуры, в отличие зарубежных документов, например, немецких норм проектирования. Так же в отличие от немецких норм проектирования не учитывается состав транспортного потока, уровень загрузки автомобилей, современный вид приложения колёсной нагрузки, частота и скорость приложения нагрузки, многие погодные условия, например, температура асфальтобетона в период его работы, многие характеристики битума, усталость материала и т. д., что является заметной недоработкой, особенно в условиях проектирования в сложных климатических условиях Санкт-Петербурга. В нормативе не учитывается фактор старения материалов, ухудшения их характеристик с течением времени [5].

Метод расчёта по критерию усталостного разрушения от растяжения при изгибе слоёв одежд и оснований из монолитных материалов, предложенный специалистами под руководством М. Б. Корсунского, даёт определённые погрешности в результатах. Это связано с тем, что в его основе заложена первая теория прочности, в которой не учитывается влияние минимального главного и промежуточного напряжения.

В соответствии с современной инструкцией по проектированию нежестких дорожных одежд слои конструкции при расчёте принимаются в виде моделей, представляющих собой упругие пластины, работающие на изгиб. Вовремя нагружения происходит их прогиб с максимальным значением в точке приложения нагрузки. Данная схема хорошо отражает напряжённо-деформированное состояние конструкций с монолитными слоями, имеющими жёсткий скелет, то есть соответствующим вязкоупругой модели. Однако не принимаются во внимание пластические свойства материалов слоёв.

При назначении минимальной толщины слоёв конструкции дорожной одежды руководствуются только наименьшей толщиной, обеспечивающей трещиностойкость. Однако данная толщина не обеспечивает достаточного сопротивления при работе асфальтобетона на растяжение при изгибе.

Согласно испытаний проводимых в соответствии с ВСН 46–83, ОДН 218.046–01, ПНСТ 265–2018 характеристики асфальтобетона: модуль упругости при статическом и динамическом нагружении при различных температурах, прочность при изгибе, внутреннее трение и сцепление между частицами в их расчетные значения принимаются усреднёнными. Однако принятые статические и динамические схемы испытаний не в полной мере соответствуют реальной работе конструкций, результатом чего является появление погрешности в значениях [2, 6].

Для проектирования работоспособных и долговечных дорожных одежд, исходя из современных представлений об их работе, требуется знать достоверные и соответствующие реальности характеристики слоёв дорожных одежд: модуль упругости, модуль деформации, предельные допустимые напряжения, внутреннее трение и сцепление частиц, распределение напряжений, а также действительное значение коэффициента Пуассона [6, 7].

В качестве решения этих проблем предлагаются различные варианты, как усовершенствование старых методик путём введения различных формул и коэффициентов, полученных в ходе практической и научной деятельности, так и введение новых способов расчёта, как например учёт энергетических критериев [3].

Для увеличения точности расчётов и, как следствие, обеспечения большей прочности и долговечности конструкций дорожных одежд также следует идти по пути совершенствования учёта свойств материалов, например, асфальтобетона.

На наш взгляд, одной из характеристик асфальтобетона, которая может уточнить расчётные модели, является коэффициент Пуассона.

Коэффициент Пуассона μ как параметр линейной теории упругости в принципе не должен зависеть от неупругих свойств твердых тел, но в настоящее время нет полной ясности относительно его природы и изменчивости [8].

В настоящее время упоминание коэффициента Пуассона в применяемых расчётных методиках не встречается. Однако он присутствует в работе Дубровина [9] в расчётах городских дорог. Его значение, принятое равным 0,3 для смесей, разработанных ещё в XX веке, по нашему мнению, может не соответствовать значениям для современных асфальтобетонов.

$$E_{\text{тр}} = \frac{pD(1-\mu^2)}{l}, \quad (1)$$

где удельное давление от расчётного автомобиля, кгс/ (Па); диаметр круга, равновеликого площади контакта сдвоенного колеса расчётного автомобиля; коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,3; нормативный прогиб дорожной одежды.

В зарубежных источниках коэффициент Пуассона встречается в статье *Dynamic Modulus Testing of Asphalt Concrete in Indirect Tension Mode* [10], где указано, что он может зависеть от температуры.

В ходе планируемых лабораторных экспериментов нами будет уточнено: подтверждено или опровергнуто предположение об изменении коэффициента Пуассона для асфальтобетона в зависимости от типа и состава смесей, соответствующих ГОСТ 31015–2002, ГОСТ 9128–2009, ГОСТ 9128–2013, испытываемых образцов, а также скорости их нагружения и температуры.

Для определения как таковой возможности проведения эксперимента изначально испытания будут проводиться на пробной партии образцов. В качестве исходного материала выбрана песчаная смесь типа Г по ГОСТ 12801–98, так как она обладает наибольшей изотропностью по сравнению с остальными типами, что, по нашему мнению, положительно скажется на результатах. При нормальном ходе эксперимента, а также получении адекватных значений и отклонений измеряемого параметра, испытания будут продолжены на смеси данного типа с изменённым составом (различными соотношениями составляющих). Это так же в свою очередь производится с целью проверки адекватности получаемых результатов при изменении материала. В дальнейшем при достижении успеха в пробных испытаниях планируется расширение ряда исследуемых смесей.

В связи с тем, что испытание проводится впервые, на настоящий момент не имеется нормативного документа, описывающего методику этого испытания, поэтому за основу будет взята для использования методика из ГОСТ 24452–80, адаптированная под конкретные условия.

Впоследствии, при получении положительных результатов, нами будут предложены рекомендации по внедрению значений коэффициента Пуассона в расчётную методику нормативных документов, а именно в расчёт на трещиностойкость.

Литература

1. Ермошин Н. А., Лазарев Ю. Г., Алексеев С. В., Лунёв В. Г., Ашуркин Б. Г., Новик А. Н., Трепалин В. А., Симонов Д. Л., Колесников. В. Т. Эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие военно-автомобильных дорог / ВА МТО, Санкт-Петербург, 2015.
2. В. Г. Еремин, О. А. Волокитина Определение расчетных характеристик конструктивных слоев нежесткой дорожной одежды / Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит., Вып. 17 (36), 2010.
3. Тиратуриян А. Н., Углова Е. В., Ляпин А. А. Исследование распределения энергии динамического воздействия транспортных средств в слоях нежесткой дорожной конструкции / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика, № 2, 2017 – С. 178–194.
4. Burmister, D. M. The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways // Proceedings, Highway Research Board, 1943, Vol. 23. – P. 126–144.
5. Д-р техн. Наук, проф. М. В. Немчинов (МАДИ) К вопросу обеспечения прочности дорожных одежд автомобильных дорог / Д, Наука и техника в дорожной отрасли, № 4, 2016.

6. Новик А. Н., Шибко А. А., Трепалин В. А., Уколов С. А., Летин Е. В., Змеев А. Т., Никаноров А. Н., Зырянов М. А. Строительные материалы для транспортного строительства / ВА МТО, Санкт-Петербург, 2014.
7. Лазарев Ю. Г., Петухов П. А., Широких М. В. Формирование методики оценки точности (надежности) проектирования дорожных одежд нежёсткого типа / Вестник гражданских инженеров, №2 (55), 2016.
8. Д. С. Сандитов, В. В. Мантатов, Б. Д. Сандитов Коэффициент Пуассона и пластичность стекол / Журнал технической физики, том 79, вып. 4, 2009.
9. Дубровин Е. Н., Ланцберг Ю. С. Изыскания и проектирование городских дорог. – М.: «Транспорт», 1981.
10. Y. Richard Kim, Youngguk Seo, Mark King, and Mostafa Momen Dynamic Modulus Testing of Asphalt Concrete in Indirect Tension Mode / Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1891, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2004, pp. 163–173.

УДК 504.75

Елена Сергеевна Добрынина,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: dobrynzon@mail.ru

Elena Sergeevna Dobrynina,
student
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: dobrynzon@mail.ru

**ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**PROBLEMS AND WAYS OF SOLVING ENVIRONMENTAL PROBLEMS
IN THE DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION
OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS**

Одним из основных источников загрязнения окружающей природной среды все в большей степени становится транспорт.

Интенсивное развитие транспортной индустрии при заметном отставании природоохранного законодательства вызывает нарушения природной среды, можно сказать «экологическое бедствие» или «экологическая катастрофа». В устрашающем темпе загрязняются воздух, поверхностные и подземные воды, загрязняются и деградируют почвы, сокращаются лесные территории, разнообразие растительного и животного мира. И самое главное, однозначно установлено негативное воздействие загрязненной природной среды на здоровье человека, в первую очередь, на детей.

Оценка воздействия на окружающую среду – это определение характера и степени всех потенциальных видов воздействия (влияния) на природный территориальный комплекс любого вида хозяйственной деятельности, ожидаемых экологических и связанных с ним социальных и экономических последствий.

Ключевые слова: природная среда, негативное воздействие, транспорт.

One of the main sources of environmental pollution is increasingly becoming transport.

The intensive development of the transport industry with a noticeable backlog of environmental legislation causes violations of the natural environment, we can say “environmental disaster” or “environmental disaster”. Air, surface and underground waters are polluted at a frightening pace, soils are polluted and degraded, forest areas are reduced, and the diversity of flora and fauna is reduced. And most importantly, the negative impact of the polluted environment on human health, primarily on children, has been clearly established.

Environmental impact assessment is the determination of the nature and extent of all potential impacts (effects) on the natural territorial complex of any type of economic activity, expected environmental and related social and economic consequences.

Keywords: natural environment, negative impact, transport.

К экологическим проблемам относят:

- загрязнение атмосферного воздуха;
- загрязнение поверхностных и подземных вод;
- образование и необходимость утилизации отходов;
- шумовое загрязнение.

В настоящее время экологическая ситуация достигла крайней напряженности. Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе превышена в 10 и более раз, состояние большинства водных источников не отвечает установленным нормативам, идет опасное загрязнение подземных вод, растет объем токсичных отходов, проблема транспортного шума.

Суммарный выброс в атмосферу загрязняющих веществ от автотранспорта очень велик. Рост загрязняющих веществ происходит за счет значительного увеличения парка легковых автомобилей и изменения структуры парка грузового транспорта. Многие производственные процессы, связанные с автотранспортом сопровождаются выделением в атмосферу загрязняющих веществ, которые неблагоприятно влияют на организм человека. Отработавшие «газы» автомобильных двигателей содержат около двухсот веществ, большинство из которых токсичны. В выбросах карбюраторных двигателей основная доля вредных продуктов приходится на оксид углерода, углеводороды и оксиды азота, в выбросах дизельных двигателей – на оксиды азота и сажу.

Конфликты между транспортными средствами и средой обитания человека серьезны. Важную роль в их решении играет комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых в области эксплуатации транспортных средств. К ним относятся: совершенствование структуры парков подвижного состава, преимущественное развитие малотоксичных видов транспорта (метро, скоростной трамвай, городские железные дороги облегченного типа), расширение использования городского автобусного сообщения, совершенствование транспортной планировки, организация безопасного движения и, конечно, улучшение технического обслуживания, ремонта и контроля за техническими состоянием транспортных средств.

Ещё одним решением экологической проблемы является внедрение усовершенствованного транспорта, использующие в качестве «топлива» электричество и полностью отвечающего экологическим требованиям – это трамвай, троллейбус и метро – они не загрязняют атмосферный воздух.

Также важны градостроительные мероприятия. Эти мероприятия направлены на снижение концентраций выхлопных газов в зоне пребывания человека. Они включают специальные приемы застройки и озеленения автомагистралей, размещение жилой застройки по принципу зонирования: в первом эшелоне застройки – от магистрали – размещаются здания пониженной этажности, затем дома повышенной этажности и в глубине застройки – детские и лечебно-оздоровительные учреждения. Тротуары, жилые, торговые и общественные здания изолируются от проезжей части улиц с напряженным движением многорядными древесно-кустарниковыми посадками – три-четыре ряда и более. Важное значение имеет сооружение транспортных развязок на разных уровнях магистралей – дублеров, кольцевых дорог, использование подземного пространства для размещения автостоянок и гаражей.

Вывод

Достижение этих целей способствует созданию условий для снижения уровня техногенного воздействия транспорта на окружающую среду и здоровье человека и обеспечению соответствия международным экологическим стандартам работы отрасли.

Для этого предполагается выработка и ввод в действие механизмов государственного регулирования, обеспечивающих мотивацию перевода транспортных средств на экологически чистые виды топлива, повышение доли использования гибридных и электрических двигателей на транспортных средствах в общей численности парка транспортных средств, минимизацию негативного воздействия на окружающую среду материалов и технологий, а также обеспечение экологически безопасного обращения с отходами транспортного комплекса и снижение уровня энергоемкости транспорта до уровня показателей передовых стран.

Литература

1. А. П. Платонов. Автомобиль – дорога. Охрана окружающей среды. Павловск: ДУИЦ, 1998 – 227 с.
2. А. П. Платонов, С. К. Илиополов. Автомобиль – дорога. Охрана окружающей среды. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 1997. 272 с.
3. А. П. Платонов, В. А. Платонов. Основы общей и инженерной экологии. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 352 с.

УДК 666.964.32.001.8

Мария Петровна Клековкина,

канд. техн. наук, доцент

Елена Сергеевна Волкова,

магистр

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: dobrynzon@mail.ru, megapolis775@mail.ru

Maria Petrovna Klekovkina,

PhD of Tech. Sci., Associate Professor

Elena Sergeevna Volkova,

student

(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: dobrynzon@mail.ru, megapolis775@mail.ru

СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

MODERN METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF ASPHALT CONCRETE COMPOSITIONS

Совершенствование методов проектирования асфальтобетонных смесей для дорожных одежд привело к большим изменениям в области классификации асфальтобетонных смесей в зависимости от конструктивных слоев, условий дорожного движения, климатических условий и от номинально-максимального размера зерен заполнителя, изменена классификация асфальтобетонных смесей, отменена классификация по содержанию щебня (гравия) в асфальтобетонной смеси, по виду минеральной составляющей, по вязкости используемого битума и температуре по укладке смеси, а также по величине остаточной пористости. В основу современного метода положены две методологии европейская – метод Маршалла и американская – Superpave. Применение асфальтобетонных смесей, отвечающих требованиям методологии Superpave, позволит обеспечить нормативные сроки службы дорожной одежды в условиях высокой интенсивности и грузонапряженности автомагистрали при высоких летних температурах воздуха и большого числа переходов через 0 °С в зимний период.

Ключевые слова: асфальтобетонные смеси, битумное вяжущее, автомобильные дороги, дорожные одежды, испытания, проектирование

In recent years, methods for designing asphalt concrete mixes for road pavements are improving at a fast pace, one of the features is the classification of asphalt-concrete mixtures depending on structural layers, traffic conditions, climatic conditions and the nominal maximum grain size of aggregate, the classification of asphalt concrete mixes has been changed, canceled classification by the content of crushed stone (gravel) in the asphalt-concrete mixture, by type of mineral component, by viscosity of bitumen and tempera used for laying the mixture, as well as the largest residual porosity. The basis of the modern method is two European methodologies – the Marshall method and the American – Superpave. To compare the performance of a binder according to the current GOST 9128 and Superpave methodology, a section of the Simferopol-Taman highway in the Crimea was considered. The use of asphalt mixes that meet the requirements of the Superpave methodology will ensure the normative service life of the pavement under conditions of high intensity and high traffic density at high summer air temperatures and a large number of crossings through 0 °C during the winter period.

Keywords: asphalt mixes, bituminous binder, road, road pavement, tests, design.

Последние годы большими темпами идет совершенствование методов проектирования асфальтобетонных смесей для дорожных одежд, одна из особенностей это классификация асфальтобетонных смесей в зависимости от конструктивных слоев, условий дорожного движения, климатических условий и от номинально-максимального размера зерен заполнителя [1, 2, 3], изменена классификация асфальтобетонных смесей, отменена классификация по содержанию щебня (гравия) в асфальтобетонной смеси, по виду минеральной составляющей, по вязкости используемого битума и температуре по укладке смеси, а также по величине остаточной пористости. В основу современного метода положены две методологии европейская (метод Маршалла) и американская (Superpave).

Методология Superpave, разработанная в США и уже используемая во многих странах мира, доказала свою эффективность везде, где применялась, увеличивая межремонтные сроки, решая проблемы появления остаточной и пластической деформации, трещинообразования, усталостного растрескивания.

Система Superpave устанавливает новый научно обоснованный комплекс показателей качества битумов и асфальтобетонов, характеризующих сдвигоустойчивость и трещиностойкость асфальтобетонных покрытий при расчетных климатических и транспортных условиях в течение заданного периода эксплуатации.

Кардинальная разница в применении системы Superpave заключается в новых методах проведения испытаний, тем как определяются показатели качества битумных вяжущих для асфальтобетонных смесей.

Так в отличие от принятых ранее типов асфальтобетонов, в классификации Superpave приняты обозначения марки битумного вяжущего PG Grade, которые определяют интервал между самой низкой и наиболее высокой температурой, которую выдержало асфальтобетонное покрытие при испытаниях, в данном регионе.

Для определения марки битумного вяжущего по PG grade проводят реологические испытания. По результатам испытаний определяется максимальная расчетная температура покрытия, которая используется взамен определения температуры размягчения по КиШ, и минимальная расчетная температура покрытия – взамен определения температуры хрупкости по Фраасу [6]. На основании этих данных заказчик и проектировщик принимают наиболее вероятные в заданном регионе средние величины высоких и низких температур, по статистическим данным за 20-летний период в данном районе.

То есть при проектировании составов асфальтобетонных смесей марка битумного вяжущего назначается по диапазону температур работоспособности исходя из климати-

ческих условий эксплуатации асфальтобетонного покрытия в конкретном районе строительства дороги. Гранулометрический состав асфальтобетонной смеси в системе Superpave подбирается с использованием методики объемного проектирования, лабораторные испытания производятся на оборудовании максимально имитирующем реальные условия уплотнения асфальтобетона в покрытии, в результате чего состав смеси обеспечивает максимально жесткий щебеночный каркас, что способствует повышенной сдвигоустойчивости асфальтобетона при высокой транспортной нагрузке в районах с жарким климатом и при низких температурах в зимний период.

Для производства асфальтобетона Superpave используются только узкие фракции щебня, что обеспечивает высокую стабильность зернового состава и минимальные отклонения от проекта (рецепта, подобранного в лаборатории). Это позволяет выйти на более высокий уровень качества, поскольку будет обеспечена однородность асфальтобетона на протяжении всего строительства.

Требования к содержанию дробленых зерен, а также дополнительные ограничения по форме зерна минерального материала, содержанию пустот обеспечивают высокую прочность и сдвигоустойчивость каркаса асфальтобетона Superpave, что приносит дополнительную устойчивость к возникновению деформаций как при низких температурах в зимний период, так и при высоких температурах летом.

В настоящее время уже проведена большая работа по пересмотру и обновлению нормативно правовой базы по проектированию асфальтобетонов. К недостаткам ГОСТ 9128–2013 можно отнести:

- сложность сравнения преимуществ и недостатков смесей различных типов (прочность у асфальтобетона типа А будет ниже прочности асфальтобетонов типа Б, В и типа Г) по показателям, применяемым в ГОСТе;
- трудности оценки качества смесей с применением различных вяжущих (прочность асфальтобетона на ПБВ ниже прочности асфальтобетона на обычном битуме);
- использование разрушающих методов с низкими скоростями нагружения образцов (результаты не сопоставимы с условиями эксплуатации);
- не предусмотрены циклические методы испытания (не оценивается склонность к накоплению остаточных деформаций, усталостная долговечность).

Также исследования, проведенные в ходе разработки предварительных национальных стандартов на асфальтобетон Superpave показали их преимущества перед традиционными показателями асфальтобетона по ГОСТ 9128–2013, в частности по показателю колееобразования.

Для апробации применения инновационных технологических решений были приняты предварительные национальные стандарты (ПНСТ), которые имеют ограниченный срок действия и на основании результатов апробации которых будет принят новый ГОСТ. В рамках внедрения методологии «Суперпейв» разработан и в 2016 году утвержден комплекс предварительных национальных стандартов состоящий из 50 ПНСТ, 11 из которых распространяются на битумное вяжущее, 12 на каменные материалы и 27 на проектирование и испытания асфальтобетона.

Для сравнения показателей вяжущего по ГОСТ 9128 и методологии Superpave ПНСТ был рассмотрен проект участка автомобильной дороги Симферополь-Тамань в Крыму.

Таблица 1

Требования к вяжущему для асфальтобетона на трассе Симферополь-Тамань

Наименование показателей	Требования к вяжущему для асфальтобетона	
	По ГОСТ 9128–2013, для БНД 60/90, по ГОСТ 22245–90	Суперпейв для PG 64–22, по ПНСТ 85-2016
Нижний предел температуры, °С не выше	–18 °С	–24,4 °С по ПНСТ 79–2016
Верхний предел температуры, °С не ниже	49 °С	66 °С по ПНСТ 87–2016

Ввиду того, что модуль упругости в расчетный период определяется при положительных температурах и критические деформации для территории Крыма возникают именно в летний период, более высокие значения устойчивости к положительным летним температурам означают увеличение модуля упругости асфальтобетона, запроектированного по системе Superpave.

Таким образом, запроектированная дорожная одежда со слоями из асфальтобетона по системе Superpave при использовании расчетных значений модуля упругости и других показателей по ОДН 218.046–01 «Проектирование нежестких дорожных одежд», будет иметь запас прочности по сравнению с дорожной одеждой со слоями из традиционного асфальтобетона.

При расчете конструкции дорожной одежды для асфальтобетонов Superpave по ПНСТ 114–2016 предлагается применять значение модуля, соответствующие стандартному плотному асфальтобетону тип А по ГОСТ 9128–2013, на основе битума марки БНД 60/90. Это обусловлено следующими причинами: Асфальтобетон, подобранный по новым ПНСТ 114–2016 имеет объемно-весовые характеристики, соответствующие асфальтобетону тип А по ГОСТ 9128–2013, в таблице приведено сравнение основных характеристик по ГОСТ и ПНСТ.

Таблица 2

Сравнение основных характеристик асфальтобетона по ПНСТ 114-2016 и ГОСТ 9128-2013

Наименование	Асфальтобетон по ПНСТ 114–2016	Плотный асфальтобетон Тип А по ГОСТ 9128–2013
Содержание пустот (остаточная пористость)	4±0,5	2,5–5,0
Содержание щебня, %	В среднем ≈ 60	50–60 %
Содержание частиц размером меньше 0,071 мм, %	2–8	4–10
Пористость минеральной части, %	≥ 13	14–19
Водонасыщение по объему, %	3,0	2–5

При этом объемно-весовые характеристики асфальтобетона Superpave содержат ряд дополнительных показателей – пустоты, наполненные битумом, отношение пыль-вяжущее, которые не учитывает ГОСТ 9128–2013, а при подборе состава Superpave используются такие важные характеристики, как объем абсорбированного вяжущего и эффективный объем вяжущего.

В таблице приведены физико-механические показатели асфальтобетона Superpave SP-19 и его российского аналога – мелкозернистого плотного асфальтобетона тип А. Как видно из приведенных данных асфальтобетон Superpave по всем характеристикам лучше стандартного асфальтобетона.

Были проведены испытания по европейским методикам EN 1269725 (метод В) определение скорости ползучести асфальтобетона при трехосном циклическом сжатии при 50 °С и EN 12697–26 (метод С) – определение модуля при непрямом растяжении при скорости нагружения 0,124 сек.

Результаты этих испытаний показали, что скорость ползучести у асфальтобетона Superpave в 3,5 раза ниже, чем у стандартного асфальтобетона, что свидетельствует о высокой устойчивости к колееобразованию асфальтобетона SP-19. Значение модуля асфальтобетона Superpave превышает на 10 % значение модуля у асфальтобетона тип А, что свидетельствует о его лучшей несущей способности и устойчивости к восприятию деформаций от проходящего транспорта. Расчетная максимальная и минимальная температуры слоя дорожного покрытия для проектируемой автодороги составили +64 °С и –22 °С.

Таким образом, вяжущее марки PG 64–22 полностью обеспечивает работоспособность асфальтобетона в данном климатическом регионе, т. е. максимальная температура покрытия, при которой обеспечивается сдвигоустойчивость асфальтобетона +64 °С, минимальная температура покрытия, при которой обеспечивается трещиностойкость –22 °С.

Таблица 3

**Сравнение физико-механических характеристик асфальтобетонов
Superpave SP-19 и мелкозернистого плотного тип А**

Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128–2013	Фактические показания	
		SP-19	Тип А
Средняя плотность, г/см ³		2,638	2,690
Водонасыщение, % по объему	2,5–5,0	4,8	2,7
Прочности при сжатии, МПа			
20 °С	Не менее 2,5	4	3,8
50 °С	Не менее 1,0	1,2	1,1
0 °С	Не более 11,0	8,6	10,1
Водостойкость	Не менее 0,9	0,96	0,93
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	3–6,5	4,2	4,8
Сдвигоустойчивость, при 50 °С по – коэффициенту внутреннего трения	Не менее 0,87	0,99	0,98
– сцеплению при сдвиге, МПа	Не менее 0,25	0,33	0,29

Наименование показателей	Требования ГОСТ 9128–2013	Фактические показания	
		SP-19	Тип А
Европейские показатели			
Средняя плотность образцов, полученных на гираторе за 100 оборотов, г/см ³	Не нормируется	2,687	2,741
Водонасыщение, % по объему		2,8	0,3
Содержание пустот, %		4	0,5
Скорость ползучести, мкдеф/цикл, EN 12697-25 (B)	Не более 0,2	0,09	0,32
Модуль при непрямом растяжении, МПа, EN 12697-26 (C)		3640	3300

Применение асфальтобетонных смесей, отвечающих требованиям методологии Superpave, позволит обеспечить нормативные сроки службы дорожной одежды в условиях высокой интенсивности и грузонапряженности автомагистрали при высоких летних температурах воздуха и большого числа переходов через 0 °С в зимний период. Данные асфальтобетонные смеси, в отличие от традиционных смесей по ГОСТ 9128–2013 и ГОСТ 31015–2002, обладают повышенной устойчивостью к пластическим деформациям в условиях жаркого климата.

Литература

1. ГОСТ 9128–2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. [Электронный ресурс] http://nerud-expert.ru/images/gost/GOST_9128-2013_asphaltobeton.pdf (дата обращения 01.10.2018)
2. ПНСТ 82-2016 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок». [Электронный ресурс] https://www.euro-test.ru/Pub.Lib/Normativ_docs/PNST82.pdf (дата обращения 01.10.2018)
3. ПНСТ 85-2016 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации». [Электронный ресурс] https://euro-test.ru/Pub.Lib/Normativ_docs/PNST85.pdf (дата обращения 11.10.2018)
4. ПНСТ 184-2016 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия». [Электронный ресурс] URL: <http://ptkor.ru/uploads/document/file/87/589cb30d4d.pdf> (дата обращения 10.10.2018)
6. ПНСТ 114-2016 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические требования для метода объемного проектирования по методологии Superpave. [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200134466> (дата обращения 10.10.2018)
7. Кретинина М. О., Орехов С. А., Дергунов С. А., Сатюков А. Б. Современный подход к проектированию составов асфальтобетонов // Молодой ученый. – 2017. – №21.1. С. 144–145. – URL <https://moluch.ru/archive/155/44226/> (дата обращения: 10.11.2018).
8. Черных А.С. Способ проектирования составов асфальтобетонных смесей для автодорожных покрытий. // X Международная студенческая научная конференция. Студенческий научный форум – 2018 г. [Электронный ресурс] <https://files.scienceforum.ru/pdf/2018/7308.pdf> (дата обращения: 10.11.2018).

УДК 06.625.8

Марина Валентиновна Козилова,
ассистент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
Эвелина Алексеевна Федорова,
инженер
(АО «Автодорсервис»)
E-mail: corokinamar@mail.ru,
evelina-fedorova94@mail.ru

Marina Valentinovna Kozilovka,
teaching assistant
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
Evelina Alekseevna Fedorova,
engineer
(Avtodorservice JSC)
E-mail: corokinamar@mail.ru,
evelina-fedorova94@mail.ru

**ИННОВАЦИИ В УСТРОЙСТВЕ
СОВРЕМЕННЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД.
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ УСИЛЕНИЯ НЕСУЩИХ СЛОЕВ ОСНОВАНИЯ
ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

**INNOVATIONS IN THE DEVICE OF MODERN PAVEMENT.
THE USE OF GEOSYNTHETIC MATERIALS
TO ENHANCE THE BEARING LAYERS OF THE PAVEMENT BASE**

В статье рассматривается процесс создания нового типа георешетки на основе полимерного нано-композитного инженерного сплава Neoloy. История ее появления. Определен механизм работы объемной георешетки Neoweb. Представлены основные технические характеристики материалов Neoweb. Приведены модули упругости и коэффициенты улучшения модуля упругости армированного слоя с применением георешетки, а также технология укладки георешетки Neoweb. Приведен пример стандартной секции Neoweb. Представлена схема армирования дорожной одежды. Рассмотрена укладка заполнителя в секции Neoweb.

Ключевые слова: георешетка, ячейка, модуль упругости, сплав, дорога.

The article discusses the process of creating a new type of geogrid based on the polymer nano-composite engineering alloy Neoloy. The story of its appearance. The mechanism of operation of the Neoweb geogrid has been determined. Presents the main technical characteristics of materials Neoweb. The elastic moduli and coefficients of improvement of the elastic modulus of the reinforced layer using the geogrid, as well as the technology of laying the Neoweb geogrid are given. An example of the standard Neoweb section is given. A pavement reinforcement scheme is presented. The placement of the filler in the section Neoweb.

Keywords: geogrid, cell, modulus of elasticity, alloy, road.

Георешетки были придуманы инженерным корпусом армии США в 1970 году. Они были использованы для строительства временных дорог для военных транспортных средств. Гражданское использование георешеток началось в 1980-х годов. HDPE георешетки использовались в основном для мелиорации или для уменьшения деформации и потери прочности с течением времени.

PRS начал свое собственное производство георешеток, создав бренд PRS-Neoweb в 2004 года. В то же время PRS приступила к программе интенсивных исследований с целью разработки георешеток, подходящих для использования в строительстве современных дорог. Для этого нужна георешетка с гибкостью HDPE, но с низкой деформацией на сдвиг и устойчивостью к высоким температурам.

Конечным результатом было создание полимерного сплава, под названием Neoloy. Георешетка PRS-Neoweb от Neoloy специально предназначена для усиления конструкции

сооружений, таких как магистрали, высокие подпорные стены и загруженные автомобильные дороги, железные дороги и порты.

Объемную георешетку Neoweb изготавливают из высокоэффективного полимерного нано-композитного инженерного сплава Neoloy. Этот сплав не разлагается, устойчив к химическим веществам, горению и воде, и благодаря своему низкому коэффициенту термического расширения, он сохраняет свои свойства при циклическом изменении температур при очень низкой и высокой температурах.

Георешетка Neoweb изготовлена на основе лент из полимерного нано-композитного инженерного сплава "Neoloy", сваренных ультразвуком в секции. Георешетка Neoweb состоит из трехмерных, перфорированных и текстурированных ячеек. Георешетка Neoweb используется для защиты от эрозии и для армирования, как откосов, так и основания насыпи, а также несвязных слоев основания дорожной одежды.

При заполнении ячеек Neoweb грунтом и уплотнении, за счет геотехнического взаимодействия материала и грунта получается слой с улучшенными физико-механическими свойствами. Грунт заполнителя, испытывая давление в трех направлениях, обеспечивает высокую прочность на растяжение по каждой оси. Таким образом, армирование грунта или крупнообломочного заполнителя обеспечивается ячеистой структурой и ее уникальным полимерным строением. Под нагрузкой объемная решетка Neoweb создает мощное боковое давление, за счет трения грунта о стенки ячейки, снижаются вертикальные перемещения.

Георешетка Neoweb совместно с грунтом-заполнителем образует систему армированного материала, так называемую полужесткую плиту.

Ячеистые сотовидные секции создают 3D матрицу геоячейки с высокой изгибающей прочностью и жесткостью. Эта матрица уменьшает вертикальные перемещения (осадку) слабых грунтовых оснований, увеличивает прочность на сдвиг и повышает несущую способность конструкции.

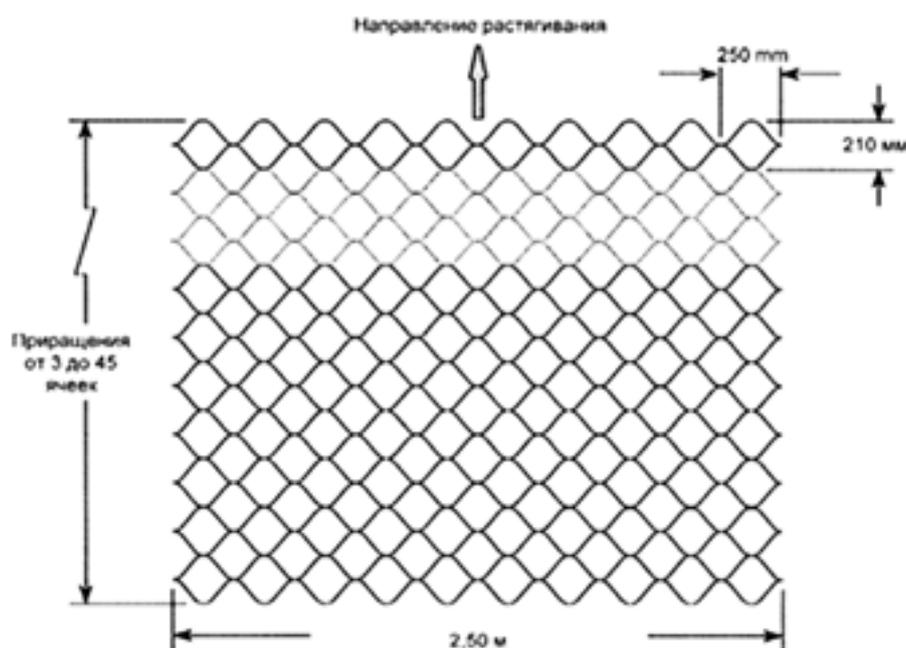


Рис.1. Стандартная секция «Neoweb» PRS 330

При образовании жесткого слоя нагрузка распределяется по более широкой площади, передавая гораздо меньшие напряжения на подстилающий слой или грунтовое основание.

Георешетка Neoweb выпускается с размером с высотой стенок ячейки: 50, 65, 75, 100, 125, 150 и 200 мм.

Стандартная секция PRS 330 (рис. 1) имеет размеры (2,50×8,00) м. Длина назначается по количеству ячеек и увеличивается с количеством ячеек, с шагом 210 мм (длина ячейки).

Площадь секции, м², рассчитывается по формуле: $S = 0,5 \times n$, где n – количество ячеек в длину.

Технические характеристики материалов «Neoweb» категории А приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики материалов «Neoweb»

Наименование показателей	PRS 330	PRS 356	PRS 445	PRS 660	PRS 712
1. Ширина, м (±3 %)	8,0–12,6	7,4–13,8	10,7–17,3	16,0–25,2	14,8–27,6
2. Длина в рулоне, м (±3 %)	2,5	2,7	2,8	2,5	2,7
3. Размеры ячеек, мм (±3 %)	250×210	260×224	340×290	490×420	520×448
4. Плотность ячеек, 1/м ²	39	35	22	10	8
5. Прочность при растяжении, кН/м, не менее:					
– в продольном направлении	8	8	8	8	8
– в поперечном направлении	8	8	8	8	8
6. Относительное удлинение при максимальной нагрузке, % не более:					
– в продольном направлении	500	500	500	500	500
– в поперечном направлении	500	500	500	500	500
7. Морозостойкость, %, не менее	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8
8. Грибостойкость, не выше	ПГ ₁₁₃				
9. Устойчивость к действию светопогоды, %, не менее:					
– в поперечном направлении	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8
– в продольном направлении	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8
10. Стойкость к действию агрессивной среды, %, не менее	99	99	99	99	99
11. Гибкость при минус 40 °С	Без дефектов				
12. Индекс повреждения при циклической нагрузке, %	98	98	98	98	98

Выполненные исследования показали существенное увеличение модуля упругости армированного слоя. В табл. 2 приведены модули упругости и коэффициенты улучшения модуля упругости (в скобках) армированного слоя с применением георешетки Neoweb для схемы конструкции на рис. 2, в зависимости от модуля подстилающего слоя и модуля заполняющего материала.

Модули упругости и коэффициенты улучшения модуля упругости

Модуль подстилающего основания, E_s МПа	Модуль упругости армированного слоя, МПа при модуле упругости заполнителя E_N , МПа				
	80	110	150	200	300
50	320 (4,0)	396 (3,6)	450 (3,0)	500 (2,5)	540 (1,8)
100	336 (4,2)	418 (3,8)	480 (3,2)	560 (2,8)	600 (2,0)
150	360 (4,5)	440 (4,0)	510 (3,4)	580 (2,9)	630 (2,1)
200	384 (4,8)	462 (4,2)	540 (3,6)	620 (3,1)	660 (2,2)
300	400 (5,0)	484 (4,4)	570 (3,8)	660 (3,3)	690 (2,3)



Рис. 2 Схема армирования

Все земляные работы должны быть выполнены до начала работ, следует проверить соответствие параметров основания (степень уплотнения, длину, ширину, продольный и поперечный уклоны) проектным. Если требуется, основание уплотняют и профилируют.

Укладка секций Neoweb:

1. Секцию Neoweb растягивают и закрепляют ее в этом положении следующими способами:

- а) при помощи анкеров АТРА™, прямых стоек или J-образных штифтов (постоянные или временные);
- б) заполнением крайних ячеек;
- в) при помощи натяжной рамы.

2. Проверяют положение (полное растяжение) каждой секции Neoweb.

3. Проверяют положение смежных секций.

Поверхности смежных секций должны быть размещены вровень.

4. Секции Neoweb скрепляют, как правило, скобами при помощи пневматических штаплеров.

Укладка заполнителя в секции Neoweb:

1. После закрепления секций Neoweb можно приступить к заполнению ячеек.
 2. Заполнитель помещают в ячейки с помощью оборудования для подачи материала, такого, как фронтальный погрузчик или экскаватор «обратная лопата».
 3. Высота падения заполнителя не должна быть более 1 м.
- Секции Neoweb заполняют с избытком, не менее чем на 50 мм выше стенок ячеек.
4. Материал уплотняют до требуемой плотности.
 5. Укладывают материал для защитного слоя поверх заполненных секций в соответствии с заданным профилем и уклоном.

Литература

1. Применение геосинтетических материалов в дорожных конструкциях автомобильных и городских дорог и улиц. – СПбГАСУ, Сост. Э. Д. Бондарева. СПб., 2000.
2. Доклад заместителя руководителя РОСАВТОДОРА И. Г. Астахова на научно-практической конференции на тему: «приоритетные и текущие направления деятельности дорожного хозяйства по обеспечению реализации положений федеральной целевой программы «развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)».
3. Третьяков В. В. Задачи, решаемые при укладке объемной георешетки Neoweb / В. В. Третьяков. – С. 34–38. СТО 67977419-001–2011 / Материал геосотовый пластмассовый скрепленный марки «НЕОВЭБ». Технические условия.

УДК 624.074.5/691.87

Вячеслав Викторович Лоцев,
директор ООО «АРЕАН геосинтетикс. Сибирь»,
ст. преподаватель
АСФ НГАСУ (СИБСТРИН)
Олег Евгеньевич Киселев,
технический директор АО «АРЕАН-геосинтетикс»
E-mail: vector_83@mail.ru,
oleg.kiselev@areangeo.ru

Vyacheslav Viktorovich Loschev,
“AREAN geosynthetics.” Sibir” LLC,
Senior Lecturer (Novosibirsk State University of
Architecture and Civil Engineering)
Oleg Evgenievich Kiselev,
technical director “AREAN-geosynthetics” JSC
E-mail: vector_83@mail.ru,
oleg.kiselev@areangeo.ru

АРМОГРУНТОВЫЕ ПОДПОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПО СИСТЕМЕ «ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ОТКОС» В ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

SUPPORTING STRUCTURES FROM REINFORCED SOILS “VERTICAL SLOPE” IN THE OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Рассматривается инновационная конструкция подпорных стен из армированного геосинтетическим материалом несвязного грунта, обладающая более низкими требованиями к несущей способности основания, более низкой себестоимостью и высокой скоростью возведения по сравнению с традиционными конструкциями из армированного грунта, имеющими облицовку из бетонных блоков. Конструкция включает в себя собственно армогрунтовое тело, выполненное ступенями. Ступени воспринимают нагрузку от гибкой облицовочной системы, представляющую собой заполненную щебнем модульную систему с облицовкой из сварной стальной оцинкованной сетки. Облицовка крепится к телу подпорной стены с помощью металлических оцинкованных анкеров.

Ключевые слова: подпорная стена, армирование, геосинтетика, грунт, облицовочная система, стальная сетка, щебень.

An innovative design of retaining walls of geosynthetic-reinforced non-cohesive soil is considered, which has lower requirements for the bearing capacity of the base, lower cost and high erection speed compared to traditional structures of reinforced soil with veneered concrete blocks. The design includes the body itself, made by steps. Steps perceive the load from a flexible facing system, which is a modular system filled with crushed stone with a facing of welded galvanized steel mesh. The facing is attached to the body of the retaining wall using galvanized metal anchors.

Keywords: retaining wall, reinforcement, geosynthetics, soil, facing system, steel mesh, crushed stone.

В новом строительстве армогрунтовые сооружения типа подпорных стен все чаще находят применения в объектах транспортной инфраструктуры. Выбор таких конструкций обоснован их стоимостью, которая оказывается существенно ниже классических решений (железобетонных подпорных стен) при учете всех составляющих стоимость материалов, машин и механизмов, а также сроков строительства.

Существенным недостатком подпорных сооружений из армированного грунта является необходимость устройства облицовочной системы для защиты армирующих элементов от воздействия окружающей среды, вандалов, а также придания эстетичного внешнего вида сооружения. В качестве облицовочных элементов, в основном, применяются бетонные блоки и железобетонные плиты, которые крепятся гибкими связями кармированному телу насыпи. Применение таких облицовочных систем требует обязательного устройства системы отвода воды из тела сооружения и фундаментов. Так как основание армогрунтовых стен, как правило, выполняется практически без заглубления, то фундаменты под облицовочную систему оказываться на поверхности, что существенно снижает их несущую способность. А в случае устройства на пучинистых грунтах, необходима замена грунтов основания на глубину промерзания на непучинистые. В итоге получается, что экономический эффект от современных технологий армирования грунта сводится к минимуму при совместном использовании с бетонными конструкциями облицовочной системы.

По конструктивной схеме армогрунтовая стена – гибкое сооружение. Мы можем его приравнять к земляной насыпи с ненормативным уклоном. Все процессы, связанные со строительством земляного полотна в полном объеме, присутствуют при строительстве армогрунтовой стены. В деформациях грунтового сооружения следует отдельно выделить осадку тела насыпи за счет до уплотнения тела насыпи и осадку грунтового основания. При высоких насыпях (свыше 5 метра) осадка тела насыпи, может достигать до 10 см и выше, что существенно добавляет к общей деформации всего сооружения. Такие величины сжимаемости тела насыпи получаются из-за невозможности механизированного уплотнения грунтовой насыпи около обреза стены. Крайний метр земляного полотна, примыкающий к обрезау стены, уплотняется ручными трамбовками, так как использования тяжелой техники не безопасно, прежде всего, для самой техники.

Строительство жестких облицовочных систем (бетонные конструкции) одновременно с телом насыпи армогрунтового сооружения – активная облицовочная система, связано с повышенным риском получить деформационные трещины на финишной поверхности. Инженерным решением обозначенной задачи может быть использование пассивной облицовочной системы, с использованием деформационных швов по поверхности стены. При таком варианте монтаж облицовочной системы разрешен только после стабилизации всех деформаций грунтового сооружения. Но, если консолидация грунтового основания требует существенного времени, данный вариант не может быть принят из-за требуемых сроков строительства.

Основная проблема жестких облицовочных систем при облицовке армогрунтовых сооружений это попытка инженеров совместить «гибкое» сооружение с «жесткой» оболочкой. Для сокращения существенной разности в жесткостях конструкций, проектировщики повышают требования к уплотнению грунтов тела насыпи, но на практике добиться требуемых значений достаточно тяжело.

Поставленную задачу можно решить, если исключить жесткую облицовку и заменить ее на гибкую. Конструкция гибкой облицовочной системы должна воспринимать сжимающие деформации тела армогрунтового сооружения пропорционально и сохранять требуемую устойчивость. Таким требованиям отвечают засыпные конструкции типа габионов: предлагается использовать дешевый и доступный материал – щебень фракции 70–150 мм, засыпанный в виде сплошной каменной засыпки толщиной 250 мм. Засыпной каменный материал, заключенный в оболочку из металлической сетки, не реагирует на относительно малые деформации. Любые перемещения приводят к переупаковке частиц засыпки и не вызывают напряженного состояния. Но с возрастанием высоты предлагаемой конструкции вес облицовочной системы может достигнуть больших значений, что может потребовать значительного увеличения поперечного сечения удерживающей ограждающей сетки. Большой вес облицовочной системы приведет к существенной осадке фундамента под облицовку, что незамедлительно отразится на внешнем виде.

Чтобы разгрузить гибкую облицовочную систему по высоте предлагается разбить ее на ярусы по высоте 1,8 по 3 слоя армирования тела насыпи по 0,6 м. Для этого необходимо изменить контур армированного тела, выполнив смещение каждого трех последующих слоев вовнутрь на 120 мм. Новая геометрия плоскости стены позволяет нам опирание каждого яруса облицовки на собственное основание в плоскости стены, т. е. опирается на грунтовую «полку». Для исключения местного смятия, верхнюю, опорную часть «полки» предполагается выполнить из практически не сжимаемого грунта – щебня фракцией 5–20 мм. Каждая такая полка воспринимает вес только от участка облицовочной стены высотой не выше 1,8 м, а облицовочная система нижнего яруса опирается непосредственно на грунтовое основание.

Такое расположение облицовочных элементов позволяет исключить фундаменты в основании сооружения. Роль фундаментов выполняют опорные полки, равномерно распределенные по плоскости стены. Это позволяет возводить армогрунтовое сооружение со скоростью отсыпки земляного полотна, не ограниченного по высоте, а облицовочную систему выполнять после основных земляных работ, не зависимо от завершения деформаций как в теле насыпи, так и в грунтовом основании. Независимость монтажа облицовочной системы и тела сооружения особенно актуальна для сибирских регионов с очень коротким строительным сезоном. Независимая работа конструктивных элементов армогрунтового сооружения (армированное тело и облицовка) сделало возможным выполнение работ круглогодично: в теплый период – насыпь, в холодный – облицовочную систему.

Удержание массива камней в облицовочной системе происходит за счет создания пространственного контура, который и заполняется щебнем. Контур представляет собой фасадную часть из оцинкованной сетки ячейкой 200×50, закрепляемой на расстоянии 250 мм от тела насыпи. Торцевые участки контура также выполняются из оцинкованной сетки и замыкаются на передней грани тела сооружения. Отсутствие оцинкованной сетки со стороны тела насыпи является основным отличием от существующих систем облицовки с каменной засыпкой: габионы и система Террамеш.

Для создания необходимых точек крепления облицовочной системы к грунтовому телу во время отсыпки насыпи закладываются оцинкованные арматурные анкера, на которые, впоследствии, и крепится облицовочный контур. Облицовочная система каждого яруса разбивается на карты шириной 1,25 м с помощью диафрагм из оцинкованной сетки. Такая конструкция позволяет заполнять карты каменным материалом не зависимо друг от друга как по горизонтали, так и по высоте на различных ярусах.

Гибкая облицовочная система, состоящая из арматурных анкеров, сетки и камней, не является несущим элементом сооружения и законструирована со сроком эксплуатации не менее 50 лет. Грунтовая среда выше уровня грунтовых вод классифицируется как слабоагрессивная. Необходимая защита металлического анкера обеспечивается лакокрасочным покрытием I группы при толщине слоя 80 мкм. Арматурные анкера перед установкой в тело насыпи окрашиваются цинконаполненной краской толщиной не менее 160 мкм, что с хорошим запасом обеспечивает требуемую коррозионную защиту анкера.

Оцинкованная сетка представляет собой арматурную сетку диаметром 5 мм яч. 200×50 с антикоррозийным защитным покрытием методом горячего цинкования. Толщина покрытия по ГОСТ 9.307–89 п.2.2 назначена не менее 130 мкм. При эксплуатации конструкции на открытом воздухе со слабоагрессивной степенью воздействия среды металлическая конструкция с цинковым покрытием может эксплуатироваться без лакокрасочного покрытия.

Отсутствие жестких фундаментов в армогрунтовых стенах с гибкой облицовочной системой позволяет нам описать данное сооружение как армированная грунтовая насыпь с ненормативным откосом. Заложение откоса в таком виде составляет 15:1 (87°), что практически можно принять как **вертикальный откос**. А гибкая облицовочная система – противоэрозионная противовандальная защита насыпи. Разрушение или повреждение удерживающего контура, возникшее из-за внешнего воздействия (разрезание сетки, удар машины и др.), в наихудшем случае приведет к осыпанию массива камней объемом 0,56 м³ из одной карты (1,25×1,8×0,25 м). Устойчивость смежных карт остается неизменным до разрушения примыкающего контура. Отсутствие облицовки не влияет на безопасность всего сооружения, а ремонтные работы сводятся к замене поврежденного участка сетки и ее заполнение высыпавшимся каменным материалом.

Невосприимчивость армогрунтовых сооружений по системе «Вертикальный откос» к деформациям с низкой стоимостью всего сооружения делает такой тип конструкции как один из оптимальных решений при строительстве и реконструкции подпорных стен в транспортной инфраструктуре.

Литература

1. СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85 (с Изменениями №1,2). М.: ФГУП ЦПП, 2012 г. – 93 с.
2. ОДМ 218.2.027–2012 «Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых стен на автомобильных дорогах» М.: ФДА (Росавтодор), 2012. – 92 с.

УДК 625.739.4

Дмитрий Павлович Лучинский,
заместитель главного инженера

АО «Мостострой-11»

Вера Дмитриевна Тимоховец,
ассистент

Сергей Павлович Санников,
канд. тех. наук, доцент

Анна Владиславовна Мармур,
студент

(Тюменский индустриальный университет)

Email: luchinsky@ms11.ru, timohovetsvd@tyuiu.ru,
sannikovsp@tyuiu.ru, marmur.anna1998@gmail.com

Dmitriy Pavlovich Luchinskiy,
Deputy Chief Engineer of
JSC “Mostostroy-11”

Vera Dmitrievna Timohovets,
assistant

Sergey Pavlovich Sannikov,
PhD in Sci. Tech., Associate Professor,
head of department of “Road and airfields”

Anna Vladislavovna Marmur,
student

(Tyumen industrial University)

Email: luchinsky@ms11.ru, timohovetsvd@tyuiu.ru,
sannikovsp@tyuiu.ru, marmur.anna1998@gmail.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ТКАД – ПРОЕЗД ВОРОНИНСКИЕ ГОРКИ В ГОРОДЕ ТЮМЕНИ

IMPROVING THE TRANSPORT INTERSECTION OF THE TKAD – TRAVEL VORONIN HILLS IN THE CITY OF TYUMEN

В статье представлен выбор оптимального инженерного решения по усовершенствованию пересечения Тюменской кольцевой автомобильной дороги и проезда Воронинские горки. Выполнен анализ статистических данных дорожно-транспортных происшествий в городе Тюмени и на выбранном пересечении за период с января 2016 по сентябрь 2018 года. Представлены результаты замера интенсивности и состава дорожного движения на выбранном пересечении. Выполнено сравнение существующих и альтернативных транспортных развязок. Обосновано применение современной транспортной развязки в разных уровнях полутоннельного типа, обладающей рядом преимуществ, таких как, наименьшее количество путепроводов, высокая средняя скорость движения, наименьшая стоимость.

Ключевые слова: транспортная развязка, пересечение, повышение безопасности дорожного движения, интенсивность, конфликтные точки.

The article presents the choice of the optimal engineering solution to improve the intersection of the Tyumen ring road and the Voroninsky hills. The analysis of statistical data of road accidents in the city of Tyumen and at the selected intersection for the period from January 2016 to September 2018 was performed. Presents the results of measuring the intensity and composition of traffic at the selected intersection. Comparison of existing and alternative transport interchanges. The use of modern traffic intersection in different levels of the semilanthus type, which has a number of advantages, such as the lowest number of overpasses, high average speed of movement, the lowest cost, is justified.

Keywords: transportation, intersection, improving road safety, intensity, conflict points.

В современных условиях развития существующей сети автомобильных дорог повышение параметров безопасности и комфортабельности движения транспорта являются основной задачей, входящей в Программу развития города Тюмени [1].

Состояние безопасности дорожного движения в городах можно проанализировать по данным, представленным на официальном сайте «ГУОБДД МВД России» [2]. Статистика и распределение дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в городе Тюмени на период с января 2016 года по сентябрь 2018 года представлены на рис. 1.

Анализ статистики ДТП в г. Тюмени по годам показал, что в 2018 году по кварталам наблюдается снижение ДТП, что говорит о правильном подходе в реализации программы повышения безопасности дорожного движения. Однако общее число аварийности

остается высоким, а следовательно, вопрос снижение количества ДТП является актуальным. Чтобы решить проблему нужно рассматривать специфику организации движения в том числе на перекрестках, где возникает большое количество ДТП в виде столкновений и наездов на пешеходов, а также вынужденные задержки и потери времени ввиду нерационального использования пересечений в части светофорного регулирования.

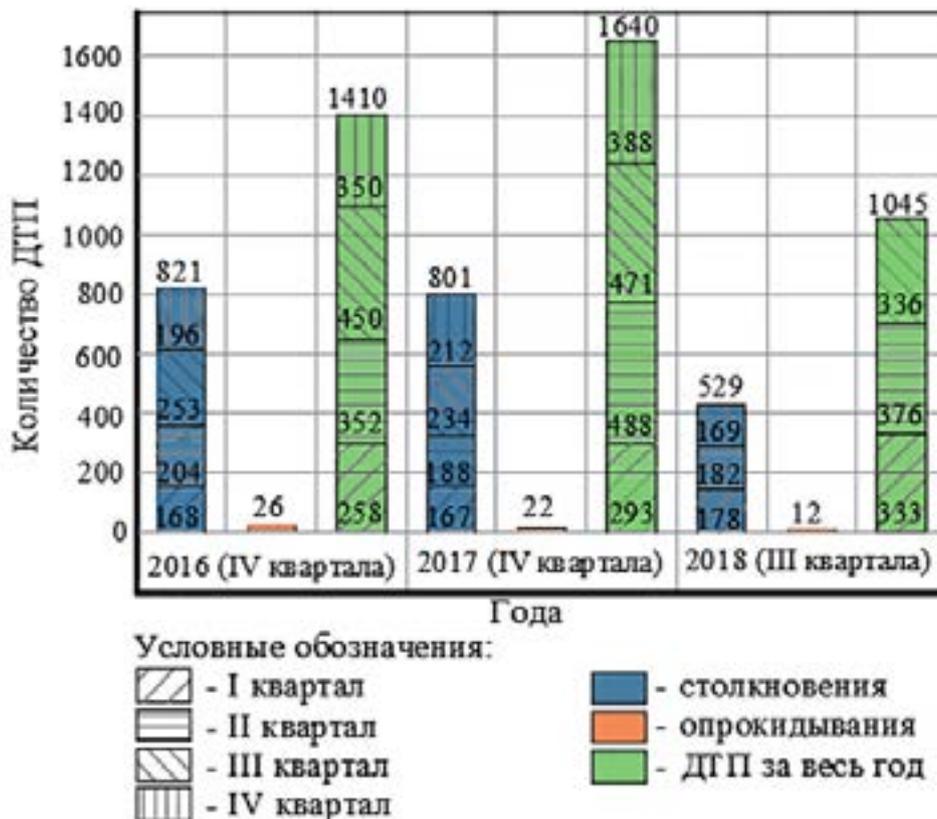


Рис. 1. Виды ДТП в г. Тюмень за период с января 2016 по сентябрь 2018 годы

Перекрестки в одном уровне имеют высокую аварийность, поскольку содержат в себе множество пересечений потоков автомобилей, что в случае ДТП может привести к серьезным последствиям для всех участников дорожного движения. Наличие транспортных развязок в разных уровнях позволит решить проблемы, а именно: устранить конфликтные точки; снизить задержки, связанные со светофорным регулированием, что в свое время приведет к увеличению скорости транспортного потока и снижению числа ДТП.

Безопасность и удобство движения на пересечениях и примыканиях дорог зависят от числа и вида конфликтных точек, угла пересечения потоков и интенсивности движения на пересекающихся, сливающихся и разветвляющихся направлениях.

Был выполнен анализ основных пересечений г. Тюмени и выделены транспортные узлы, где чаще возникают заторы. Определено, что одним из самых загруженных транспортных узлов является пересечение Тюменской кольцевой автомобильной дороги (ТКАД) с проездом Воронинские горки. На этом перекрестке высокая интенсивность движения и, как следствие, возникает высокое количество ДТП с пострадавшими, а также образует затруднение проезда. Департаментом дорожной инфраструктуры и транспорта г. Тюмень для выбранного транспортного узла была предоставлена статистика ДТП (табл. 1).

Таблица 1

**Количество ДТП и пострадавших на пересечении
ТКАД - проезд Воронинские горки за 2016-2018 гг.**

Год	Виды	Количество ДТП	Количество пострадавших
2016	Наезд на пешехода	3	1
	Столкновение при несоблюдении очередности проезда	10	5
	Столкновение при нарушении правил перестроения	8	3
2017	Столкновение при нарушении требований сигнала светофора	5	4
	Неправильный выбор дистанции (столкновение)	7	1
2018	Столкновение при нарушении правил расположения на проезжей части	14	3

Строительство развязки на выбранном узле позволит транзитному транспорту беспрепятственно проезжать по необходимому направлению без снижения скорости, что сэкономит время в пути и существенно повысит безопасность движения.

С учетом вышесказанного была поставлена цель: разработать мероприятия по усовершенствованию транспортного узла ТКАД – проезд Воронинские горки, с выбором наиболее оптимального инженерного и организационно-технологического решения. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Проанализировать состав и интенсивность движения на выбранном узле.
2. Проанализировать существующие типы дорожно-транспортных развязок и возможность их применения на выбранном узле.
3. Разработать индивидуальное решение и обосновать его применение на основе критериев оценок.

В осенний период 2018 года были организованы работы по замеру интенсивности дорожного движения на пересечении. Подсчет проводился в течении 15 минут каждого часа (с 8:00 по 23:00 часов), с последующей обработкой данных и получением часовой интенсивности движения в рамках существующей методики [3]. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

Анализ показал, что интенсивность движения по ТКАД существенно превышает уровень трафика на проезде Воронинские горки. На перекрестке наблюдается неравномерное распределения движения с образованием пиков в утренние часы.

Рассмотрев множество существующих транспортных развязок, был выделен список наиболее часто применяемых (табл. 2).

Представленные развязки не обеспечивают устранение всех конфликтных точек. Можно отмечается наличие конфликтных точек в местах въезда и выезда на развязки. Поэтому рассмотрены транспортные развязки, которые улучшили бы типовые решения (табл. 3).

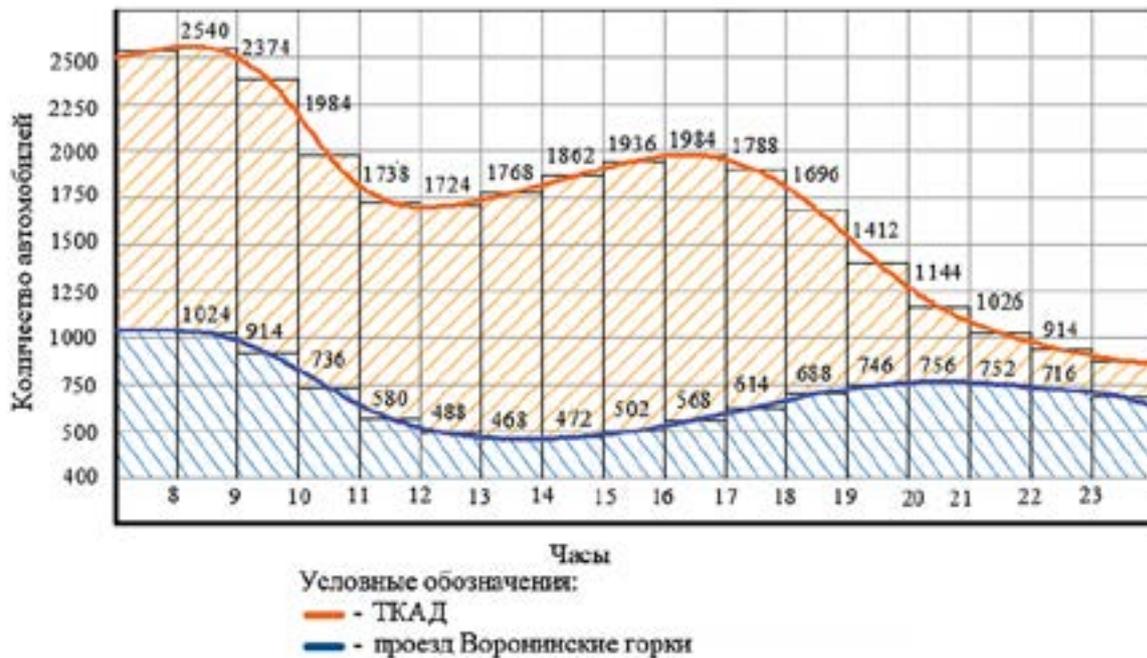


Рис. 2. Интенсивность движения в прямом и обратном направлении на пересечении ТКАД - проезд Воронинские горы

Таблица 2

Характеристика существующих транспортных развязок

Тип	Достоинства	Недостатки	Стоимость, млрд. руб.	Кол-во путепроводов, N	Средняя скорость, в, км/ч
Клеверообразная	– строительство с минимальными ограничениями для проезда транзитного транспорта; – отсутствует светофорное регулирование; – отсутствуют пересекающиеся потоки	– левый поворот на 270 градусов; – конфликтные точки на выездах и съездах	4,8	1	80 км/ч
Крестовая	– отсутствуют пересекающиеся потоки; – высокая пропускная способность	– развязка в 4-х уровнях; – сложная конструкция	5,8	5	80 км/ч
Кольцевая в двух уровнях	– отсутствует светофорное регулирование	– много конфликтных точек; – ограничена скорость движения	2,3	2	80 км/ч
Кольцевая в одном уровне	– отсутствует светофорное регулирование	– много конфликтных точек; – ограничена скорость движения	2,2	0	60 км/ч

Таблица 3

Характеристика транспортных развязок индивидуального типа

Тип	Достоинства	Недостатки	Стоимость, млрд. руб.	Кол-во путепроводов, N	Средняя скорость, v, км/ч
Сложный с двумя левоповоротными полупрямыми съездами	– строительство с минимальными ограничениями для проезда транзитного транспорта; – отсутствует светофорное регулирование; – отсутствуют пересекающиеся потоки	– большая занимаемая площадь; – проблема левого поворота	6,1	7	80 км/ч
Ромбовидный	– нет пересекающихся потоков; – высокая пропускная способность	– большая занимаемая площадь	5,6	9	60 км/ч
Сложный с двумя левоповоротными петлевыми съездами	– нет пересекающихся потоков; – высокая пропускная способность	– большая занимаемая площадь	3,7	5	80 км/ч
Простая «Петля»	– нет пересекающихся потоков; – высокая пропускная способность	– большая занимаемая площадь	2,3	2	80 км/ч
Полутоннель	– нет пересекающихся потоков; – высокая пропускная способность	– есть точки слияния пересечений	2,0	1	90 км/ч

Анализ предлагаемых решений показал, что оптимальной является транспортная развязка полутоннельного типа потому, как имеет наименьшее количество путепроводов, высокую среднюю скорость движения и наименьшую стоимость (рис.3). Данная развязка также сочетает в себе такие качества как, безопасность и удобство движения на пересечениях и примыканиях подъездных дорог.

Транспортная развязка совмещает полутоннель по основному ходу ТКАД и приподнятый путепровод по направлению Воронинские горки. С учетом существующего рельефа местности и отсутствия крупных подземных коммуникаций за счет минимального поднятия габарита над поверхностью возможна минимизация занимаемых земель для площади развязки.

Реализация предлагаемого варианта позволит сократить время задержки на 10 минут, увеличить в 1,5 раза пропускную способность по ТКАДУ и снизить количество ДТП в 2 раза.

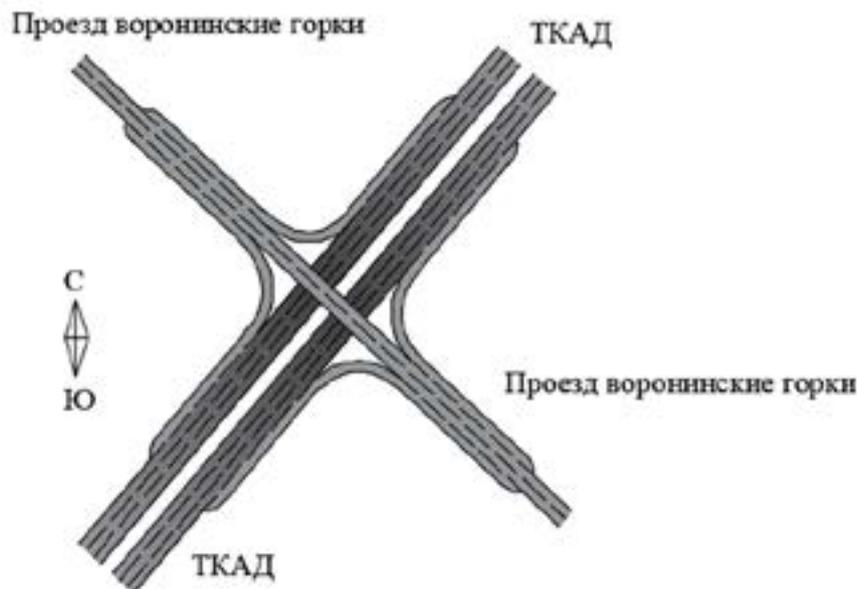


Рис. 3. Схема предлагаемой транспортной развязки

Литература

1. Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры городской агломераций Тюменской области – 32 с.
2. Показатель состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] «ГУОБДД МВД России» официальный сайт Госавтоинспекции. Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/>
3. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.
4. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*
5. Дубровин Е.Н., Ланцберг Ю.С. Изыскания и проектирование городских дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 471 с.

УДК 625.7/8

Светлана Алексеевна Мальцева,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: 12sveta111@mail.ru

Svetlana Alekseevna Maltseva,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: 12sveta111@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УКРЕПЛЕННОГО ГРУНТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

THE STRENGTHENED SOIL FOR INCREASE IN DURABILITY OF ROAD STRUCTURES

Проблема использования местных грунтов в дорожном строительстве заставляет создавать все больше методов улучшения свойств исходного массива грунта. К данным инженерным решениям относятся и стабилизация гидрофильных, пучинистых местных грунтов поверхностно-активными веществами с целью продления срока службы автомобильной дороги. Работы по стабилизации грунта - сложный процесс, который требует получения обширного списка исходных данных, лабораторных исследований, ин-

женерных расчетов и четкое соблюдение технологических операций. Важно и то, что система «стабилизатор-грунт» изменяема во времени и требует наблюдения. На рынке на сегодняшний день представлены различные виды стабилизаторов, поэтому перед инженером-проектировщиком стоит трудная задача выбора подходящей добавки для данных условий. Предполагается изучить состав, действие и применимость стабилизирующих добавок и выявить факторы и закономерности их работы, рассмотреть существующие объекты строительства, анализировать достоинства и недостатки данной технологии.

Ключевые слова: стабилизация, гидрофобизация, глинистые грунты, поверхностно-активные вещества, полифиллизатор, водостойчивость, морозное пучение, основание дорожной одежды.

The problem of use of local soils in road construction forces to create more and more methods of improvement of properties of the initial massif of soil. Stabilization of hydrophilic, puchinisty local soils surfactants for the purpose of life extension of the highway belongs to these engineering decisions. Works on stabilization of soil – difficult process which demands obtaining the extensive list of basic data, laboratory probes, engineering calculations and accurate observance of technological operations. Important and the fact that the stabilizer soil system is changed in time and demands observation. Different types of stabilizers therefore the design engineer is faced by difficult problem of the choice of suitable additive for these conditions are presented at the market today. It is supposed to study structure, action and applicability of the stabilizing «ПГСЖ-1» and «ПГСП-3» additives, to reveal factors and regularities of their work, to consider the existing construction objects, to analyze merits and demerits of this technology.

Keywords: stabilization, gidrofobization, clay soil, surfactants, polifilizator, water proofness, frosty pucheniye, basis of road clothes.

Грунт – это сложная полиминеральная дисперсная система, состоящая из твердой, жидкой и газообразной фаз. Соотношение в содержании различных фаз и их качественные отличия определяют всё многообразие строительных свойств грунтов. Воздействуя на фазовый состав природных грунтов, изменяя характеристики отдельных фаз и характер их взаимодействия, можно достичь искусственного изменения строительных качеств грунта в требуемом направлении. Теоретические основы и практические способы укрепления грунтов развиваются с 1930–40 годов.

По конечным результатам обработки грунтов в дорожном строительстве все существующие методы можно разделить на 3 группы:

- укрепление, т. е. повышение механической прочности;
- стабилизация;
- обеспыливание и повышение износостойкости верхнего слоя дорожного покрытия.

Всем известно, что укрепленные грунты – это грунты, обработанные в установке или на месте производства строительных работ различными вяжущими с добавками активных веществ различного назначения. При этом в результате сложных и разнообразных химических, физико-химических и физических процессов все компоненты смеси необратимо утрачивают свою дисперсность и грунтовая смесь превращается в прочный водо- и морозостойкий монолит [1, с. 285].

Последнее время все чаще и чаще встречается определение «стабилизация грунтов». В ОДМ 218.1.004–211 написано: «стабилизация грунтов–это технологический процесс обработки глинистых грунтов стабилизаторами, обеспечивающий улучшение их водно-физических свойств. Улучшение свойств происходит за счет действия многокомпонентных систем (стабилизаторов), главными составляющими которых являются поверхностно-активные вещества, придающие глинистому грунту водоотталкивающие свойства» [2, с. 4].

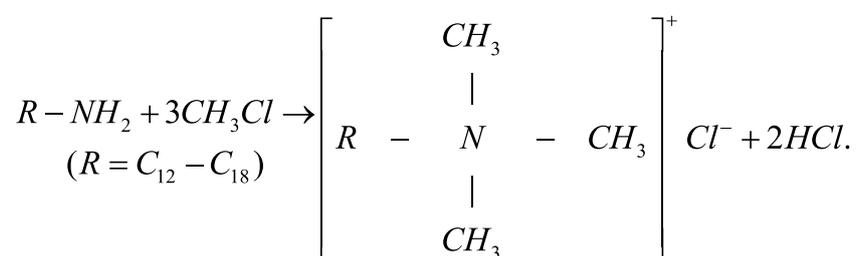
Напомним, что поверхностно-активные вещества (ПАВ) – это полимеры, в молекулах которых содержится полярная (гидрофильная часть) группа и неполярный, угле-

водородный радикал (гидрофобная часть). Данная асимметричная структура называется дифильной и именно она определяет главную особенность ПАВ: поверхностную активность, то есть способность ПАВ адсорбироваться на поверхностях раздела жидкой и твердой фаз, изменяя их свойства.

Разберемся с составом стабилизирующих добавок.

«ПГСЖ-1» – жидкий стабилизатор, на основе концентрата «Консолид 444», главной составляющей которого являются четвертичные аммониевые соединения – органические производные солей аммония со всеми замещенными атомами водорода на органические радикалы.

Водорастворимые четвертичные аммониевые соединения обычно получают при взаимодействии первичных аминов с галогенопроизводными углеводорода, например с метилхлоридом:



Данные соединения относятся к классу катионных ПАВ. Кроме аммониевых соединений в концентрате присутствуют высшие жирные амины, алкоксилат и другие сложные химические соединения, pH = 4,5 – 5. В готовом виде стабилизатор представляет собой концентрат, смешанный с водой в пропорции 1 к 4.

«ПГСП-3» – порошковый стабилизатор, на основе концентрата добавки «Солидрай». Это смесь катионных поверхностно-активных веществ, представляет собой светло-желтый порошок с запахом аммиака, включающий в своем составе стериламин 25–100%, диалкилэфир триэтаноламмоний метилсульфата 25–100%, изопропанол 5–10%, а также другие сложные вещества, pH = 9–10.

К главной составляющей данного стабилизатора являются амины (катионные безазотные ПАВ). Стериламин – производный стеариновой кислоты. Характерная особенность ПАВ на основе стеринов – наличие большой гидрофобной группы природного происхождения, которая, благодаря почти плоской структуре из четырех циклов, способствует плотной упаковке в поверхностных слоях.

В состав готового к употреблению «ПГСП-3» входит: концентрат «Солидрай», состоящий из смеси катионных поверхностно-активных веществ; добавок в виде цемента, извести, а так же шлаков и зол уноса.

Производитель концентратов – фирма «Консолид АГ», Швейцария. Производитель готовых к употреблению полифилизаторов – фирма ООО «МД Системы», Россия.

Отличительной особенностью стабилизаторов является изменение гидрофильной природы глинистого грунта на гидрофобную. Поэтому для обеспечения стабилизации связных грунтов необходимо знание основ процессов гидрофобизации [6, с. 1].

Гидрофобизация – изменение природы поверхности минеральных частиц воздействием на грунт небольшими дозами поверхностно-активных веществ. Физическая ее сущность

заключается в том, что смачиваемость или несмачиваемость грунта находится в зависимости от кристаллической структуры его минералов, характера их межпакетных и межмолекулярных связей. Основной причиной смачивания является наличие на поверхности минералов нескомпенсированных энергетически активных центров.

Заметим, что глина отличается очень малыми размерами (менее 0,002 мм), составляющих ее частиц и поровых каналов, большой удельной поверхностью, что определяет ее активное взаимодействие с жидкой фазой.

Свойства глины, наряду с размерами входящих в ее состав частиц определяет так же и её структура. По структуре глинистые минералы делятся на 2 основные группы: группа минералов, имеющих в результате изоморфных замещений электрически неуравновешенные решетки отрицательного знака, и группа минералов, которые не имеют изоморфных замещений и обладают нейтральным зарядом решетки. К первой группе относятся такие минералы, как монмориллонит и гидрослюды (иллит, глауконит, гидромусковит), ко второй – каолинит и галлуазит.

Отрицательный заряд минералов первой группы компенсируется обменными (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} и др.) и необменными (чаще K^{+}) катионами, которые адсорбируются практически на всей поверхности минерала, определяя его огромную активную поверхность.

Полное или частичное устранение смачивания минералов грунта водой может быть достигнуто путем уравнивания энергетически активных центров поверхности минералов грунта поверхностно-активными веществами, обладающими такой способностью, и в то же время, вследствие своей молекулярной природы не смачиваемыми водой. Крупные органические катионы обладают большим объемом и молекулярным весом, вследствие чего энергично и прочно сорбируются грунтом, вытесняя неорганические катионы с их обменных позиций [6, с. 2].

Молекулы ПАВ закрепляются на глинистых грунтах своими полярными группами, пленки адсорбированной воды утончаются, когезия между глинистыми частицами увеличивается. Аполярные же части ПАВ поворачиваются в противоположную сторону от глинистой частицы, придавая ей гидрофобные свойства (рис. 1).

Сложность гидрофобизации состоит в том, что на водной пленке, окружающей частицу, нужно создать дополнительную пленку из материала, который бы сохранял уже имеющуюся гидратную оболочку частицы (для возможности последующего уплотнения грунта) и отталкивал другие молекулы воды, поступающие со стороны.

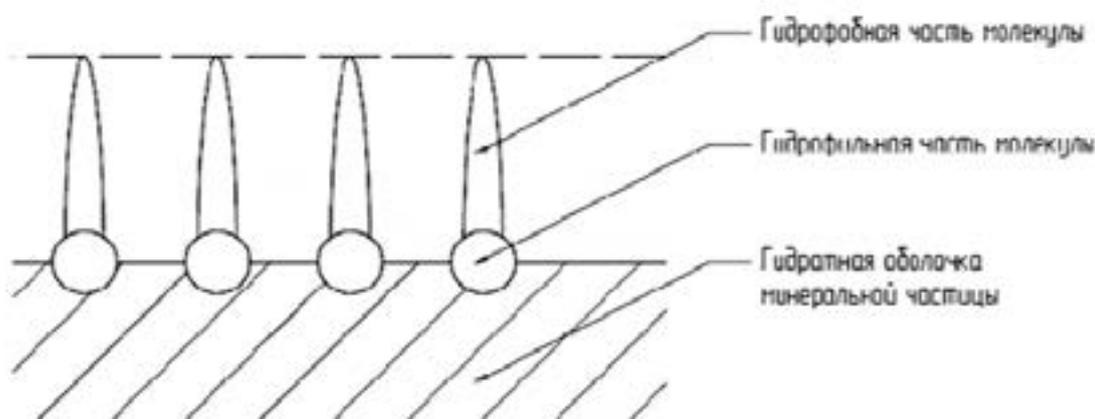


Рис. 1. ПАВ

В качестве гидрофильной части молекулы ПАВ выступают аминные соединения, а гидрофобной – цепь из углеводов общего вида: C_nH_{2n+2} .

Структурообразование глинистой составляющей при действии на них стабилизатора приводит к снижению удельной поверхности грунта, снижению катионной емкости и повышению гидрофобности.

Схематическое изображение структуры глинистой частицы, обработанной ПАВ представлена на рис. 2.

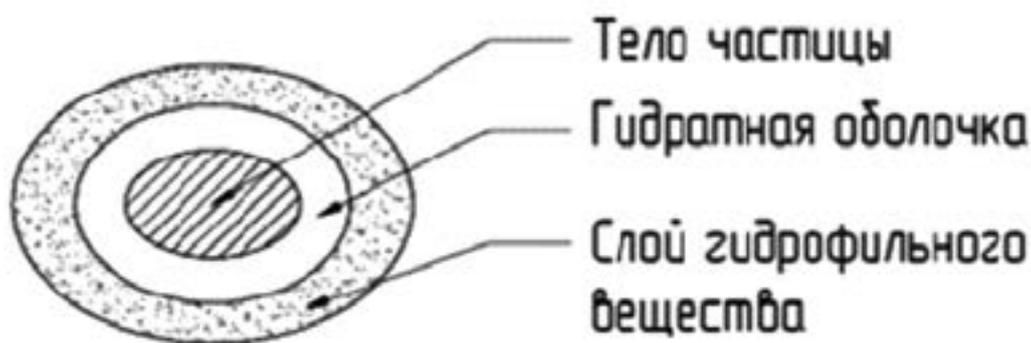


Рис. 2. Структура глиняной частицы

Гидрофобизированный грунт уменьшает способность адсорбировать воду, увеличивает прочность в водонасыщенном состоянии, снижает способность к объемным изменениям при изменении температур (набухание, усадка). А следовательно, строительные свойства данного грунта улучшаются.

Заметим, что проявление адгезионных свойств можно заметить не только у глинистых частиц, размером менее 0,002 мм, но и более крупных пылеватых частиц (0,05–0,002мм) [7, 12 с].

«ПГСЖ-1» представляет тип стабилизаторов, которые называются полимерными эмульсиями. Технологией строительства предусмотрено внесение эмульсии на разрыхленный грунт оптимального состава и дальнейшее перемешивание обработанного грунта. Внесение эмульсии может так же трактоваться как увлажнение грунта для достижения оптимальной влажности.

Однако, нельзя не сказать о плохой фильтрующей способности глинистых грунтов: стабилизатор при данном методе проникает лишь во внешние слои глинистого массива.

Кроме того, как правило, стабилизированные грунты, даже при правильно выбранном составе поверхностно-активных веществ не соответствуют всем требованиям по морозостойкости и водостойкости. Связано это и как с нестабильностью самого поверхностно-активного вещества (реакция на кислотность среды, механические воздействия и т. д.), так и со сложностью определения требуемой концентрации (доз) стабилизаторов. Именно поэтому в систему «стабилизатор–глинистые частицы» дополнительно вводят еще один компонент: вяжущее. Так, например, в составе второй добавки «ПГСП-3» имеются минеральные вяжущие: цемент, известь.

Концентрация минеральных вяжущих слишком мала, чтобы обеспечить грунтовому массиву монолитность, но достаточна, чтобы усилить коагуляционные связи, созданные ПАВ.

С действием стабилизаторов разобрались, теперь нужно ответить на вопрос: как правильно применять стабилизаторы?

1. Определение местных условий строительства и эксплуатации объекта. Обычно условия определяются заказчиками в технических заданиях на проектирование. Если местные условия позволяют применение полифилизаторов и для этого имеются соответствующие материалы (главным образом грунты), то выполняется определение требуемых параметров стабилизированного грунта в зависимости от его расположения в дорожной одежде (нижний, верхний слой основания или покрытие).

2. Характеристики укрепляемого грунта до стабилизации. Содержание глинистых частиц в используемых грунтах должно составлять не менее 10 % по массе грунта. [4, 6 с]. Допускается применение грунтов для стабилизации с содержанием пылеватых и глинистых частиц менее указанного предела при условии улучшения зернового состава глинами, суглинками и доведением количества пылеватых и глинистых частиц до требуемого уровня.

Перед производством работ по устройству земляного полотна необходимо провести инженерно-геологическое обоснование: строение, состав, состояние грунтов земляного полотна и подстилающих слоев; грунтовые воды, глубины залегания, динамика движения и минерализация; особенности рельефа и геологические процессы; физико-механические свойства грунтов.

К лабораторным исследованиям относятся: определение гранулометрического состава грунта, определение числа пластичности и природной влажности; определение оптимальной влажности и плотности сухого грунта; определение содержания органических примесей и гумусовых кислот; определение содержания легкорастворимых солей, сульфатов и хлоридов; определение прочности на сжатие и растяжение при изгибе; максимальную плотность обработанных грунтов при подборе составов смесей и приготовления образцов. При необходимости определяется так же и морозостойкость грунтов.

3. Выбор вида ПАВ. Коллоиды, входящие в состав глинистых грунтов, могут иметь отрицательные (например, коллоиды кремнекислоты), положительные заряды, быть электронеутральными, а иногда и «перезарезаться» (гидраты окиси железа) в зависимости от кислотности среды.

Катионные ПАВ, которые являются основным элементом добавок «ПГСЖ-1» и «ПГСП-3» больше подходят для грунтов, имеющих отрицательный электрический заряд, для карбонатных грунтов лучше выбрать анионные ПАВ [8, 3 с]. Но нельзя забывать и про общий рН грунта, так как кислотность среды влияет не только на коллоиды, но и на проявление свойств поверхностно-активных веществ.

4. Оптимальное количество ПАВ. Выбор концентрации ПАВ, его расхода должен определяться на стадии проектирования в лабораторных условиях на образцах грунтов, взятых с объекта строительства, что в реальных условиях выполняется редко, что заставляет проектировщика ориентироваться на средний расход смеси, данный в техническом регламенте организации [5, 15 с]. Создание опытного участка стабилизированного грунта на месте строительства – еще один способ получить исчерпывающие данные для проектировщика и снизить риски строительства.

Заметим, что переизбыток стабилизатора дает обратный эффект, вызывая понижение прочности связей между частицами. Добавки «ПГСЖ-1» и «ПГСП-3» не исключение.

5. Соблюдение технологий строительства и требований охраны окружающей среды. Технология строительства описана в стандарте организации и включает в себя работы: измельчение грунта основания в целях получения его оптимального состава, внесение добавки «ПГСЖ-1», перемешивание обработанного грунта, внесение в грунт воды для достижения оптимальной влажности, прокатка гладковальцовым катком и планировка поверхности автогрейдером, распределение добавки «ПГСП-3», финальное уплотнение и планировка грунта, а также пропитка битумной эмульсии при необходимости.

Так же актуален вопрос об охране окружающей среды. Химически активные вещества не должны наносить вред растительному и животному миру, а также, что не мало важно, изменять состав грунтовых и поверхностных вод.

В 2014 году предприятие ОГБУ «Костромаавтодор» в качестве эксперимента на объекте «Реконструкция автомобильной дороги «Подъезд к Спас» на участке км 2+000 – км 3+100 в Вохомском районе Костромской области» была выбрана технология с применением стабилизации грунта в основании дорожной одежды.

Категория дороги 4, дорожно-климатическая зона II-1, тип местности по увлажнению 1, тип дорожной одежды – переходный, срок службы 8 лет с уровнем надежности, равным 0,85. Приведенная интенсивность на 1-й год службы – 107,91 авт/сут, ежегодный прирост автотранспорта – 1 %.

На основании данных геологических изысканий сделан вывод о том, что основание земляного полотна представлено насыпным грунтом – песком пылеватым маловлажным ($S_r = 0,26-0,34$), средней плотности (коэффициент пористости $e = 0,6-0,8$), неоднородным по составу (имеются включения гравия), мощностью 0,9–1,8 м.

Нормативная глубина промерзания грунтов для данного района для песков пылеватых 1,99 м, а на участках свободных от снежного покрова мощность сезонномерзлого слоя может увеличиться до 2,5–3,0 м. Песок пылеватый по пучистости относится к IV группе – сильнопучинистый.

Пылеватый песок очень чувствителен к влаге, так как частицы имеют большую удельную поверхность. Водонасыщенные пылеватые пески имеют очень низкий модуль деформации и не пригодны для строительства. Исходя из этого необходимо обеспечить данный грунт от длительного контакта с водой, а кроме этого, исключить промерзание данного грунта.

Были предложены 4 варианта дорожной одежды (ДО), 2 из которых были традиционными способами, а оставшиеся 2 – никогда раньше не применявшиеся в Костромской области.

Варианты конструктивных слоев дорожной одежды представлены в табл. 1.

По результатам анализа выбран и согласован с заказчиком 4 вариант конструкции дорожной одежды с применением новых технологий – стабилизации грунта с применением полифилизаторов.

Ниже представлены фотографии дороги до реконструкции (рис. 1) и сразу после (рис. 3) [3].

Предложенные варианты слоев ДО

В-ты	Слои ДО	
	1	2
1	$h = 30,00\text{см}$ «Щебень I–III класса прочности, уложенный по способу заклинки мелким щебнем осадочных пород, $E = 450\text{ МПа}$ »	$h = 20,00\text{см}$ «Песок мелкозернистый, $E = 100\text{ МПа}$, $c = 0,005\text{ МПа}$, $\varphi = 38^\circ$ »
2	$h = 25,00\text{ см}$ «Щебень I–III класса прочности, уложенный по способу заклинки мелким щебнем осадочных пород $E = 450\text{ МПа}$ »	$h = 30,00\text{ см}$ «Песок мелкозернистый $E = 100\text{ МПа}$, $c = 0,005\text{ МПа}$, $\varphi = 38^\circ$ »
3	$h = 35,00\text{ см}$ «Пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и пылеватая укрепленные комплексными вяжущими, III класс прочности $E = 380\text{ МПа}$, $R_0 = 0,28\text{ МПа}$ »	–
4	$h = 5,00\text{ см}$ «Асфальтобетон горячий плотный тип Б на вязком битуме БНД и БН марки: 90/130, $E = 2400\text{ МПа}$ »	$h = 25,00\text{ см}$ «Пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и пылеватая укрепленные комплексными вяжущими III класс прочности $E = 380\text{ МПа}$, $R_0 = 0,28\text{ МПа}$ »



Рис. 3.



Рис. 4.

Для дорог III–IV категорий последнее время все более актуальным становится вопрос использования местных грунтов для устройства земляного полотна. Однако, чаще всего местный грунт не является полностью пригодным для строительства, что вызывает необходимость искать методы улучшения его свойств.

Один из путей решения данной проблемы является стабилизация грунта добавками на основе ПАВ – «ПГСЖ-1» и «ПГСП-3». Но этот путь не такой простой, как кажется на первый взгляд. Во-первых, это связано с необходимостью тщательных лабораторных исследований по подбору типа стабилизатора и его концентрации. Во-вторых, некоторыми пробелами в нормативных документах, представляющих информацию в виде стандартов организаций. И, в-третьих, немногочисленность объектов, возведенных с применением технологии стабилизации грунтов, на основе которых можно вывести необходимые закономерности изменения свойств стабилизированных грунтов во времени.

Литература

1. Дорожно-строительные материалы: Учеб. для вузов / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.
2. ОДМ 218.1.004-2011. Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве / Информавтодор. – М.: 2011. – 14 с.
3. ООО «БарукоРемСтрой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baruco.ru>.
4. СТО 98989709–002–2010. Смеси грунтовые, обработанные полифилизаторами «ПГСЖ-1», «ПГСП-3», «ПГСБ-2» для автодорожного и аэродромного строительства / МД-Системы. – М. – 2010. – 31 с.
5. Технологический регламент на реконструкцию и капитальный ремонт рабочего слоя земляного полотна и оснований дорожных одежд нежесткого типа с использованием полифилизаторов грунтовых стабилизирующих ООО «МД-Системы» («КРПУ») кирование, рыхление / фрезирование, перемешивание, уплотнение/МД-Системы. – М., 2013. – 64 с.
6. ФАУ «РосдорНИИ»: Абрамова, Т. Т. Стабилизаторы грунтов в отечественном дорожном и аэродромном строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rosdornii.ru/files/10-01-14/04.pdf>
7. Зимон А. Д. Адгезия пыли и порошков. Изд. 2-е, пер. и доп. М., – «Химия», 1976. – 432 с.

8. Федулов, А. А. Применение поверхностно-активных веществ (стабилизаторов) для улучшения свойств связных грунтов в условиях дорожного строительства: дис. ... канд. тех.наук: 05.23.11 / Андрей Александрович Федулов, МАДГТУ (МАДИ) – М., 2005. – 165 с.

УДК 67.08; 691.54; 67.03

Иршат Рафисович Мухаррямов,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: mr.irshat@mail.ru

Irshat Rafisovich Mukharryamov,
postgraduate
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: mr.irshat@mail.ru

ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА КАК ГАРАНТ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

ROAD CLOTHES WITH THE APPLICATION OF NEFELINE SLUDGE AS A GUARANTOR OF THE DURABILITY OF THE AUTOMOBILE ROAD

Дорожное строительство с каждым годом совершенствуется, продолжается усиленное использование различных инновационных строительных материалов и технологий в целях сокращения расходов и повышения срока службы транспортной сети дорог. В статье уделено небольшое внимание на строительстве автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения (НИД) с использованием нефелинового шлама. Приведены опытные данные применения данного отхода промышленности. Прочностные показатели конструктивных слоев автомобильной дороги. Приводится ряд недочетов в части применения данного материала. Данный материал поможет избежать в какой-то мере трещинообразование на покрытии дороги.

Ключевые слова: нефелиновый шлам, долговечность, автомобильная дорога, дорожная одежда, земляное полотно, отходы промышленности.

Road construction is improving every year, and the increased use of various innovative building materials and technologies continues in order to reduce costs and increase the service life of the road transport network. The article paid little attention to the construction of roads with low traffic (NID) using nepheline sludge. The experimental data on the use of this waste industry are given. Strength indicators of the structural layers of the road. A number of shortcomings in the use of this material are given. This material will help in some way to avoid cracking on the road surface.

Keywords: nepheline sludge, durability, road, road pavement, roadbed, industrial waste.

Дорожная одежда с применением нефелинового шлама как гарант долговечности автомобильной дороги подразумевается дорога с низкой интенсивностью движения. Автомобильные дороги с низкой интенсивностью движения (НИД) IV–V технических категорий [1]. Почему с низкой интенсивностью движения? Принцип от малого к большому – декомпозиция большой задачи. Вопрос применения нефелинового шлама в основании и в земляном полотне автомобильной дороги относительно новый. Данному вопросу не более 20-ти лет, если говорить о нефелиновом шламе пикалёвского глинозёмного завода, и, следовательно, основные серьезные предложения по использованию этого ценного отхода при строительстве дорог начали появляться в последние 5–10 лет. Поэтому, чтобы избежать серьезных ошибок (просчетов) с неудачным применением шлама на дорогах высоких категорий необходимо научиться успешно использовать его на дорогах

IV и V категорий. Это экономически целесообразно! Времени на строительство и согласование уйдет в разы меньше. Что такое нефелиновый шлам пикалёвского глиноземного завода (НФШ ПГЗ)? Это побочный продукт комплексной переработки нефелиновых руд на глинозем и содопродукты. Представляет из себя хороший строительный материал. Медленнотвердеющее вяжущее. В свежем отвальном состоянии представляет собой влажный сыпучий пескообразный материал [2]. Почему именно нефелиновый шлам? Потому что данного материала (отхода) в отвалах завода имеется большое количество. На каждую тонну выпускаемого ценного глинозема приходится порядка 7 тонн шлама [2].

НФШ ПГЗ можно применять в строительстве дорог, но он не до конца изучен, как например шлак. Необходимость использования в строительстве дорог данного материала возникает по экологическим и экономическим соображениям.

Что означает долговечная дорога? Если подойти к данному вопросу относительно, то долговечная дорога – это значит, что если дорога служит больше своего проектного срока и срока гарантии, которую дает строительная организация, то она по факту прохождения этих двух сроков будет считаться долговечной.

Гарантия того, что дорога будет служить долго! Наличие чего гарантирует долгий срок службы автомобильной дороги? И что должно соблюдаться и из чего должна состоять дорога? Гарантия долговечности \approx опыту. Любая гарантия основана на опыте! Проектировщик или строитель может уверенно предоставить гарантию заказчику о том, что дорога прослужит N лет (некоторое время), если у него уже был опыт. Это без сомнений. Применение нефелинового шлама как гарант долговечности автомобильной дороги. В России есть исследования на тему применения шлама в дорожном строительстве применяли шламы ачинского и волховского глиноземных заводов, бокситовый шлам различных заводов. Имеются не только теоретические результаты, но и опытные участки, и не только опытные, но и эксплуатируемые по сей день дороги. Находятся они в хорошем эксплуатационном состоянии. Есть запатентованные работы.

Какие дороги были построены с использованием шламов (в каких конструктивных слоях применяли и какой шлам?) 4 опытных участка в г. Павлодар (Казахстан) общей протяженностью 5,7 км. Дорожная одежда жесткого типа. Шлам применяли в основании дороги. Бокситовый шлам Павлодарского алюминиевого завода. В итоге получили высокую морозостойкость образцов (200 циклов) и высокую прочность при сжатии (7,5–20 МПа) [3]. Тест «Лендорстрой» ГлавЛенинградИнжСтроя (1975г). Суммарно было построено 100 тыс. м² дорог с использованием различного рода структурообразующего материала в том числе и шлама (до 10 тыс. м²). Шлам использовали в основании дороги в качестве структурообразующего материала. Красный бокситовый шлам с Бокситового глиноземного завода. Образцы имели прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии более 106 Па (твердение в течение 28 суток в воздушно-влажной среде) [4]. Опытный участок реконструируемой а. д. Красноярск-Железногорск (4 км). Применяли Ачинский НФШ в основании дороги. Морозостойкость 80 циклов. В момент укладки слой приобретал прочность 1,5 МПа и добирался до 25 МПа [5] (2008 год). Покрытие переходного типа на 1-ом этапе реконструкции автодороги в г. Пикалёво. Модуль упругости дорожной одежды на 10–15 % выше требуемой модули упругости для автомобильных дорог I–II категорий согласно отчетам местных проектно-строительных фирм.

Сравнивая химический состав шлама пикаёвского глиноземного завода и шламов использованных при строительстве дорог, приведенных выше становится понятно, что

НФШ ПГЗ имеет более качественный химический состав. Можно предположить, что применение этого шлама даст более высокие показатели по прочности.

Использовать шлам можно в молотом и немолотом виде. С активаторами твердения (гипс, известь, цемент) и без. Применять при отсыпке земляного полотна, при устройстве щебеночного основания и устройстве покрытия на дорогах IV и V категорий.

Делая выводы, хотелось бы отметить. Несмотря на то, что НФШ ПГЗ кажется надо всю применять в дорожном строительстве, чтобы наши дороги служили долго, есть недоработки в этом направлении. Недоработка касается:

- назначения заводом отпускной стоимости шлама с отвалов (хотя шлам это отход);
- оборудования и техники для работы с этим материалом;
- низкая гидравлическая активность

Литература

1. СП 243.1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения. М.: ФГУП ЦПП, 2015. 86 с.
2. Мухаррямов И. Р. Вопросы использования нефелиновых шламов в дорожных конструкциях // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 1. – С. 192–197. – Библиогр.: 8 назв. . – ISSN 1999–5571
3. Филатов С. Ф. Строительство оснований дорожных одежд из обработанных шламовым вяжущим каменных материалов различной прочности: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1990. – С. 20.
4. Бескровный В. М. Применение нефелинового шлама для строительства оснований автомобильных дорог в условиях Сибири: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Омск, 1983. – С. 15.
5. Кузнецов, А. П. Дорожные основания из щебня, укрепленного бокситовым шламом и обожженными, известняковыми отходами // Автомобильные дороги. – Л., 1983. – С. 26.

УДК 504.75

Евгений Сергеевич Полынцев,
аспирант

Александр Владимирович Квитко,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: kafedra-ad@yandex.ru, www.esp@mail.ru

Evgenii Sergeevich Polyntsev,
post-graduate student

Aleksandr Vladimirovich Kvitko,
PhD of Tech. Sci., Associate Professor
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: kafedra-ad@yandex.ru, www.esp@mail.ru

УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВЫМИ ГЕРМЕТИКАМИ

STRENGTHENING OF SOIL OF A ROAD BED OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS WITH POLYURETHANE FOAM SEALANTS

В статье рассматриваются способы получения альтернативных строительных материалов, с помощью укрепления грунтов органическими вяжущими на основе синтетических смол, применение которых в дорожном строительстве, позволило бы обеспечить потребности строительных организаций в качественных строительных материалах и обеспечило бы надежную работу грунтовых массивов земляного полотна транспортных сооружений на всем расчетном сроке службы. Предлагается, новый, альтернативный способ укрепления грунтов с помощью пенополиуретановых герметиков, положительно зарекомендовавших себя в гражданском строительстве в виде монтажных пен. Описаны способ укрепления грунта герметиками, свойства и его физико-механические характеристики. Описаны результаты пробного опыта укрепления грунта пенополиуретановым герметиком. На основании проведенной работы, сделаны выводы.

Ключевые слова: автомобильная дорога, земляное полотно, укрепление грунтов, дорожная одежда, органическое вяжущее, пенополиуретановый герметик, монтажная пена.

The article discusses ways to obtain alternative building materials, by strengthening the soil with organic binders based on synthetic resins, the use of which in road construction, would meet the needs of construction companies in high-quality building materials and would ensure reliable operation of the soil arrays of the roadbed of transport structures throughout the estimated service life. It is proposed a new, alternative way to strengthen the soil with polyurethane foam sealants, positively proven in civil construction in the form of mounting foams. The method of soil strengthening by sealants, properties and its physical and mechanical characteristics are described. The results of the trial experience of soil strengthening with polyurethane foam sealant are described. On the basis of the work done, conclusions are drawn.

Keywords: road, subgrade, strengthening of soils, road clothes, organic binder, polyurethane foam sealant, polyurethane foam.

При строительстве дорог, на большинстве территорий России в качестве грунтов естественных оснований выступают связные грунты. Это вызвано тем, что ресурс местных строительных материалов пригодных для возведения земляного полотна и рабочего слоя, зачастую не может в полной мере обеспечить потребности строителей. В целях снижения стоимости строительства, земляное полотно возводят из местных пылеватых и глинистых грунтов.

В процессе эксплуатации дорог, земляное полотно подвергается внешним природно-климатическим воздействиям. Факторы, воздействующие на земляное полотно разнообразны и зависят от времени года. Основными факторами, влияющими на работоспособность земляного полотна, являются: промерзание и переувлажнение грунтов земляного полотна. Опыт эксплуатации дорог показывает, что срок службы покрытий на дорогах, проходящих по переувлажненным местам значительно меньше, а основные разрушения происходят на этапах чрезмерного переувлажнения земляного полотна.

Переувлажнение связных грунтов земляного полотна, приводит к снижению их прочности более чем в два раза, за счет чего снижается общая прочность дорожных одежд более чем на 25 %. Снижение прочности грунта, при повышении влажности, отчетливо видно на графике на **рис. 1**. [1] Максимальное снижение прочности дорожной одежды происходит в весенний период, когда оттаивание уходит за пределы дополнительного слоя основания в рабочий слой земляного полотна [2].

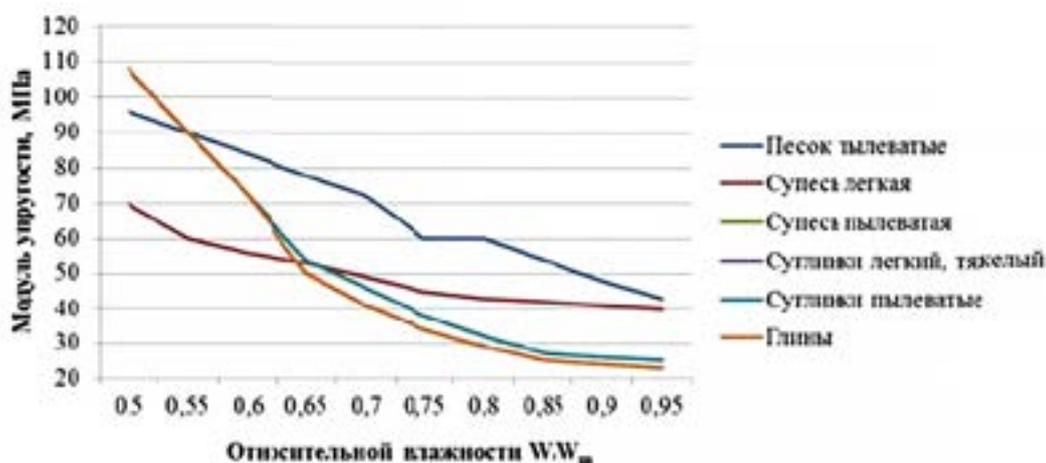


Рис. 1. Динамика изменения прочности грунта

Учитывая данное обстоятельство и увеличение нормативных межремонтных сроков автомобильных дорог I–IV категорий, с 2017 года, в два раза – до 24 лет [3], еще бо-

лее остро встает вопрос о способах возведения земляного полотна, способного выдержать несколько межремонтных циклов и при этом сохранить прочностные характеристики, достаточные для безопасной эксплуатации сооружения.

Решение данной проблемы необходимо искать в достижении такого состояния земляного полотна, чтобы его влажность в течении года не превышала оптимальной влажности. Так, как прочностные свойства грунтов, в таком состоянии, практически достигают максимума [4].

В настоящее время, в целях решения этой проблемы, производят укрепление грунтов земляного полотна механическими, физическими или химическими методами. Однако, основываясь на результатах ранее проведенных исследований [5], можно сказать, что известные методы имеют большой ряд ограничений и недостатков. В частности, это заключается в свойствах грунтов, не удовлетворяющих требованиям нормативной документации [6, 7, 8], в части числа пластичности, зернового состава, содержания гумусовых частиц, степени засоленности, влажности и т. д. Поэтому, еще более актуальной встает вопрос о поиске научных решений, позволяющих продлевать жизненный цикл земляного полотна, при любых грунтовых условиях.

Способ укрепления грунтов земляного полотна пенополиуретановыми герметиками, основывается на применении положительно зарекомендовавшей себя в гражданском строительстве монтажной пене (далее – Герметик). Пенополиуретановый герметик – это термореактивный полимер, относящийся к конденсационному типу, состоящий из изоцианата, полиола и вспомогательных веществ (катализаторы, вспениватели и т. д.).

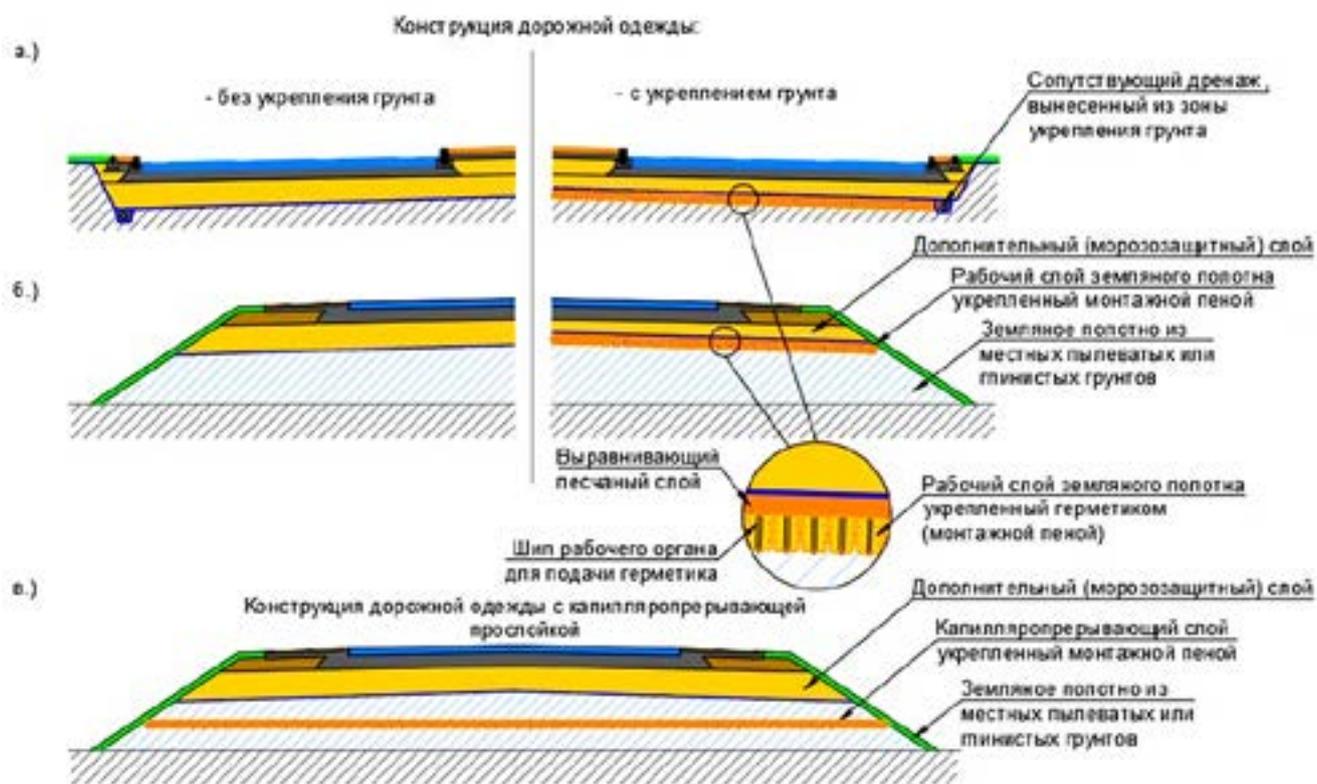


Рис. 2. Устройство земляного полотна автомобильной дороги, с укрепленным грунтом по системе:
 а.) «земляное полотно – слабое основание»; б.) «дорожная одежда – рабочий слой»;
 в.) в средней части устраиваемого земляного полотна

Монтажная пена обладает рядом незаменимых в строительстве свойств, за счет которых может обеспечить необходимое качество укрепления грунтов любых типов. К таким свойствам можно отнести:

- быстроту процесса укрепления (полное застывание пены максимум 24 часа, стандартное от 4 до 8 часов);
- высокую адгезию герметика с частицами грунта (адгезия пены выше к влажным поверхностям, что в условиях укрепления водонасыщенных грунтов несомненно является плюсом);
- увеличение объема, вводимого герметика (до 20 раз). За счет значительного увеличения объема, пена проникает в микропоры грунта, поглощая необходимую для формирования собственной структуры и вытесняя лишнюю влагу;
- осушение слабых водонасыщенных грунтов (механизм сшивания однокомпонентных полиуретановых герметиков осуществляется за счет взаимодействия изоцианатных групп с влагой) [9];
- формирование слоя с низким коэффициентом теплопроводности (теплопроводность пены 0,003 Вт/мК).

Способ укрепления грунтов Герметиками, можно применять на контакте систем «дорожная одежда – слабое основание» (рис. 2, а), «дорожная одежда – земляное полотно» (рис. 2, б), так и в средней части устраиваемого земляного полотна (рис. 2, в). Благодаря своим свойствам, Герметик может не только повысить водо-/морозостойкость и прочностные показатели грунта, но и обеспечить формирование капилляропрерывающей и паронепроницаемой изолирующей прослойки, что особенно актуально во II дорожно-климатической зоне, при борьбе с образованием оглеенных грунтов в земляном полотне [5].

В России и ряде зарубежных стран, проводятся исследования, по укреплению грунтов оснований и покрытий автомобильных дорог синтетическими смолами холодного отверждения [10, 11]. В качестве вяжущих материалов используются добавки: карбамидоформальдегидных смол различного состава, фурфуроланилиновых смол; резорцинформальдегидных смол; акриловых соединений; лигносульфатовых и лигнопротенновых соединений; кремнийорганических и других смол [12].

В ходе проведенных исследований, на основе полученных результатов были сделаны следующие выводы: добавки синтетических смол обеспечивают образование прочной и гидрофобной структуры, водо- и морозостойкость укрепленного грунта; образцы, полученные при укреплении синтетическими смолами, из суглинистых грунтов выдержали до 50 циклов замораживания-оттаивания, из песчаного грунта – 115 циклов; легкосуглинистые и глинистые грунты, при влажности равной нижней границе текучести, приобретают водостойкость и значительную прочность; конденсационные полимеры, менее чувствительны к примесям в грунтах и кислороду воздуха, чем полимеризационные, что способствует более стабильному отверждению [12].

Также, эксперименты по укреплению грунтов резорцинформальдегидными смолами показали способность вяжущего связывать воду в количестве, превышающей массу смолообразователей в 2–2,5 раза. Это позволило исследователям сделать вывод о целесообразности ее применения для укрепления переувлажненных грунтов. [12].

В настоящее время исследования, проводимые в области применения полиуретановых вяжущих в дорожном строительстве, в основном направлены на укрепление откосов, выемок, насыпных сооружений, конусов мостов и путепроводов, поверхность кото-

рых укреплена щебнем или гравием, с целью предохранения их от воздействия внешних природных факторов [13–15].

Входе подготовки к экспериментальной части исследования, на базе кафедры «Автомобильных дорог, мостов и тоннелей» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, был подготовлен и проведен пробный опыт по укреплению связного грунта Герметиком. В качестве вяжущего была выбрана, однокомпонентная, всесезонная, полиуретановая пена. Эксперимент показал, что при вводе вяжущего в грунт (на глубину 10–15 см.), происходит активное взаимодействие (слипание), грунта и герметика. В процессе первичного и вторичного расширения вяжущего, наблюдается вклинивание пены в грунт, грунт «поглощается», при этом формируя единую систему «грунт – вяжущее». Расширение герметика проходило равномерно во все стороны, и составило около 10 см от прокола. При этом сформировался цилиндрический пласт укрепленного грунта с краями неправильной формы, диаметром около 20 см, представляющий собой монолит из застывшей пены с вкраплениями грунта. Также прослеживался частичный выпор пены на поверхность, с формированием «шапки» из застывшей пены. Срез образца представлен на рис. 3.



Рис. 3. Срез образца грунта, укрепленного пенополиуретановым герметиком

При дополнительном механическом перемешивании грунта и вводимой пены, непосредственно после впрыскивания в грунт, сформировался слой укрепленного грунта с более равномерно распределенными частицами грунта.

Выводы.

1. По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что способ укрепления грунта пенополиуретановым герметиком является актуальным, перспективным и более эффективным способом, по сравнению с применяемыми. Благодаря простоте, обширной сфере применения, быстрому и качественному конечному результату, метод будет востребован в сфере дорожного и гражданского строительства.

2. Пенополиуретановый герметик относится к конденсационному типу, а значит менее чувствителен к примесям в грунтах и кислороду воздуха, что значительно расширяет область его применения.

3. Получаемый строительный материал, характеризуется низким коэффициентом теплопроводности и позволяет:

- значительно уменьшить толщину дополнительного слоя дорожных одежд;
- обеспечить стабильный водно-тепловой режим земляного полотна;
- сохранить высокие прочностные характеристики земляного полотна на уровне прочности слагаемых грунтов при оптимальной влажности;
- предотвратить морозное пучение земляного полотна.

4. Проведенный пробный опыт укрепления грунта Герметиком показал эффективность и работоспособность предложенного метода. Простота ввода в грунт и скорость набора прочности, может обеспечить непрерывность строительного-монтажных работ, на участках прохождения трассы со специфическими грунтами.

Литература

1. Каменчуков, А.В. Оценка работоспособности дорожных одежд [Текст] / А. В. Каменчуков, К. И. Богдановская // Международный сборник научных трудов Дальний восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. 2015. – С. 59–62.
2. Каменчуков, А. В. Тенденции изменения прочности дорожных одежд [Текст] / А. В. Каменчуков, В. А. Ярмолинский, В. В. Лопашук // Международный сборник научных трудов Дальний восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. – 2016. – Том 16. С. 91–96.
3. Постановление правительства Российской Федерации от 30 мая 2017 г. №658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения.
4. Тулаев, А. Я. Строительство улиц и городских дорог в 2 ч. Ч.1 Сооружение земляного полотна / А. Я. Тулаев, А. А. Авсеенко, Л. С. Малицкий. – Москва: Стройиздат, 1987 – 480 с.
5. Полынцев, Е. С. Укрепление грунтовых массивов оснований автомобильных дорог пенополиуретановыми герметиками [Текст] / Е. С. Полынцев // Материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – С. 21–27.
6. Руководство по грунтам и материалам, укрепленным органическими вяжущими / РОСАВТОДОР – Утвержден 15.03.2003 – Москва: 2003 – 68 с.
7. ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства: издание (август 2005 г.) с Изм. № 1, 2 / Госстрой России – Введ. 01.01.1995 – М.: Стандартинформ, 2005 – 16 с.
8. ГОСТ 30491–97 Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства / Госстрой России – Введ. 01.09.1997 – М.: ГУП ЦПП, 1997 – 26 с.
9. Тимакова К. А. Одно- и двухкомпонентные полиуретановые герметики [Текст] / К. А. Тимакова, С. Е. Логинова, Ю. Т. Панова // Современные наукоемкие технологии – 2013. – № 8–1 – С. 107–108.
10. Першин, М. Н. Теория и методы укрепления переувлажненных грунтов смолами холодного отверждения [Текст] / М. Н. Першин, А. П. Платонов, К. П. Глинская // Материалы к VI Всес. совещ. по закреплению и уплотнению грунтов («Теория и методы искусств. улучшения грунтов различных петрографич. типов»). – Москва: Изд-во МГУ, 1968, с. 174–178.
11. Платонов А. П. Смолы холодного отверждения и применение их при укреплении грунтов [Текст]: Монография / А. П. Платонов – Ленинград : [б. и.], 1966 – 141 с.
12. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном строительстве) / В. М. Безрук, И. Л. Гурячков, Т. М. Луканина, Р. А. Агапова – Москва: Транспорт, 1982 – 231 с.
13. Кочетков, А. В. Использование полиуретановых вяжущих для ремонта откосов, конусов мостов и путепроводов [Текст] / А. В. Кочетков, Л. В. Янковский // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология – 2017. – № 3 – С. 106–120.
14. Задирака, А. А. Применение полиуретановых композитных составов для устройства оснований и/или покрытий транспортных сооружений [Текст] / А. А. Задирака, Ю. А. Гагарина // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова – 2017. – № 4 – С. 72–75.

15. ОДМ 218.3.093–2017. Методические рекомендации по применению полиуретанового вяжущего для укрепления откосов, выемок, насыпных сооружений, конусов мостов и путепроводов / Росавтодор – Распор. от 28.06.2017 – М. 2017 г. – 84 с.

УДК 625.731.1

Сергей Павлович Санников,

канд. техн. наук, доцент

Вячеслав Владимирович Белкин,

студент

(Тюменский индустриальный университет)

Email: sannikovsp@tyuiu.ru, scifen.slava@gmail.com

Sergey Pavlovich Sannikov,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor

Vyacheslav Vladimirovich Belkin,

student

(Tyumen industrial University)

Email: sannikovsp@tyuiu.ru, scifen.slava@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

DESIGN OPTIMIZATION OF THE SUBGRADE ON PERMAFROST SOILS

В статье представлена последовательность разработки конструкций земляного полотна в условиях распространения многолетней мерзлоты с привязкой к конкретным условиям Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области. Предложены альтернативные конструкции земляного полотна с применением теплоизоляционного материала. Изолятор в конструкции насыпи применен локально под откосной частью. Выполнены расчеты показателей верхней границы многолетнемерзлых грунтов на основе математического моделирования в программном комплексе. Исследования показали, что грамотное применение теплоизоляционного материала в конструкциях земляного полотна целесообразно и экономически эффективно.

Ключевые слова: обустройство месторождений, автомобильная дорога, земляное полотна, многолетнемерзлые грунта, теплоизоляционный материал

The article presents the sequence of the development of the earth web structures in the conditions of permafrost propagation with reference to the specific conditions of the Yamal-Nenets Autonomous district of the Tyumen region. Alternative designs of the earthen cloth with application of a heat-insulating material are offered. The insulator in the embankment construction is applied locally under the slope part. Calculations of indicators of the upper boundary of permafrost soils on the basis of mathematical modeling in the software package. Studies have shown that the proper use of thermal insulation material in the structures of the roadbed is appropriate and cost-effective.

Keywords: construction of deposits, road, roadbed, permafrost, thermal insulation material

Ежегодно, в рамках освоения нефтяных и газовых месторождений, тратиться колоссальное количество денежных средств на строительство новых автомобильных дорог, проходящих по территории распространения многолетней мерзлоты. Многие из них возводятся по проектам, содержащим простые и типовые технические решения [1]. Возникает резонный вопрос: возможно ли снижение стоимости строительства автодорог, без ущерба их качеству, при использовании теплоизоляционного материала в конструкциях земляного полотна?

При проектировании земляного полотна, в условиях многолетней мерзлоты руководствуются, как правило, первым принципом. Этот принцип заключается в обеспечении поднятия верхней границы многолетнемерзлых грунтов (далее – ВГММГ) не ниже подошвы насыпи и сохранении его на этом уровне в течение всего периода эксплуатации дороги (рис. 1).

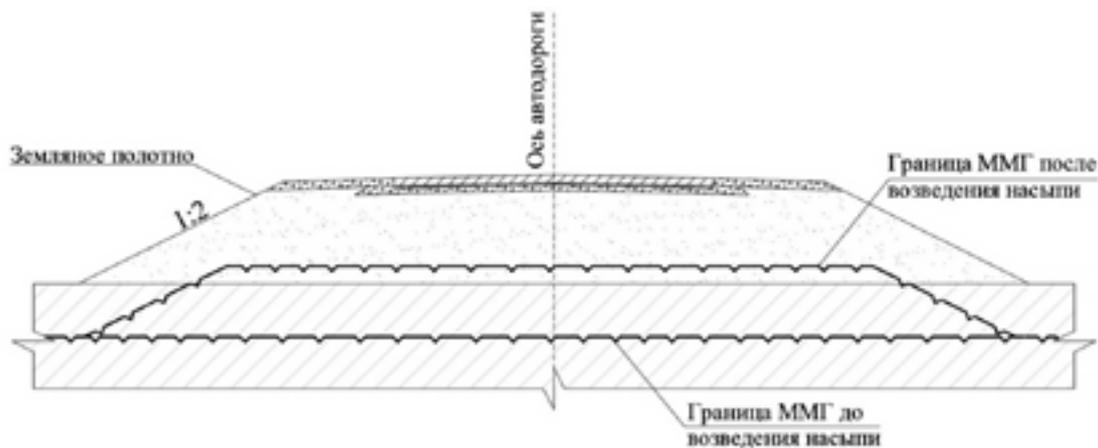


Рис. 1. Конструкция земляного полотна на участках вечной мерзлоты, запроектированная по первому принципу

Как показывает опыт, автомобильные дороги на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (далее – ЯНАО), запроектированные по первому принципу, существуют и успешно эксплуатируются по сегодняшний день.

Исходя из природно-климатических условий ЯНАО, была определена высота «традиционной» конструкции насыпи [2]. Для обеспечения сохранности ВГММГ необходимо, чтобы высота насыпи была не менее 2,21 метров. Геометрические параметры конструкции представлены на рис. 2.

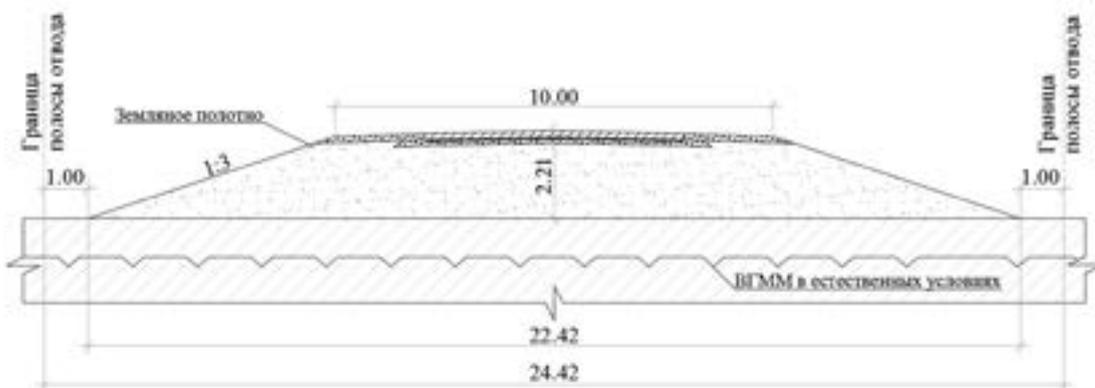


Рис. 2. Параметры «традиционной» конструкции земляного полотна

Как, будет работать данная конструкция, покажет время. Но и сегодня мы можем смоделировать процесс ее работы, применив для этого математический аппарат и современное программное обеспечение.

Для определения параметров ВГММГ, был произведен теплотехнический расчет с последующим моделированием в программном комплексе ELCUT. Модуль, которого «теплопередача», может быть использован для проектирования и анализа теплового состояния различных систем. С применением данного модуля можно вычислить, как установившееся распределение температуры, так и изучить процессы нагрева и охлаждения.

Целью теплотехнического расчета было построение модели распределения температурных полей в поперечном разрезе насыпи и определение положения верхней границы многолетней мерзлоты [3]. Выполнив расчет для «традиционной» конструкции можно обозначить геометрические параметры расположения ВГММГ в пространстве. Определение данных показателей необходимо для обеспечения целостности и устойчивости земляного полотна автомобильной дороги в период ее эксплуатации. На рис. 3 представлена модель отображения температурных полей в поперечном профиле.

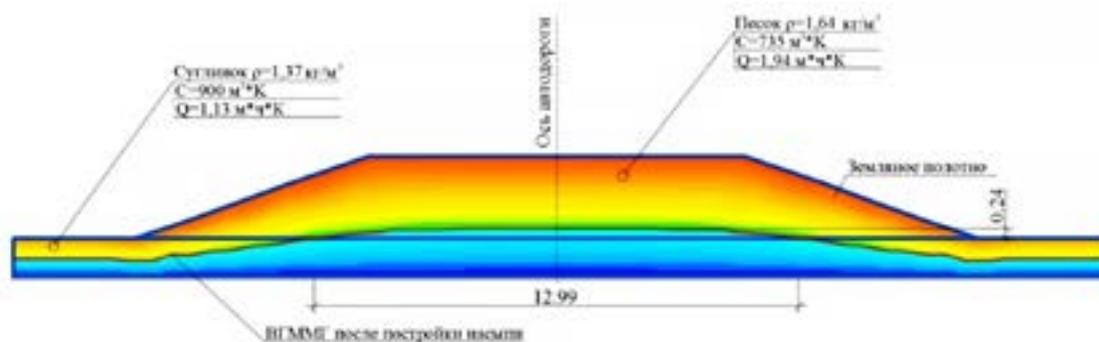


Рис. 3. Распределение температурных полей в поперечном профиле для «традиционной» конструкции земляного полотна

Анализ расчетных показателей традиционной конструкции показал, что ВГММГ поднимается в тело насыпи на 0,24 метра, что составляет 10,86 % от ее высоты, ВГММГ распространяется в насыпи на 12,99 метров по ширине, что составляет 57,96 % от всей длины её подошвы.

Данные показатели являются ключевыми при проектировании конструкций земляного полотна, в условиях распространения многолетней мерзлоты. То есть эти параметры в дальнейшем приняты в качестве граничных условий для разработки конструкций земляного полотна с применением теплоизоляционного материала.

Достижение требуемых параметров ВГММГ в разрабатываемых конструкциях с применением теплоизоляционного материала, осуществлялось путем изменения высоты насыпи, толщины теплоизоляционного материала, а также его количества и геометрического расположения.

Для определения экономической эффективности применения теплоизоляционных материалов в земляном полотне были предложены и разработаны два типа альтернативных конструкций.

В конструкции № 1 искусственный изолятор применен локально только под откосной частью. Высота насыпи составила 1,86 метров. Теплоизоляционный материал толщиной 0,10 метров расположен на высоте 0,30 метров от дневной поверхности (рис. 4).

Запроектированные геометрические параметры конструкции земляного полотна № 1 обеспечивают следующие показатели ВГММГ: высота поднятия 0,19 м. (10,22 % от высоты насыпи); ширина распространения 13,08 м. (64,37 % от ширины подошвы) (рис. 5).

В конструкции № 2 искусственный изолятор применен локально только под откосной частью при этом откосная часть, по сравнению с «традиционной», изменена. Высота насыпи составила 1,74 метров. Теплоизоляционный материал толщиной 0,08 метров расположен на высоте 0,30 метров от дневной поверхности (рис. 6).

Запроектированные геометрические параметры конструкции земляного полотна № 2 обеспечивают следующие показатели ВГММГ: высота поднятия 0,18 м. (10,34 % от высоты насыпи), ширина распространения 12,18 м. (66,48 % от ширины подошвы) (рис. 7).

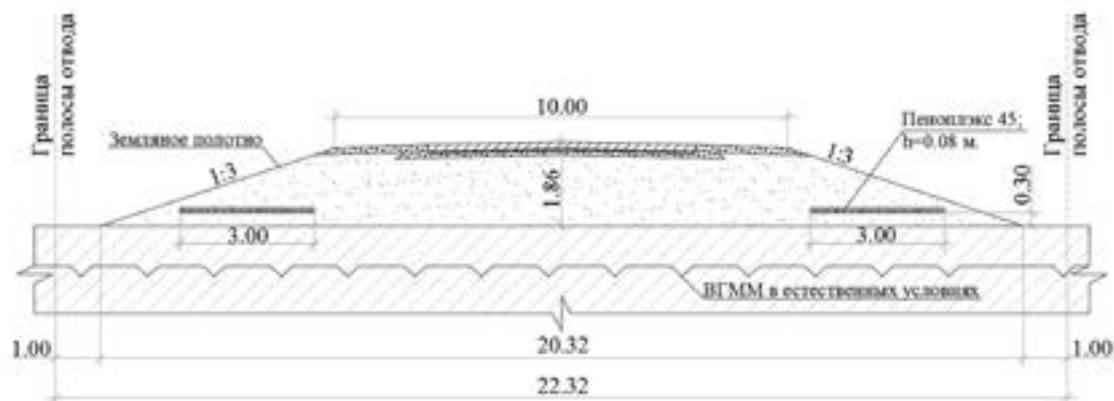


Рис. 4. Параметры конструкции земляного полотна № 1

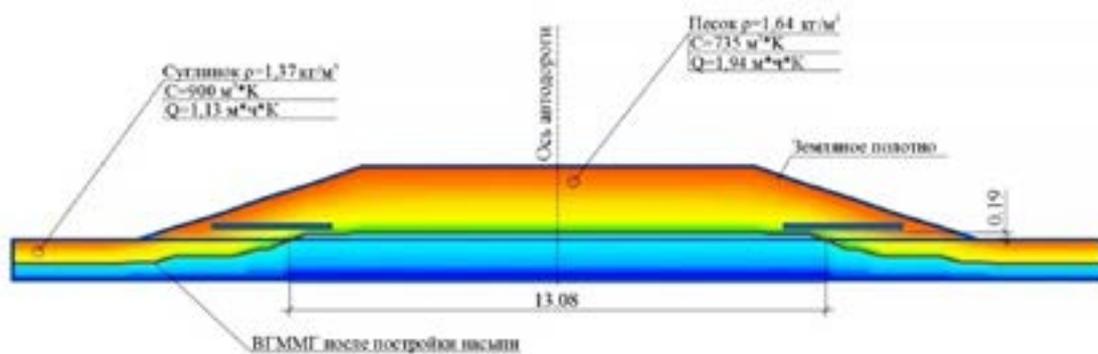


Рис. 5. Распределение температурных полей в поперечном профиле для конструкции № 1

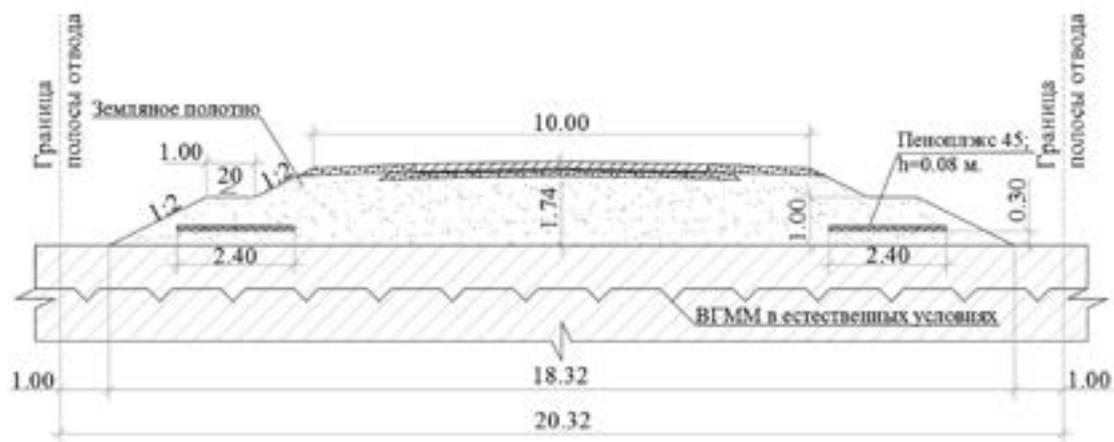


Рис. 6. Параметры конструкции земляного полотна № 2

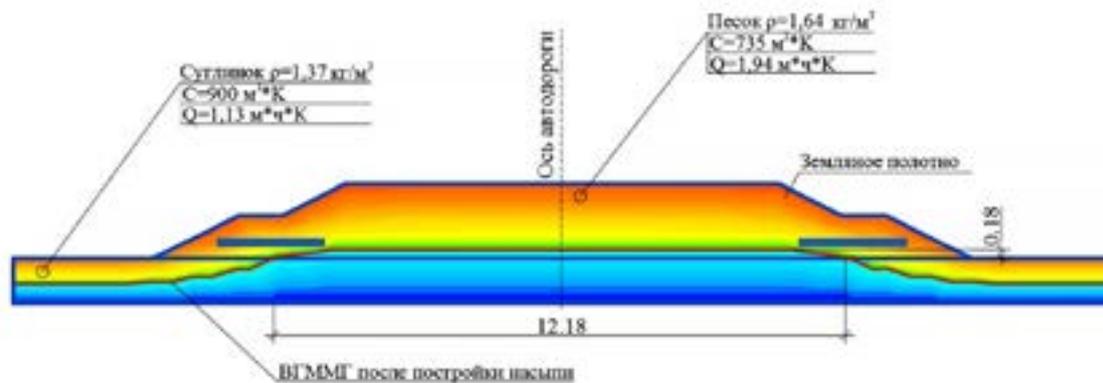


Рис. 7. Распределение температурных полей в поперечном профиле для конструкции №2

Все конструкции, включая «традиционную» имеют схожие геометрические параметры ВГММГ, а значит, надежность и устойчивость предлагаемых конструкций будет обеспечена. Для определения экономической эффективности для каждой конструкции был составлен локальный сметный расчет. Стоимость строительства одного километра земляного полотна автомобильной дороги в ценах 2001 года отображена на рис. 8.

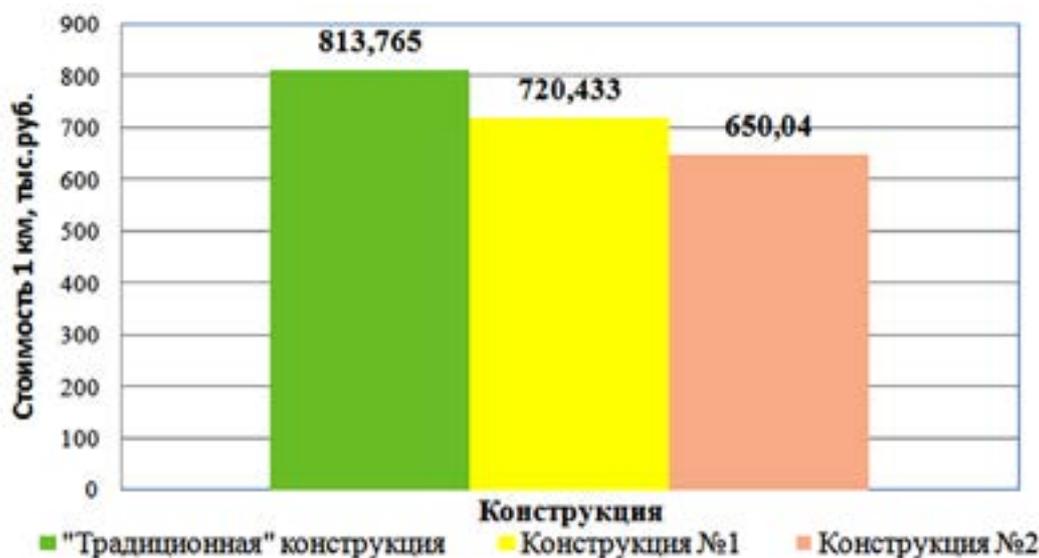


Рис. 8. Стоимость строительства 1 километра автомобильной дороги, тыс.руб.

Использование конструкции № 2 с применением теплоизоляционного материала, взамен «традиционной», позволит снизить стоимость строительства одного километра автомобильной дороги на 20 %.

Данное исследование показывает, что грамотное применение теплоизоляционного материала в конструкциях земляного полотна целесообразно и экономически эффективно.

Литература

1. Санников, С. П. Анализ причин разрушения автомобильных дорог на территориях многолетней мерзлоты Ямало-Ненецкого автономного округа / С. П. Санников, В. В Белкин // Сборник материалов Международной научно-практической конференции: «Новые технологии – нефтегазовому региону». – Тюмень, 2018. – с. 132–135.
2. СП 313.1325800.2017 Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556794133> (дата обращения 01.10.2018).

3. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095519> (дата обращения 01.10.2018).

УДК 625.855.3

Александр Мордхаевич Симаковский,
канд. техн. наук, доцент
Дарья Андреевна Воронцова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Darya675@mail.ru

Aleksandr Mordhaevich Simanovskii,
PhD, Associate Professor
Daria Andreevna Vorontsova,
student
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: Darya675@mail.ru

**ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

**PROBLEMS OF DETERMINATION
OF ROAD CLOTHING TEMPERATURE**

В статье рассматриваются проблемы определения температуры дорожной одежды, а также проблемы определения температуры воздуха для проведения расчетов. Приведены различные методики определения максимальной и минимальной температуры покрытия, обоснованы их недостатки, среди которых в том числе отсутствие баз необходимых температур для расчета и сложность обработки информации. Особое внимание уделяется изменениям климатических условий, в частности температуре, и проблемам учета данных изменений в расчетах температур покрытия. Рассматривается техническое оснащение дорог страны оборудованием для измерения температур воздуха и недостаточность данного оборудования на автодорогах.

Ключевые слова: дорожная одежда, автомобильная дорога, температура покрытия, температура воздуха, температурный режим, климатические изменения.

The article discusses the problem of determining the temperature of the pavement, as well as the problem of determining the air temperature for the calculations. Various methods for determining the maximum and minimum temperature of the coating are presented, their shortcomings are substantiated, including the lack of databases of necessary temperatures for the calculation and the complexity of information processing. Special attention is paid to changes in climatic conditions, in particular temperature, and problems of taking into account these changes in the calculations of coating temperatures. The technical equipment of the country's roads with equipment for measuring air temperature and the insufficiency of this equipment on the roads are considered.

Keywords: road pavement, road, coating temperature, air temperature, temperature, climate change.

Температурный режим дорожной одежды является закономерным изменением температуры в различных точках дорожной одежды во времени. Он представляет собой функцию температуры околослойного слоя воздуха и закономерностей ее изменения [1].

Данные о температуре дорожного покрытия необходимы для подбора битума с требуемыми деформативными свойствами, для оценки прогиба дорожного покрытия, для оценки устойчивости покрытия к образованию трещин [2]. Также важна правильность оценки максимальной расчетной температуры покрытия как наиболее опасной из условия образования колеи. Следовательно, точное определение температуры покрытия и закономерностей ее изменения влияет на правильность подбора вяжущего и срок службы дорожной одежды в целом.

Анализ результатов исследований показывает, что температура покрытия, как правило, находится в зависимости от температуры воздуха. Существует ряд способов определения температуры дорожного покрытия.

По данным Ковалева Я. Н. [3], минимальная температура асфальтобетонного покрытия определяется по формуле:

$$T_{\Pi}^{\min} = 0,7T_{\min}, \quad (1)$$

где T_{Π}^{\min} – расчетная минимальная температура поверхности асфальтобетонного покрытия, (°C); T_{\min} – минимальная температура наружного воздуха, (°C).

В США в конце прошлого – начале нынешнего века был разработан метод проектирования составов асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками под названием «Supergravel» [4]. В качестве формулы для определения минимальной температуры поверхности асфальтобетонного покрытия в методе принята зависимость Робертсона:

$$T_{\Pi}^{\min} = 0,859T_{\min} + 1,7, \quad (2)$$

где T_{Π}^{\min} – минимальная температура асфальтобетонного покрытия, (°C); T_{\min} – минимальная температура воздуха в среднем году, установленная на основе метеорологических данных, (°C).

По данным проф. Ладыгина Б. И., температуру покрытия можно определить в зависимости от температуры воздуха по формуле [5]:

$$T_{\Pi} = 1,3T_{\text{в}} + 7, \quad (3)$$

где T_{Π} – температура покрытия, (°C); $T_{\text{в}}$ – температура воздуха, (°C).

Согласно ОДМ 218.3.092–2017, на предварительном этапе проектирования состава асфальтобетонной смеси можно использовать следующую формулу:

$$t_{\Pi} = 1,017t_{\text{в}} + 1,593, \quad (4)$$

где t_{Π} – температура покрытия, (°C); $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, (°C).

Формулы (1) – (4) нельзя считать универсальными, так как они не учитывают различия региональных и атмосферных условий, учет которых приводит к значительному разбросу экспериментальных и теоретических данных.

Более надежным является расчет температур в соответствии с методикой определения расчетных температур слоя дорожного покрытия по ПНСТ 86–2016 [6]. Расчет минимальной температуры покрытия здесь выполняется по формуле:

$$T_m = -1,56 + 0,72 \cdot T_{\min} - 0,004(Lat)^2 + 6,26 \log_{10}(H + 25) - Z \cdot (4,4 + 0,52 \cdot s^2)^{0,5}, \quad (5)$$

где T_m – минимальная расчетная температура покрытия (°C); T_{\min} – средняя минимальная температура (°C); Lat – географическая широта в градусах; H – глубина от

поверхности покрытия (мм); минимальная температура рассчитывается на поверхности дороги; Z – табличное значение стандартного нормального распределения; s – стандартное отклонение минимальных температур.

Не менее важным является определение максимальной расчетной температуры слоя покрытия. Зависимость температуры покрытия от температуры воздуха основывается на уравнении теплового баланса. Для определения максимальных температур дорожных покрытий, согласно Ковалеву Я. Н. и Горецкому Л. И., можно применить формулу:

$$T_{\Pi} = T_{\text{в}} + T_{\text{экв}}, \quad (6)$$

где T_{Π} – температура покрытия, (°C); $T_{\text{в}}$ – температура воздуха, (°C); $T_{\text{экв}}$ – эквивалентная температура, (°C):

$$T_{\text{экв}} = (1 - A) \cdot \frac{J}{\alpha_n}, \quad (7)$$

где A – альbedo поверхности покрытия, характеризующее ее отражательную способность; J – интенсивность солнечного облучения, Вт/м²; α_n – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²град).

Согласно методу «Supergave», максимальная расчетная температура покрытия определяется по следующей формуле:

$$T_2^{\max} = 0,9545 \cdot (T_{\text{в}7} - 0,00618Ш^2 + 0,2289Ш + 42,2) - 17,18, \quad (8)$$

где T_2^{\max} – максимальная расчетная температура покрытия на глубине 2 см, (°C); $T_{\text{в}7}$ – семидневная средняя максимальная температура воздуха, (°C); $Ш$ – географическая широта расположения объекта в градусах.

По ПНСТ 86–2016 расчет максимальной расчетной температуры слоя покрытия выполняется по формуле:

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

где T – максимальная расчетная температура покрытия (°C); $T_{\text{ср}}$ – средняя температура воздуха (°C); Lat – географическая широта в градусах; H – глубина от поверхности покрытия (мм); максимальная температура рассчитывается на глубине 20 мм от поверхности дороги; s – табличное значение стандартного нормального распределения; Z – стандартное отклонение семидневных температур.

Зависимости (5) и (9), при кажущейся простоте использования, требуют каждый раз анализа первичных исходных данных и их статистической обработки, поскольку СП 131.13330.2012 [7] не содержит ни средних величин температур наиболее холодной и наиболее теплой семидневок, ни среднеквадратических их отклонений, которые требуются для вычисления по формулам (5) и (9).

Как видно из анализа приведенных формул, важнейшей проблемой для установления требований к вяжущему асфальтобетона является определение температуры воздуха.

При этом следует иметь в виду, что проектировщика интересуют температуры, ожидаемые на конец срока службы дорожной одежды, т. е. в перспективе следующих 24 и более лет. Очевидно, что такого рода прогноз не представляется возможным получить из специализированного прогноза, предоставляемого Росгидрометом. Следовательно, проблема составления такого прогноза должна решаться на основе специальных исследований. Такие исследования должны опираться на многолетние данные климатических наблюдений, выявленные тренды в изменении климата, а также на математико-статистические методы.

Для измерения температуры применяются ртутные термометры, поверхностные термометры, стеклянные термометры, полупроводниковые диоды, датчики температуры поверхности и грунта.

В настоящее время большое распространение получают автоматические дорожные метеостанции (АДМС). Это специальное оборудование, которое собирает, накапливает и предоставляет данные о фактической погоде и параметрах поверхности дорожного покрытия [8]. К сожалению, сейчас подобные метеостанции устанавливаются в основном на дорогах федерального значения; на местных дорогах их недостаточно. Важно, что датчики измерения температур должны быть прочными, долговечными и надежно защищенными от внешних воздействий; они должны быть адаптированы к условиям окружающей среды. Также необходима установка и своевременный контроль за их работой, устранение неполадок.

Данные об изменении температурного режима должны накапливаться непрерывно в течение продолжительного отрезка времени. На основании анализа метеорологических параметров и тенденций их изменения составляется прогноз об изменениях состояния дорожного покрытия. Согласно ОДН 218.046–01 [9], для прогноза на срок службы дорожной одежды рассчитывают синусоиду колебания среднемесячных температур воздуха за год в заданной дорожно-климатической зоне по средней температуре за 20 лет. Полученные данные используют для прогнозирования изменения температуры покрытия. При отсутствии данных для прогнозного расчета можно пользоваться ОДМ 218.3.092–2017. Следует отметить, что температура асфальтобетонного покрытия зависит не только от температуры воздуха, но и от ряда других факторов, таких как солнечная радиация, ход температур в грунте земляного полотна, конструктивные особенности, погодно-климатические и ландшафтные факторы.

Сравним температуру воздуха Санкт-Петербурга по СНиП 2.01.01–82 [10], выпущенным в 1982 году и СП 131.13330.2012. Полученный график представлен на рис. 1.

Из полученного графика следует, что среднегодовые температуры за 30 лет между изданиями этих нормативно-технических документов увеличились. Повышение температуры воздуха является вероятным проявлением наблюдающихся и ожидаемых в будущем изменений климата. Хрусталева Л. Н. в своей работе [11, 12] охарактеризовал прогнозируемое потепление климата на территории страны с расчетным повышением температуры воздуха на 0,075 град/год.

Важный вывод из приведенных данных состоит не только в том, что в дальнейшем конструкции будут разрабатываться иначе, но и в том, что уже существующие сооружения проектировались без учета данной тенденции. Следовательно, можно предположить, что отсутствие учета глобального потепления приведет к снижению устойчивости и долговечности как уже существующих, так и проектируемых объектов.

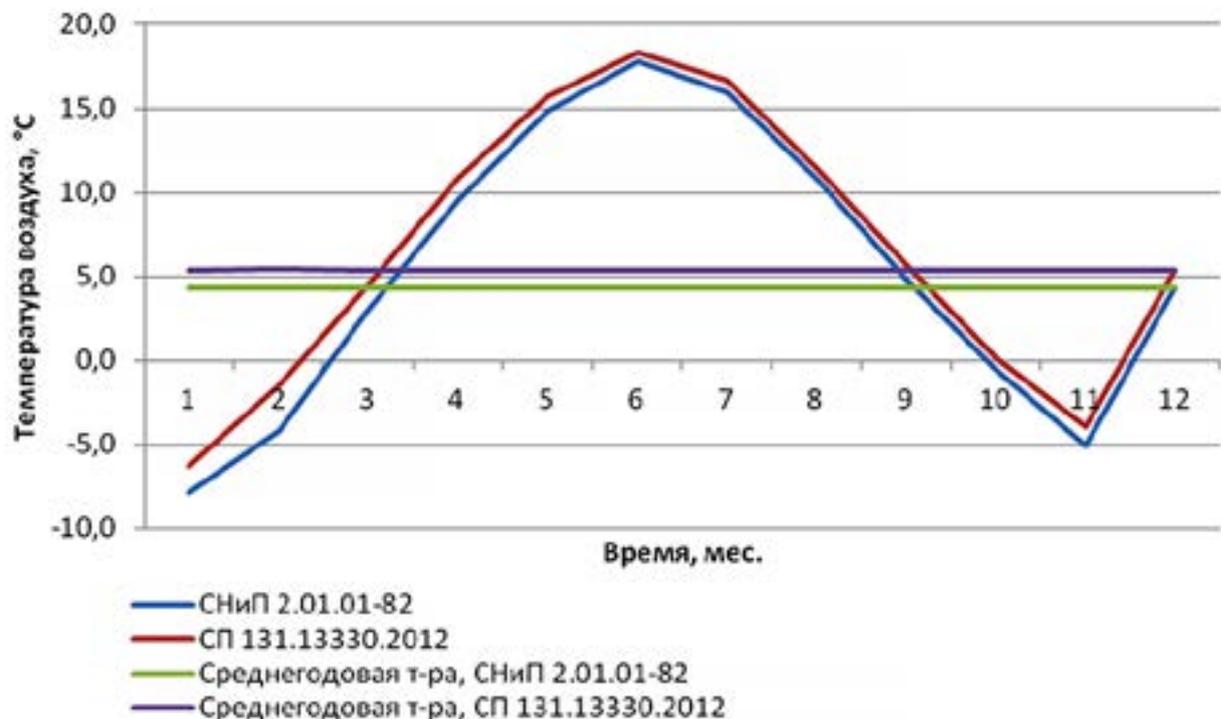


Рис. 1. Сравнение температур воздуха по СНиП 2.01.01–82 и СП 131.13330.2012

Разумеется, повышение температуры воздуха влияет не только на дорожное покрытие, но и на залегающие ниже грунты. В частности, в работе Хрусталева Л. Н. и других ученых [13] приводятся данные о моделировании изменений температур воздуха для пос. Петрунь и для г. Сургут. Математическое моделирование производилось по двум сценариям (МЭИ и IPCC B2) на период с 2000 по 2296 год. Исследования показали, что в будущем для данных регионов произойдет деградация мерзлых толщ, выражающаяся в повышении температуры пород по всей глубине рассматриваемой толщи. Согласно сценарию МЭИ, в пос. Петрунь начало оттаивания мерзлых пород прогнозируется на 2010 г., полностью многолетнемерзлая толща оттаит к 2180 г.

Таким образом, достоверное определение расчетной температуры дорожного покрытия является важной задачей при проектировании. На температуру влияет множество факторов, начиная от численности населения планеты и уровня мирового энергопотребления и заканчивая природными явлениями, которые ученым пока не представляется возможности объяснить.

К сожалению, статистические данные о непрерывном ходе температуры воздуха пока еще труднодоступны; систематические наблюдения за температурными режимами асфальтобетонных покрытий не являются распространенными, а труднодоступность некоторых районов страны еще больше усложняет данный процесс.

Исходя из вышеизложенного, в настоящее время актуальными являются следующие проблемы: отсутствие достоверной методики расчета максимальной и минимальной температур асфальтобетонного покрытия; недостаточность статистических данных о температурных режимах работы покрытия; недостаточная оснащенность техническими средствами автомобильных дорог страны, что особенно значимо для дорог местного значения.

Литература

1. Трахимович, И. С. Закономерности распределения температуры в конструктивных слоях дорожной одежды и земляного полотна / И. С. Трахимович // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса». Секция «Дорожная климатология». В 6 ч. Ч. 2 / науч. рук. И. И. Леонович. – Минск : БНТУ, 2013. С. 189–194.
2. ОДМ 218.3.092–2017. Методические рекомендации по измерению и прогнозу изменения температуры во времени и по глубине дорожной одежды с учетом ее конструктивных особенностей. М.: Росавтодор, 2017. 23 с.
3. Ковалев Я. Н. Дорожно-климатическое районирование территории БССР для строительства асфальтобетонных покрытий / Я. Н. Ковалев // Применение местных материалов в дорожном строительстве БССР: сб. статей. – М.: Транспорт, 1966. С. 64–71.
4. Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing / Asphalt Institute Superpave. – 1997. – Series No 1 (SP-1). 67 p.
5. Ладыгин Б. И. Основы прочности и долговечности дорожных бетонов / Б. И. Ладыгин / МВСС и ПО БССР. – Минск: 1963. 127 с.
6. ПНСТ 86–2016 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения марки с учетом температурного диапазона эксплуатации. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
7. СП 131.13330.2012. Строительная климатология (актуализированная версия СНиП 23–01–99*) / Министерство регионального развития Российской Федерации. – Утв. 30.06.2012. 113 с.
8. ОДМ 218.2.003–2009. Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия. – М.: Росавтодор, 2010. 42 с.

УДК 625.72

Олег Валерьевич Утенков,
ассистент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
Елена Сергеевна Гакал,
ведущий инженер
(ООО «Спэйс Девелопмент»)
E-mail: lena.gakal@mail.ru, oleg_ut@bk.ru

Oleg Valerievich Utenkov,
Teaching Assistant
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
Elena Sergeevna Gakal,
principal engineer
(SPACE DEVELOPMENT)
E-mail: lena.gakal@mail.ru, oleg_ut@bk.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

MODERN DESIGN METHODS AND THEIR USE IN THE CONSTRUCTION OF LINEAR STRUCTURES

Рассмотрены основные особенности и преимущества использования BIM-технологий проектными организациями. Приведены практические примеры реализации BIM-технологий компанией ООО «Спэйс Девелопмент». Сделаны выводы о преимуществах, которые дает применение BIM-технологий.

Ключевые слова: BIM-технологии, модель, план, визуализация, жилой комплекс, водопропускное сооружение.

The main features and advantages of using BIM-technologies by design organizations are considered. Practical examples of implementation of BIM-technologies by LLC “space development” are given. Conclusions about the benefits of the use of BIM-technologies.

Keywords: BIM, model, plan, rendering, residential complex, water structure.

Внедрение BIM-технологий – это та реальность, которая рано или поздно ждет каждого из нас, как и всех участников строительного рынка.

Чаще всего проектные компании внедряют BIM-технологии, автоматизируют процессы, не имея конкретных требований от заказчиков, или подстраиваются под каждого отдельного клиента.

Необходимо стремиться, чтобы информационное моделирование стало в первую очередь, комплексным – когда BIM-модель используется на каждом этапе жизненного цикла здания или сооружения.

Преимущества BIM

- Цифровая копия объекта вместо тонны бумаг
- Доступность BIM-модели онлайн 24/7 в любой точке мира
- Упрощённое внесение изменений
- Выявление рисков при отступлении от проекта
- Визуальный контроль за ходом строительства по BIM-модели

Зачем нужна BIM-модель геодезии?

- Оптимизация трудозатрат на обработку данных съёмки
- Наличие BIM-модели существующих сетей повышает скорость и качество проектирования и строительства

- Цифровая модель местности позволяет автоматически строить профили и считать объёмы земли, а также точнее выполнять проектирование

Зачем нужна BIM-модель геологии?

- Проектировщик может точнее определить в каком грунте находится его сеть или конструкция

- Объёмы земли можно посчитать по видам грунта

Зачем нужна BIM-модель при проектировании?

- Составление ведомостей и спецификаций из BIM-модели
- Детализировка различных элементов (водопроводных колодцев, тепловых камер и т. п.) в виде BIM-модели

- Проверка проектируемых и существующих сетей на пересечения до начала строительства

- Оптимизация трудозатрат на проектирование

- Готовые материалы для построения исполнительной документации

Зачем нужна BIM-модель строителям?

- Ведомости и спецификации из BIM-модели по участкам и в целом по проекту
- Возможность загрузки данных из BIM-модели в сметные и расчётные программы
- Симуляция процесса строительства (4D) и контроль денежных потоков (5D) по графику работ

- Наглядная BIM-модель для просмотра и корректировок

Зачем нужна BIM-модель при эксплуатации?

- Внесение изменений в BIM-модель в процессе эксплуатации
- Автоматическое планирование профилактических работ
- История системы при эксплуатации
- Добавление инструкций по переключениям на случай ремонта

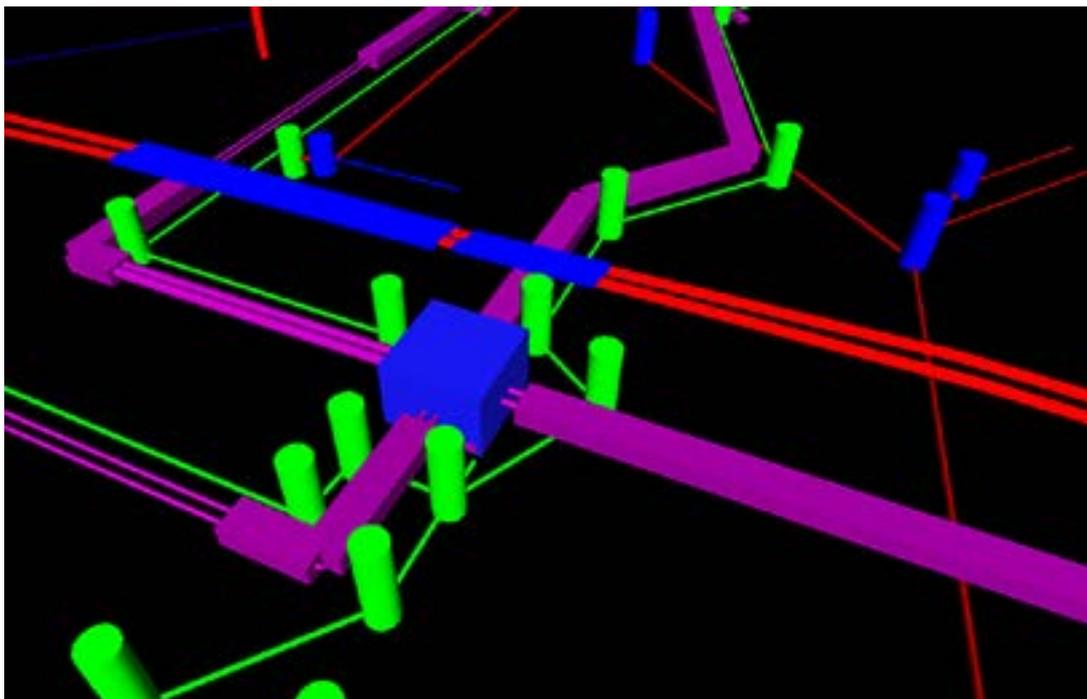


Рис. 1. План существующих коммуникаций на участке строительства в 3D

ООО «Спэйс Девелопмент» была разработана проектная и рабочая документация на строительство целой сети автомобильных дорог в жилом комплексе «Цветной город» – который на данный момент является одним из самых масштабных проектов комплексного освоения территории, которые реализуются в Санкт-Петербурге.

Исходя из большого объема работ, проектирование и строительство автомобильных дорог были разделены на 2 крупномасштабных этапа – Восточный и Западный районы Цветного города, разделяемые между собой кольцевой дорогой Санкт-Петербурга.



Рис. 2. Визуализация жилого комплекса «Цветной город»



Рис. 3. Модель жилого комплекса «Цветной город» в 3D

Общая протяженность запроектированной дорожной сети составляет 19 км из которых 10 км приходится на магистральные улицы. И 9 км улицы местного значения.

Общая площадь строительства более 60 га.

Проектом предусмотрено строительство 4 магистральных улиц и 5-ти улиц местного значения.

Улично-дорожная сеть объединяется между собой 19-ю перекрестками.

Так же для предоставления доступа населения к жилым домам устроено более 75 въездов во внутриквартальную территорию.

Проектом предусмотрено 28 автобусных остановок общественного транспорта.

За время разработки документации – 2 года. Кардинально менялись планировочные решения 3 раза. Запроектированным улицам уже даны названия.

В данный момент осуществляется реализация объекта

Однако применение модели BIM возможно не только для реализации больших и масштабных проектов и подходит для «рядовых» объектов

Компанией ООО «Спэйс девелоппмент» был разработан проект Капитального ремонта моста через реку Галинка на км 17+325 автомобильной дороги Остров – Вышгородок – граница с Латвийской Республикой в Островском районе Псковской области



Рис. 4. Визуализация проектируемого водопропускного сооружения через реку Галинку в Псковской области

Мост перекрывает реку Галинка двумя балочными разрезными пролетными строениями длиной по 11,36 м (пролет в свету – 10,00 м), выполненными каждое из 6-ти монолитных железобетонных ребристых балок с диафрагмами по типовому проекту выпуска 56 Союздорпроекта высотой 0,80 м (расчетный пролет балок – 10,80 м, высота диафрагмы – 0,68 м).

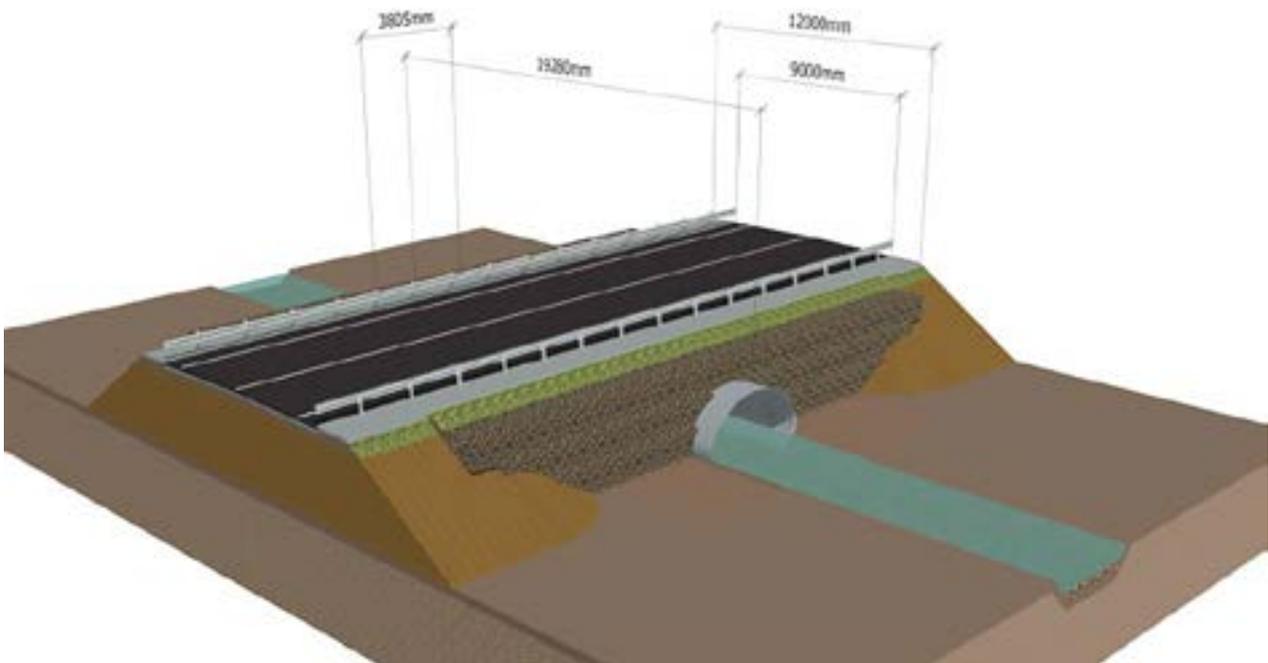


Рис. 5. Модель проектируемого водопропускного сооружения через реку Галинку в Псковской области в 3D

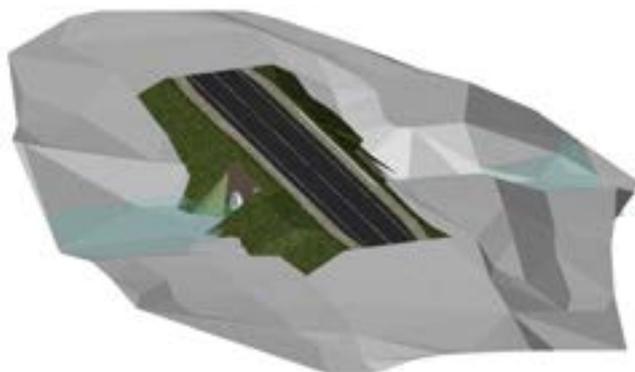


Рис. 6. Модель проектируемого водопропускного сооружения через реку Галинку в Псковской области, выполненная в AutoCAD Civil 3D



Рис. 7. Фото построенного водопропускного сооружения через реку Галинку в Псковской области

В целом общее техническое состояние моста по результатам проектного обследования оценено как «неудовлетворительное техническое состояние»

Для согласования конструкции с заказчиком была осуществлена визуализация рекомендуемого варианта конструкции.

После согласования всех основных проектных решений с помощью программы Civil была построена 3д модель конструкций для предоставления Заказчику и использования ее в дальнейшем при эксплуатации. Объект построен в этом году.

Вывод:

Мы считаем, что пришло время наладить диалог между всеми участниками строительного процесса: изыскателями, проектировщиками, строителями, застройщиками и девелоперами – и разработать совместный подход к созданию BIM-моделей, которые будут полезны не только для ускорения и повышения качества проектирования, но и смогут использоваться при строительстве и дальнейшей эксплуатации объекта.

Литература

1. Талапов В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. – Саратов: ДМК Пресс, 2015.
2. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*). – М., 2011. – 341 с.

УДК 625.731

Вячеслав Викторович Шматок,
студент

Сергей Анатольевич Куюков,

канд. тех. наук, доцент

Яков Сергеевич Дениченко,

студент

(Тюменский индустриальный университет)

E-mail: shmasla@mail.ru, kujukovsa@tyuiu.ru,

jacobdenichenko@gmail.com

Vyacheslav Viktorovich Shmatok,
student

Sergey Anatolyevich Kujukov,

PhD in Sci. Tech., Associate Professor,

Jacob Sergeevich Denichenko,

student

(Tyumen Industrial University)

E-mail: shmasla@mail.ru, kujukovsa@tyuiu.ru,

jacobdenichenko@gmail.com

ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЯЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ

THE EFFECT OF COMPACTING LOAD ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF REINFORCED SOILS

Дорожные одежды, в основании которых используются привозные, отсутствующие во многих регионах страны, каменные материалы, имеют ряд недостатков. Эти недостатки приводят к появлению различных дефектов и разрушений на поверхности покрытия (колея, трещины и прочие), а также влияют на безопасность и комфорт при движении транспортных средств. Альтернативным материалом, при устройстве оснований дорожных одежд, является укрепленный грунт, одним из недостатков которого является низкий срок службы, обусловленный высоким показателем водопоглощения. В данной статье рассматривается способ, позволяющий снизить водопоглощение за счет создания более плотной структуры укрепленного грунта, с уменьшенным размером и количеством пор, достигаемым за счет увеличения уплотняющей нагрузки.

Ключевые слова: укрепленный грунт, уплотняющая нагрузка, прочность, водопоглощение.

Road pavements, which are based on imported, absent in many regions of the country, stone materials, have a number of disadvantages. These disadvantages lead to various defects and damage on the surface of the coating (track, cracks, etc.), as well as affect the safety and comfort when driving vehicles. One of alternative materials, at the device of the bases of road clothes, is the strengthened ground which main shortcoming is the high rate of water absorption. This article discusses a method to reduce water absorption by creating a denser structure of fortified soil, with a reduced size and number of pores achieved by increasing the sealing load.

Keywords: reinforced soil, sealing load, strength, water absorption.

Одним из важнейших элементов дорожной одежды автомобильной дороги является основание, которое воспринимает и распределяет нагрузки от движущихся по покрытию транспортных средств и уменьшает давление на все нижележащие слои, включая грунт земляного полотна. От прочности и других не менее важных физико-механических характеристик основания зависит качество дорожной одежды. Наиболее часто для устройства основания дорожной одежды используется традиционный материал – щебень, основным недостатком которого является высокая стоимость, так как это привозной материал. Альтернативой применения щебня является использование местных грунтов, укрепленных неорганическим вяжущим (укрепленный грунт).

Использованию укрепленных грунтов в качестве основания дорожных одежд препятствуют его недостатки в виде высокого показателя водопоглощения и, как следствие,

низкого показателя морозостойкости, что влияет на срок службы конструкционного слоя и дорожной одежды в целом.

Водопоглощение укрепленных грунтов обусловлено его структурой с повышенной пористостью. Основным характерным показателем является размер и количество пор, чем они больше, тем больше водопоглощение. Перед нами была поставлена задача – сократить величину пор, за счет увеличения уплотняющей нагрузки, в процессе формирования структуры материала в лабораторных условиях.

Проведенные ранее экспериментальные исследования по изучению зависимости влияния уплотняющей нагрузки на физические свойства грунта [1], показали, что увеличение нагрузки способствует созданию более плотной структуры. Повышение уплотняющей нагрузки осуществлялось за счет увеличения высоты падения груза на приборе стандартного уплотнения СоюзДорНИИ. Высота падения груза составляла стандартные 30 см и увеличенные 60 см, 90 см и 120 см.

Было выявлено, что увеличение уплотняющей нагрузки повлияло на следующие характеристики грунта:

1. Максимальная плотность грунта на 6,22 %, пористость материала снизилась на 5,4 %;
2. Оптимальная влажность грунта снизилась на 3,22 %.

С учетом этих данных были разработаны составы цементогрунтовой смеси, во всех сериях изготовления образцов содержание цемента принималось 6 % от массы грунта, при высоте падения гири 30 см количество воды составляло 14,5 %, при 60 см – 13,5 %, при 90 см – 13 % и при 120 см – 11,5 % от массы грунта.

Определение основных физико-механических показателей укрепленных грунтов проводилось в соответствии со следующими этапами:

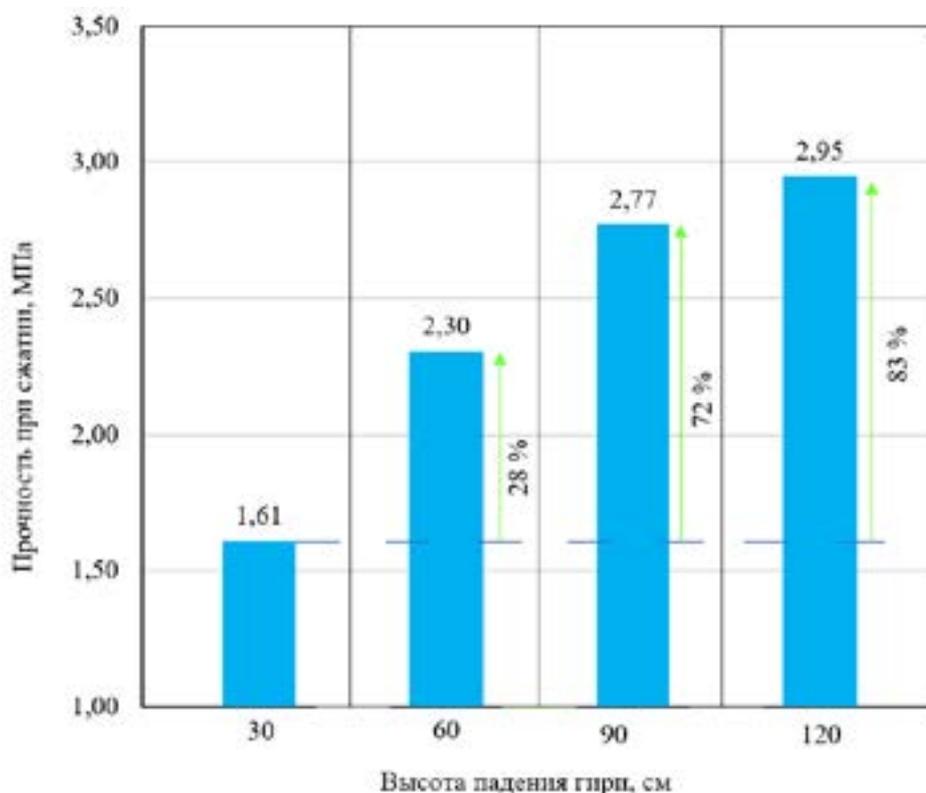


Рис. 1. Влияния высоты падения гири на прочность при сжатии

1. Приготовление смеси в соответствии с разработанными составами;
 2. Процесс формования образцов путем уплотнения в приборе стандартного уплотнения СоюзДорНИИ [2];
 3. Набор прочности образцов в пропарочной камере в соответствии с [3];
 4. Высушивание образцов до постоянной массы в сушильном шкафу в течении 48 часов;
 5. Процесс водонасыщения с поэтапным погружением образцов в воду [4].
- Определение водонасыщения образцов;
6. Испытания на прочность при сжатии на гидравлическом прессе [5].

Результаты исследований представлены в виде диаграмм на рис.1 и 2.

Полученные данные позволяют сделать выводы, что при увеличении уплотняющей нагрузки, физико-механические показатели укрепленного грунта изменились:

1. Показатель водопоглощения снизился на 13,03 %;
2. Показатель прочности материала при сжатии возрос на 83,23 %.

Таким образом, задача, поставленная в нашем исследовании, была достигнута. Анализируя полученные данные можно сделать предварительные выводы о том, что увеличение уплотняющей нагрузки в 4 раза ведет к существенному повышению прочности, однако уменьшение водопоглощения произошло на 13 %, что не столь значительно, как ожидалось. В дальнейших исследованиях, для снижения водопоглощения и увеличения сроков эксплуатации дорожной одежды, будет применяться комплексный подход, предварительно выявив влияние гранулометрического состава на структуру грунта, а также, будет производиться обработка укрепленных грунтов гидрофобизирующими добавками.

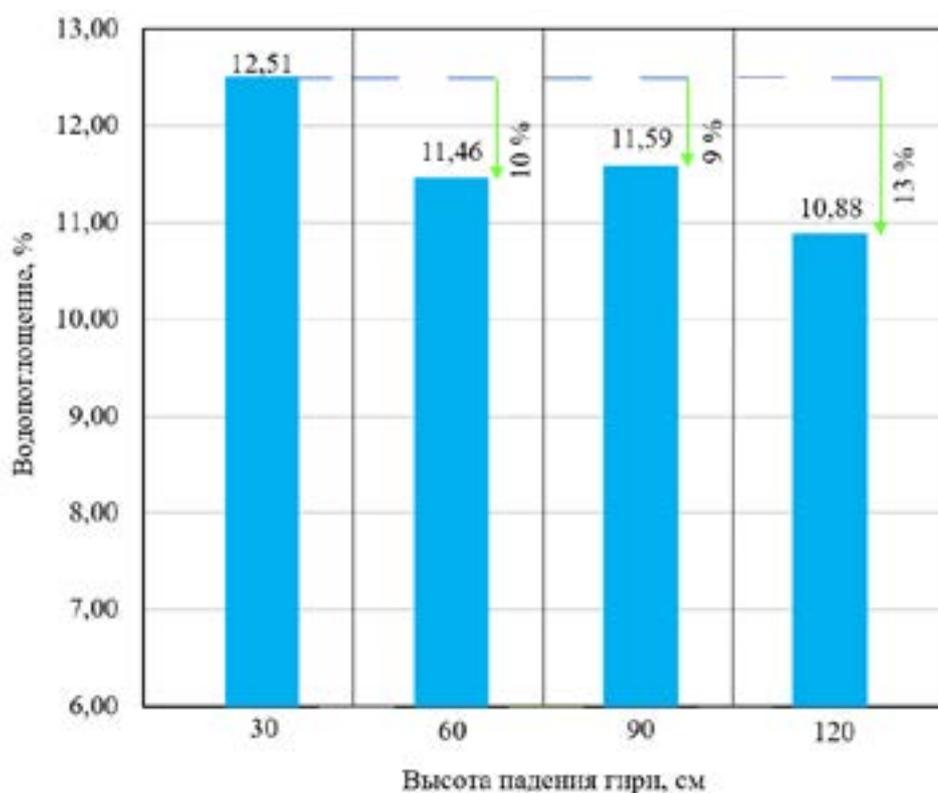


Рис. 2. Влияния высоты падения гири на водопоглощение

Литература

1. Шматок В. В. Влияние степени уплотнения на физические характеристики грунта / В. В. Шматок, С. А. Куюков, Я. С. Дениченко, А. А. Жигайлов, С. А. Куюков // Новые технологии – нефтегазовому региону – 2018: сборник материалов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Т. IV. – Тюмень: ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 317–320.
2. ГОСТ 22733–2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Введ. 2003–07–01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 12 с.
3. СП 130.13330.2011. Производство сборных железобетонных конструкций и изделий. Актуализированная редакция СНиП 3.09.01-85. – Введ. 2011–07–27. – М.: Минстрой России, 2017. – 54 с.
4. ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. – Введ. 1995–01–01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 12 с.
5. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 2013–07–01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.

СЕКЦИЯ «ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ»

УДК 624.21:625.745.12

Владимир Аполинарьевич Быстров,
канд. техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: bystrov.admt@gmail.com

Vladimir Apolinaryevich Bystrov,
PhD in Sci. Tech. Assjciate Professor
(Saint-Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: bystrov.admt@gmail.com

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА КОНСТРУКЦИЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ С УЧЕТОМ ИХ ФАКТИЧЕСКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И ДЕФЕКТНОСТИ

TECHNIQUE FOR DETERMINING THE RESOURCE OF CONSTRUCTIONS OF STEEL CONCRETE AND METAL BRIDGES TAKING INTO ACCOUNT THEIR ACTUAL DYNAMIC LOADING AND DEFECTNESS

Представлены результаты анализа и систематизации многочисленных обследований и испытаний, длительного наблюдения и мониторинга технического состояния, результатов экспериментально-теоретических эксплуатируемых мостов Санкт-Петербурга, Северо-западного Региона РФ, данных о фактическом техническом состоянии и режимах реальной нагруженности элементов конструкции мостов. Приведены результаты разработки расчетно-экспериментальной методики количественного определения и программного обеспечения остаточного ресурса конструкций эксплуатируемых мостов с учетом фактической динамической нагруженности, наличия в конструкциях дефектов и повреждений.

Ключевые слова: сталежелезобетон, напряжения, колебания, динамика, ресурс, дефекты, повреждения, выносливость, усталость, спектры.

The results of the analysis and systematization of numerous surveys and tests, long-term observation and monitoring of the technical condition, the results of the experimental and theoretical bridges in operation in St. Petersburg, the North-Western Region of the Russian Federation, data on the actual technical condition and modes of actual loading of the bridges are presented. The results of the development of computational-experimental meth-

ods for the quantitative determination and software of the residual life of the structures of operated bridges with regard to the actual dynamic load, the presence of defects in the structures and damage are given.

Keywords: steel reinforced concrete, stresses, fluctuations, dynamics, resource, defects, damages, endurance, fatigue, spectra.

В современных условиях резкого возрастания требований к потребительским свойствам конструкций мостовых сооружений из всех этапов их «жизненного цикла», на которых их долговечность (до 100 лет и более) и эксплуатационная надежность формируется (изыскания и проектирование), обеспечивается (изготовление, транспортирование, строительство) и поддерживается (эксплуатация), третий этап, связанный с проблемой управления долговечностью эксплуатируемых мостов, становится все более актуальным и затратным.

Лавинообразный рост обращающихся временных нагрузок (до 12...14 т на ось и более), интенсивности и скоростей транспортных потоков на магистралях и автомобильных дорогах, изменения не только величины, но и характера полигармонического процесса нагружения мостов, возросшая агрессивность окружающей среды в условиях недостаточного финансирования на содержание – все это приводит к накоплению дефектов и повреждений (в том числе усталостных), к физическому износу, старению и охрупчиванию материалов эксплуатируемых конструкций пролетных строений (ПС) сталежелезобетонных (СТЖБ) и металлических (СТ) мостов, к снижению сроков их службы. Несмотря на существенный прогресс в методах проектирования и расчета, применение инновационных материалов и технологий, увеличение финансирования на содержание, диагностирование и мониторинг мостов сократить количество частичных и полных отказов, аварийных ситуаций и приблизить сроки службы конструкций ПС эксплуатируемых мостов к нормативным не удастся.

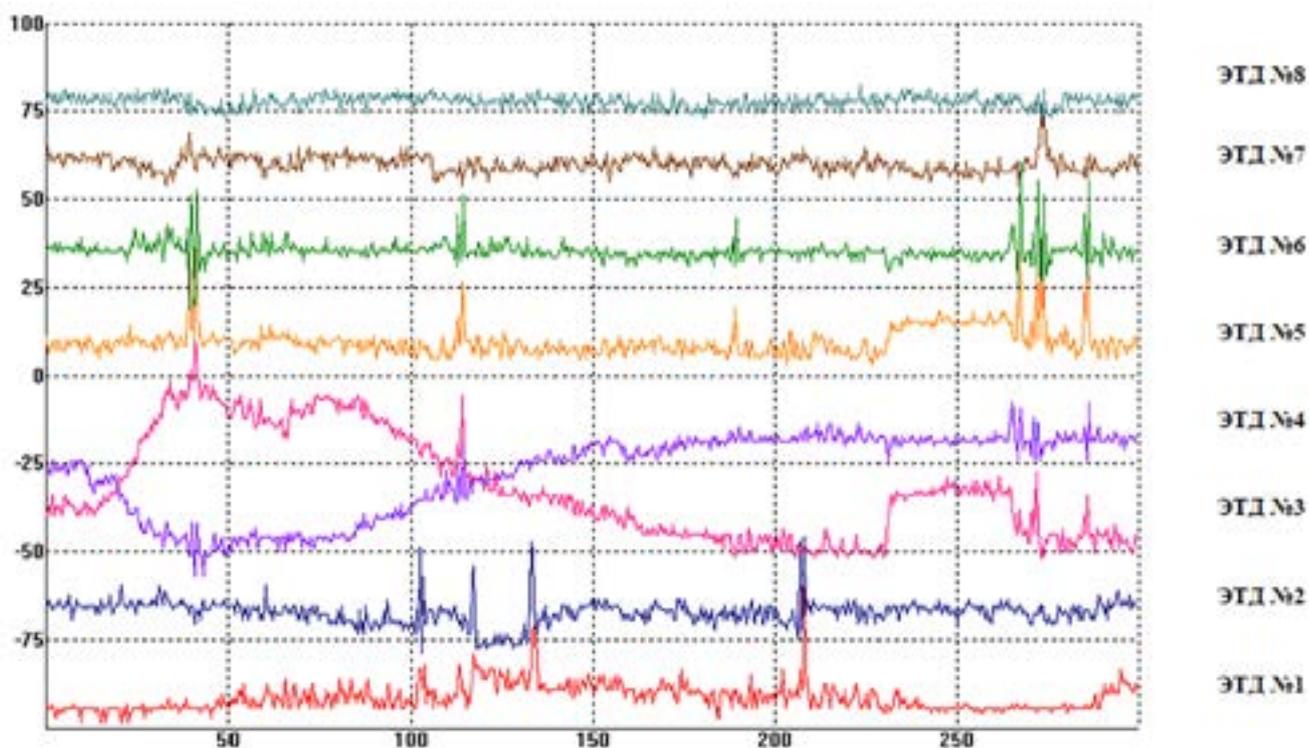


Рис. 1 Спектры вынужденных колебаний (σ) в элементах стационарного ПС Дворцового моста через реку Неву (поперечные и продольные балки – ЭТД №№ 1–8 при прохождении по нему фактической эксплуатационной нагрузки)

Применяемые в настоящее время для оценки технического состояния, остаточного ресурса конструкций эксплуатируемых автодорожных и городских мостов методики базируются на подходе к подвижной нагрузке как к стационарному детерминированному воздействию, бальных и экспертных оценках состояния конструкций с идеализацией расчетных схем, без учета реальной динамической нагруженности, состояния материалов конструктивных элементов, наличия в них скрытых дефектов и повреждений, что не позволяет количественно определить фактический рабочий (остаточный) ресурс, вероятность и время (годы) «выхода из строя» (отказа) несущих элементов конструкций ПС.

Многолетняя практика экспериментально-теоретических исследований, результаты длительных наблюдений и динамических испытаний мостов Санкт-Петербурга (рис. 1) и Ленинградской области, Северо-Западного региона РФ, натурные экспериментальные данные о реальных режимах нагруженности мостовых сооружений от обращающихся на грузовок и об их фактическом напряженно-деформированном состоянии (НДС) с учетом дефектов и повреждений убедительно показывает, что количественное определение остаточного ресурса конструкций ПС эксплуатируемых СТЖБ и СТ мостов возможно лишь при учете указанных выше, а также следующих факторов:

– резкое возрастание не только количества циклов нагруженности элементов (значительно больше базового – 2×10^6 циклов), но и изменения статистической природы воз-

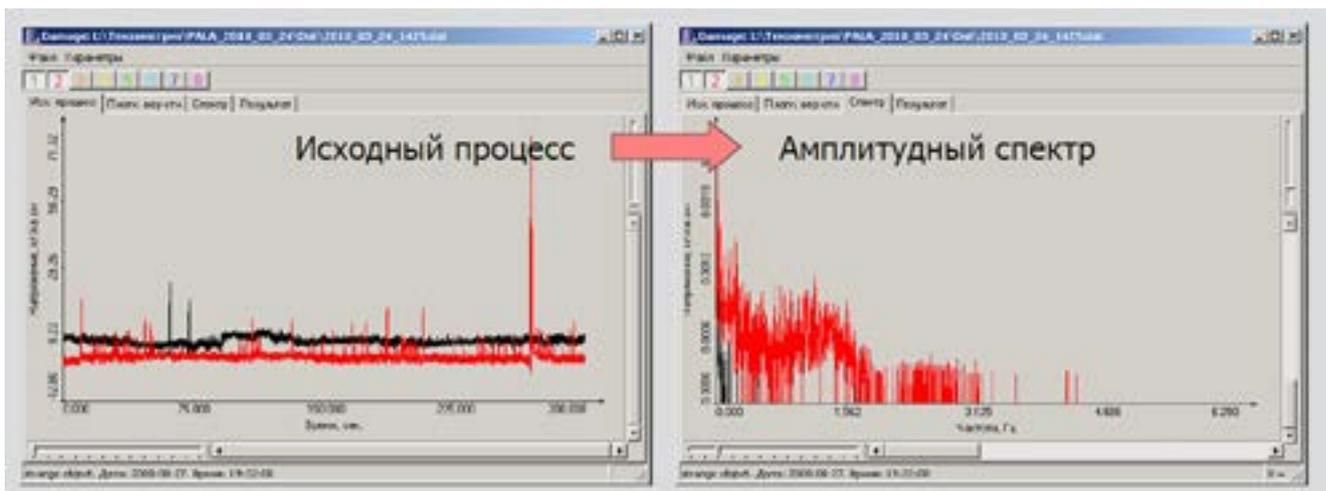


Рис.2. Полигармонический, импульсный (ударный) процесс колебаний, в основном знакопеременный режим с большим количеством циклов колебаний напряжений $\sigma_j(t)$ от отдельных колес

действия временных нагрузок – в виде нестационарного полигармонического, импульсно-го или ударного процессов фактической нагруженности (рис. 2);

- приближенность учета коэффициентов γ_w понижения расчетного сопротивления по выносливости и динамического $(1 + \mu)$;
- применение новых инновационных материалов повышенной и высокой прочности, облегченных и композитных.

Накопленные за многолетний (более 45 лет) период работы на кафедре результаты по исследованным СТЖБ и СТ мостам позволили автору разработать расчетно-экспериментальную методику и программное обеспечение (Damage) количественного определения остаточного ресурса (долговечности) наиболее нагруженных элементов (КД) конструк-

ций ПС эксплуатируемых городских и автодорожных мостов, которая позволяет учитывать влияние на ресурс указанных факторов.

Методика базируется на теории линейного накопления усталостных повреждений от воздействия всех проходящих по ПС моста нагрузок с учетом фактического состояния материалов, влияния накопленных дефектов и повреждений и включает следующие основные этапы:

- диагностика технического состояния и выявление ответственных за ресурс элементов (командных деталей – КД);

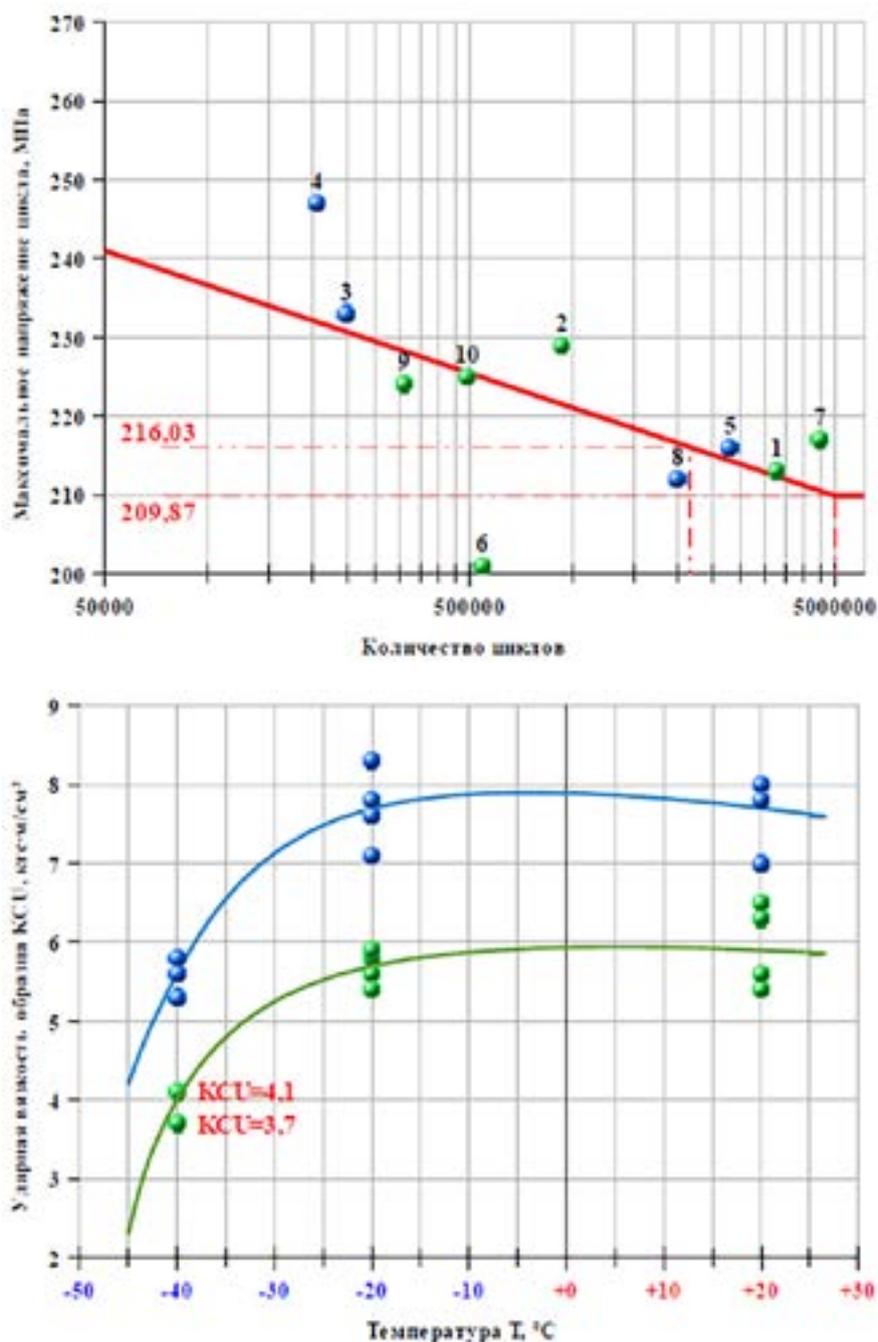


Рис.3. Кривая усталости металла стационарного ПС (а), влияние температуры на вязкость (KCU) металла стационарного ПС Дворцового моста (б)

– определение режимов фактической нагруженности КД конструкций ПС с фиксацией реальных спектров напряжений $\sigma_i(t)$ и амплитудных (энергетических) спектров нагруженности по частоте (ω) (рис. 3);

– аппроксимация полученных экспериментальных данных функций нагруженности выражением в виде полинома (1), позволяющего более точно, чем известные теоретические законы распределения представить процесс фактической нагруженности КД;

$$\sigma_i(t) = C_0 + \sum_{k=1}^n C_k \cos(\omega_k t + \varphi_{ki}), \quad (1)$$

где C_0 и C_k – амплитуды статической и динамической нагруженности при узкополосном процессе; ω_k – частота форм колебаний элемента КД; φ_{ki} – фазы взаимно независимых случайных величин на интервале от 0 до 2π случайных величин; n – количество форм колебаний элементов КД;

– обоснование модели процесса накопления повреждений в КД, описание зависимостей связывающих основные характеристики КД и полученные функции распределения фактических напряжений $\sigma_i(t)$;

– определение остаточного ресурса (срока службы T , годы, циклы) элементов КД эксплуатируемой конструкции ПС моста по разработанной программе (Damage) с использованием формулы (2)

$$T = \frac{2\pi \cdot N_0 e^{m\sigma_0}}{e^{m\psi C_0} \sum_{k=1}^n \left[\omega_k e^{mck} \prod_{j=1}^k D_{j(m\psi)} \right]}, \quad (2)$$

где $D_{j(m\psi)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{m\psi \cos x} dx$; N_0 , m и σ_0 – расчетно-экспериментальные характеристики

функций долговечности материала конструкций; ψ – относительная сопротивляемость материала (стали) усталости; k – номер гармоники диаграммы напряжений конструкций; j – реализация повреждений (D_j) элемента конструкций от k -той гармоники диаграмм напряжений; x – замена переменной интегрирования, $x = \omega_k t + \varphi^k$.

При определении вероятности «отказа» КД следует использовать неравенство П. Я. Чебышева, все параметры которого определяются также по полученным фактическим спектрам нагруженности $\sigma_i(t)$.

Методика успешно реализована при определении остаточного ресурса конструкций эксплуатируемых ПС уникальных мостов через реку Неву в Санкт-Петербурге (Литейный, Троицкий, Благовещенский, Дворцовый), а также в республике Коми РФ (через реки Вычегду, Колву, Сысолу и др.).

Внедрение методики позволяет определить время и вероятность «выхода из строя» (отказа) несущих элементов моста, стратегию распределения средств, что является основным критерием эффективности системы активного управления качеством, как отдельной эксплуатируемой конструкции, так и сложного дорожно-мостового хозяйства в целом.

Литература:

1. Быстров В.А., Методика оценки фактической динамической нагруженности и ресурса конструкций эксплуатируемых стальных и сталежелезобетонных мостов, «Наука и инновации в современном строительстве». // Сборник материалов МНПК – СПб . 2007, с. 254–258.
2. Научно-технический отчет «Оценка остаточного ресурса конструкций СПС Дворцового моста через реку Неву в Санкт-Петербурге». СПб, 2010, с. 112.
3. Быстров В. А., Ярошутин Г. А. «Качество и инновационность проектирования пути управления безопасностью городских надземных и подземных транспортных сооружений // Вестник гражданских инженеров» СПбГАСУ 2016. № 25 (59), с. 168–172
4. Novozhilova N., Bystrov V / Reliability Prediction for Steel Concrete Composite Bridges // IABSE SYMPOSIUM BRUSSELS. – 1990. – p. 383–388
5. Быстров В. А. Инновационные подходы в теории и практике проектирования и определения ресурса конструкций эксплуатируемых мостов // Материалы МНПК, ч. I – СПб. 2012.

УДК624.137.5

Андрей Владимирович Ивановский,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
Email: iav1995@mail.ru

Andrey Vladimirovich Ivanovskiy,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
Email: iav1995@mail.ru

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА АРМОГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ**

**PRACTICAL ASPECTS, EXPERIENCE OF DESIGNING
AND CONSTRUCTION OF ARMOUNTABLE SUPPORTING WALLS
USING MODULAR BLOCKS**

Статья посвящена проектированию и строительству армогрунтовых стен. В ней раскрыта история создания основных видов конструкций подпорных стен и их дальнейшее развитие. Выполнен и наглядно проиллюстрирован обзор существующих видов стенок. Нижеописанные конструкции классифицированы по степени задействования в работу грунтового основания. А также технология возведения армогрунтовых стен и их применение. Описана применимость конструкции в городских стесненных условиях застройки, что сейчас является очень актуальным. Приведены примеры современных конструктивно-технологических решений. Выявлены достоинства и недостатки конструкции. Приведены основные выводы по статье.

Ключевые слова: подпорная стена, модульные блоки, армирование грунта, проектирование, стесненные условия.

The article is devoted to the design and construction of reinforced ground walls. It reveals the history of the creation of the main types of structures of retaining walls and their further development. A review of the existing types of walls has been completed and illustrated. The following designs are classified according to the degree of involvement in the work of the soil base. As well as the technology of erection of reinforced ground walls and their application. Describes the applicability of the design in urban constrained building conditions, which is now very relevant. Examples of modern design and technological solutions are given. Identified the advantages and disadvantages of the design. The main conclusions on the article.

Keywords: retaining wall, modular blocks, soil reinforcement, design, cramped conditions.



Рис. 1. Конструкция подпорных стенок

Основная проблема крупных городов – это повсеместная плотная застройка, которую необходимо учитывать при строительстве развязок, устройстве откосов дорог, а также укреплении откосных частей искусственных сооружений.

С целью уменьшения полосы отвода при строительстве, находят применение подпорные стены.

Подпорная стена – это сооружение, предназначенное для удержания грунтовой массы от обрушения. Обычно подпорные сооружения устраивают вблизи домов, дорог и иных сооружений, когда необходимо обеспечить резкий перепад отметки планирования. Классифицируют подпорные стенки по разным признакам: по материалу; функциональному назначению; по расположению относительно автомобильной дороги; по виду основания.

Перед возведением подпорных стен важно провести необходимые расчеты и спроектировать так, как конструкция будет выглядеть в конечном итоге. Разрабатывая проектные решения нужно помнить и об главных особенностях: гибкости и проницаемости ячеек используемого материала.

На данный момент существуют следующие виды подпорных стен:

- **Массивная.** Выполняются из непрочного материала (бут, габионы). Грунт не используется в целях сохранения устойчивости стенки, а только оказывает давление.
- **Полумассивные.** Облегченный тип подпорных стен, которые выполняются из железобетона. В работу стены вовлекается грунт, который оказывает давление на консоли, выступы, предусмотренные в конструкции. Этот вид стен можно поделить на комбинированные, тонкоэлементные и тонкие [1].
- **Армогрунтовые.** Стена состоит из облицовочных и армирующих элементов. Грунт является неотъемлемым элементом конструкции подпорной стены [2].

Каждая подпорная стенка состоит из четырех элементов: тела, фундамента, дренажа и водоотвода. Это незаменимые составляющие, от которых зависит работоспособность подпорной стены. В зависимости от проекта, задняя стенка подпорного сооружения может иметь разный угол крутизны: от пологой до крутой.

Дренаж и водоотвод необходим для снижения давления воды со стороны грунта, и предотвращения явлений эрозии поверхностными водами. Дренаж также помогает бороться с явлением морозного пучения грунта. При строительстве подпорных стенок на грунтах, подверженных пучению, дренаж и более глубокая (до 40...60 см) песчано-щебеничная подготовка основания необходимы для всех видов стен.

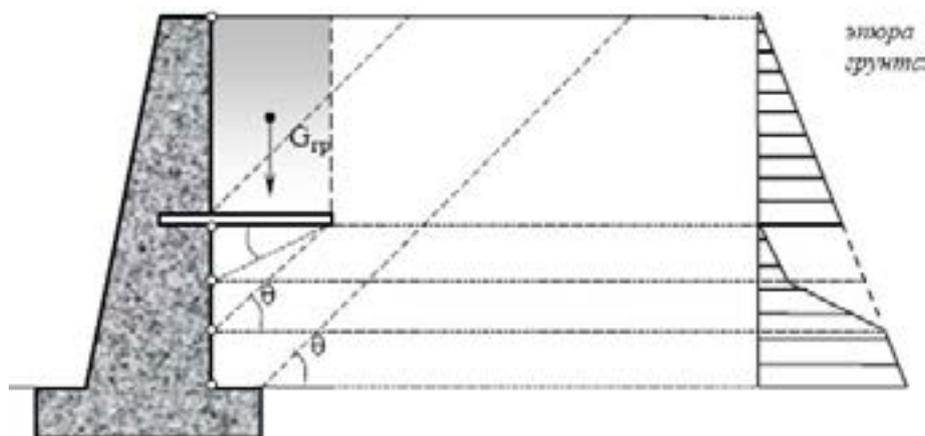


Рис. 2. Эпюра давления грунта на стенку

Технология армирования грунта впервые была создана французской компанией «TERRE ARMEE» в 1970-х годах. Данная конструкция включает в себя: ленточный фундамент, на который монтируются фасадные железобетонные панели, и арматурные выпуски, они крепятся на панели. Далее производится засыпка и уплотнение грунта. В качестве арматурных выпусков используются стальные или геосинтетические ленты и сетки. Железобетонные панели могут иметь различную конфигурацию и цвет.

Монтаж такой стены выполняется за короткий срок, т. к. глубина фундамента является небольшой и при возведении стенки необходимо ограниченное количество бетонных работ.

Вышеизложенный вариант положил начало развитию конструктивно-технологическим решениям подпорных стен.

Комбинированный тип стенок с помощью консолей, предусмотренных в конструкции, вовлекает грунт в работу. Также за их счет размеры стенки сокращаются. Ограждающая конструкция подпорных стен выполняется по типу массивных стен из природного камня.

Тонкоэлементные подпорные стенки изготавливаются из железобетона. При такой конструкции стен в работу активно вовлекается грунт, т. к. вес стенки только частично обеспечивает ее устойчивость. Разработано большое количество конструктивных решений подобного вида стен. Наиболее широко нашел применение уголкового вид подпорных стен, состоящий из вертикальной ограждающей панели и горизонтальной фундаментной плиты.

Тонкие подпорные стенки выполняются в виде тонкой стены ограждения и анкеровки из тяг или тонких железобетонных плит. Ограждение выполнено, как правило, из шпунта (металлический либо железобетонный).

Армогрунтовые подпорные стенки состоят из армирующего грунт элемента – сетки (мембраны, георешетки и т. д.) и облицовочных блоков. Сетка крепится к облицовочным элементам закладной деталью. Лицевая часть возводится по мере формирования армированной засыпки.

Армирование грунтов представляет собой направление в области создания оптимальных конструкций искусственных сооружений и методов усиления слабых грунтов. Благодаря включению в грунт армирующих геосинтетических элементов можно целенаправленно улучшать его прочностные и деформационные параметры, повышать устойчивость при статических и динамических воздействиях, а также снижать неравномерность осадок сооружения, изменяя жесткость основания.

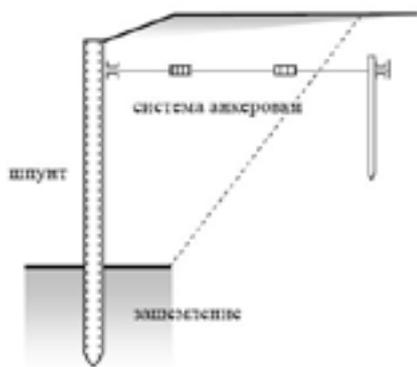


Рис. 3. Тонкая подпорная стенка

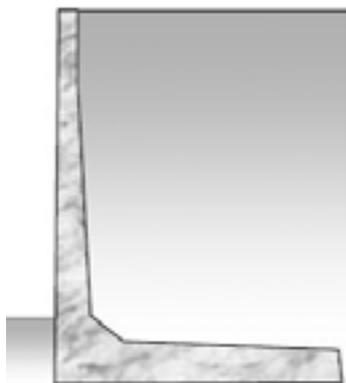


Рис. 4. Угловая подпорная стенка

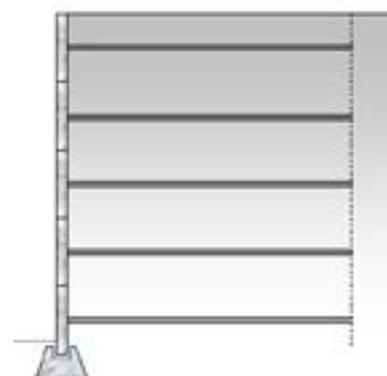


Рис. 5. Армогрунтовая подпорная стенка

В условиях города на подходах насыпях к искусственным сооружениям и съездах с них использование подпорных стен зачастую является единственным возможным решением, так как для обеспечения высокой пропускной способности искусственных сооружений и безопасности участников дорожного движения необходимо обеспечить достаточную ширину проезжей части, так в зависимости от высоты подпорной насыпи, количества и ширины полос движения подпорные стенки могут значительно сократить полосу отвода, за счет увеличения угла откосной части.

Литература:

1. Будин А. Я. Тонкие подпорные стенки. - Л.: Стройиздат, 1974. – 191 с.
2. Тяпочкин А. В. Совершенствование конструктивно-технологических решений армогрунтовых насыпей с подпорными стенами: дис. канд. техн. наук. Москва, 2011. – 163 с.

УДК 624.042

Николай Викторович Козак,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: kozak.spbgasu@gmail.com

Nikolai Victorovich Kozak,
postgraduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: kozak.spbgasu@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАСЧЕТОВ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

ANALYSIS OF DIFFERENCES IN RUSSIAN AND WORLD DESIGN STANDARDS IN THE FIELD OF CALCULATIONS FOR FATIGUE

В данной статье автором рассмотрены основы отечественной и зарубежных (действующих на Украине, в Европейский союзе и в Соединенных Штатах Америки) методик расчета элементов стальных мостов на выносливость при воздействии длительной циклической временной нагрузки. В ходе исследования проведено сравнение исходных расчетных нагрузок, а также анализ изложенных в нормативных документах методик расчёта с выявлением их ключевых структур и зависимостей. При проведении анали-

за были отмечены общие и различные методы и принципы, по итогам были выдвинуты предположения о ключевых проблемах имеющихся методик, а также гипотезы о возможных направлениях работы для усовершенствования методик.

Ключевые слова: мост, расчет, выносливость, долговечность, усталость, методика расчета

In this article, the author discusses the basics of domestic and foreign (operating in Ukraine, in the European Union and in the United States of America) methods for fatigue analysis of elements of steel bridges under the influence of a long cyclic temporary load. In the course of the study, a comparison was made of the initial design loads, as well as the analysis of the calculation methods set forth in the regulatory documents with the identification of their key structures and dependencies. During the analysis, general and various methods and principles were noted, and as a result, assumptions were made about the key problems of the existing methods, as well as hypotheses about possible areas of work to improve the methods.

Keywords: bridge, analysis, strength analysis, durability, fatigue, tension

Введение

Расчет на выносливость для элементов для мостовых сооружений является одним из ключевых в условиях многоцикличности обращающейся нагрузки, непосредственно влияя на срок службы объекта как основной технико-экономический показатель. Вместе с тем, современные методики проведения данного расчёта, по мнению многих ученых и инженеров, не в полной мере соответствуют реальным долгосрочным процессам и условиями эксплуатации [1] и требуют корректировок и дополнений.

Усталость материала, как известно, представляет собой изменение механических и физических свойств материала в результате действия многократных знакопеременных (циклических) или однозначных, нередко вибрирующих нагрузок, приводящее к его прогрессирующему разрушению [2], выносливость же определяется как свойство, обратное усталости. М. М. Корнеев в своем пособии [3] предлагает следующую классификацию методик расчёта: все расчеты на выносливость сводятся к сопоставлению действующих и предельных напряжений, однако в первом случае производится сравнение размаха напряжений, во втором случае – сравнение общей загруженности деталей.

В рамках данной статьи будет произведено сравнение методик расчета стальных элементов мостовых конструкций на выносливость (усталость) по 4 нормативным документам для выявления принципиальных общих положений и расхождений для продолжения дальнейшей работы по вопросам усовершенствования методикой.

Метод проведения сравнительного анализа

Для сравнения были выбраны методики расчета элемента по нормальным напряжениям, описанные в мостовых нормативных документах следующих стран и макрорегионов:

- Россия: СП 35.13330-2011 «Мосты и трубы» [4];
- Украина: ДБН В.2.3-26:2010 [5];
- Члены Евросоюза: EN 1993-2 [6], а также:
- Республика Беларусь (локализация): ТКП EN 1993 2 2009 (02250) Еврокод 3 [7];
- США: AASHTO Bridge Design Specification [8].

Результаты

На основании проведенного анализа были сделаны следующие выводы:

Расчетная нагрузка

Во всех четырех методиках рассматриваемая нагрузка в целом эквивалентна друг другу по осевой массе подвижного элемента (от 120 кН на ось в сдвоенном тандеме Еврокода

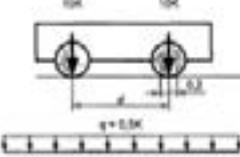
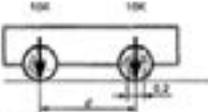
Страна / Документ	Основная формула / Нагрузка	Примечания
1 Россия СП 35.13330.2011	$\sigma_{max,ef} \leq \gamma_w \cdot R_y \cdot m$  <p>A14, тандем + полосы Осевая нагрузка = 140кН</p>	$\sigma_{max,ef}$ - наибольшее абсолютное напряжение m - коэффициент условий работы 0,75... 1,0 γ_w - коэффициент в формуле выносливости $\gamma_w = \frac{1}{\zeta \cdot \vartheta \cdot [(\alpha \cdot \beta \pm \delta) - (\alpha \cdot \beta \cdot m \cdot \delta) \cdot \rho]} \leq 1$ $\zeta = 0,7$ - для а/д и гор. мостов $\vartheta = f(\lambda(\sigma_{max})) \geq 1$ $\alpha, \delta = f(C235...C390)$ $\beta \geq 1$ - коэфф. концентрации напряжений, по расположению сечения и кар-ке $\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$; - коэффициент размаха напряжений
2 Украина ДНБ В.2.3-26: 2010	$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot R_y$ - размах напряжений $\Delta\sigma \leq \frac{\Delta\sigma_{Rn}}{\gamma_M \cdot \gamma_T}$ - выносливость  <p>A15, только тандем Осевая нагрузка = 150кН</p>	$\Delta\sigma_{Rn} = f(N, \Delta\sigma_C)$ - порог выносливости $N = f(n_D, n_T, n_C, n_T) \leq 1 \cdot 10^8$ $\Delta\sigma_C$ - табличные значения порогов для 2 млн циклов (зависит от расположения сечения и х-к) $\Delta\sigma_{Rn}(N = 5 \text{ млн}) = \Delta\sigma_D = 0,737 \Delta\sigma_C$ $\gamma_M \leq 1$ - коэфф. надежности по оценке порога выносливости $\gamma_T \geq 1$ - коэфф. ответственности

Рис. 1. Методики расчета по нормативной базе России и Украины

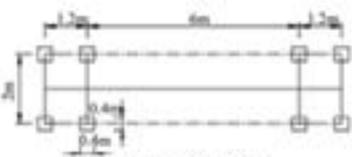
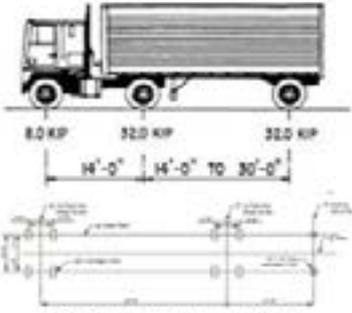
Страна / Документ	Основная формула / Нагрузка	Примечания
3 (4) ЕС (Еврокод) EN 1993-2	$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot R_y$ - размах напряжений $\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E,2} \leq \Delta\sigma_t / \gamma_M$ - выносливость  <p>Fatigue Load Model 3 Осевая нагрузка = 120кН 1 или 2 нагрузки</p>	$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma$ - эквивалентный размах напряжений (приведен к 2млн циклов) $\lambda = f(l, k_{top}, m_{max}, T, q_{20m})$ - коэфф. поврежденный $\Phi_2 = f(l, k_{top}, m_{max}, T, q_{20m})$ - динамический коэфф. $\gamma_{FF} = 1,0$ - коэфф. надежности по нагрузке $\gamma_M \geq 1,0$ - коэфф. надежности по ремонтпригодности $\Delta\sigma_C$ - относительный порог выносливости для 2млн циклов (зависит от расположения сечения и х-к)
5 США AASHTO LFRD Bridge Design Specification/ 6.1.1.2	$\gamma \cdot (\Delta f) \leq (\Delta F)_n$  <p>Осевая нагрузка = 142кН Главное осевое расстояние 30ft = 9,14м Общая нагрузка 320кН</p>	γ - табличный коэффициент для сочетания нагрузки под расчет усталости (0,75... 1,5) (Δf) - размах напряжения от податливой нагрузки $(\Delta F)_n$ - номинальная усталостная прочность (табличная)

Рис. 2. Методики расчета по нормативной базе стран действия Еврокодов и США

до 150 кН на ось в тандеме по украинским ДНБ). В европейских нормах, в отличие от СП и ДБН, используется сдвоенный тандем (таким образом моделируется проход не одиночного сверхтяжёлого грузовика, а автопоезда). В нормах США за модель принята менее абстрактная модель трехосного автопоезда с двумя основными осями, нагруженными по 32 килофунта (или 142 кН). Значения величины общего веса среди рассматриваемых нормативных нагрузок располагаются в диапазоне от 280 кН по СП до 480 кН по Еврокоду.

Как видно, ключевым отличием российских норм является учет при расчете на длительные воздействия комбинации одиночной подвижной тележки и полосной нагрузки, а не только одиночной подвижной нагрузки в виде тандема, сдвоенного тандема или эталонной модели транспортного средства. Полосная нагрузка в этом случае характерна тем, что не оказывает влияние на ширину спектра возможных напряжений от временной нагрузки.

Методика расчета

В методиках расчета, описанных в ДНБ, Еврокоде и AASHTO ключевой можно выделить следующую структуру:

$$\Delta\sigma \leq K \cdot \Delta\sigma_c, \quad (1)$$

где K – некоторый составной коэффициент, включающий в себя коэффициенты по надежности, условиям работы и другие; $\Delta\sigma$ – расчетный размах напряжений в элементе конструкции; $\Delta\sigma_c$ – относительный порог возможных напряжений для категории детали.

В методике СП принципиально можно выделить следующую структуру:

$$\frac{\sigma_{\max}}{C} \leq K \cdot R_y, \quad (2)$$

где K – аналогично, некоторый составной коэффициент, включающий в себя коэффициенты по надежности, условиям работы и другие; C – коэффициент, характеризующий свойства материала и конструкции при циклической работе; σ_{\max} – максимальное абсолютное напряжение в элементе; R_y – предел упругости материала.

Наибольший интерес из сравнения формул (1) и (2) представляют величины $\Delta\sigma_c$ и C определяющие свойства при циклической работе.

Величина $\Delta\sigma_c$ в европейских нормах определяется как функция от табличных значений порогов выносливостей для категорий деталей для 2×10^6 циклов нагружений, полученных экспериментально, а также от коэффициентов повреждений элементов и динамического коэффициента, зависящего от условий эксплуатации. В украинских нормах, помимо вышечисленного, в функцию вводится поправка на число реальных эксплуатационных циклов. В нормах AASHTO номинальная усталостная прочность берется по умолчанию как табличная величина исходя из категории детали. Единственным во всех представленных методиках является использование в качестве основного источника перечня деталей по категориям выносливости, т. е. сводного документа, определяющего категорию как максимальный размах напряжений для детали после 2×10^6 циклов нагружений. Категория определится в зависимости от расположения элемента, материала, типа соединения (рис. 3).

Table 8.3: Transverse butt welds

Detail category	Constructional detail	Description	Requirements
112		Without backing bar. 1) Transverse splices in plates and flange. 2) Flange and web splices in plate girders before assembly. 3) Full cross-section butt welds of rolled sections without cope holes. 4) Transverse splices in plates or flange tapered in width or in thickness, with a slope $\leq 1/4$.	<ul style="list-style-type: none"> All welds ground flush to plate surface parallel to direction of the stress. Weld run-on and run-off pieces to be used and subsequently removed, plate edges to be ground flush in direction of stress. Welded from both sides, checked by NDT. Detail 1: Applies only to joints of rolled sections, cut and welded.
90		5) Transverse splices in plates or flange. 6) Full cross-section butt welds of rolled sections without cope holes. 7) Transverse splices in plates or flange tapered in width or in thickness with a slope $\leq 1/4$. Transition of welds to be machined notch free.	<ul style="list-style-type: none"> The height of the weld convexity to be not greater than 10% of the weld width, with smooth transition to the plate surface. Weld run-on and run-off pieces to be used and subsequently removed, plate edges to be ground flush in direction of stress. Welded from both sides, checked by NDT. Details 5 and 7: Welds made in flat position.

Рис. 3. Образец каталога категорий элементов по выносливости в Еврокоде EN 1993-1-9:2005

Условная величина S в СП 35.13300.2011 определяется коэффициентом (3)

$$\tilde{N} = \tilde{a}_w = f(\Delta\sigma, Cat), \quad (3)$$

где $\Delta\sigma$ – расчетный размах напряжений в элементе конструкции, Cat – функция коэффициента, включающая в себя множество аргументов, в том числе учитывающих особенности расположения, крепления и основного материала элементов, т. е. фактически определяющая категорию детали.

Формирование основных тезисов

На основе сравнения методик были сформированы следующие рабочие тезисы:

– Во всех рассматриваемых случаях одним из основных параметров при расчете на выносливость является величина, связанная с материалом и особенностями конструкции рассчитываемого элемента. Однако если в методиках [5]–[8] величина дается справочно как категория расчётной детали, то при расчете по СП данная величина выражена формулой как функция от множества уточняющих параметров. С инженерной точки зрения первый подход, по мнению автора, является более рациональным в рабочих расчетах. Однако в данном случае важным является вопрос достоверности получаемых экспериментальным путем значений категорий деталей и возможности применения их в конкретной ситуации;

– В методиках [5]–[8], в отличие от отечественных норм, одним из подпараметров расчета является величина цикличность нагрузки, позволяющая переходить к реальным эксплуатационным циклам загрузки конструкции за срок эксплуатации. Тем не менее, используемая модель циклов не в полной мере отображает реальный характер распределения величин, который не подчиняется нормальному закону.

– Прямой учет размаха напряжений в методиках [5]–[8] позволяет получать «чистый» спектр напряжений без учета «лишних» постоянных напряжений от нагрузок соб-

ственного веса и полос движения, которые оказываются не столь значительными при расчетах на долгосрочные воздействия.

Заключение

По итогам исследования были сформулированы тезисы, указывающие на общие положения и основные отличия используемых в настоящее время методик расчета элементов металлических мостов на выносливость. Для дальнейшей работы наиболее рациональной предлагается разработка синтезированной методики, сочетающей использование параметров размаха напряжений как наиболее удобного для оценки реальной загруженности и параметра порога выносливости как функции, позволяющей наиболее точно отследить изменения критической величины в зависимости от множества параметров.

Литература

1. Быстров В.А. Обоснование режимов нагруженности эксплуатируемых сталежелезобетонных автодорожных и городских мостов // Межвуз. сб. научн. тр. СПб.: СПбГАСУ, 2005. – С.10–21.
2. Новый политехнический словарь, Москва, Научное издательство, 2000г.
3. Корнеев М.М. Сталежелезобетонные мосты: теоретическое и практическое пособие по проектированию. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 400 с.
4. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. М.: ФГУП ЦПП, 2011. 347 с.
5. ДБН В.2.3-26:2010. МОСТИ І ТРУБИ. СТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ. Правила проектування. Київ.: Мінрегіонбуд України, 2011. 265 с.
6. EN 1993-2: Eurocode 3: Design of steel structures – Part 2: Steel bridges. CCO Universa, 2006, 122 p.
7. Еврокод 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Часть 2. Стальные мосты. Минск.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. 113 с.
8. AASHTO LRFD bridge design specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012. 1661 p.

УДК 624.19.001.2 : 625.745.2(047.3)

Анастасия Сергеевна Лебедева,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: lebevaa@gmail.com

Anastasia Sergeevna Lebedeva,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: lebevaa@gmail.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

IMPROVING BURSTING TECHNOLOGY DURING THE CONSTRUCTION OF SHALLOW TUNNELS

В данной статье рассмотрены некоторые вопросы, связанные с технологией продавливания тоннельных обделок с помощью домкратов. Метод продавливания квалифицируется как перспективный с точки зрения строительства пешеходных тоннелей под железнодорожными насыпями. Развитие техники позволяет использовать в настоящее время домкраты большой мощности. Наряду с этим затрагивается тема совершенствования технологий продавливания, позволяющих снизить мощность домкратных установок путем устройства промежуточных домкратных камер, применения тиксотропной «смазки», антифрикционных материалов между обделкой и грунтом.

Ключевые слова: технология, продавливание, домкраты, тиксотропная смазка.

This article discusses some of the issues related to the technology of forcing tunnel lining with jacks. The punching method qualifies as promising in terms of the construction of pedestrian tunnels under the railway embankments. The development of technology allows the use of currently jacks of high power. Along with this, the topic of improving the technology of bursting is touched upon, which makes it possible to reduce the power of jacking installations by arranging intermediate jacking chambers, using thixotropic “lubricant”, and anti-friction materials between the lining and the ground.

Keywords: technology, pushing, jacks, thixotropic lubricant.

В настоящее время имеет место ускоренный процесс урбанизации населения. И, если в XX веке на территории Советского Союза процесс роста городского населения не был выражен столь ярко, то сегодня он резко ускорился. В связи с этим необходимость развития подземной инфраструктуры городов постоянно возрастает. Количество подземных пешеходных переходов в городах с миллионным населением явно недостаточно. Возрастает потребность в строительстве пешеходных подземных переходов под автодорожными магистралями и железнодорожными путями в структуре современной планировки городов. При одновременном строительстве транспортной магистрали и подземного пересечения с ней другой магистрали пешеходной или транспортной возможно использование более простых и дешевых технологий строительства – так называемых траншейных технологий. Однако в районах с уже сложившейся транспортной инфраструктурой и конфигурацией застройки траншейные технологии не всегда могут быть использованы. Особую сложность приобретает проблема в условиях исторической застройки. Оптимальным решением при строительстве коммуникационных и пешеходных тоннелей в указанных условиях является применение метода продавливания во всех его разновидностях.

В первом приближении можно рассматривать две разновидности метода:

- продавливание непосредственно секций тоннельной обделки сквозь массив грунта;
- создание методом продавливания опережающей ограждающей крепи (экрана), под защитой которого сооружается тоннельная обделка.

Первая разновидность продавливания отличается тем, что цельные секции тоннельной обделки последовательно вдавливаются в массив грунта при помощи «батареи» домкратов. В процессе вдавливания внутри секций производится выборка и удаление грунта. Сущность второй разновидности заключается в том, что в массив грунта по периметру тоннеля вдавливаются металлические элементы (как правило, трубчатого сечения). Указанные элементы на определенном участке забоя создают защитный экран, внутри которого производится разработка грунта. Затем цикл повторяется.

Тоннели, которые строятся методом продавливания непосредственно готовых секций тоннельной обделки, имеют, как правило, небольшую длину – до 200–250 м. Это могут быть коммуникационные, пешеходные или транспортные тоннели. Более часто метод продавливания применяется при строительстве пешеходных тоннелей под железнодорожными путями. Таким способом был построен участок пешеходного тоннеля под железнодорожными путями Выборгского направления в СПб у метро «Выборгская» длиной порядка 150 м. Как показывает практика применения этого метода, продавливание может быть использовано и при большей длине тоннеля – до 300–400 м. Преимущество этого метода заключается в том, что при строительстве тоннелей просадки дневной поверхности грунта минимальны.

При продавливании готовых секций тоннельной обделки значительное влияние на усилие, которое создается «батареями» домкратов, оказывают следующие факторы:

- длина продавливания участка тоннеля;
- внешний периметр секций обделки;
- глубина заложения тоннеля;
- грунтовые условия.

Все эти условия в первую очередь влияют на усилия трения, возникающие между тоннельной обделкой и грунтом в процессе движения секции тоннеля сквозь грунт при продавливании.

Исходя из перечисленных условий, можно сделать частное заключение, что при меньших габаритах тоннельной обделки, меньшей длине тоннеля и меньшей глубине его заложения, необходимое конечное усилие продавливания будет меньше. Можно сделать вывод, что наиболее подходящими параметрами для технологии продавливания обладают пешеходные тоннели. Они имеют сравнительно небольшую длину. При прохождении тоннеля под улицей общегородского значения с 8 полосами движения его длина составит 40–50 м, не считая размеров спусков. Поперечное сечение продавливаемой секции, как правило, не превысит по внешнему контуру $3,5 \times 7,0$ м [1]. Глубина заложения пешеходного тоннеля также невелика.

Однако технология продавливания при строительстве пешеходных тоннелей под городскими улицами применяется редко, поскольку при большой ширине улицы почти всегда имеется возможность поэтапного строительства открытым (траншейным) способом с перекрытием половины ширины магистрали и организации движения по другой половине. Кроме того подземное пространство под улицами насыщено различными городскими коммуникациями, что в большинстве случаев исключает возможность беспрепятственного продавливания.

Наибольшее распространение технология продавливания получила при строительстве пешеходных тоннелей под железнодорожными путями, поскольку перекрытие хотя бы части путей сопряжено с большими проблемами, а насыщенность коммуникациями в теле железнодорожных насыпей и под ними значительно меньше.

Пешеходные тоннели под железнодорожными путями по технологии продавливания, как правило, прокладываются двумя способами. При расположении домкратной установки в котловане в том случае если железнодорожная насыпь имеет незначительную высоту. Или при расположении домкратной установки на поверхности земли при более высоких насыпях (рис. 1).

При невысокой насыпи для прокладки тоннеля продавливанием необходимо устройство котлована в шпунтовом ограждении. С одной стороны насыпи сооружается так называемый «забойный котлован» для размещения домкратной установки и монтажной камеры, где монтируется тоннельная обделка. С противоположной стороны насыпи по оси тоннеля устраивается приемный котлован. Обратное усилие домкратов передается через мощную бетонную плиту на заднюю стенку котлована.

В случае расположения домкратной установки на поверхности земли приходится устраивать мощный упор на свайном основании, на который передается усилие домкратов.

Для прокладки пешеходных тоннелей в большинстве случаев применяются цельные железобетонные секции прямоугольного очертания. Головная секция тоннельной обделки снабжается металлическим ножевым устройством, под защитой которого в забое тоннеля разрабатывается грунт. Разработка грунта как правило производится вручную. Далее грунт транспортируется в забойный котлован и извлекается на поверхность с помощью крана.

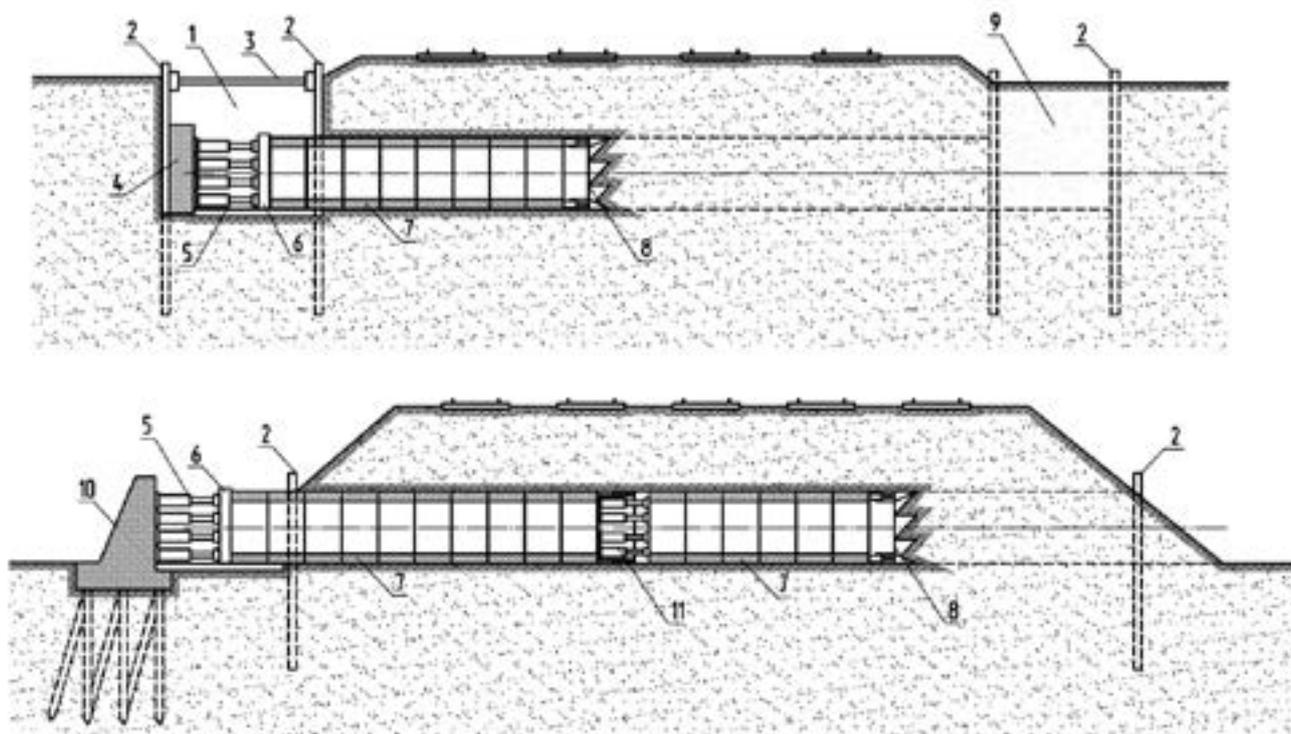


Рис.1. Схемы сооружения тоннеля методом продавливания:

- 1 – забойный котлован; 2 – шпунтовое ограждение; 3 – распорки шпунтового ограждения;
 4 – железобетонная упорная плита; 5 – основная домкратная батарея; 6 – распределительная рама;
 7 – секции тоннельной обделки; 8 – ножевое устройство; 9 – приемный котлован;
 10 – бетонный упор на свайном основании; 11 – промежуточная домкратная батарея

При продавливании тоннельной обделки возникает ряд технических проблем, от возможности решения которых зависит выбор способа продавливания среди других технологических решений строительства тоннеля. Одним из таких ограничений является прочность бетона, из которого выполнены секции тоннельной обделки. Усилие от домкратов передается на бетон секции, который испытывает сжатие. Если сопротивление продавливанию будет больше, чем усилие, которое способен выдержать бетон обделки то секция разрушится, не выдержав усилия сжатия. Для пешеходного тоннеля среднего габарита это усилие можно в первом приближении определить по формуле:

$$P = R_b \cdot A_b,$$

где R_b – расчетное сопротивление бетона при сжатии; A_b – площадь сечения тоннельной обделки.

Для пешеходного тоннеля с внешними размерами сечения $4,5 \times 3$ м и толщиной стенок 0,25 м, изготовленных из бетона класса В35–В40, это усилие составит приблизительно 6–7,5 тыс. т.

Сопротивление продавливанию зависит от лобового сопротивления вдавливанию ножевой секции – $W_{л.с}$ и сопротивления трению по боковой поверхности тоннельной обделки – $W_{тр}$. Составляющая $W_{л.с}$ является величиной постоянной, а $W_{тр}$ нарастает по мере увеличения расстояния продавливания. Поэтому, приведенное выше предельное усилие

продавливания относится к конечному расстоянию продавливания. Максимальная величина сил трения по бортовой поверхности тоннельной обделки при конечном расстоянии продавливания будет определяться из выражения [2]:

$$W_{\text{тр}} = [2(q + p) \cdot D_{\text{н}} + g] \cdot f_0 \cdot y + \pi \cdot D_{\text{н}} \cdot c_0 \cdot y,$$

где q – расчетное вертикальное равномерно распределенное давление грунта на обделку тоннеля; p – расчетное горизонтальное равномерно распределенное давление грунта на обделку тоннеля; $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр обделки; g – вес единицы длины обделки; f_0 – коэффициент трения окружающей среды по обделке тоннеля; y – расстояние продавливания; c_0 – сцепление между окружающей средой и обделкой.

При продавливании обделки в несвязных песчаных грунтах вторым слагаемым в приведенной выше формуле можно пренебречь [3]. В случае обделки прямоугольного сечения наружный диаметр обделки $D_{\text{н}}$ заменяется приведенным диаметром $D_{\text{прив}}$, который определяется из выражения [3]:

$$D_{\text{прив}} = [2(B + H)] \cdot k',$$

где B и H – размеры наружного контура обделки; $k' = 0,32$ – коэффициент приведения. Для тоннелей мелкого заложения, когда свод давления (обрушения) не образуется, величину q можно определять по формуле [2]:

$$q = \gamma_f \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i,$$

где $\gamma_f = 1,1$ – коэффициент надежности по нагрузке; γ_i – объемный вес i -того слоя грунта; h_i – толщина i -того слоя грунта; n – количество слоев грунта.

Расчетное горизонтальное давление определяется из выражения:

$$q = \gamma_f \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi^{\text{н}}}{2} \right),$$

где $\phi^{\text{н}}$ – нормативный угол внутреннего трения грунта.

Лобовое сопротивление вдавливанию ножевой секции для песчаных грунтов колеблется в пределах 7–10 т на погонный метр режущей кромки [3].

Подсчеты по приведены выше формулам показывают, что для продавливания бетонной тоннельной обделки прямоугольного сечения на расстояние 50 м в автодорожной или железнодорожной насыпи из песчаного грунта потребуется мощность домкратной установки порядка 3,5–4 тыс. т.

Для уменьшения мощности домкратной установки или для увеличения длины продавливания применяются меры для уменьшения сил трения на контакте обделки и грунта. К таким мерам относятся:

- покрытие наружной поверхности обделки антифрикционными материалами;
- протягивание антифрикционных лент между обделкой и грунтом;

- нагнетание за обделку бентонитового раствора [5];
- устройство промежуточных домкратных установок.

При необходимости большой длины продавливания возникает проблема точности продавливания тоннеля в нужном направлении. Неоднородность толщи грунта, естественная неточность в изготовлении и стыковке блоков обделки и т. п. могут привести к тому, что ножевая секция отклонится от заданного направления.

Устройство промежуточных домкратных установок позволяет решить такие проблемы как точность продавливания, увеличение длины продавливания, снижение мощности домкратных установок.

На повышение точности продавливания существенно влияет устройство управляемой ножевой секции [4], которая имеет свою домкратную установку меньшей мощности, чем основная (рис. 2).

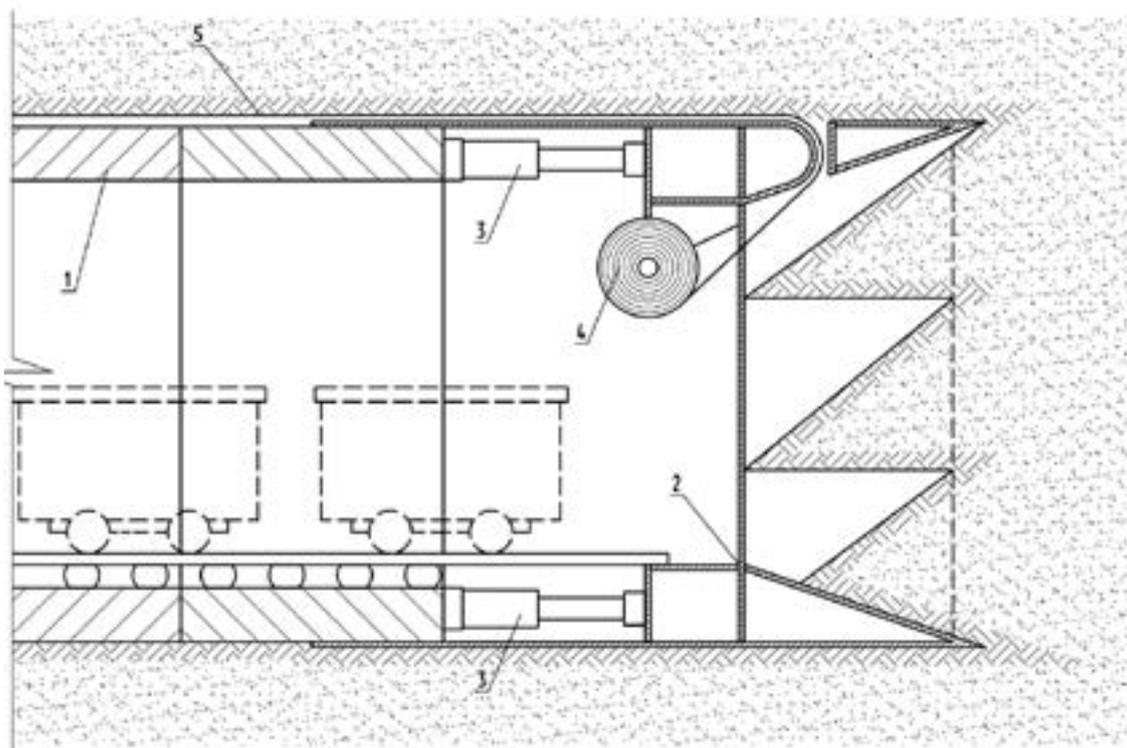


Рис.2. Схемы управляемой ножевой секции:
1 – обделка тоннеля; 2 – ножевая секция; 3 – домкраты ножевой секции;
4 – рулон металлического листа; 5 – металлический лист

Литература

1. Дубровин Е. Н. Пересечения в разных уровнях на городских магистралях. М.: Высшая школа, 1977. 432 с.
2. Васюков П. А. Расчет усилий продавливания тоннелей. Метрострой. 1981. –№4. – с. 19–21.
3. Быстров В. А. Проектирование транспортных сооружений в особых условиях. Учебное пособие. Л.: ЛИСИ, 1984. 92 с.
4. Васюков, П. А. Совершенствование метода продавливания тоннелей / Г. Молодцов, Б. Хихлуха, 1981. –№ 7. – 13 с
5. Васюков, П. А. О снижении сил трения растворами бентонитовых глин при продавливании тоннелей (на стр-ве Московского метрополитена). / П. А. Васюков, Д. Беккер, Э. Малоян // Метрострой. 1979. – № 5. – с. 14–16.

УДК 624.21/.8

Анастасия Андреевна Лукьянова,
студент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: nastlknv13@gmail.com

Anastasia Andreevna Lukyanova,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: nastlknv13@gmail.com

ДЕФЕКТЫ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МОСТОВОГО СООРУЖЕНИЯ

DEFECTS OF DEFORMATION JOINTS AND THEIR INFLUENCE ON THE DURABILITY OF THE BRIDGE

В статье рассматриваются наиболее часто встречаемые дефекты деформационных швов, природа и причины их возникновения, влияние дефектов на мостовые сооружения и их долговечность. Формулируется перечень современных требований, которые должны обеспечивать современные конструкции деформационных швов. Приводится одна из наиболее часто применяемых классификаций и подробно рассматриваются типы деформационных швов, дефекты и повреждения каждой выделенной группы. Выдвигаются гипотезы о реальных минимальных сроках их эксплуатаций. Совершаются попытки определения основной проблемы деформационных швов и их конструкций и предлагаются варианты решения описанных проблем.

Ключевые слова: деформационный шов, мостовое сооружение, дефект, деформация, эксплуатация, долговечность.

The most of prevalent defects of deformation joints, the nature and causes of their origin the effect of defects on bridges constructions and their durability are reviewed in the article. The list of current requirements, which should ensure modern designs of deformation joint, is formulated. One of the most frequently used classifications is given and the types of deformation joints, defects and damages of each selected group of joints are considered in detail. There are made assumptions about the real minimum service period of joints. Attempts are made to determine the main problem of deformation joints and their structures and to propose solutions to the described problems.

Keywords: deformation joint, bridge construction, defect, deformation, exploitation, durability.

Деформационный шов – основной и наиболее значимый элемент любого мостового сооружения, главной задачей которого является уменьшение напряжений в элементах конструкции мостового сооружения в местах возможных деформаций, снижающих несущую способность, и обеспечение свободных перемещений концов пролетного строения. Эти деформации возникают из-за факторов различного происхождения и подразделяются на следующие группы, приведенные в табл. 1 [1].

Изначально деформационные зазоры предусматривались непосредственно для предотвращения напряжений от действия температуры и назывались температурными зазорами. С развитием мостостроения развивались и конструкции швов, а, соответственно, возрастали и требования к ним. Поэтому в настоящее время на деформационные швы и их конструкцию приходится огромная ответственность, ведь от их надежности и работы зависит долговечность всего мостового сооружения [2].

Это подводит нас к осознанию важности проблемы деформационных швов, а именно их долговечности и эксплуатационной надежности.

Продолжительность эффективной эксплуатации деформационных швов зависит от совокупности сроков исправного состояния его отдельных элементов и влияния дефектов, возникающих в самом шве, на другие его части в целом.

Факторы и воздействия на конструкции деформационных швов

Факторы	Воздействия
Природно-климатические	<ol style="list-style-type: none"> 1. Перепады температуры 2. Число дней в году с отрицательной температурой 3. Число переходов температуры через «ноль» 4. Температура воздуха, в том числе минимальная 5. Загрязненность окружающей среды 6. Осадки 7. Воздействие солнечной радиации
Эксплуатационные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Истирающее воздействие шин колес транспортных средств 2. Многократное нагружение колесами 3. Возможность попадания в конструкцию инородных материалов и продолжительность их воздействия 4. Наледи на проезжей части в зоне деформационных швов 5. Воздействие воды 6. Загрязнение деформационных швов 7. Соли, химикаты
Перемещения концов пролетных строений	<ol style="list-style-type: none"> 1. Линейные горизонтальные продольные и поперечные смещения 2. Линейные вертикальные смещения 3. Угловые перемещения в продольной вертикальной плоскости 4. Угловые перемещения в поперечной вертикальной плоскости 5. Угловые перемещения в горизонтальной плоскости

Поэтому к конструкции деформационных швов сейчас предъявляются следующие требования, хорошо сформулированные в [2]:

- обеспечение безопасного и комфортного движения транспортных средств и пешеходов через шов;
- обеспечение герметичности конструкции шва;
- восприятие необходимых температурных перемещений во всех направлениях;
- устойчивость шва к динамическому воздействию от транспорта;
- устойчивость конструкции к химическому воздействию;
- минимальные эксплуатационные расходы;
- простота и удобство монтажа;
- ремонтпригодность;
- низкая шумовая эмиссия;
- минимальное влияние деформационного шва на конструкции мостового сооружения.

В силу бытующего до последнего времени отношения к деформационным швам как к вспомогательным элементам и недостаточного внимания к ним, большинство современных конструкций деформационных швов не удовлетворяет заявленным требованиям, что, как правило, показывают обследования мостов.

В итоге мы имеем разрушения конструкций деформационных швов, которые, в свою очередь, приводят к дальнейшему разрушению других элементов мостового сооружения и выходу самого сооружения из состояния, пригодного для эксплуатации.

Основными причинами, вызывающими разрушение конструкции деформационных швов, являются:

- динамические нагрузки;
- плохое качество изготовления;
- неправильная установка;
- климатические условия.

Деформационные швы можно разделить на три основные группы, приведенные на рис. 1.



Рис. 1. Классификация деформационных швов

Согласно [1], существуют еще деформационные швы открытого типа, не нашедшие широкого применения на дорогах мостовых сооружений РФ из-за необходимости их ежедневной очистки и по причине очевидной незащищенности конструкции от внешних факторов, в отличие от других деформационных швов, и швы откатного типа, являющиеся разновидностью швов перекрытого типа.

К **закрытым** относят швы, с уложенным поверх зазора непрерывного покрытия (с армированием над швом или без такового) или щебеночно-мастичной вставкой (с окаймлением кромки бетона или без нее).

Область применения таких деформационных швов – места сопряжения разрезных пролетных строений малой длины (15–18 метров), установленных на подвижные опорные части, а также места сопряжений разрезных, неразрезных и температурно-неразрезных балочных пролетных строений, установленных на неподвижные опорные части.

Наиболее распространенные дефекты такого типа швов представляют собой нарушение сцепления между металлической пластиной и дорожным покрытием, раздробление дорожного полотна над деформационным зазором, образование трещин в покрытии проезжей части, разрушение материала пластины и нарушение гидроизоляции, которое приводит к протечкам воды [3]. К недостаткам закрытых деформационных швов также можно отнести невозможность осмотра или ремонта конструкции без снятия участка покрытия.

Предполагаемое время эксплуатации швов закрытого типа – 10–12 лет, однако минимальный срок службы таких конструкций обычно составляет 5–8 лет из-за разрушения оцинкованного компенсатора или мастичного заполнения [1]. Деформационные швы **заполненного типа** различаются по виду заполнителя и бывают либо с мастичным заполнением, либо с заполнением в виде резиновых компенсаторов и применяются они обычно в мостах с малыми пролетами.

Основными дефектами таких конструкций можно назвать деформацию заполнителя при перемещении концов главных балок пролетного строения, смещение (продавливание) компенсатора под воздействием засора и его разбалтывание из-за температурных колебаний, разрушение заполняющих материалов и нарушение их сцепления со смежным дорожным полотном, протечки воды при нарушении гидроизоляции [3].

Рекомендуемый минимальный срок эксплуатации до замены составляет 15–20 лет, но, ввиду более раннего разрушения резинового компенсатора и его болтового крепления, на практике может составлять всего 10–15 лет [1].

Швы перекрытого типа отличаются наличием перекрытия их конструкции различными плитами (листами), такими как гребенчатые, резинометаллические или стальные и характеризуются изменением положения элемента, перекрывающего зазор, относительно окаймления шва. Такие деформационные швы сейчас особо не применяются, ввиду неоспоримых преимуществ современных швов с упругими компенсаторами, исключением являются швы гребенчатого типа. Дефектами такого типа швов является механический износ поверхностей шва, расшатывание болтов крепления, разрыв эластичного компенсатора, общее засорение конструкции и коррозия металлических элементов [3].

Предполагаемое (планируемое) время эксплуатации швов – 25 лет, но чаще всего составляет всего не более 5 лет из-за разрушения водоотводных лотков и необходимости их замены [1].

Одной из основных причин разрушения конструкции деформационных швов можно назвать нарушение их герметизации и появление вследствие этого протечек, которые, в свою очередь, приводят не только к коррозии металла конструкции деформационного шва, но и разрушают конструкции мостового сооружения, находящиеся ниже шва, таких как, например, оголовки опоры, тело опоры.

Решением этой проблемы является:

- улучшение герметизации деформационных швов;
- если позволяет конструкция, наличие в ее составе отдельные элементы, выполняющие сугубо гидроизоляционные функции, не совмещая их с любыми другими функциями (к примеру, восприятия и передачи нагрузок);
- барьер гидроизоляции деформационного шва должен составлять с гидроизоляцией мостового полотна неразрывную систему;
- пропускная способность дренажной системы шва должна соответствовать реальному количеству воды.

Также необходимо отметить, что сами по себе деформационные швы являются очень проблемными конструкциями, требующими постоянного ремонта и обслуживания, которые являются очень неэкономичными и дорогостоящими мероприятиями.

Поэтому нужно стремиться минимизировать количество швов или сократить их ширину, что уже пытаются сделать многие зарубежные строительные организации, а также рекомендовать проектирование интегральных мостовых сооружений, в которых деформационные швы совсем отсутствуют.

Литература

1. ОДМ 218.2.025-2012. Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах.
2. Ефанов А. В., Овчинников И. Г., Шестериков В. И., Макаров В. Н. Деформационные швы автодорожных мостов: особенности конструкции и работы / учебное пособие. Саратовский государственный технический университет – 2005.

3. Трифонова А. А., Бахарев В. А., Ганец Г. В. Тенденции совершенствования деформационных швов автодорожных мостов // Молодой ученый. – 2016. – № 12. – С. 394–397. – URL <https://moluch.ru/archive/116/31293/> (дата обращения: 26.03.2019).

УДК 624.21/8

Евгений Павлович Сапожников,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: evgenysapozhnikov94@gmail.com

Evgeniy Pavlovich Sapozhnikov,
post graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: evgenysapozhnikov94@gmail.com

**УСТРОЙСТВО ЗАСЫПНЫХ АРОЧНЫХ МОСТОВ В ТЕЛЕ
ОБЛЕГЧЕННЫХ НАСЫПЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА**

**ARRANGEMENT OF BACKFILLED ARCH BRIDGES IN THE BODY
OF THE EPS GEOFOAM EMBANKMENTS**

Рассматривается зарубежный опыт применения блоков из экспандированного пенополистирола в качестве легкого заполнителя при строительстве объектов транспортной инфраструктуры на слабых грунтах. По результатам оценки данных многолетнего мониторинга осадки возведенных насыпей, а также технической сложности объектов, для которых применялись пенополистирольные блоки, была предложена конструкция засыпного арочного моста, устраиваемого в теле облегченной дорожной насыпи. В работе представлена информация о возможных конструктивных элементах такого моста, а также преимущества, которыми обладает предложенная конструкция по сравнению с аналогичными железобетонными мостами.

Ключевые слова: засыпной арочный мост, EPS-блок, облегченная насыпь

The foreign experience of application of expanded polystyrene blocks as lightweight aggregate in the construction of transport infrastructure facilities on weak soils is considered. According to the results of the evaluation of the long-term monitoring of the settlement of the erected embankments, as well as the technical complexity of the objects for which the expanded polystyrene blocks were used, the design of the backfilled arch bridge arranged in the body of the lightweight road embankment was proposed. The paper presents information on the possible structural elements of such a bridge, as well as the advantages that the proposed construction has in comparison with similar reinforced concrete bridges.

Keywords: backfilled arch bridge, EPS block, lightweight embankment

Одной из наиболее серьезных проблем, стоящих перед инженерами, проектирующими и строящими объекты транспортной инфраструктуры, является строительство на слабых грунтах. И на сегодняшний день разработано и внедрено множество способов, позволяющих возводить насыпи на слабых грунтах.

Для примера можно вспомнить наиболее распространенные из них:

1. Замена слабого грунта.
2. Устройство свайного основания.
3. Устройство ленточных геодрен.
4. Закрепление слабых грунтов методом струйной цементации (“Jet Grouting”).
5. Химическое закрепление грунтов.
6. Армирование насыпи геосинтетическими материалами.
7. Применение облегченных материалов при возведении насыпи (таких как древесное волокно, облегченные шлаки, керамзит, пеностекольный щебень, пенополистирол и др.).

Из всех перечисленных методов возведения насыпей на слабых грунтах, наибольший интерес у автора статьи вызывает технология возведения дорожных насыпей с применением блоков из экспандированного пенополистирола.

Саму технологию возведения насыпей из пенополистирольных блоков назвать инновационной нельзя, так как впервые она была опробована 45 лет назад в Норвегии [1]. На автомобильной дороге № 159, пересекающей болото, наблюдалась значительная осадка на участке сопряжения насыпи с мостом. Проблема заключалась в том, что в основании насыпи залегал слой торфа мощностью 3 м, а под ним – 10 м мягкой пылеватой глины. Сначала рабочие просто укладывали поверх старого слоя асфальтобетона новый в один уровень с отметкой моста, но такие мероприятия только увеличивали нагрузку на слабый грунт и тем самым ускоряли осадку насыпи. К 1972 году осадка составила 60 см, после чего было принято решение о проведении капитального ремонта данного участка автомобильной дороги. Были рассмотрены различные варианты устройства насыпи на слабом грунте, начиная от забивки свай и заканчивая применением легких материалов. В итоге было принято решение срезать часть существующей дорожной одежды, уложить слой пенополистирольных блоков толщиной 1 м, покрыть его защитным слоем из пенополиуретана, а поверх него уложить новую дорожную одежду.

После завершения строительства, инженеры еще в течение 15 лет вели наблюдения за осадкой насыпи. По результатам мониторинга было выявлено, что величина осадки за 12 лет составила 8 см, после чего в течение 3 лет её значение стремилось практически к 0. Такой результат посчитали удовлетворительным, однако от защитного слоя из пенополиуретана пришлось отказаться, так как его укладка в большой степени зависит от погодных условий.

Положительный опыт первого экспериментального участка убедил инженеров в том, пенополистирол можно использовать в качестве легкого заполнителя при строительстве автомобильных дорог. Постоянно растущее число успешно реализованных транспортных проектов с использованием EPS-блоков заставило специалистов задуматься о расширении сферы применения пенополистирола в строительстве, и в 1989 году на автомобильной дороге № 121 впервые было принято решение использовать блоки из пенополистирола в качестве устоев путепровода [2]. На рис. 1 показано, что под блоками из пенополистирола есть только слой гравийно-песчаной смеси. Под этим слоем расположен слой мягкой глины мощностью от 6 до 16 м.

Данный путепровод представлял собой стальную однопролетную конструкцию длиной 36,8 м и весом 68 т, которая лежала на железобетонной плите толщиной до 1 м. Также дополнительная железобетонная плита толщиной 10 см была уложена между слоями пенополистирольных блоков. В насыпи использовались блоки различной плотности – непосредственно под плитой лежали блоки с плотностью 40 кг/м³, далее – плотностью 30 кг/м³, а нижний слой был уложен из блоков с плотностью 20 кг/м³. После завершения данного проекта инженеры также вели мониторинг осадки насыпи. Общая величина осадки, измеренная после 12 лет эксплуатации, составила 6 см или 1,3 % от общей толщины насыпи.

В 2006 году, при реконструкции а/д Euroroad 6, обе насыпи были частично разобраны. Блоки, извлеченные из тела насыпи, были исследованы, и затем, по результатам проведенного исследования, было принято решение повторно использовать более 5000 м³ блоков на других участках а/д Euroroad 6 [3].

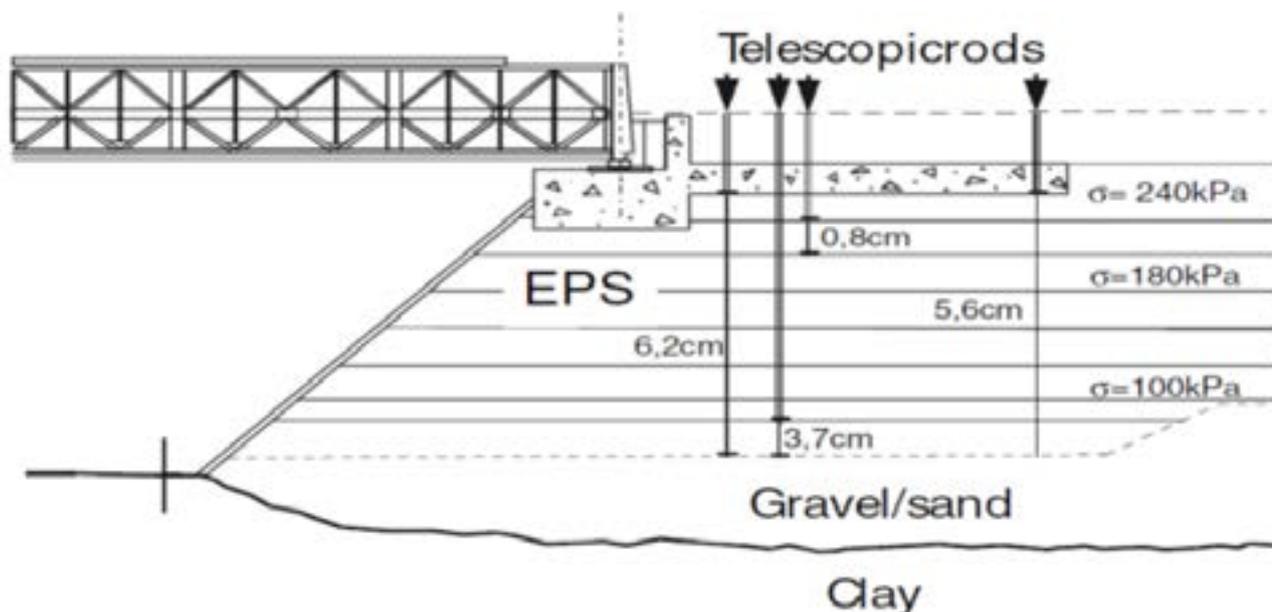


Рис. 1. Локкебергский мост

В последующие годы пенополистирольные блоки использовались при строительстве объектов транспортной инфраструктуры во многих странах. Их применяли в местах прохода а/д над существующими коммуникациями, при защите тоннелей от камнепада, но особенно интересен проект, реализованный в Нидерландах в 2015 году. При строительстве новой транспортной развязки было принято решение устроить под ней тоннель из металлической гофрированной трубы для велосипедистов и пешеходов [4]. Проблема заключалась в том, что строительство велось на участке с мощными слоями торфа. Инженерами было принято решение отказаться от фундамента глубокого заложения в пользу облегченной насыпи. Кроме того, пространство вокруг трубы заполнили пенобетоном, так как при проведении расчетов выяснилось, что засыпка данного пространства песком приведет к сверхнормативной осадке конструкции.

Данный проект заставил автора статьи задуматься о более широком применении пенополистирольных блоков при устройстве насыпных конструкций, в частности, при устройстве насыпных арочных мостов. Такая конструкция может применяться при:

- преодолении небольших водотоков;
- устройстве проездов для сельскохозяйственной техники;
- устройстве проходов для диких животных;
- устройстве пешеходных переходов и т. д.

На рис. 2, 3 представлена концепция предлагаемого насыпного моста. В основе лежит идея установки арки непосредственно в теле облегченной насыпи из пенополистирола, причем основание арки также лежит на пенополистирольных блоках.

Заполнение пространства между аркой и блоками может быть выполнено как песком, так и пенобетоном. Рассматривается также возможность использования пеностекляного щебня. Между блоками и слоями дорожной одежды предполагается устройство разгрузочной плиты из железобетона.

Предложенная конструкция, по мнению автора, обладает следующими преимуществами по сравнению с обычными железобетонными мостами:

- возведение такого моста требует гораздо меньшего количества средств механизации, а также рабочих, что, в свою очередь, обеспечивает снижение затрат на строительство;
- возведение данной конструкции займет гораздо меньше времени;
- процесс укладки блоков технологически проще монолитных работ;
- сам процесс укладки блоков не требует от рабочих специальных навыков и знаний;
- данную конструкцию можно использовать в регионах со сложными климатическими условиями, а также в условиях стесненной городской застройки, где необходимо также снижать нагрузку на существующие коммуникации.

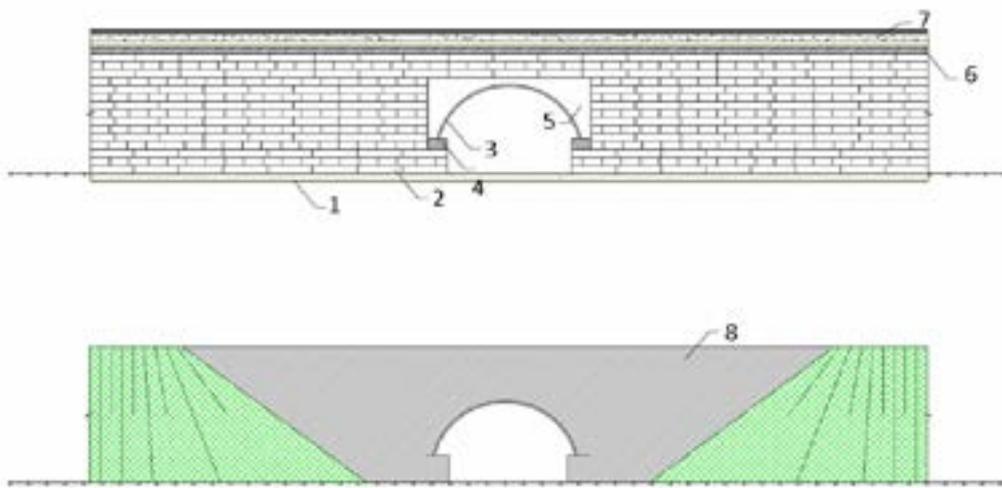


Рис. 2. Конструкция засыпного моста в теле облегченной насыпи из пенополистирола:
1 – выравнивающий слой из песка; 2 – EPS-блоки; 3 – металлическая гофрированная арка;
4 – ж/б блок; 5 – заполнение из пенобетона / песка; 6 – ж/б плита; 7 – дорожная одежда;
8 – облицовка набрызг-бетоном

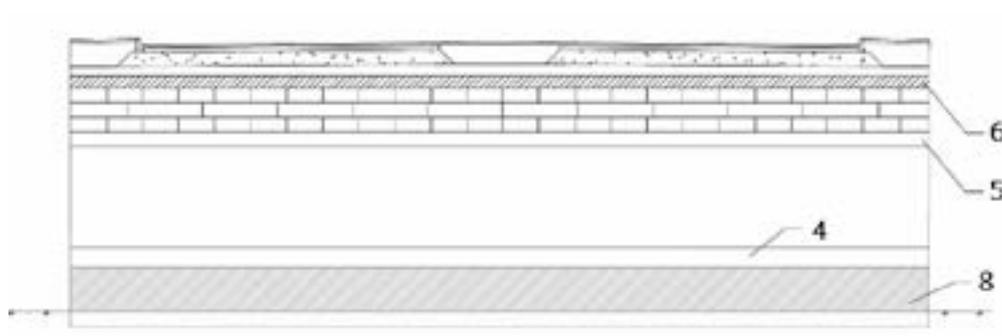


Рис. 3. Поперечный разрез засыпного арочного моста:
4 – ж/б блок; 5 – заполнение из пенобетона / песка; 6 – ж/б плита; 8 – облицовка набрызг-бетоном

Литература

1. G. Refsdal “Case history 1”. Plastic Foam in Road Embankments. August, 1987. P. 34–35.
2. Bartlett, S., Arellano, D., Vaslestad, J., Aaboe, R. Ahmed, T., 2014, Bridge Foundations Supported by EPS Geofom on Soft Soil, 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany, September 21 – 25, 2014, 9 p. Published, 09/21/2014.
3. Aabøe, R, Bartlett, S. F., Duškov, M., Frydenlund, T. E., Mandal, J. N., Negusse, D., Özer, T. A., Hideki, T., Vaslestad, J., 2018, Geofom Blocks in Civil Engineering Applications, 5th International Conference on the Use of Geofom Blocks in Construction Applications, May, Kyrenia, Northern Cyprus, 9th – 11th, 2018, 35 p. Published, 05/09/2018.

4. Duškov, M., Tameling, J., 2018, N222 Roundabout upon EPS Embankment with Integrated Corrugated Steel Tunnel Structure Without Pile Foundation, 5th International Conference on the Use of Geofom Blocks in Construction Applications, May, Kyrenia, Northern Cyprus, 9th – 11th, 2018, 9 p. Published, 05/09/2018.

УДК 625.7/.8

Алексей Сергеевич Судомоин,
канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sudomoin@mail.ru

Alexey Sergeevitch Sudomoin,
PhD of Techn. Sci., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: sudomoin@mail.ru

**ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА
ГОСТ 33178-2014 «КЛАССИФИКАЦИЯ МОСТОВ»**

**TERMINOLOGICAL ANALYSIS OF NORMATIVE DOCUMENT
GOST 33178-2014 “BRIDGE CLASSIFICATION”**

В статье рассматриваются вопросы классификации и терминологии в сфере проектирования строительства и эксплуатации искусственных сооружений на автомобильных дорогах. Проведен смысловой анализ основополагающих терминов. Представлена критика принципов терминообразования в ГОСТ 33178–2014. Показана неопределённость и неоднозначность многих ключевых понятий классификации мостовых сооружений, в то время как рамки других понятий необоснованно сужены.

Ключевые слова: классификация, терминология, искусственные сооружения, автомобильные дороги, смысловой анализ.

In article questions of classification and terminology in the sphere of design of construction and operation of artificial constructions on highways are considered. The semantic analysis of fundamental terms is carried out. The criticism of the principles of terminoobrazovaniye is presented in GOST 33178-2014. Uncertainty and ambiguity of many key concepts of classification of bridge constructions while framework of other concepts is unreasonably narrowed is shown.

Keywords: classification, terminology, artificial structures, highways, semantic analysis.

С 1 декабря 2015 г. введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации ГОСТ 33178–2014 «Классификация мостов» (далее ГОСТ) [1]. В документе рассматриваются два вида классификации: «Общая классификация мостов» (раздел 4) и «Поэлементная классификация мостов» (раздел 5). Необходимость введения общей классификации позиционируется следующим образом, написано: «Общая классификация мостов и соответствующая ей система кодирования классификационных признаков предназначена для поиска (в том числе с помощью автоматизированных информационных систем) мостовых сооружений-аналогов с заданными свойствами с целью принятия эффективных технических решений» [1].

Необходимость поэлементной классификации: «Поэлементная классификация мостов и соответствующая ей система кодирования классификационных признаков предназначена для решения задач управления техническим состоянием мостовых сооружений» [1].

Можно предположить, что под «автоматизированными информационными системами» подразумеваются различные базы данных (например, АБДМ).

И общая и поэлементная классификации базируются на «классификационных признаках» и «значениях классификационного признака». Общее количество этих позиций

в документе составляет более 200. По мнению автора, по крайней мере, около 60 позиций (терминов) требуют более четкого определения, поскольку в различных публикациях трактовка авторами одних и тех же терминов может различаться. В разделе 3 ГОСТ даны определения только по 32 позициям, из которых многие формулировки оставляют желать лучшего.

Объем статьи не позволяет проанализировать все классификационные признаки их значения и формулировки определений. Далее рассматриваются только некоторые позиции предлагаемой в ГОСТ классификации.

В разделе 3 приведены термины «мостовое сооружение» и «мост», которые являются ключевыми для образования остальных терминов и определений.

Определение мостового сооружения звучит как: «Инженерное дорожное сооружение (мост, путепровод, эстакада и др.), устраиваемое при пересечении транспортного пути с естественными или искусственными препятствиями; *часто заменяется термином «мост»*. Определение моста сформулировано следующим образом: «Мостовое сооружение через реки или водные препятствия; *обобщенное название мостового сооружения*». Из этих формулировок можно заключить, что мост и мостовое сооружение это одно и то же.

Совершенно верно, что в непосредственном общении между специалистами эти понятия могут заменять друг друга. В устной речи или письменном документе всегда есть возможность уточнения или пояснения. Однако ГОСТ претендует на использование его положений при создании «автоматизированных информационных систем», что требует строгой формализации и структуризации данных.

При разработке программных средств не может «мостовое сооружение» одновременно восприниматься ЭВМ как «мост» и наоборот. Тем более что «мостовое сооружение» – более широкое понятие чем «мост». При сравнении структур а) и б) (рис. 1) выясняется, что в структуре б) совокупность переменных объединена под именем, совпадающим с именем одной из переменных.

В разделе 4 Общая классификация мостов: «класс моста описывается набором из семи кодов, **однозначно** определяющим классификационную принадлежность мостового сооружения» [1]:

$$KM = \{k1; k2, k3, k4, k5, k6, k7\}.$$

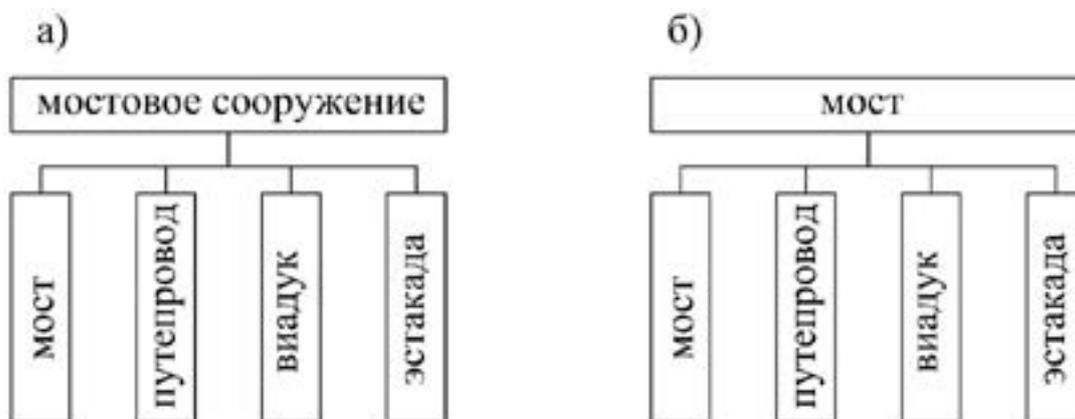


Рис. 1. Примеры структурных схем классификации

Коды с 1 по 7 описывают:

- расположение сооружения;
- функциональное назначение;
- вид мостового сооружения;
- материал наибольшего пролетного строения;
- длину сооружения;
- статическую схему сооружения;
- расположение в плане.

Соответственно семь классификационных признаков. Каждый классификационный признак имеет от 4 до 12 значений.

Первый классификационный признак: «Расположение сооружения» не требует специального рассмотрения, поскольку он отражает принадлежность моста к автодороге той или иной технической категории или городской транспортной магистрали, и значения ему соответствующие вполне однозначны.

Второй классификационный признак: «Функциональное назначение мостового сооружения (моста)» требует отдельного обсуждения. Эта позиция имеет пять значений классификационного признака:

- автодорожный мост;
- городской мост;
- совмещенный мост;
- пешеходный мост;
- скотопроезд (зверопроход).

Вызывает сомнение, что перечисленные термины: автодорожный мост, городской мост и т. д. однозначно определяют функциональное назначение мостового сооружения. Понятие «функция» происходит от латинского «functio», что означает «исполнение, совершение; служебная обязанность». Следовательно, в определении термина должен звучать ответ на вопрос, для чего описываемый объект нужен. Кроме того, логично, если бы все определения звучали стереотипно. Допустим:

- автодорожный мост есть транспортное сооружение для пропуска автомобильной дороги над водным препятствием;
- городской мост есть транспортное сооружение для пропуска городской автомобильной магистрали (улицы) над водным препятствием;
- совмещенный мост есть транспортное сооружение для пропуска автомобильной (городской) и рельсовой магистрали над водным препятствием;
- пешеходный мост есть транспортное сооружение для пропуска пешеходной магистрали над водным препятствием и т. д.

В определениях, представленных ГОСТе ответа о функции сооружения зачастую нет, либо он представлен неоднозначно.

Например, определение городского моста звучит так: «Мост, являющийся частью уличной сети городов». Формально определение не отвечает на вопрос какую «служебную обязанность» несет это мостовое сооружение, а говорит только о принадлежности данного моста к городской инфраструктуре. То есть, предложенная формулировка обозначает только некоторый признак мостового сооружения или его вид.

Определение автодорожного моста сформулировано следующим образом: «Мост на автомобильных дорогах, предназначенный для движения по нему транспортных средств». Здесь в одном определении смешаны понятия признака (вида) и функции. Признаком является указание, что мост расположен «на автомобильных дорогах». В дополнение указывается его «служебная обязанность» – служащий для «движения транспортных средств». Употребление в тексте определения термина «мост» некорректно, поскольку на дорогах существуют и другие сооружения, предназначенные для движения транспортных средств, например, путепроводы. Более правильной была бы следующая трактовка: «**мостовое сооружение** на автомобильных дорогах предназначенное...».

Позиция «скотопроегон (зверопроход)», в отличие от предыдущих, характеризует функциональное назначение. Даже его определение в разделе 3 ГОСТа звучит следующим образом: «Мостовое сооружение, **служащее** для пропуска скота (зверей) под дорогой». В этом определении непосредственно указывается функция сооружения, его «служебная обязанность». Это единственное из всех вышеупомянутых пяти определений, в котором напрямую указана «служебная» обязанность сооружения.

В разделе «Термины и определения» раскрывается значение каждого из этих признаков. Значительную часть этих определений можно оспорить.

Определение автодорожного моста звучит так: «мост на автомобильных дорогах, предназначенный для движения по нему транспортных средств», определение совмещенного моста: «мост, предназначенный для совмещенного движения автомобильного и рельсового транспорта (железнодорожного, трамвайного, поездов метрополитена)».

Следовательно, если по «*мосту на автомобильной дороге*» дополнительно проложена железнодорожная колея, по которой движется электричка (тоже «*транспортное средство*»), то это уже не совмещенный мост, а автодорожный. Или, исходя из определения совмещенного моста, это мост не автодорожный, а совмещенный.

Определение скотопрогона и зверопрохода сведено в общую формулировку, которая звучит так: «скотопрогоны (зверопроходы): Мостовое сооружение, служащее для пропуска скота (зверей) **под** дорогой».

В современном профессиональном лексиконе наряду с термином «зверопроход» употребляются также термины «биопереход», «экодук», «зверопереход». Само звучание трех последних терминов предполагает размещение сооружений **над** дорогой, что наиболее распространено на практике.

Скотопрогоны же – это, как правило, по конструкции – обычные путепроводы, только с более низким габаритом, где пропуск скота действительно проходит **под** дорогой. Поэтому объединять в одно понятие скотопроегон и биопереход (экодук, зверопереход) представляется некорректным (рис. 1, 2).

Кроме того существует официальный документ ОДМ 218.2.012–2011 «Классификация конструктивных элементов искусственных дорожных сооружений», который подразделяет биопереходы на три типа:

- биопереход мостового типа: искусственное дорожное сооружение, обеспечивающее пропуск всех представителей фауны над полотном дороги;
- биопереход тоннельного типа: искусственное дорожное сооружение, обеспечивающее пропуск всех представителей фауны под полотном дороги;
- биопереход трубного типа: искусственное дорожное сооружение, обеспечивающее пропуск мелких животных, пресмыкающихся и земноводных под полотном дороги.



Рис.1. Характерный общий вид и конструкция биоперехода



Рис.2. Скотопрогон на ПК657 железнодорожного участка Шалкар-Бийнеу, Казахстан



Рис.3. Биопереход на пути миграции крабов (слева) и биопереход тоннельного типа на пути миграции слонов (справа)

Таким образом, между ГОСТ 33178–2014 и действующим документом ОДМ 218.2.012–2011 имеется несогласованность (разночтения).

Определение понятия «зверопроход» не охватывает всего многообразия сооружений (рис. 3), которые могут присутствовать на автомобильной дороге для ее пересечения представителями фауны, а не только «скотом (зверями)».

Как видно из представленных рисунков, конструктивные решения биопереходов весьма своеобразны. Но даже если биопереход представлен в виде обычной конструкции по типу путепровода с балками, опорами, устоями и т. п., то он значительно шире, на поверхности пролетных строений насыпан значительный слой земли, высажены деревья, кустарники, посеяна трава, на некоторых биопереходах даже устраиваются мелкие водоемы (рис. 4, а, б).

Скотопрогоны же, как правило, располагаются под дорогой, и по конструкции в большинстве своем как указывалось выше являются путепроводами того или иного типа или



Рис. 4, а. Биопереход с водоемом



Рис. 4,б. Мостовое сооружение через р. Ухта вблизи г. Сосногорск в республике Коми

тоннельными сооружениями. Представляется, что объединение понятия «скотопрогон» и «зверопроход» некорректно.

Еще больше критики вызывает позиция ГОСТ – «Вид мостового сооружения». Она имеет семь классификационных признаков:

- мост;
- путепровод;
- эстакада;
- виадук;
- специальный (засыпного типа);
- разводной;
- прочее.

В разделе «Термины и определения» раскрывается значение каждого из этих признаков, кроме понятия «прочее». Какие виды мостовых сооружений могут подпадать под понятие «прочее», остается неясным. Единственное, что приходит в голову это мост наплавной или ледовая переправа, поскольку они могут рассматриваться как сооружения в составе автомобильной дороги. Возможно, следовало включить эти понятия вместо понятия «прочее».

Определение понятия «мост» уже приводилось выше и звучит так: «мост: Мостовое сооружение через реки или водные препятствия; обобщенное название мостового сооружения». Определение понятия «путепровод» – «путепровод: Мостовое сооружение для пропуска одной транспортной магистрали над другой в разных уровнях».

А если по берегу реки проходит автомобильная (или железная) дорога и мост перекрывает и дорогу, и реку, то это мост или путепровод. Аналогичный вопрос возникает и в случае если рядом с транспортной магистралью, через которую построен путепровод, протекает ручей, и сооружение перекрывает сразу оба препятствия. Описанный казус хорошо иллюстрируется следующим сооружением (рис. 5).

В соответствии с определениями ГОСТ 33178–2014 это сооружение включает в себя одновременно мост, путепровод, а так же эстакаду, поскольку определение эстакады ГОСТом формулируется так: «Многопролетное сооружение с относительно небольшими пролетами, перекрывающее суходол, пойму реки, проходящее по застроенным территориям или заменяющее насыпь на подходах к мостам».

На фотографии явно присутствует река – значит это мост? Но в правой части под предпоследним пролетом проходит железная дорога – значит это путепровод? Значительная часть сооружения перекрывает пойму «относительно небольшими пролетами» – значит это эстакада? Так каким же образом классифицировать это сооружение?

Определение термина «виадук» звучит так: «виадук – мост, перекрывающий суходол или узкую долину». Следует обратить внимание на словосочетание: «виадук – мост...». Во всех остальных определениях имеет место словосочетание: «мост: Мостовое сооружение...», «путепровод – мостовое сооружение...», «эстакада – многопролетное сооружение...». Замена слов «мостовое сооружение» словом «мост» является случайностью или намеком на то, что в «узкой долине» может оказаться какой-то водоток? Кроме того, почему: «через узкую долину». А если долина будет широкой или очень широкой (рис. 5), как, например, долина реки Тан во Франции, через которую построен виадук Мийо. Исходя из определений ГОСТ 33178–2014, это сооружение вполне можно назвать мостом, поскольку оно пересекает реку.



Рис.5. Виадук Мийо через долину реки Тан во Франции

На самом деле, до постройки виадука, через реку имелся мост (он существует и сейчас). Дорога по склону долины серпантинном спускалась вниз, по мосту преодолевалась водное препятствие, и далее серпантинном поднималась на склон долины. Из этого следует, что грандиозное сооружение Мийо построено вовсе не для того чтобы дорога прошла над рекой, а для того, чтобы дорога прошла над долиной.

Аналогичные претензии можно предъявить и к определению термина «эстакада», которое приведено выше. В этом определении указано, что эстакада это сооружение перекрывающее «суходол». Слово суходол означает сухую долину (в смысле долину без водотока) то есть значительное по размерам понижение рельефа. Но такое понижение рельефа перекрывает сооружение под названием виадук.

Что касается того, что эстакадой можно назвать сооружение «перекрывающее пойму реки», то это неверно хотя бы потому, что сооружение, перекрывающее всю ширину разлива реки во время паводка, куда включаются и русловая часть и поймы, до сих пор всегда считалось мостом.

В профессиональном общении могут употребляться термины типа: «русловая часть моста», «пойменная часть моста», «эстакадная часть моста». Например, в частном разговоре бывает, что так характеризуют отдельные части мостового сооружения исходя из особенностей его конструкции. При этом все сооружение в пределах отверстия моста при его классификации считалось мостом (по крайней мере, до последнего времени) и не делилось на два сооружения – мост и эстакаду.

Точность терминологии и, особенно, определений терминов чрезвычайно важна именно в компьютерных базах данных, поскольку, опираясь на ГОСТ33178–2014, кому-либо придет в голову занести в базу мост через Волгу в Костроме (рис. 6) как эстакаду.



Рис.6. Мост через Волгу в Костроме

Что касается части определения: «...проходящее по застроенным территориям ...», то можно привести примеры эстакад, проходящих по незастроенным территориям (рис. 7).



Рис.7. Наглядный пример эстакады, проходящей по незастроенным территориям

Из вышеизложенного следует, что такие признаки как:

- относительно небольшие пролеты;
- суходол;
- пойма реки;
- застроенные территории,

не могут считаться, безусловно квалифицирующими сооружение, как эстакаду. Значит определение эстакады в ГОСТ 33178–2014 некорректно.

Особый интерес с точки зрения критики представляет определение: «мост специальный (засыпного типа) – мостовое сооружение, полностью находящееся в насыпи, с вертикальными стенками по торцам». С понятиями: «мост», «виадук», «путепровод», «эстакада» специалисты, так или иначе, знакомы со студенческой скамьи. Что такое «мост специальный (засыпного типа)» не знает даже интернет. Также возникает вопрос, какие «торцы» имеются в виду. Подбирая объект наиболее соответствующий описанию, приведенному в ГОСТ, можно остановиться на сооружении в Новосибирске, построенном еще 1913 году (рис. 8).



Рис.8. Тоннель под железнодорожной насыпью в Новосибирске

Объект полностью находится в насыпи и вертикальные стенки здесь, несомненно, есть. Но в Новосибирске это сооружение называется тоннелем под железнодорожной насыпью. Трудно найти специалиста, который назвал бы это сооружение иначе. Однако под определение «Засыпного моста» оно подходит.

Возникает также вопрос, почему в определении понятия засыпного моста употреблен термин «мост». Понятие «мост» уже определено ГОСТом и звучит как «...сооружение через реки или водные препятствия...». Мост специальный (засыпного типа), как следует из его определения, есть «Мостовое сооружение, полностью находящееся в насыпи». Как

совместить эти два условия, остается неясным. Если сослаться на вторую часть определения: «...обобщенное название мостового сооружения...», то получается, что мостом можно назвать и сооружение через реку, и сооружение «полностью находящееся в насыпи».

Тем не менее, сооружение, представленное на рис. 9, не является мостом, или путепроводом, а может быть квалифицировано, как биопереход (экодук, зверопереход).

Если остановиться только на первой части определения: «мост специальный (засыпного типа)...», и заменить термин «мост» на «мостовое сооружение» то под определение подойдет некоторая часть биопереходов. Трудно опровергнуть тот факт, что биопереходы не имеют большого распространения в России и поэтому их можно назвать «специальными сооружениями». Поверхность биопереходов имеет грунтовую засыпку, чтобы создать эффект естественной природной среды – значит это сооружение «засыпного типа». Однако проблема состоит во второй части определения, где сказано: «с вертикальными стенками по торцам». Такой биопереход (экодук) построен в Калужской области (в России первый и единственный). Он имеет по «торцам» вертикальные стенки устоев (см. рис. 9). Однако возникает вопрос, что считать «торцами» мостового сооружения. До настоящего времени, а именно, до издания ГОСТ 33178–2014 такой термин в мостостроении не употреблялся применительно к мостовому сооружению в целом.

Разумеется, можно трактовать понятие «мост специальный (засыпного типа)» как определение биопереходов, но возникает большое сомнение в возможности трактовки ГОСТа вообще. Общепринято, что ГОСТ нужно соблюдать, а не трактовать. Кроме того, у подавляющего количества известных зарубежных биопереходов для крупных представителей фауны нет ни одной вертикальной стенки по торцам или где-либо в другом месте.

Проблема терминологии в классификации мостовых сооружений существует не первый день. Она затрагивалась автором, например, в публикации от 2016 года [2] где говорилось о том, что наличие интернета существенно осложняет ситуацию. Публикации в интернете очень часто грешат ошибками, а зачастую демонстрируют прямое незнание вопроса. Применяемая в интернете терминология в очень многих случаях не соответствует инженерной, не говоря уже о научной терминологии. Например, очень часто смешивается понятие моста и мостового перехода и т. п.

Даже старые публикации разных авторов середины прошлого века трактуют сходные понятия по-разному [3–5], например, виадук называют мостом, висячие системы одни авторы выделяют в отдельный класс, другие зачисляют их в класс комбинированных систем и т. п.

В совсем недавней публикации [6] 2015 года понятие «мост» определено так: «инженерное сооружение для преодоления реки, оврага и др. препятствий», а понятие «виадук» определяется следующим образом; «мост через глубокую долину, ущелье, большой овраг, суходол, дорогу, ж.-д. пути». Эти определения смешивают сразу три понятия: мост, виадук и путепровод.

Большинство авторов совершенно произвольно используют термины «инженерное сооружение», «мостовое сооружение», «искусственное сооружение» по отношению к мостам, путепроводам и пр. Если не вдаваться в дискуссию о значении понятия «искусственное сооружение», то это понятие более широкое, чем «инженерное сооружение». В свою очередь, понятие «мостовое сооружение» следует поставить на третье место в иерархии, как и другие инженерные сооружения на автомобильных дорогах [7]:

- регуляционные сооружения;
- мостовые сооружения;
- водопропускные трубы;
- тоннельные сооружения;
- подпорные стены;
- полумосты;
- балконы и др.



Рис.9. Биопереход (экодук) в Калужской области

Большие вопросы вызывает раздел ГОСТ, посвященный статической схеме мостовых сооружений. Однако эта тема не вписывается в объем данной статьи.

В 2014 году опубликован также ГОСТ 33152–2014 «Классификация тоннелей». Логично предположить, что вслед за этим должны появиться документы «Классификация водопропускных труб», «Классификация подпорных стен и т. д. Хочется высказать надежду, что последующие подобные документы вызовут меньше нареканий.

Литература

1. ГОСТ 33178–2014. Автомобильные дороги общего пользования. Классификация мостов.
2. Судомоин А. С. Проблемы классификации и терминологии в сфере проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений. С.25–30.
3. Архитектура – строительство – транспорт: материалы 72-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 5–7 октября 2016 г.: [в 3 ч.]. Ч. II. Транспортные и инженерно-экологические системы; СПбГАСУ. – СПб., 2016. – 275 с.
4. Протасов К. Г. Металлические мосты / К. Г. Протасов [и др.]. – М.: Транспорт, 1973. – 352 с.
5. Колоколов Н.М. Искусственные сооружения / Н.М. Колоколов [и др.]. – М.: Транспорт, 1988. – 440 с.
6. Гибшман Е. Е. Проектирование металлических мостов – М.: Транспорт, 1969. – 416 с.

7. Рашев В. Г. Искусственные сооружения железных и автомобильных дорог: Иллюстрированный словарь – СПб.: Политехника, 2015. – 456 с.

8. ОДМ 218.2.012-2011. Классификация конструктивных элементов искусственных дорожных сооружений – М.: ФДА (Росавтодор) 2011. – 101 с.

УДК 624.21/8

Татьяна Алексеевна Фридман,
студент

Дмитрий Андреевич Ярошутин,
ст. преподаватель

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: vorobey910460gmail.com,
yaroshutin@gmail.com

Tatyana Alexeevna Fridman,
student

Dmitry Andreevich Yaroshutin,
senior instructor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: vorobey910460gmail.com,
yaroshutin@gmail.com

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ПРЕГОЛЯ В ГВАРДЕЙСКЕ

TECHNICAL CONDITION OF THE BRIDGE THROUGH THE RIVER PREHOL IN THE GUARDAI

Мост через реку Преголя в Калининградской области является важной артерией в транспортной системе города Гвардейск. В статье рассмотрены вопросы, связанные с проведением капитального ремонта моста. Был произведен анализ технического отчета по предпроектному обследованию и обозначены основные дефекты, влияющие на мероприятия, проводимые в ходе ремонта сооружения.

Ключевые слова: капитальный ремонт, мост, металлическое пролетное строение, главные балки.

The bridge over the Pregolya River in the Kaliningrad region is an important artery in the transport system of the city of Gvardeisk. The article deals with issues related to the overhaul of the bridge. An analysis of the technical report on the pre-project inspection was carried out and the main defects that affect the measures taken during the repair of the structure were identified.

Keywords: overhaul, bridge, metal span, main beams.

Мост через реку Преголя расположен в Калининградской области в черте города Гвардейск на улице Дзержинского. По архивным фотографиям было установлено, что мост возведен в 1910–1920 г в период контроля территорией Германией.

Мост – шестипролетный, полной длиной 212,80 м, визуально выделены участки русловой и пойменной части конструкций. Схема сооружения по расчетным длинам пролетов – $3 \times 26,60 + (36,80 + 48,80 + 36,80)$ (рис.1).

Ширина моста составляет 10,70 м и включает в себя проезжую часть Г-8, 10 м по высоте габарит ограничен конструкцией фермы пролетного строения и составляет



Рис. 1. Общий вид моста через р. Преголя в Гвардейске

5,51 м, в настоящее время на сооружении имеется только правосторонний тротуар шириной $T_2 = 2,00$ м.

Пролетные строения пойменного участка моста №№ 1... ..3 представляют собой разрезные пространственные фермы с ездой поверху. Нижние пояса фермы выполнены криволинейными, трапецидальной формы. Схема моста в расчетных пролетах составляет $3 \times 23,60$ м.

Пролетное строение № 4 руслового участка моста представляет собой неразрезную пространственную ферму с ездой посередине. Нижние пояса фермы выполнены прямыми, верхние – криволинейными, с увеличением высоты фермы над промежуточными опорами. Общая длина пролетного строения оставляет 123,21 м, схема в расчетных пролетах – $36,80 + 48,80 + 36,80$ м.

Крайние опоры №№ 1 и 7 (устои) – массивные, облицованные кирпичной кладкой, необсыпные, с архитектурными элементами в виде рустовки граней натуральным камнем, на естественном основании.

Промежуточные опоры №№ 2... ..6 – массивные, облицованные кирпичной кладкой, с подферменными площадками из натурального камня, на естественном основании. Ледорезы на торцах опор выполнены так же из натурального камня.

Оценку технического состояния мостового сооружения назначают на основании результатов технического диагностирования свойств сооружения, безопасности, грузоподъемности и долговечности. В зависимости от степени соответствия свойств функциональному назначению и имеющимся дефектам назначается соответствующая оценка по каждому из критериев [2].

По результатам анализа технического отчета моста через реку Преголя были выявлены основные дефекты сооружения.

Наиболее значимые дефекты по безопасности:

- недопустимые углы перелома продольного профиля проезжей части;
- деградиционное разрушение конструкций блоков парапетного ограждения на мостовом сооружении, существенно снижающее их удерживающую способность (рис. 2);
- колейность на проезжей части;
- выбоины в покрытии по полосам движения (рис. 3);
- отсутствие горизонтальной разметки на сооружении и походах к нему.



Рис. 2. Деградиционное разрушение конструкции блоков парапетного ограждения



Рис. 3. Неровности в области деформационных швов

Наиболее значимые дефекты по долговечности:

- повреждение покрытия проезжей части;
- расстройство внешнего ряда кирпичной кладки промежуточных и крайних опор, а также сетки трещин по монолитным шкафным стенкам (рис. 5);
- протечки с проезжей части на нижерасположенные конструкции через негерметичные деформационные швы, в следствии чего наблюдается обводнение плиты проезжей части с выщелачиванием цементного камня и образованием сталактитов (рис. 4);
- коррозия элементов конструкции, в том числе поверхностная, очаговая, язвенная и пластинчатая – критический дефект (рис. 4).



Рис. 4. Выщелачивание цементного камня из железобетонной плиты с образованием сталактитов. Коррозия металлических элементов пролетного строения



Рис. 5. Расстройство внешнего ряда кирпичной кладки (вывалы, трещины)

С целью определения основных физико-механических характеристик и химического состава металла элементов стальных несущих конструкций металлических (стальных) пролетных строений были изъяты образцы основного металла.

Полученные механические характеристики (и в том числе их неоднородность) в целом характерны для сталей, получаемых по технологическим процессам 20-х годов XX века (так называемое «литое железо»).

Химический состав исследуемых сталей неоднороден. Существенно различается содержание меди (Cu), обеспечивающей коррозионную стойкость стали и снижающей вероятность её охрупчивания при низких температурах: для образца – менее 0,010 %. Норма содержания меди для мостостроительных сталей – от 0,20 %. В исследуемых сталях содержание легирующих добавок хрома (Cr, менее 0,010 %) и никеля (Ni, менее 0,020 %), увеличивающих показатели прочности и пластичности существенно ниже, чем в современных мостостроительных сталях (от 0,30 % и выше). Таким образом, по свойствам исследуемая сталь ближе к кипящим сталям, которые не допустимы к использованию в современном мостостроении [1].

Условия обеспечения надежности мостового сооружения состоят в том, чтобы расчетные значения усилий, деформаций, напряжений, перемещений, раскрытия трещин не превышали соответствующих им предельных значений, установленных нормами проектирования, а также в обеспечении соответствия нормативным конструктивным требованиям.

Основными параметрами грузоподъемности мостового сооружения являются классы по грузоподъемности, определяющие наибольшую величину нормативных временных

и эталонных автомобильных нагрузок, при которых наступает предельное состояние первой группы у наиболее слабой несущей конструкции с учетом ее дефектности и фактического состояния.

Для оценки технического состояния моста по грузоподъемности был выполнен расчёт с учетом влияния дефектов в элементах сооружения. Получены следующие максимальные классы нагрузок:

$$K_{AK} = 10,0;$$

$$K_{HK} = 8,4;$$

$$K_{ЭТ} = 27.$$

Так как классы нагрузок ниже требуемых ($K_{AK} = 14$, $K_{HK} = 14$) мостовое сооружение способно только частично выполняет требуемые функции. Значение показателя технического состояния по грузоподъемности составляет $KГ = 2$. Для обеспечения нормативной надежности моста требуется введение ограничений по весу транспортных средств.

Анализ отчета по оценке технического состояния моста через реку Преголя позволяет сделать следующие выводы:

- техническое состояние конструкции моста по критерию безопасности движения транспорта и пешеходов неудовлетворительное;
- техническое состояние моста, эксплуатируемого в настоящее время по долговечности его элементов, оценивается как неудовлетворительное;
- по полученным фактическим классам нагрузок с учетом качественных условий соответствия мостового сооружения по грузоподъемности оценивается как неудовлетворительное;
- по результатам анализа ремонтных мероприятий значение показателя вида ремонтного воздействия определено как неудовлетворительное [3].

На основании анализа технического состояния моста и полученных результатов физико-механических свойств и химического состава стали, а было принято решение о разработке вариантов проведения капитального ремонта (реконструкции) в рамках выполнения дипломного проектирования.

Литература

1. ГОСТ 19281–89 Прокат из стали повышенной прочности.
2. ОДМ 218.3.014–2011 Методика оценки технического состояния мостового сооружения на автомобильных дорогах.
3. Технический отчет по результатам предпроектного обследования моста через реку Преголя на ул. Дзержинского в г. Гвардейск, Калининградская область.

УДК 624.21.01

Лилия Николаевна Юстикова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
Владислав Алексеевич Стройков,
аспирант
Олег Романович Бирюков,
канд. воен. наук, доцент
Александр Поликарпович Лесной,
ст. преподаватель
(Военная академия материально-технического
обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва)
E-mail: lnyustik@mail.ru

Liliya Nikolaevna Yustikova,
student
(Saint Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering)
Vladislav Alekseevich Stroikov,
post-graduate student
Oleg Romanovich Birukov,
Dr of Military Sci. Associate Professor
Aleksandr Polikarpovich Lesnoy,
post-graduate student
(Military Educational Institution of Logistics named
after General of the Army A. V. Khrulyov)
E-mail: lnyustik@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ОТЕЧЕСТВЕННОМ МОСТОСТРОЕНИИ**

**THE USE OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS
IN DOMESTIC BRIDGE CONSTRUCTION**

В статье рассмотрены российские научно-производственные компании, которые проводят исследования по развитию и применению полимерных композитных материалов для инновационных конструктивно-технологических решений в области мостостроения страны. Освещены изделия и конструкции, в которых успешно используются полимерные композитные материалы, рассмотрены их основные параметры.

Ключевые слова: пешеходный мост, автодорожный мост, полимерные композитные материалы, конструкции, научно-производственные компании.

The article deals with Russian research and production companies that conduct research on the development and application of polymer composite materials for innovative design and technological solutions in the field of bridge construction in the country. The products and structures in which polymer composite materials are successfully used are highlighted, their main parameters are considered.

Keywords: pedestrian bridge, road bridge, polymer composite materials, construction, research and production companies.

На протяжении последних 100 лет в качестве основных материалов для возведения мостов использовались камень, сталь и бетон. Данные материалы обладают рядом преимуществ, такими как относительно низкая стоимость, высокая прочность и богатый опыт их применения в строительстве. Однако, они не долговечны и подвержены быстрому износу, а также в ряде случаев из-за своих особых характеристик накладывают ограничения на конструкцию моста. Таким образом, возникает необходимость в поиске и применении новых конструкционных материалов с более высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками. Наиболее перспективными в этом плане являются полимерные композитные материалы.

Существенный прогресс в области композитных материалов, и в особенности армированных пластиков, был достигнут в начале 40-х годов 20 века, когда были созданы первые высокопрочные композиты.

Еще перед второй мировой войной армированные пластики были способны конкурировать с другими конструкционными материалами.

В 1941 г. в США был подписан первый правительственный контракт на создание деталей из прочесанного хлопкового волокна, пропитанного фенольной смолой. Композит отверждали под давлением 14 МПа. В 1942 г. методом прессования при низком давлении были получены композиционные материалы с использованием полиэфирных связующих. В конце второй мировой войны уже успешно применялись композиционные материалы, армированные стекловолокнами [1].

Дальнейшее развитие промышленности, выпускающей армированные пластики, привело к тому, что сейчас не существует области техники, где не применялись бы эти материалы.

Полимерные композитные материалы, изначально разработанные для аэрокосмической индустрии, обладают значительным потенциалом применения в гражданском строительстве и, в частности, в возведении мостов. Мировой опыт применения композитов в мостостроении насчитывает уже несколько десятилетий. Первый мост с применением армированных пластиков был построен в США в штате Вирджиния в 1978 году. О данной конструкции известно, что плита проезжей части выполнена из полимерного композитного материала, а длина и ширина моста составляют 4,9 м и 2,1 м соответственно. Первый мост с цельнокомпозитным пролетным строением был построен в 1982 году в Китае и получил название Miyun Bridge. Этот балочный однопролетный мост был запроектирован под две полосы автомобильного движения с максимальной массой транспортного средства 30 т. Пролетное строение полной длиной 21 м составлено из шести стеклопластиковых балок коробчатого сечения. Ширина пролетного строения составляет 9,8 м, габарит проезда – 7,0 м. С тех пор полимерные композитные материалы все чаще стали рассматриваться инженерами разных стран в качестве инновационного по своим характеристикам конструкционного материала.

Применение полимерных композитных материалов в мостостроении в настоящее время наиболее распространено в таких странах как США, Канада, Голландия.

Сегодня в России также накоплен достаточный опыт по строительству, правда, пешеходных мостов из полимерных композитных материалов. Первый такой мост появился еще в 2004 году. Всего в России, согласно данным Союза производителей композитов, на сегодняшний день построено более 40 пешеходных переходов.

Разработкой и производством таких конструкций наиболее активно занимаются ООО «НПП «АПАТЭК» и группа компаний «Рускомполит» (совместно с «Тверьстеклопластик», который входит в группу компаний).

Первый в России композитный пешеходный мост предприятием ООО НПП «АПАТЭК» был построен у платформы Чертаново Павелецкой железной дороги в ноябре 2004 г. [2]. Пролетное строение выполнено в виде трехпролетной фермы с проходной частью понизу и открытым верхним поясом с пролетами длиной 13,2 + 15,0 + 13,2 м и установлено над железнодорожными путями, расположенными в выемке земляного полотна. Ширина моста 3 м, вес 19 т. Время монтажа составляло около 4 ч (рис. 1).

В июле 2005 г., специалистами НПП «АПАТЭК» у платформы Косино Московской железной дороги был сооружен второй мост с пролетами 17 + 17 м и тремя композитными сходами шириной 5 и 4 м. Общая масса конструкций моста 55 т. Время монтажа пролетных строений 4,5 ч. На обоих мостах с момента начала их эксплуатации фирмой – изготовителем конструкций «АПАТЭК» ведется мониторинг напряженно-деформированного состояния.



Рис. 1. Пешеходный мост в районе платформы «Чертаново» Павелецкого направления Московской железной дороги

После чего в 2007 году при совместном участии научной, проектной, эксплуатирующей и производственной организаций АО ЦНИИС, ГБУ «Гормост», АО «Союздорпроект» и ООО НПП «АПАТЭК» были разработаны Технические условия «Конструкции пешеходных мостов из композиционных материалов», с использованием основных положений которых к настоящему времени предприятием запроектировано и построено более 40 пешеходных мостов [3], в том числе с пролетами до 33 м (рис. 2).



Рис. 2. Пешеходный путепровод на трассе М4 «Дон». Расчетный пролет 32,9 м

Начиная с 2013 г. группа компаний «Рускомполит» запроектировала и построила восемь композитных пешеходных мостов с пролетами 16–26 м.

Первым композитным пешеходным мостом компании «Рускомполит» был мост, открытый в с. Старобалтачево в республике Башкортостан в 2013 году (рис. 3). Мост был возведен в короткие сроки, его длина составляет 19,9 метров, ширина прохода 2,5 метра, вес 10,5 тонн [4].



Рис. 3. Пластиковый пешеходный мост в с. Старобалтачево в республике Башкортостан

В 2014 г. группой компаний «Рускомполит» был возведен надземный пешеходный переход на федеральной трассе М-1 (Москва-Минск), который стал первым в России цельнокомпозитным путепроводом, установленным на федеральной трассе (рис. 4). Переход имеет два пролёта, общая длина вместе с башенными сооружениями – 81,6 м, а ширина проходной части 3 м.



Рис. 4. Надземный пешеходный переход на федеральной трассе М-1 (Москва-Минск)

В 2015 году по такому же проекту в качестве наземных пешеходных переходов над подъездной дорогой А-133, ведущей от федеральной трассы М-4 («Дон») к Липецку, было установлено еще три пешеходных путепровода, один длиной 26 м и два по 20,5 м.

В 2016–2017 годах компания проектирует, изготавливает и вводит в эксплуатацию еще 3 пешеходных перехода.

Кроме того, научно-производственное предприятие «АПАТЭК» предлагает комплексные решения на основе композиционных материалов, которые позволяют снизить расходы

и улучшить характеристики изделий различного назначения, в том числе объектов транспортного машиностроения, городской инфраструктуры, мостостроения, железнодорожного и городского хозяйства.

Одним из примеров такого решения является цельнокомпозитный мостик-переход в г. Сочи (рис. 5).



Рис.5. Цельнокомпозитный мостик-переход в г. Сочи

Типовой цельнокомпозитный переходной мостик с системой подсветки, интегрированной в материал, предназначен для использования в качестве настила над локальными препятствиями (клумбами, газонами, коммуникациями и др.). Конструкция целиком изготовлена из композиционных материалов.

Использование в конструкции пешеходного перехода на 23 км Ленинградского шоссе композитного настила компании «АпАТЭК» позволило выполнить установку пролётного строения за один подъём без строительства промежуточной опоры и отказаться от бетонных работ. Первоначальный проект предусматривал заливку бетоном настила в полевых условиях, строительство промежуточной опоры и две остановки движения по автомобильной трассе. Использование композитов позволило уменьшить массу элементов пролётного строения на 63 % и снизить стоимость конструкции настила на 12 % уже на этапе строительства [5].

К настоящему времени в нашей стране построен не один десяток пешеходных мостов и путепроводов из композитов, но первый и единственный автодорожный мост сооружен совсем недавно.

Первый в России автодорожный мост из композитных материалов был открыт на реке Пашенка в Сибири в июле 2014 года (рис. 6).

Однопролетный балочный мост построен новосибирским предприятием ООО «Опора». В проектировании моста приняли участие ООО «Сибирские проекты» и ученые из Сибирского университета путей сообщения [6].

Мост содержит две главные решетчатые балки, выполненные из набора отдельных пултрузионных профилей, скрепленных между собой болтами по типу фермы Тауна, и же-



Рис. 6. Первый в России автодорожный мост из композитных материалов, р.Пашенка, Сибирь



Рис. 7. Опытный образец балки пролетного строения из стеклопластика

лезобетонную плиту проезжей части, установленную на главных балках. Для сооружения основного несущего элемента моста - главных балок пролетного строения использован слоистый стеклопластик (рис. 7). Он представляет собой тонкие синтетические армирующие волокна, связанные между собой полимерной матрицей. Технология изготовления такого стеклопластика разработана специалистами НПП АПАТэк (г. Дубна Московской обл.).

По оценкам специалистов ООО «Композит» срок службы моста, построенного из слоистого стеклопластика, составит не менее 50 лет при минимальных эксплуатационных расходах. Затраты на его строительство выше примерно на 10 %, а стоимость эксплуатации ниже почти в 10 раз. В случае серийного производства сооружений из стеклопластика, стоимость строительства удастся сократить.

Мониторинг моста осуществляется силами Сибирского государственного университета путей сообщения.

Необходимо отметить, что сегодня композитные материалы являются одним из наиболее востребованных материальных ресурсов промышленного производства. Особенно широко и эффективно они используются в высокотехнологичных отраслях. Полимерные композитные материалы обеспечивают в силовых конструкциях высокую эксплуатационную надежность и долговечность, что помимо традиционных отраслей применения (авиация, космонавтика, судостроение) весьма актуально в строительной индустрии, энергетике, машиностроении и конструкциях дорожной инфраструктуры.

В настоящее время использование композитных материалов можно считать глобальным трендом мирового мостостроения. Высокие физико-механические характеристики стеклопластика позволили использовать пултрузионные профили в качестве элементов мостовых конструкций. Более того, эта область применения выделилась в отдельное направление. В России количество объектов, построенных с помощью подобной технологии, не так велико, как в Западной Европе и США, тем не менее, российские научно-производственные компании продолжают вести исследования по развитию инновационных материалов и конструктивно-технологических решений в рамках применения новых инновационных решений в дорожно-строительном комплексе страны.

Литература

1. Вуколов С. А., Бирюков О. Р., Стройков В. А. Новые технологии и материалы в интересах материально-технического обеспечения войск (сил) // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В.Хрулева, 2016. № 3 (7). С. 140–143.
2. Пешеходный мост в районе платформы «Чертаново». URL: <http://www.apatech.ru/chertanovo.html> (дата обращения: 10.10.2018).
3. Бейвель А. С., Ветохин С. Ю., Гералтовский А. В., Полиновский В. П. Полимерные композиты в транспортном строительстве и мостостроении. Журнал Compositebook. 2018. № 1.
4. Пешеходные мосты из полимерных композиционных материалов производства группы компаний «Рускомполит» http://www.steklonit.com/images/HW/peshie_most.pdf (дата обращения: 10.10.2018).
5. Пешеходный переход на Ленинградском шоссе 23-й километр. URL: <http://www.apatech.ru/chertanovo.html> (дата обращения: 10.10.2018).
6. В Новосибирской области открылся первый мост из стеклопластика. URL: <https://news.ngs.ru/more/1865071> (дата обращения: 10.10.2018).

УДК 624.21

Герман Альбертович Яппаров,
аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: germanyap@mail.ru, mt@spbgasu.ru

German Albertovich Yapparov,
master's degree student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: germanyap@mail.ru, mt@spbgasu.ru

ТРУБОБЕТОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МАЛЫХ МОСТОВ

CONCRETE-FILLED STEEL TUBE ELEMENTS OF SMALL BRIDGES

В статье приведены основные работы по обобщению исследований трубобетона. Рассмотрена работа трубобетонных элементов различной конструкции при изгибе. Проведен анализ существующей нормативно-технической базы, регламентирующей применение заполненных бетоном труб в качестве балок.

Представлены последние разработки отечественных ученых по применению трубобетонных балок в качестве несущих балок мостов. Предложена новая конструкция комбинированного составного сечения трубобетонной балки для пролетных строений малых сталежелезобетонных мостов.

Ключевые слова: пролетное строение, трубчатые балки, трубобетон, составное сечение, изгиб, замкнутые контуры, стальные трубы.

The article presents the main works on the generalization of research of the concrete-filled tubular members. Considered the work of CFT elements of various designs in bending. The analysis of the existing regulatory and technical base governing the use of pipes filled with concrete as beams was carried out. The latest developments of domestic scientists on the use of CFT beams as bearing beams of bridges are presented. A new design of a combined composite section of a CFT beam for spans of small steel-reinforced concrete bridges is proposed.

Keywords: span structure, tubular beams, CFT, composite section, bending, closed circuits, steel pipes.

Трубобетонные конструкции с металлической оболочкой и бетонным сердечником находят широкое применение в строительстве за рубежом. Однако в нашей стране применение таких конструкций сдерживается недостаточной проработанностью нормативно-технической базы. Как известно, трубобетонные элементы хорошо работают на осевое сжатие, за счет обеспечения металлической оболочкой обжатия (объемного сжатия) бетона. Создается так называемый эффект «обоймы». Внешний металлический контур имеет высокую пластичность в предельном состоянии, что исключает возможность резкого разрушения составного элемента. Основными направлениями для исследований по данной теме являются: изучение совместной работы двух материалов составного сечения, определение эффективности и надежности конструкций, составление рекомендаций для проектирования и расчета. Среди основных работ можно выделить труды таких авторов как Р. С. Санжаровский, В. Л. Трулль, В. А. Росновский, А. И. Кикин, О. Н. Альперина, И. В. Резван, А. А. Долженко, Л. К. Лукша, С. В. Коврыга, Л. И. Стороженко, А. Л. Кришан и другие.

В публикации [1] произведен расчет реальной трубобетонной колонны многоэтажного жилого здания в г. Новосибирске на несущую способность по различным методикам. Колонна рассматривалась как железобетонная конструкция с жестким армированием, как железобетонная конструкция с косвенным армированием, как стальная конструкция с приведением бетона к стали, также согласно рекомендациям Eurocode 4 и в соответствии с другими методами. Полученные данные свидетельствуют, что расчет конструкций по различным нормам для железобетонных конструкций с внешним армированием дает схожие результаты с максимальным расхождением в 7,5 % между методом, предложенным в [2] и методом [3] при внецентренном сжатии. При расчете колонны как стальной, с приведенным к бетону сечением, результаты сильно отличаются. Причем при работе бетона в упругой стадии обеспечивается наибольший запас прочности среди остальных расчетов, а с учетом пластических деформаций и введением коэффициента $V = 0,45$, понижающим модуль упругости бетона, обеспечивается наименьший запас прочности. Из чего авторы делают вывод, что для данной методики следует учитывать неупругие свойства бетона. В публикации [4] приведены и довольно подробно проанализированы последние исследования по трубобетону. Рассмотрены диссертации отечественных ученых с указанием основных выводов, сопоставлены результаты и выявлены противоречия в некоторых подходах к рассмотрению совместной работы металла и бетона. Однако вопрос работы трубобетона на изгиб слабо затронут в публикациях либо вовсе не рассматривается.

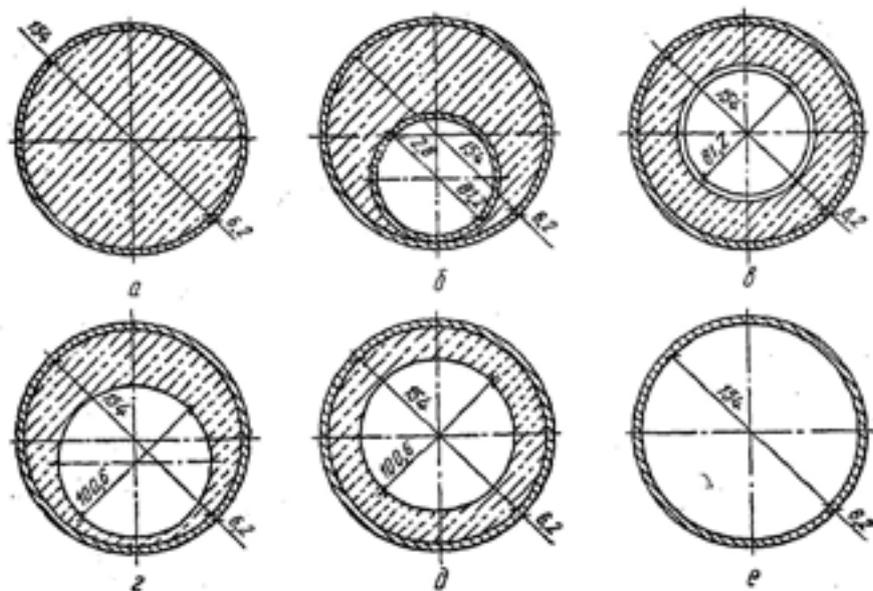


Рис. 1. Сечения образцов изгибаемых элементов серий: а – ИВ-2-2; б – ИВ-2-2ТВ; в – ИВ-2-2Т; г – ИВ-2-2ПВ; д – ИВ-2-2П; е – И-2

Таблица 1

Характеристика обследуемых образцов

Серия	Размеры труб, мм.			Толщина бетонного слоя t_b , мм.	Призменная прочность бетона $R_{b, \text{МПа}}$
	l_0	D	t		
Элементы, заполненные вибрированным бетоном					
ИВ-1-1	2000	102,3	2,3	Сплошной	40,0
ИВ-2-2	2000	166,4	6,2	»	22,5
ИВ-2-2Т	2000	166,4	6,2	33,6	22,5
ИВ-2-2ТВ	2000	166,4	6,2	33,6	22,5
ИВ-2-2П	2000	166,4	6,2	27,8	22,5
ИВ-2-2ПВ	2000	166,4	6,2	27,8	22,5
ИВ-3-3	4000	325,0	8,0	Сплошной	15,0
Элементы, заполненные центрифугированным бетоном					
ИЦ-3-4	4000	325,0	8,0	60,0	24,0
ИЦ-3-5С	4000	325,1	8,0	60,0	31,0
ИЦ-3-6	4000	325,0	8,0	72,0	24,0
ИЦ-3-7	4000	325,0	8,0	33,0	24,0
ИЦ-3-8	4000	325,0	8,0	30,0	24,0
Элементы из пустых стальных труб					
И-1	2000	102,3	2,3	–	–
И-2	2000	166,4	6,2	–	–
И-3	4000	325,0	8,0	–	–

Одной из самых развернутых и экспериментально подтвержденных работ по данной теме является диссертация В. И. Ефименко под руководством Л. И. Стороженко «Прочность и деформации изгибаемых трубобетонных элементов» 1989 г. [5] результаты которой, легли в основу монографии Л. И. Стороженко, В. И. Ефименко, П. И. Плахотный «Изгибаемые трубобетонные конструкции» 1994 г. [6]. В данных трудах рассматривалась работа трубобетонных балок различных конструктивных форм и размеров на изгиб. Сечения приведены на рис. 1. Характеристики исследуемых образцов представлены в табл. 1.

Не обозначенные на рис.1 сечения представляют собой: ИВ-1-1 – труба с наружным диаметром $D = 97,7$ мм при толщине стенки $t = 2,3$ мм. со сплошным бетонным ядром; ИВ-3-3 – труба с наружным диаметром $D = 325$ мм при толщине стенки $t = 8$ мм. со сплошным бетонным ядром; ИЦ-3-4, ИЦ-3-6, ИЦ-3-7, ИЦ-3-8 – трубы с наружным диаметром $D = 325$ мм при толщине стенки $t = 8$ мм с центрифугированным бетоном с толщиной бетонного слоя 60 мм, 72 мм, 33 мм и 30 мм соответственно; ИЦ-3-5С – труба с наружным диаметром $D = 325$ мм при толщине стенки $t = 8$ мм с центрифугированным бетоном с толщиной бетонного слоя 60 мм с навитой на нее после бетонирования спиралью из проволоки $d = 5$ мм с шагом 50 мм; И-1, И-2, И-3 – пустые трубы с наружными диаметрами $D = 102,3$ мм, 166,4 мм, 325 мм при толщине стенок $t = 2,3$ мм, 6,2 мм, 8 мм соответственно. Также были испытаны и некоторые другие образцы.

Авторами была разработана методика расчета изгибаемых трубобетонных элементов в упругой стадии, и за пределами упругости. Для определения несущей способности сечений, изображенных на рис. 2. в общем случае была получена формула:

$$M = \frac{1}{1 + \cos \alpha'_1} (\alpha_4 r_1^2 \delta_1 R_y \pi + 2\beta_4 R_b r_1^3 \omega_{21}) + \frac{1}{1 + \cos \alpha'_2} (r_2 (r_2 - b) R_y \delta_2 \pi - 2\sigma_b r_2^2 (r_2 - b) \omega_{22}),$$

где α_4 и β_4 – коэффициенты эффективности работы стали и бетона в условиях трубобетонного элемента, а ω_{21} и ω_{22} равны:

$$\omega_{21} = \frac{\cos \alpha'_1 \sin^3 \alpha'_1}{3} + \frac{\pi - \alpha'_1}{8} + \frac{\sin 4\alpha'_1}{32}; \quad \omega_{22} = \frac{\cos \alpha'_2 \sin^3 \alpha'_2}{3} + \frac{\pi - \alpha'_2}{8} + \frac{\sin 4\alpha'_2}{32}.$$

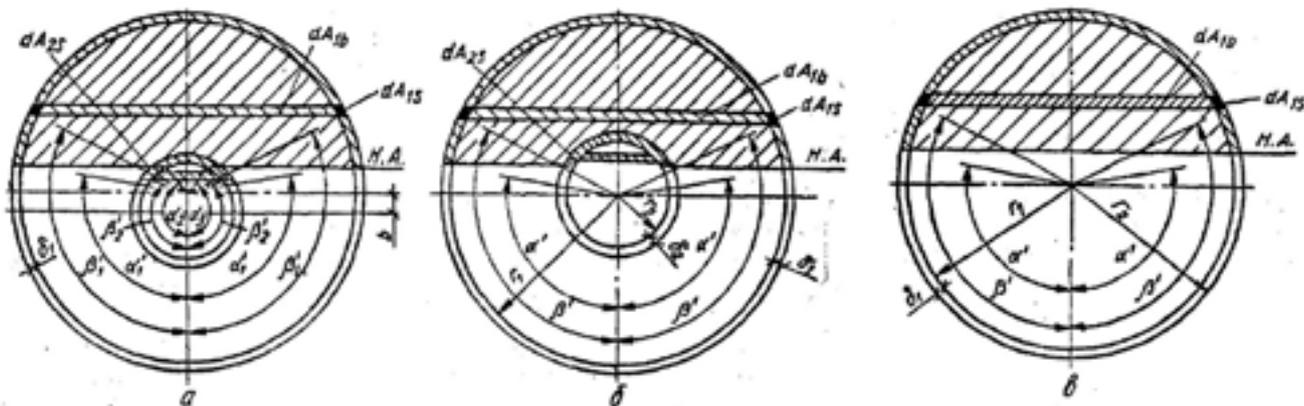


Рис.2. Расчетные схемы сечений с ядрами различного типа: а – со смещенной внутренней трубой; б – с трубой, расположенной на продольной оси элемента, в- со сплошным ядром

Наибольший интерес для дальнейшего рассмотрения представляют сечения с заполнением вибрированным бетоном, так как в условиях стройплощадки изготовить центрифугированные элементы не представляется возможным. Хотя следует заметить, что по результатам экспериментов они показали повышенные показатели по прочности. Образцы серий ИВ-2 испытывались согласно схеме загрузки на рис. 3 прессом УИ-350.

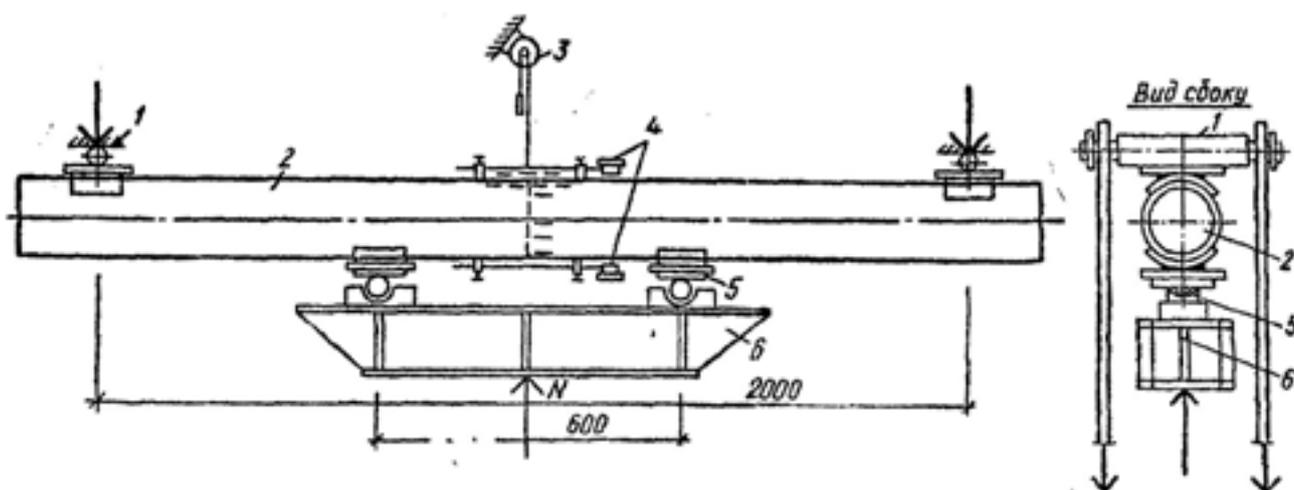


Рис. 3. Схема загрузки образцов серии ИВ-2; 1 – опора; 2 – образец; 3 – прогибомер; 4 – индикаторы, 5 – цилиндрический шарнир; 6 – траверса

В качестве несущей способности в процессе проведения эксперимента авторы фиксировали нагрузки, соответствующие продольным деформациям в сжатой зоне элемента, равные пределу текучести трубы (M_1) и максимальной нагрузке, которую может выдержать элемент (M_2). Полученные значения для сечений ИВ-2 и И-2 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные значения несущей способности изгибаемых трубобетонных элементов

Серия образцов	Несущая способность, кН*м	
	M_1	M_2
ИВ-2-2	52,5	63,0
ИВ-2-2Т	59,5	64,8
ИВ-2-2ТВ	56,0	68,6
И-2	36,5	49,0

Наибольшей несущей способностью обладают образцы ИВ-2-2Т и ИВ-2-2ТВ, за счет восприятия значительных усилий внутренней трубой. Деформации в верхней, сжатой зоне сходны у всех образцов. Наименьшие деформации в растянутой зоне наблюдались у образцов серии ИВ-2-2ТВ, у которых растягивающие усилия воспринимала как внешняя, так и внутренняя труба и частично бетон.

С целью проверки вышеизложенных положений и определения наиболее рационального сечения в программном комплексе «ANSYS» были смоделированы балки, соответствующие образцам ИВ-2-2, ИВ-2-2Т, ИВ-2-2ТВ.

В соответствии с данными из монографии были приняты следующие характеристики материалов: модуль упругости стали $2,25 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона 0,3; модуль упругости бетона $2,30 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона 0,2. Тип контакта между бетоном и сталью – «Bonded» (жесткий контакт). В точках *A* и *B* на концах трубы методом Remote Displacement перемещения ограничены таким образом, чтобы имитировать шарнирно-неподвижную и шарнирно-подвижную опоры. Загружение осуществлялось через площадки, связанные с трубой контактом «No separation». К балке сечения ИВ-2-2 (полностью заполненная бетоном) приложена нагрузка – по 56 кН в точках *C* и *D*. Величина подобрана таким образом, чтобы предельные напряжения в бетоне составили приблизительно 22,5 МПа – призмочная прочность бетона данной марки. При данной нагрузке максимальные напряжения в бетоне составляют 22,18 МПа. Это означает, что напряжение 22,5 МПа возникнет при нагрузке $22,5 / 22,16 \cdot 56 = 56,9$ кН в каждой из двух точек приложения нагрузки (суммарно 113,8 кН) при допущении о линейном развитии деформаций. Напряжения в стали составили 262,9 МПа. 80,3 % от максимальных (предел текучести 327,4 МПа). Перемещение средней части трубы под нагрузкой – 6 мм. В данном приближении несущая способность (*M1*) будет равна 48,8 кН · М при суммарных нагрузках 139,5 кН. Также нагрузка (по 56 кН) была приложена к сечениям ИВ-2-2Т и ИВ-2-2ТВ (с внутренней трубой в середине и внизу соответственно). Для ИВ-2-2Т напряжения в стали – 243,4 МПа, тогда несущая способность – 52,8 кН · М при 150,8 МПа, для ИВ-2-2ТВ – 244,7 МПа и тогда несущая способность 52,5 кН · м при 150 МПа. Расхождения полученных данных с данными эксперимента из табл. 2 для ИВ-2-2 – 8,3 %, ИВ-2-2Т – 13,5 %, ИВ-2-2ТВ – 7,7 %. Напряжения в стали для данных сечений изображены на рис. 5.

Расхождения обусловлены спецификой работы бетона в растянутой зоне и его характеристиками. Для более точных результатов необходимо применить дополнительные условия, описывающие нелинейные процессы с учетом сдвиговых усилий, жесткости и трещинообразования при растяжении. Также дополнительно можно использовать в расчете диаграмму деформирования бетона. Тем не менее на основе проведенного математического моделирования можно подтвердить выводы авторов о повышенной несущей способности трубобетонных элементов. Стоит также отметить, что деформации образцов ИВ-2-2ТВ значительно меньше и более равномерны чем у образцов ИВ-2-2Т и ИВ-2-2, в которых наблюдается скачкообразное изменение деформаций за счет образования трещин в растянутом поясе бетона.

С 1 июля 2017г. Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) введен в действие нормативный документ- СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» [7], разработанный Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций им. В. А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко) и институтом АО «НИЦ Строительство», регламентирующий проектирование трубобетонных элементов. Расчет на изгиб затронут всего в трех пунктах 7.2.2.5–7.2.2.7. Предоставлена формула для расчета только одного типа сечения (рис. 5), являющегося нерациональным, так как расположение арматуры в верхнем, сжатом поясе балки нецелесообразно.

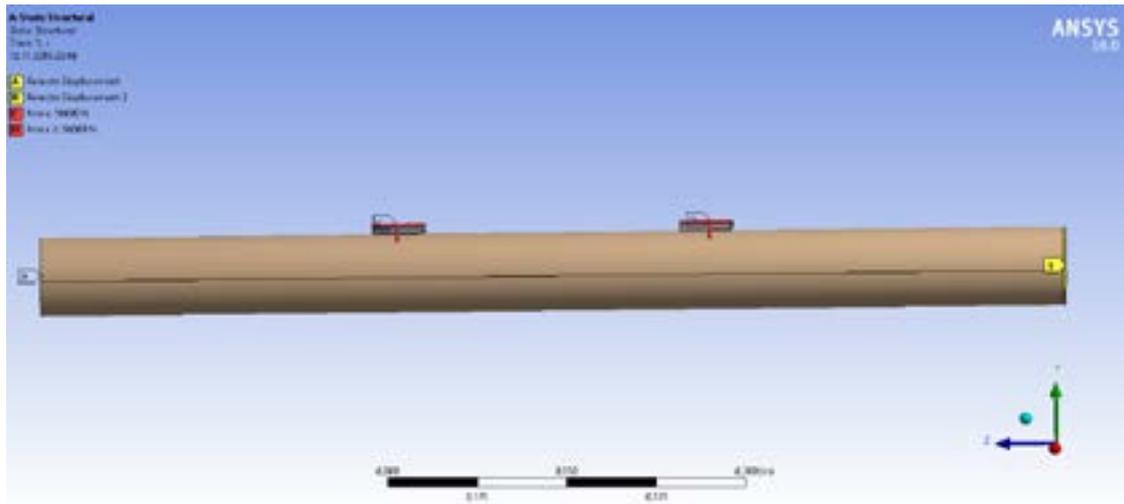


Рис. 4. Модель, визуализированная средствами «ANSYS Mechanical»

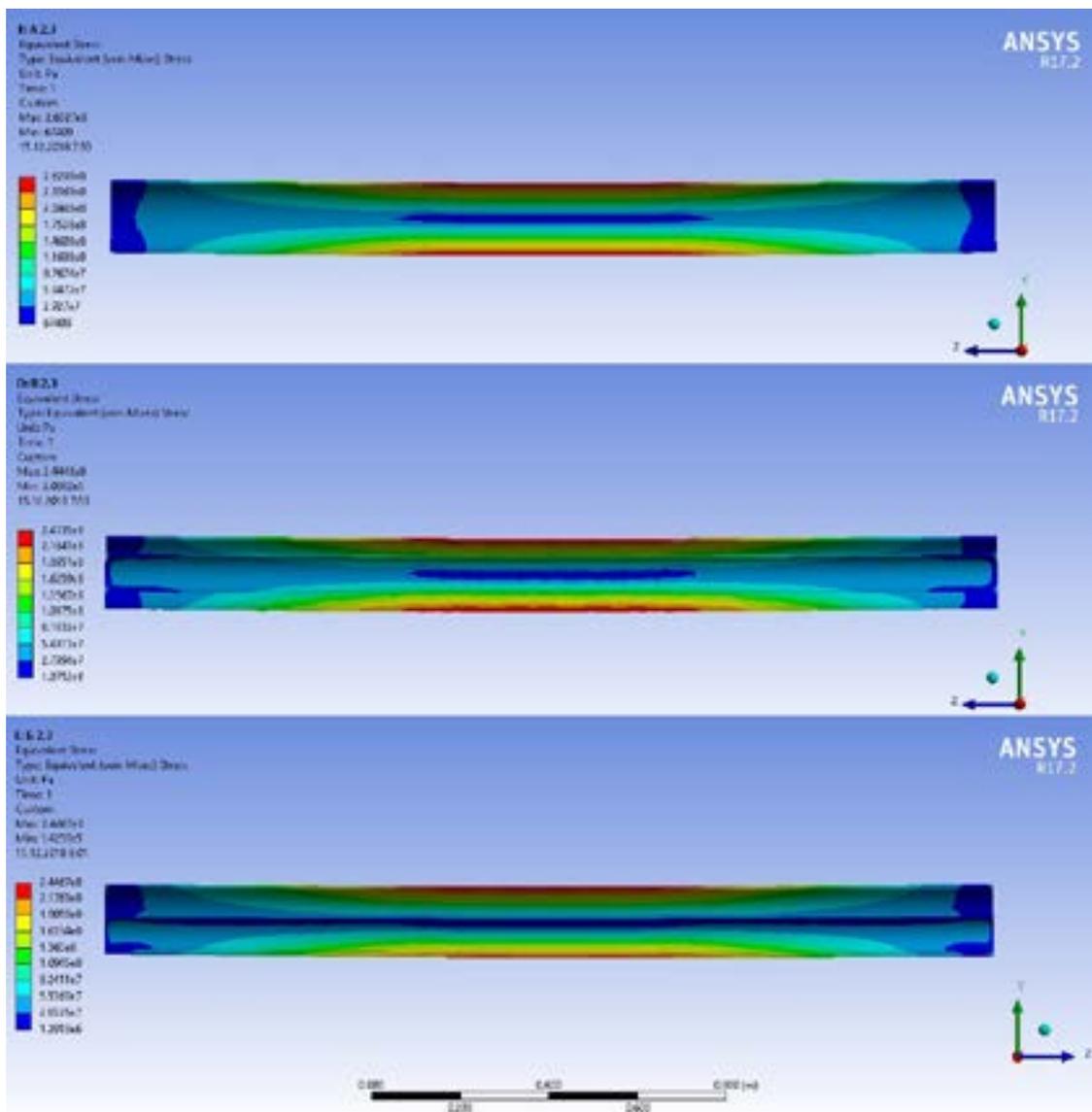


Рис. 5. Напряжения в стали для сечений ИВ-2-2, ИВ2-2Т и ИВ-2-2ТВ

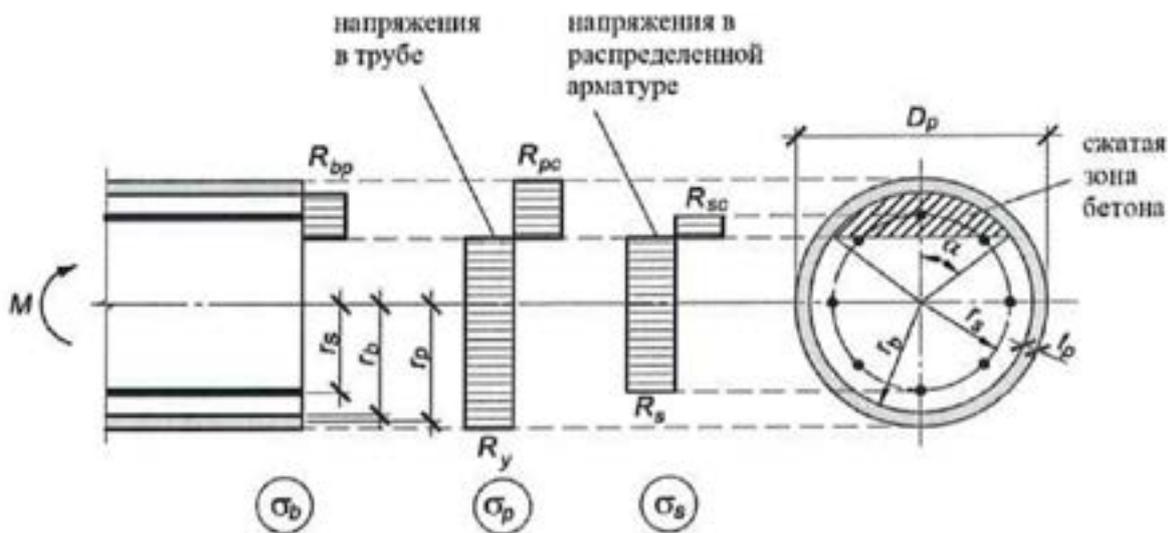


Рис.5. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого трубобетонного элемента, при его расчете по прочности

Формула для расчета имеет следующий вид:

$$M_{ult} = \frac{2}{3} r_b^3 R_{bp} \sin^3 \alpha + \frac{1}{\pi} A_s r_s \sin \alpha (R_s + R_{sc}) + \frac{1}{\pi} A_p r_p \sin \alpha (R_y + R_{pc}),$$

где угол α – радианы, A_s – площадь всей стержневой арматуры, r_b – радиус бетонного ядра, r_s – радиус окружности, на которой расположена стержневая арматура, r_p – радиус серединной поверхности трубы, $r_p = \frac{D_p - t_p}{2}$. Угол α , радианы, находят из уравнения:

$$r_b^2 \left(\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) R_{bp} + \frac{\alpha}{\pi} A_s R_{sc} - \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) A_s R_s + \frac{\alpha}{\pi} A_p R_{pc} - \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) A_p R_y = 0.$$

В научно-техническом отчете по теме: «Разработка стандарта организации «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования» этап 3 (3.2) [8], с экспертами обсуждался текст стандарта и вносились соответствующие поправки и изменения. Также в процессе обсуждения производились испытания различных конструкций [9], однако трубобетон круглого сечения не рассматривался. В [8] рецензент д. т. н., проф. Г. И. Белый (директор ЗАО «ЭРКОН», заслуженный деятель науки России) высказывает точку зрения, что «Нецелесообразность использования трубобетонных элементов, работающих на изгиб, подтверждается содержанием пунктов 7.2.2.5 и 7.2.2.6 (не используется эффект обоймы)». На что получает ответ от организации, разрабатывающей документ, в лице Крылова – «Разработанный документ не определяет целесообразность или нецелесообразность использования трубобетонных элементов. В инженерной практике могут встретиться самые разные случаи. Кроме того, целесообразность может определяться не только эффектом обоймы, но и требованиями защиты конструкций, архитектурными требованиями и рядом других условий». Других существенных замечаний по этим пунктам нет, хотя вопрос освещен недостаточно.

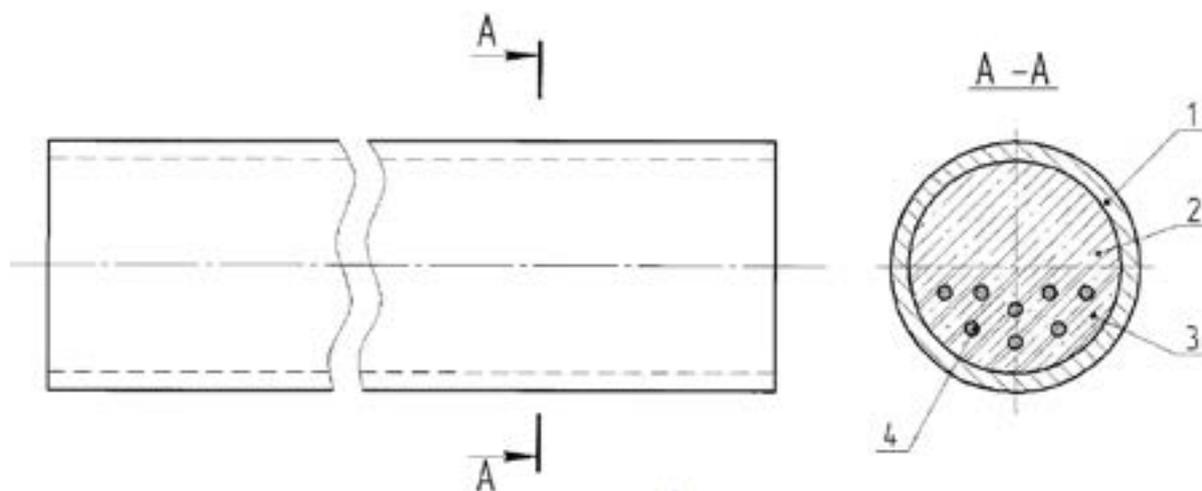


Рис.6. Предварительно напряженная балка по патенту № 2632798-труба; 2 – бетонный сегмент ядра; 3 – железобетонный сегмент ядра; 4 – армирующие элементы

Конструкцию балки, схожей с той, что затронута в [7] предлагают Моисеев О. Ю., Харин В. В., Копырин В. И., Парышев Д. Н., Овчинников И. Г., Овчинников И. И. в своем патенте от 09.10.2017г. № 2632798 [10], вид и разрез изображены на рис. 6.

Авторы относят свое изобретение к области строительства, а именно к предварительно напряженным элементам пролетных строений малых и средних мостов, а также к строительным конструкционным элементам общего назначения. Предполагается увеличение прочности на изгиб трубобетонной балки за счет создания с помощью предварительно растянутых элементов арматуры поля неравномерно распределенных нормальных напряжений в поперечном сечении бетонного ядра и, как следствие, устранения трещинообразования в нижней части бетонного ядра при значительных поперечных нагрузках. Также в более новом патенте [11] № 2669814 от 16.10.2018 г. Харин В. В., Копырин В. И., Парышев Д. Н. предлагают модифицированные версии предварительно напряженной балки, достоинства которых заключаются в облегчении балки при обеспечении необходимой прочности конструкции. Сечения показаны на рис. 7.

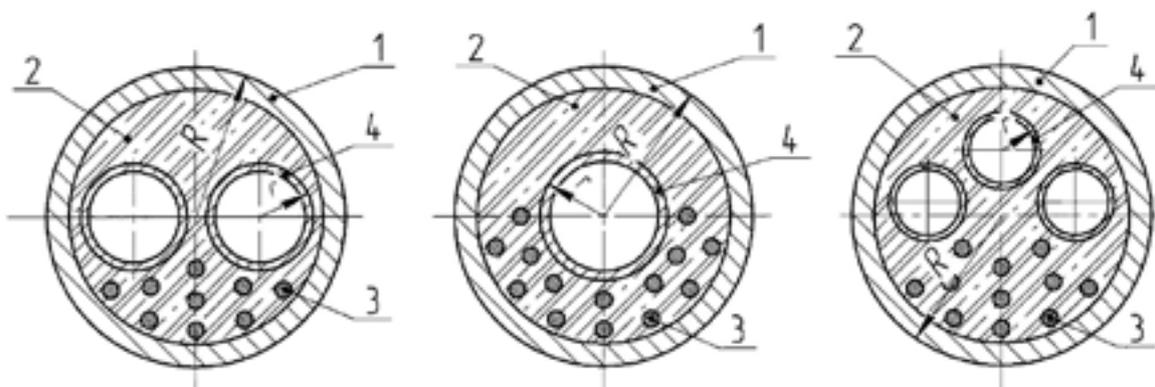


Рис.7 Сечения модифицированных предварительно напряженных трубобетонных балок. 1 – труба, 2 – бетонное ядро, 3 – армирующие элементы, 4 – внутренние продольные трубы

В сталежелезобетонных мостах при объединении главных балок с плитой нейтральная ось смещается вверх. Большая часть балки оказывается в растянутой зоне, что делает нераци-

ональным применение заполненных бетоном труб, пусть и с дополнительным армированием. Применение труб без какого-либо заполнения тоже весьма ограничено. Видится рациональным применение комбинированного сечения на основе ИВ-2-2ТВ. Представлено на рис. 8.

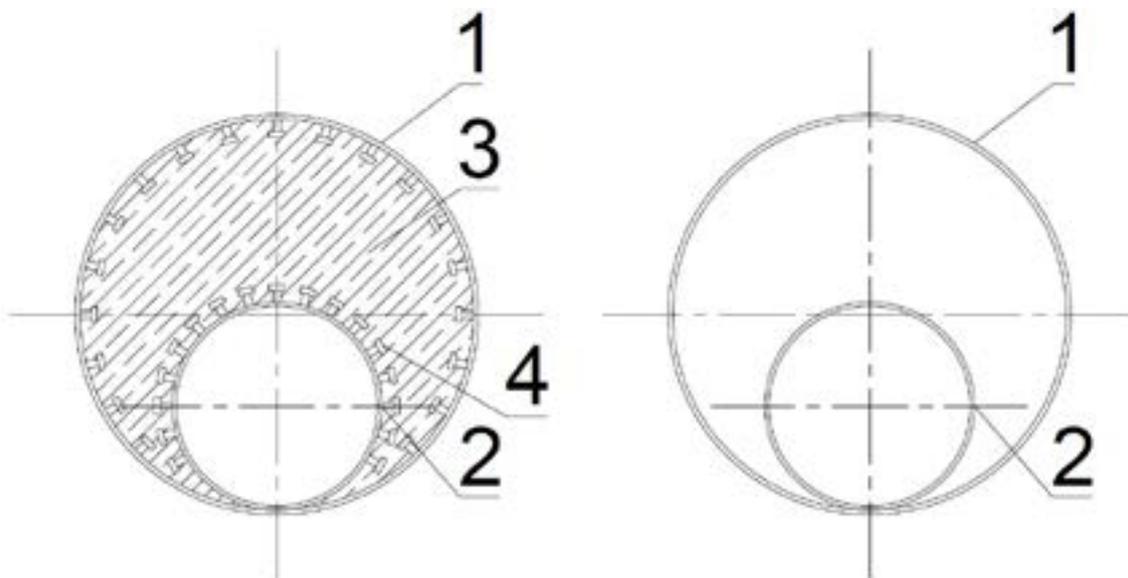


Рис. 8. Сечения комбинированной балки на основе ИВ-2-2ТВ на опоре и в середине пролета:
1 – внешняя труба; 2 – внутренняя труба; 3 – бетонный заполнитель; 4 – штыревые упоры

Предлагается заполнить бетоном сечение только в местах опирания для предотвращения деформаций контура тонкостенных оболочек и обеспечения совместной работы внешней и внутренней трубы. По остальной длине балки оставить трубы незаполненными. Дополнительно в местах омоноличивания приварить штыревые упоры на внешнюю поверхность внутренней трубы и внутреннюю поверхность внешней трубы для более прочной связи материалов. Такая конструкция проста в изготовлении, легкодоступна для транспортировки и монтажа в условиях стройплощадки. Применение трубчатых составных балок в малых сталежелезобетонных мостах в отдаленных районах и районах нефтедобычи позволит снизить затраты и повысить скорость строительства.

Литература

1. Стороженко Л. И., Семко А. В. Сравнение методик расчета трубобетонных конструкций // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. 2005. № 63. С. 59–67.
2. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой / НИЖБ, ЦНИИПромзданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 54 с
3. Eurocode 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Общие правила для зданий: Пер. с нем. – Полтава: ПНТУ, 1997. – 180 с.
4. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, № 4 (июль – август 2015) URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf>
5. Ефименко В. И. Прочность и деформации изгибаемых трубобетонных элементов.: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01; защищена 1989г. Полтава: ПИСИ, 1989. – 186 с.
6. Стороженко Л. И., Ефименко В. И., Плахотный П. И. Изгибаемые трубобетонные конструкции. – К.: Будівельник, 1994. – 104 с.
7. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования [текст]: свод правил.- Введ. 01.07.2017. – Москва: [б.и.], 2016. – 124 с.

8. Ассоциация развития стального строительства [Электронный ресурс]: научно-технический отчет по теме: «Разработка стандарта организации «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования» этап 3 (3.2) URL: https://steel-development.ru/katalog.php?element_id=2931&cat=5¢er=4

9. База данных DOCPLAYER [Электронный ресурс]: Заключение по теме: «Проведение испытаний моделей сталежелезобетонных балок с применением высокопрочных бетонов и фибробетонов» URL: <https://docplayer.ru/84575220-Zaklyuchenie-po-teme-provedenie-ispytaniy-modeley-stalezhelezobetonnyh-balok-s-primeneniem-vysokoprochnyh-betonov-i-fibrobetonov.html>

10. Трубобетонная предварительно напряженная балка // Патент РФ № 2632798 09.10.2017 / Овинников И. Г., Овчинников И. И., Парышев Д. Н., Харин В. В., Моисеев О. Ю., Копырин В. И.

11. Трубобетонная предварительно напряженная балка // Патент РФ № 2669814 16.10.2018 / Харин В. В., Копырин В. И., Парышев Д. Н.

УДК 624.19.059.3:624.191.814:624.07

Елена Вадимовна Ястребова,
магистрант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: l.yastrebova@mail.ru

Elena Vadimovna Yastrebova,
student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering)
E-mail: l.yastrebova@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ БЕЗ ПРЕКРАЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

TECHNOLOGY REPAIR OF THE TUNNEL LINING WITHOUT STOPPING THE MOVEMENT

Капитальный ремонт транспортного участка, приводящий к перекрытию движения, доставляет огромные неудобства. Необходимо проводить систематические обследования для выявления дефектов и устранения их на ранних стадиях. Основной проблемой тоннельных сооружений является нарушение гидроизоляции обделки. Водонепроницаемость можно поддерживать не прекращая движение в тоннеле. Появление подобных дефектов требует немедленного выяснения причин их возникновения и принятия необходимых мер по их ликвидации.

Ключевые слова: несущие конструкции, конструктивные элементы, обделка из бетона и железобетона, усиление тоннелей, гидроизоляция.

Abstract: The overhaul of the transport section leading to blockage of traffic is a great inconvenience. It is necessary to conduct systematic examinations to identify defects and eliminate them in the early stages. The main problem of tunnel structures is lining waterproofing. Water tightness can be maintained without stopping traffic in the tunnel. The appearance of such defects requires the immediate clarification of the causes of their occurrence and the adoption of necessary measures to eliminate them.

Keywords: bearing structures, constructive element, concrete and reinforced concrete cladding, increase tunnel, waterproofing.

На сегодняшний день транспортная обстановка оставляет желать лучшего. Поэтому закрытие какого-либо участка дороги или тоннеля на капитальный ремонт приводит к огромным неудобствам. Чтобы избежать незапланированного капремонта, необходимо проводить предусмотренные проектом обследования и мониторинг.

В настоящей статье рассматриваются способы ремонта обделки тоннеля без полного прекращения движения. Все способы, обсуждаемые ниже, могут только поддерживать необходимое состояние обделки. Работы по ремонту ведутся в непродолжительные технологические «окна». Рабочие способны быстро зайти в тоннель, выполнить задачу и поки-

нуть его в установленное время, а затем, после пропуска поездов, снова приступить к работе. Несмотря на то, что такой порядок действий увеличивает продолжительность работ, движение в тоннелях не останавливается.

Основными работами по ремонту тоннелей являются восстановление водонепроницаемости обделки. Гидроизоляция сборных обделок из железобетонных блоков выполняется в основном теми же средствами, что и в чугунных обделках, но эффективность ее значительно ниже, т. к. после сборки кольца в теле блоков и вблизи чекачных канавок образуются трещины. Через эти трещины в тоннель проникает вода, арматура блоков подвергается коррозии, что влечет за собой дальнейшее разрушение конструкции.

Восстановление водонепроницаемости обделки без прекращения движения в тоннеле осуществляется с помощью нагнетания за обделку уплотнительных и гидроизоляционных составов, торкретирования, нанесения оклеечной гидроизоляции, заполнения швов сборочных обделок и изоляции болтовых отверстий в тубингах.

В гидроизоляции конструкций из блоков особую важность приобретает нагнетание за обделку растворов. Для этого применяются раствор бентонитовой глины и различные смеси, от удачного выбора которых зависит эффективность гидроизоляции обделки.

Тщательное заполнение пустот, пор и трещин в прилегающем к обделке грунтовом массиве существенно препятствует проникновению подземных вод внутрь тоннеля. Из-за разнообразия инженерно-геологических условий, в которых проводится инъекция, выбор конкретного состава инъекционного раствора в каждом конкретном случае играет важнейшую роль. Для облегчения нагнетания, уменьшения расслаиваемости раствора и возможности регулирования сроков схватывания в раствор и цементное молоко вводят специальные добавки, придающие им требуемые свойства.

Нагнетаемый раствор подается по резиновым шлангам диаметром не менее 50 мм к отверстиям, пробуренным по определенной схеме. Давление нагнетания принимают в 2–3 раза больше гидростатического давления подземных вод. Нагнетание ведут одновременно по обе стороны от оси тоннеля за стены и свод. За обратный свод нагнетание не делают.

Нагнетание раствора может производиться не только за свод тоннеля, но и непосредственно в саму железобетонную обделку. Инъектирование – метод восстановления бетонной конструкции и гидроизоляции швов, позволяющий быстро и эффективно заполнить трещины с помощью полимерных составов, которые вводятся через инъекционный пакер под сильным давлением.

Чтобы не только повысить гидроизоляцию, но и усилить конструкцию, на внутреннюю поверхность обделки наносят торкрет или набрызг-бетон. Поверхность подготавливают насечкой бетона и промывкой водой под давлением. С помощью специальной машины бетонная смесь с различными добавками набрызгивается на изолируемую поверхность. Работы ведутся слоями толщиной 5–12 мм с общей толщиной покрытия 20–40 мм. Так как более тонкие слои являются более плотными, слой, прилегающий к обделке, и наружный слой, подвергающийся выветриванию, делают более тонкими, чем остальные слои. Каждый последующий слой наносят после затвердения предыдущего (обычно через 8–12 ч). При напорах подземных вод, превышающих 5 м вод. ст., используют армированную сетку из проволоки диаметром 3–5 мм, прикрепляемой к обделке анкерами, располагаемыми через 40 см.

Получившееся покрытие обеспечивает достаточную механическую прочность, хорошее сцепление с бетоном, особенно при наличии сетки из арматуры, и водонепроницаемость при небольших напорах воды.

К недостаткам торкрета относятся: его жесткость, ведущая к трещинообразованию при неравномерных осадках; возможность возникновения усадочных трещин, уменьшаемая применением безусадочного цемента и армирование сетками; большой расход цемента и значительный отскок частиц от поверхности.

Гидроизоляция, состоящая из нескольких слоев рулонного материала, соединенных и наклеенных на изолируемую поверхность пластичной водонепроницаемой массой, называется оклеечной. Число слоев рулонного материала в изоляционном покрытии определяют в зависимости от напора подземных вод.

Компаунд эпоксидных смол, нанесенный на изолируемую поверхность механизированным способом, также является отличной гидроизоляцией тоннельных обделок. Благодаря свойству эпоксидных смол, заключающемуся в высокой степени сцепляемости с бетоном, появляется возможность отказаться от внутренней поддерживающей конструкции.

В настоящее время разрабатываются компаунды, обладающие стабильными свойствами в условиях переменной температуры и влажности, характерных для транспортных тоннелей, а также технология нанесения покрытий из компаундов и мероприятия по их защите.

Конструкции обделок из чугунных тубингов обладают самой высокой водонепроницаемостью. Но через швы между тубингами и через отверстия для болтов всё же может проникать вода.

Уплотнение швов производят специальным уплотняющим материалом – замазкой из водонепроницаемого расширяющегося цемента (ВРЦ), гипсоглиноземистого цемента или специального безусадочного уплотняющего состава (БУС). Цемент затворяют водой в соотношении 1:10. Канавку перед заполнением очищают до металлического блеска пескоструйным аппаратом с последующей продувкой сжатым воздухом. Уплотняющую замазку готовят небольшими порциями (по 2–3 кг) для того, чтобы можно было использовать ее в течение 10 мин. Укладывают ее в канавку вручную или пневматическими цементоукладчиками и уплотняют (чеканят) пневматическими молотками РМ-1 или РМ-3 с набором чеканочных наконечников. Материал укладывают в канавку и чеканят в два-три слоя участками длиной по 3–4 м сверху вниз по кольцу: вначале продольные швы и места сопряжений их с кольцевыми, а затем кольцевые швы.

При сильном напоре грунтовых вод для гидроизоляции швов используют свинцовый шнур. Его помещают в чеканочную канавку и убедившись в герметичности шва, поверх свинца канавку расчеканивают цементной замазкой.

Для изоляции стыков сборных обделок из железобетона и чугуна, а также для герметизации деформационных швов в монолитной обделке можно применять безусадочную смесь и герметизирующую мастику. Сначала гидроизолируемый стык покрывается мастикой слоем 1...2 мм. Затем с помощью специальной установки под давлением 0,4...0,6 МПа стык на всю глубину заполняют специальным раствором. Связывая элементы сборной обделки в единое монолитное целое, стык воспринимает взаимные смещения этих элементов, не допуская протечек воды и тоннель.

Для герметизации болтовых отверстий применяют стальные сферические шайбы с тугоплавким асбобитумным наполнителем. Одну такую шайбу помещают под головку бол-

та, другую – под гайку. При затяжке болтов сферические шайбы сплющиваются, заполняя асбобитумной мастикой зазор между болтом и стенкой болтового отверстия. Применяют также полиэтиленовые уплотняющие шайбы. Отверстия для нагнетания раствора изолируют, устанавливая под заплечики нарезной пробки специальную асбобитумную шайбу. При закручивании пробки битумная масса заполняет кольцевой зазор в резьбовом соединении и герметизирует отверстие.

В последние годы в связи с развитием индустрии новых синтетических строительных материалов и смесей зарождаются новые изоляционные материалы и материалы для гидроизоляции бетона. С появлением нового более эффективного, соответствующего высоким требованиям, материала, возможны новые технологии ремонта, которые будут устранять дефекты различной сложности без условия перекрытия движения.

Литература:

1. СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
2. Содержание и реконструкция тоннелей. Ю. С. Фролов, В. А. Гурский, В. С. Молчанов.
3. А. А.Шилин и др. «Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами», М., Стройиздат, 2004, с. 9–13.
4. Волков В. П., Наумов С. Н., Пирожкова А. Н., Храпов В. Г. «Тоннели и метрополитены».

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ПОВЫШЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ»

<i>Андронов Р. В., Леверенц Е. Э.</i> Учет применения адаптивного управления дорожного движения при обосновании переустройства регулируемых пересечений	3
<i>Бондарева Э. Д.</i> Требования к геосинтетическим материалам, применяемым в дорожных одеждах.	9
<i>Воронцова Д. А.</i> Пути решения проблемы пучинообразования на автодорогах.	14
<i>Денисенко Д. А.</i> Применение армогрунтовых конструкций земляного полотна на автомобильных дорогах.	18
<i>Дроздецкий И. С., Новик А. Н., Петухов П. А., Лабусов Н. В.</i> Обоснование прочностных характеристик дорожной одежды для эксплуатации в условиях Санкт-Петербурга	23
<i>Добрынина Е. С.</i> Проблемы и пути решения экологических проблем при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры	27
<i>Клековкина М. П., Волкова Е. С.</i> Современная методология проектирования составов асфальтобетонов	29
<i>Козиловка М. В., Федорова Э. А.</i> Инновации в устройстве современных дорожных одежд. Применение геосинтетических материалов для усиления несущих слоев основания дорожной одежды	35
<i>Лощев В. В., Киселев О. Е.</i> Армогрунтовые подпорные сооружения по системе «вертикальный откос» в объектах транспортной инфраструктуры.	39
<i>Лучинский Д. П., Тимоховец В. Д., Санников С. П., Мармур А. В.</i> Совершенствование транспортного пересечения ТКАД – проезд Воронинские горки в городе Тюмени	43
<i>Мальцева С. А.</i> Использование укрепленного грунта для повышения прочности дорожных конструкций	48
<i>Мухаррямов И. Р.</i> Дорожная одежда с применением нефелинового шлама как гарант долговечности автомобильной дороги.	57
<i>Полынецев Е. С., Квитко А. В.</i> Укрепление грунтов земляного полотна транспортных сооружений пенополиуретановыми герметиками	59
<i>Санников С. П., Белкин В. В.</i> Оптимизация конструкций земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах	65
<i>Симановский А. М., Воронцова Д. А.</i> Проблемы определения температуры дорожной одежды	70

<i>Утенков О. В., Гакал Е. С.</i> Современные методы проектирования и использование их при строительстве линейных сооружений	75
<i>Шматок В. В., Куюков С. А., Дениченко Я. С.</i> Влияние уплотняющей нагрузки на физико-механические показатели укрепленных грунтов.	81

СЕКЦИЯ «ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ»

<i>Быстров В. А.</i> Методика определения ресурса конструкций сталежелезобетонных и металлических мостов с учетом их фактической динамической нагруженности и дефектности.	84
<i>Ивановский А. В.</i> Практические аспекты, опыт проектирования и строительства армогрунтовых подпорных стен с использованием модульных блоков	89
<i>Козак Н. В.</i> Сравнительный анализ отечественных и зарубежных норм проектирования в области расчетов элементов на выносливость	92
<i>Лебедева А. С.</i> Совершенствование технологий продавливания при строительстве тоннелей мелкого заложения	97
<i>Лукьянова А. А.</i> Дефекты деформационных швов и их влияние на долговечность мостового сооружения	103
<i>Сапожников Е. П.</i> Устройство засыпных арочных мостов в теле облегченных насыпей из пенополистирола.	107
<i>Судомоин А. С.</i> Терминологический анализ нормативного документа ГОСТ 33178-2014 «Классификация мостов»	111
<i>Фридман Т. А., Ярошутин Д. А.</i> Техническое состояние моста через реку Преголя в Гвардейске	123
<i>Юстикова Л. Н., Стройков В. А., Бирюков О. Р., Лесной А. П.</i> Применение полимерных композитных материалов в отечественном мостостроении.	127
<i>Яппаров Г. А.</i> Трубобетонные элементы малых мостов	133
<i>Ястребова Е. В.</i> Технология ремонта обделки тоннеля без прекращения движения . .	143

Научное издание

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

Материалы
научно-практической конференции

Компьютерная верстка Весниной В. С.

Подписано к печати 28.05.2019. Формат 60×84 1/8. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 18,6. Тираж 300 экз. Заказ 88. «С» 37.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.