

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

Факультет транспортных коммуникаций

Кафедра «Мосты и тоннели»

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В  
ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕМОНТЕ  
И СОДЕРЖАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

МАТЕРИАЛЫ

II Международной студенческой конференции

Минск  
БНТУ  
2018

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор Г.П. Пастушков;  
доктор технических наук, профессор Г.Д. Ляхевич;  
кандидат технических наук, доцент В.А. Гречухин;  
кандидат технических наук, доцент И.Л. Бойко;  
кандидат технических наук, доцент В.В. Нестеренко;  
кандидат технических наук, доцент В.Г. Пастушков;  
доцент Л.Г. Расинская;  
старший преподаватель Л.А. Галковская;  
старший преподаватель А.А. Яковлев;  
старший преподаватель А.Н. Вайтович;  
старший преподаватель М.А. Кисель;  
старший преподаватель О.В. Костюкович;  
ассистент М.П. Петров;  
ассистент В.А. Ходяков.

В сборник включены тезисы докладов, представленных на II Международной студенческой конференции «Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений», состоявшейся 7-8 декабря 2017 года в Белорусском национальном техническом университете.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2018

## **Секция 1**

# **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

## **КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОДОРОЖНЫХ ТРУБ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Измайлов Владимир Андреевич, магистр 2-го курса кафедры  
«Автомобильные дороги и мосты» группы САД 16-1м  
Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, г. Пермь  
(Научный руководитель – Бартоломей И.Л., доцент, канд. техн. наук)*

Автодорожные трубы - являются наиболее часто встречающимися искусственными сооружениями на автомобильных дорогах. В среднем на 1 км автомобильной дороги приходится 1-1,4 трубы (1, с.124). Они устраиваются в местах пересечения автомобильных дорог с малыми периодическими водотоками, местными дорогами, путями перегона скота, коммуникациями. Основное применение - пропуск воды (до 100 м<sup>3</sup>/с), а так же устройство местных дорог в теле насыпи, пропуск пешеходов, прогон скота, а также в качестве коллекторов газопроводов и других коммуникаций.

По сравнению с малыми мостами автодорожные трубы являются более дешевыми и простыми в эксплуатации. За счет устройства в теле насыпи автомобильной дороги, они обеспечивают зрительную плавность и ясность трассы, что делает автодорожные трубы более выгодными в аспекте безопасности движения автотранспорта без снижения расчетной скорости движения.

В большинстве случаев автодорожные трубы выполняют из железобетона, но так же могут быть бетонные, металлические, каменные, полимерные и деревянные. В последнее время все большее распространение получили металлические гофрированные конструкции (МГК) (Рис. 1). Этому способствует легкость их установки, транспортировки, изготовления и при должном качестве строительства их долговечность [1, с.137].

По режиму работы различают три вида автодорожных водопропускных труб: напорный; полунанпорный; безнапорный.

Для исключения скопления воды у насыпи и ее размыва, трубы проектируют безнапорными. При безнапорном режиме характерна работа трубы не полным сечением, даже когда уровень воды перед насыпью находится в уровне верха трубы, или выше, сечение полностью не заполняется.



Рисунок 1 – Использование гофрированных конструкций в транспортном строительстве

В поперечном сечении автодорожные трубы в большинстве своем имеют круглое сечение (87%) диаметром от 0,5 м до 6 м и более, что вызвано простотой изготовления и монтажа конструкций. Применяются трубы и других поперечных сечений таких как прямоугольное (10%), а также сложные сечения: овальные, арочные, круглые с плоской подошвой [2, с. 9]. Поперечное сечение трубы принимается по гидравлическому расчету, при безнапорном режиме работы трубы сечение принимается произвольно.

Для увеличения пропускной способности автодорожные трубы устраивают одно- двух и много – очковыми (Рис. 2).

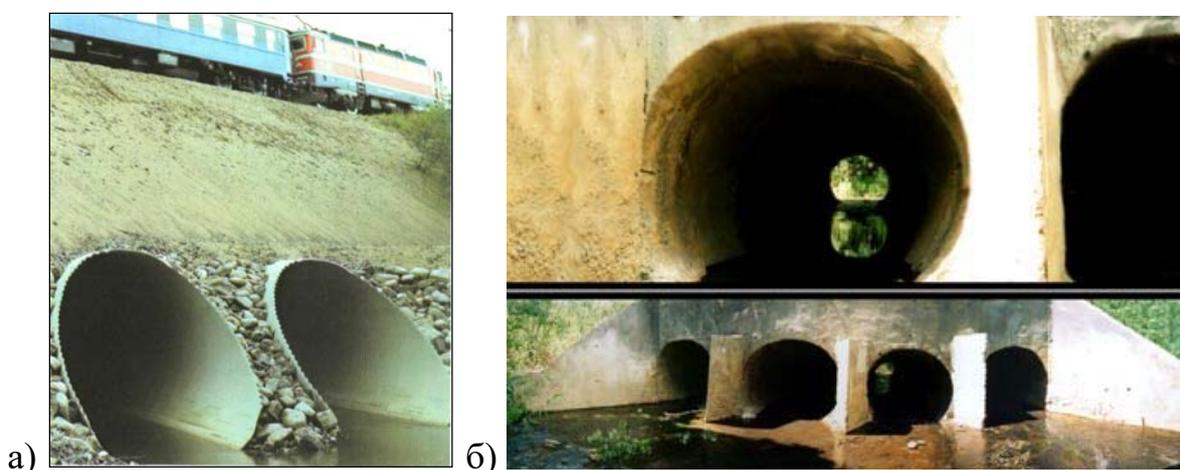


Рисунок 2 – Двухочковая труба (а); многоочковая труба (б)

В зависимости от сложности природных условий и местности существует несколько видов конструкций автодорожных труб. Различают обычные и сложные условия строительства и эксплуатации.

При строительстве труб в обычных условиях конструкция автодорожной водопропускной трубы состоит из трех основных составляющих: входной оголовок, тело трубы, выходной оголовок.

К сложным условиям относятся трубы, устраиваемые на косогорах, на водотоках с образованием наледи и строительство в природных зонах с многолетнемерзлыми грунтами.

Местность с уклоном более 20‰ относят к косогорам. В данных условиях обосновывается специфический гидравлический режим работы трубы. Поток выше сооружения приобретает бурное течение, что вызывает необходимость применения регулиционных сооружений и конструкций. Конструкция труб на косогорах состоит из входного участка, быстротока, переходного устройства (приемника), тело трубы, гасителя, отводного русла (Рис. 3).

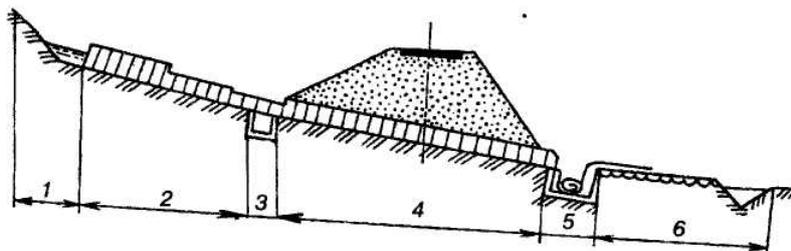
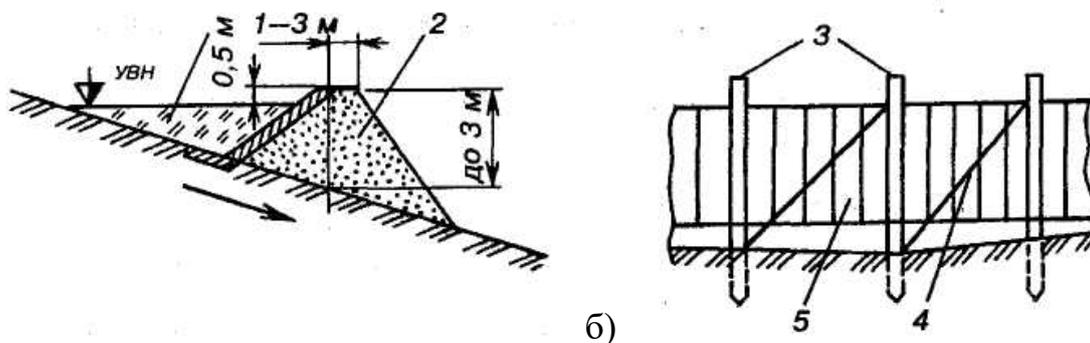


Рисунок 3 – Схема водопропускной трубы на косогоре: 1 - входной участок; 2 - быстроток; 3 - переходное устройство (приемник); 4 - тело трубы; 5 - гаситель; 6 - отводное русло

Строительство водопропускных труб на водотоках с образованием наледей, сопровождается скоплением льда, образованного из вытекающих на поверхность и послойно замерзающих речных, подземных или грунтовых вод. Образование наледи приводит к закупориванию отверстия трубы, нарушая нормальный гидравлический режим работы, и создает условия для развития деформаций сооружения. Основной задачей проектирования водопропускных труб в данной местности является обеспечение их круглогодичной работы в нормальном режиме. Трубы в районах наледообразования проектируются только в безнапорном режиме работы. Для предотвращения воздействия наледи на сооружение применяются дополнительные сооружения и устройства: противоналедные валы, противоналедные заборы, противоналедные щиты, наледные пояса и др. (Рис. 4).



а) б)  
Рисунок 4 – Противоналедный вал (а), противоналедный забор (б):  
1 - наледь; 2 - грунтовый вал; 3 - сваи; 4 - щит; 5 - полиэтиленовая пленка

Одним из самых сложных условий строительства является зона вечной мерзлоты. Особенностью данной местности является то, что при оттаивании вечномерзлых грунтов происходит резкое падение, а затем постепенное уменьшение их несущей способности. При замерзании происходит возникновение сил морозного пучения способных приподнять сооружения или деформировать их. В данных условиях рекомендуется применять металлические гофрированные трубы на облегченных фундаментах в виде песчано-гравийной подушки, железобетонные трубы с облегченными или свайными фундаментами. Конструкции принципиально не отличаются от труб проектируемых в обычных условиях. Существенно различается конструкция фундамента.

При строительстве водопропускных труб на многолетнемерзлых грунтах существует два основных принципа:

принцип I - многолетнемерзлые грунты используются в мерзлом состоянии в течение всего срока службы сооружения (с сохранением вечной мерзлоты);

принцип II - многолетнемерзлые грунты используются в оттаявшем или оттаивающем состоянии (без учета вечномерзлого состояния грунта) [4, с. 38].

Как правило, принцип I рекомендуется к использованию для оснований из просадочных грунтов, имеющих температуру на глубине нулевых годовых амплитуд ниже минус 1,5 °С.

Для сохранения грунтов основания в мерзлом состоянии рекомендуется: - не нарушать около труб моховой и травяной покров; в случае нарушения мохорастительного покрова применять теплоизолирующие материалы (газобетон, керамзитобетон, пенопласты, торф и т.п.); предусматривать защиту поверхности грунта у сооружения от размыва; применять способы погружений свай, минимально нарушающие естественный температурный режим грунтов; работы по вскрытию котлованов и устройству фундаментов производить преимущественно в зимнее время; пазухи котлованов заполнять нефилтующим грунтом с защитой его поверхности от размыва.

Использование многолетнемерзлых грунтов по принципу II рекомендуется при относительно неглубоком залегании скальных пород, непросадочных при оттаивании мерзлых грунтов, а также при наличии талых сыпучемерзлых грунтов.

При использовании основания по принципу II допускается постепенное оттаивание грунтов в процессе эксплуатации труб, передающих давление на скальные породы [2, с. 130].

Применительно к любой проектируемой дороге необходимо разработать и рассмотреть несколько вариантов расположения водопропускных труб на местности. Необходимо сравнить как сооружения с различными отверстиями и при разных высотах насыпей, так и комплекс сооружений на данном участке строящейся дороги.

Технико-экономические показатели принимаемых решений по устройству труб должны способствовать повышению эффективности и улучшению качества строительства, а также обеспечивать надежность сооружения; снижение материалоемкости по сравнению с другими конструкциями труб, которые можно

применить в данных условиях; снижение стоимости и трудоемкости строительства.

С целью экономии материала и увеличения долговечности труб происходит постоянное совершенствование их конструктивных элементов, направленное на повышение пропускной способности водного потока в обычных дорожно-климатических условиях, в условиях вечной мерзлоты, а также на косогорных участках дорог.

#### Литература:

1. Транспортные сооружения (автомобильные дороги, мосты, тоннели, водопропускные трубы). Учебное пособие. / И.И. Овчинников, Р.Б. Гарибов. – 2009 г. - 168 с.
2. Дорожные водопропускные трубы./ В.М. Лисов. - Москва: «ТИМР», 1998 г. - 140 с.
3. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» (Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84) / Министерство регионального развития Российской Федерации - Москва, 2011 год
4. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб./ В.О. Осипов, Ю.Г. Козьмин. - Москва: «Транспорт», 1996 г. - 470 с.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗПАСНОЕ ПРОИЗВОДСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Ильин Игнат Борисович, студент 3-го курса кафедры  
«Автомобильных дорог, мостов и тоннелей»  
Казанский государственный архитектурно-строительный  
университет, г. Казань  
(Научный руководитель – Ильина О.Н., канд. техн. наук, доцент)*

При приготовлении асфальтобетонных смесей на заводах образуются и выделяются загрязняющие вещества в окружающую среду. Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. №176 и принятые в последнее время федеральные законы, постановления Правительства Российской Федерации, приказы Минприроды России по вопросам экологического развития страны предопределяют осуществление на предприятиях, в частности, на асфальтобетонных заводах (АБЗ), необходимых мероприятий, направленных на снижение их вредного воздействия на природную среду. При этом в целях защиты населения чрезвычайно важно выполнение требований Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 25.04.2014, в соответствии с которым АБЗ должен быть отделен от жилой застройки санитарно-защитной зоной размером не менее 500м.

Особое значение по количеству и качеству вредных выбросов имеет вид применяемого топлива для нагрева каменных материалов при производстве горячих асфальтобетонных смесей, при этом в основном применяется мазут и другое жидкое топливо. Попытки добавления в мазут различных катализаторов с целью уменьшения вредных выбросов на АБЗ не обеспечивают решение этой важной проблемы. Поэтому переход на альтернативные виды топлива приобретает большую актуальность. Для уменьшения вредных выбросов на АБЗ осуществляется замена жидкого топлива на газообразное. Обследование АБЗ, работающих на газе, выявило низкий уровень загрязнения атмосферы всеми видами окислов и углеродов, а также снижение капитальных затрат асфальтобетонного завода [1]. В перспективе следует рассмотреть в качестве альтернативных видов топлива применение на АБЗ сжиженных углеводородных газов, опыт использования которых как за рубежом так и в РФ при газификации населённых пунктов, предприятий коммунального сектора, промышленных предприятий показал ряд преимуществ, в сравнении с традиционной газификацией.

С ужесточением требований к очистке газов целесообразно более широкое внедрение тканевых фильтров вместо мокрых пылеуловителей. На асфальтосмесительных установках на второй ступени очистки запыленных газов и осаждения мелкой пыли применяют тканевые фильтры, которые имеют высокую эффективность и не зависят от изменения количества поступающих

газов. Создание тканевых фильтров является основным направлением усовершенствования пылеулавливающих систем асфальтосмесительных установок. Опыт применения тканевых фильтров на современных асфальтосмесительных установках показал, что они обеспечивают: более высокую степень очистки газов от взвешенных частиц, чем газоочистные аппараты других типов; возможность улавливания частиц практически при любом давлении газов; использование химически стойких материалов; возможность полного улавливания пыли всех размеров, включая субмикронные. Однако стоимость тканевых фильтров в составе асфальтосмесительных установок достигает 10-15% стоимости их технологического оборудования, что является сдерживающим фактором их более широкого применения на АБЗ [1].

Важным направлением в части обеспечения постоянно возрастающих экологических требований является внедрение экологически более чистых способов производства асфальтобетонных смесей, отличающихся от традиционных горячих технологий гораздо меньшими выбросами вредных веществ в окружающую среду. В целях обеспечения экологических требований на АБЗ в мировой и отечественной практике все большее распространение получает приготовление холодных и теплых асфальтобетонных смесей в место традиционных горячих. Применение холодных и теплых асфальтобетонных смесей является перспективным направлением при строительстве автомобильных дорог, поскольку позволяет сократить расход энергоресурсов и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

На основании исследований, выполненных в России и за рубежом, установлено, что производство теплых асфальтобетонных смесей имеет ряд преимуществ, к числу которых в первую очередь следует отнести снижение потребления топлива на производстве асфальтобетонной смеси, а также уменьшение вредного влияния на окружающую природную среду. Экономия топлива при реализации технологии производства теплых смесей составляет от 20 до 35 % при значительных сокращениях выхлопов углекислого газа, оксидов азота, диоксида и др.[2,3,4].

В тоже время в соответствии с новыми экологическими требованиями в обязательном порядке на АБЗ также должны быть предусмотрены и выполнены следующие организационно-хозяйственные мероприятия:

- хранение органических вяжущих в специальных крытых битумохранилищах с надежным отводом вод или в специально обогреваемых цистернах вместо хранилищ ямного типа;
- выгрузка, складирование и внутривозное транспортирование пылевидных материалов необходимо производить пневматическим транспортом;
- уменьшение пылеобразования на складах каменных материалов их увлажнением;
- обеспечение мер, направленных на полное прекращение сброса в водные объекты недостаточно очищенных сточных вод;

- утилизация всех отходов (применение средств утилизации) или их вывоз в специально установленные места, установленные местными органами исполнительной власти;
- организация производственного экологического контроля в целях выполнения мероприятий по охране окружающей среды.

#### Литература:

1. Силкин В.В., Лупанов А.П., Баяртогтох Дулмаа, Ильина О.Н. Обеспечение экологической безопасности при производстве асфальтобетонных смесей на АБЗ // Известия КГАСУ. 2017. №4 (42). С. 424-431.
2. Крупин Н.В. Теплый асфальтобетон. Экскурс в развитие технологии // Технический вестник дорожного хозяйства. 2012. № 3. С. 64-74.
3. Силкин В.В., А.П. Лупанов, Ю.Э. Васильев. Приготовление теплых асфальтобетонных смесей// Строительная техника и технологии. 2013. №5. С. 120-125.
4. Радовский Б.С. Технология нового теплового асфальтобетона в США// Дорожная техника. 2008. С. 56-60.

## МАТРИЧНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ОГРАЖДЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТАХ И ДОРОГАХ

*Трапезников Алексей Андреевич, студент 4 курса  
кафедры «Автомобильные дороги и мосты»*

*Борисов Ростислав Эдуардович, студент 4 курса кафедры  
«Автомобильные дороги и мосты»*

*Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, г. Пермь*

*(Научный руководитель – Богоявленский Н.А., старший преподаватель  
кафедры «Автомобильные дороги и мосты»)*

Дорожные ограждения безопасности на сегодняшний день являются неотъемлемой частью конструкций дорог и мостов, позволяющие обеспечить безопасность дорожного движения. Все дорожные ограждения делятся на типы в зависимости от вида гашения энергии удара (Табл. 1).

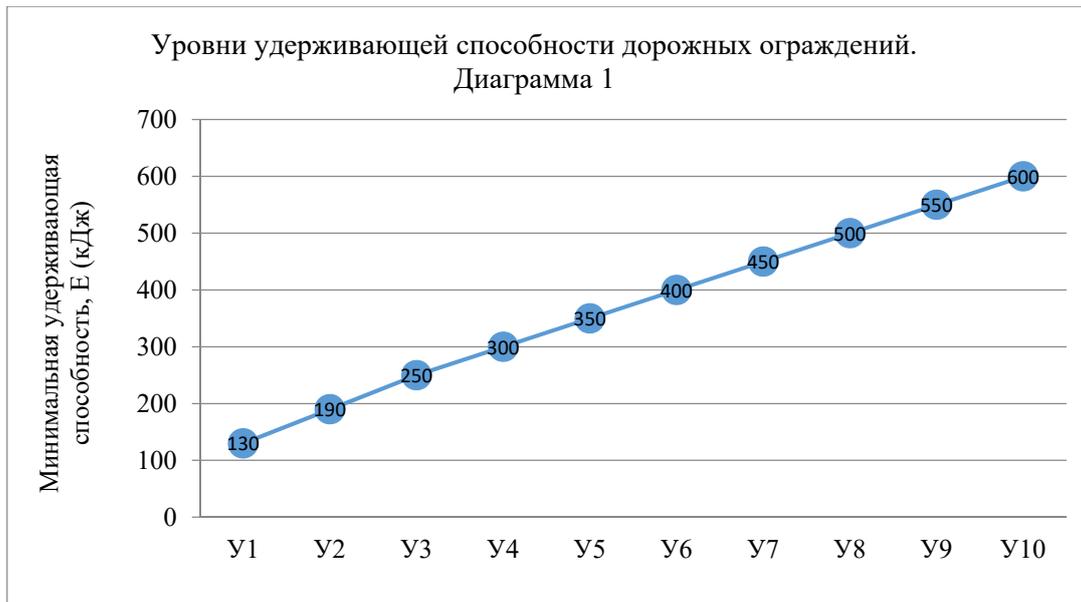
Таблица 1 – Дорожные ограждения по принципу работы подразделяются на типы

	Тип дорожного ограждения	Принцип работы
1.	Барьерные	Энергию удара гасят за счет деформации материала конструкций
2.	Парапетные	Энергию удара гасят за счет подъема колес, уменьшающего опрокидывающий момент
3.	Тросовые	Энергию удара гасят за счет натяжения тросов и демпфирования удара за счет трения в системе
4.	Комбинированные	Энергию удара гасят за счет совместного действия

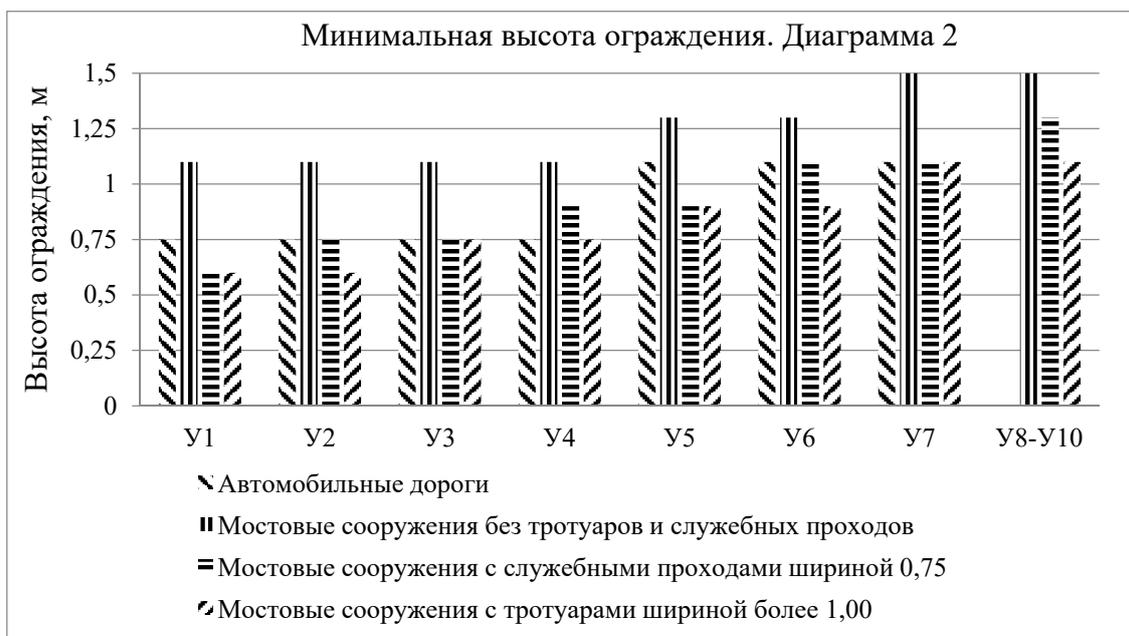
Выбор типа дорожного ограждения напрямую зависит от конструктивных параметров автомобильных дорог и мостов, а также характеристик самих ограждений (см. ГОСТ 52607-2006).

Одной из самых важных характеристик барьерного ограждения является его удерживающая способность (энергоемкость) - это способность ограждения удерживать транспортные средства на дороге и мостовом сооружении, при этом не позволяя им опрокинуться или переехать через него. Удерживающая способность делится на уровни, каждый из которых имеет свой диапазон энергии

удара (Диаграмма 1). Ее определяют в зависимости от категории дороги, разрешенной скорости и групп дорожных условий.



Второй важной характеристикой является высота барьерного ограждения, обеспечивающая устойчивость автомобиля против опрокидывания (Диаграмма 2). Высотой ограждения считается расстояние от наивысшей точки ограждения до уровня покрытия обочины, дороги или разделительной полосы, измеренное у края ограждения со стороны проезжей части. Высота определяется исходя из параметров элементов проезжей части дороги (Диаграмма 3), ширины тротуара, а также техническими условиями предприятий-изготовителей ограждений.



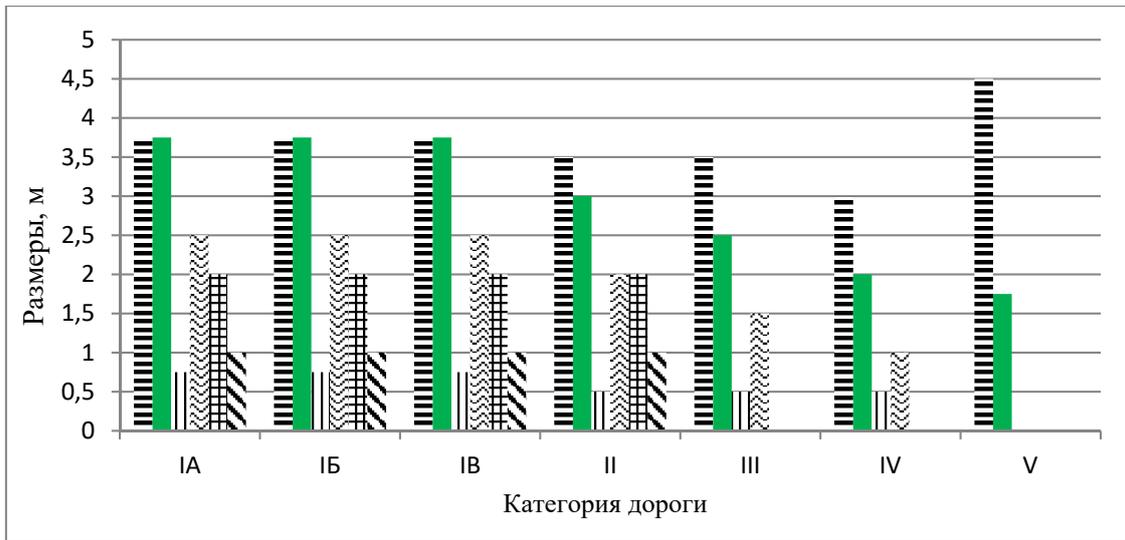
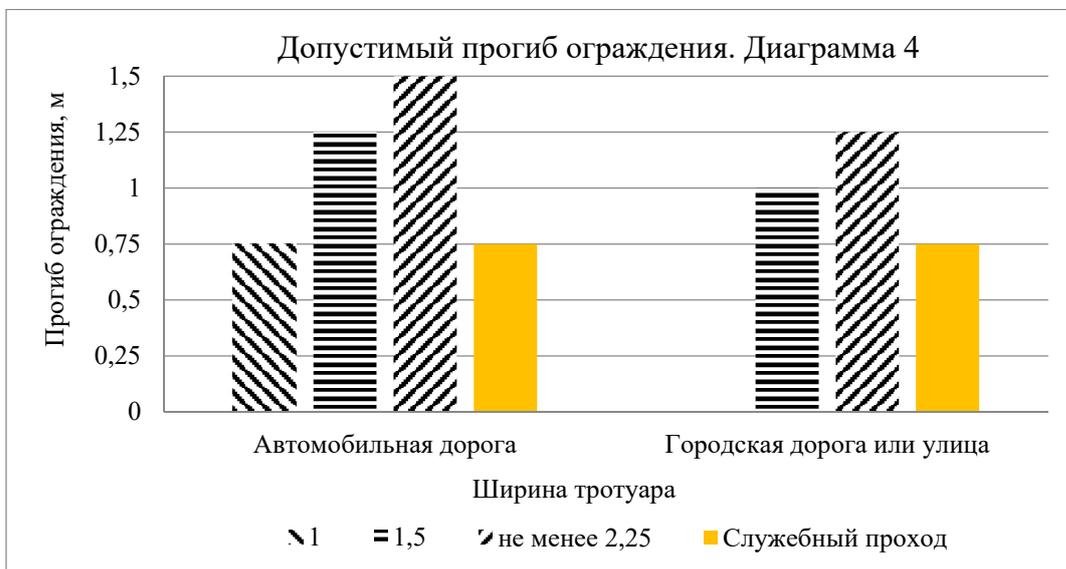


Диаграмма 3 – Параметры элементов проезжей части дороги:

- Ширина полосы движения, м;
- Ширина обочины, м;
- Ширина краевой полосы у обочины, м;
- Ширина укрепленной части обочины, м;
- Ширина центральной разделительной полосы по оси дороги, м;
- Ширина краевой полосы безопасности у разделительной полосы, м.

Помимо высоты тросовые и барьерные ограждения характеризуются расстоянием между стойками. В настоящее время у современных ограждений безопасности стойки располагают на расстоянии от 2-х до 3-х метров, так как этот показатель существенно влияет на динамический прогиб этого ограждения. Чем меньше шаг стоек, тем меньше динамический прогиб, но при этом увеличивается стоимость самого ограждения. Также изменение шага стоек может влиять на изменение уровня удерживающей способности ограждения.

Динамический прогиб ограждения – это максимальное перемещение лицевой поверхности ограждения со стороны проезжей части в поперечном горизонтальном направлении относительно лицевой поверхности ограждения до наезда на него транспортного средства (Диаграмма 4).



Главными элементами конструкции, характеризующими прогиб ограждения, являются шаг стоек и их поперечное сечение, толщина листа балки ограждения, количество тросов и их расположение относительно стоек. Прогиб барьерного ограждения на автомобильных дорогах без служебных проходов или тротуаров не должен превышать 1,0 м а, но прогиб тросового ограждения допускается больше 1,0 м. При установке тросового ограждения на радиусах менее 400 м для уменьшения динамического прогиба необходимо уменьшать расстояние между стойками (шаг). В таблице 2 приводится зависимость динамического прогиба от шага стоек при длине участка в 200 м.

Таблица 2 – Зависимость динамического прогиба от шага стоек

1.	Шаг между стойками	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
2.	Динамический прогиб	68%	79%	89%	100%	121%	142%	163%

Автомобильные дороги в зависимости от их транспортно-эксплуатационных качеств и потребительских свойств подразделяют на пять категорий: с I по V. Каждая из категорий имеет свои разрешенные скорости (Диаграмма 5) и уровни удерживающей способности (энергоемкости) ограждения безопасности (Диаграмма 6).

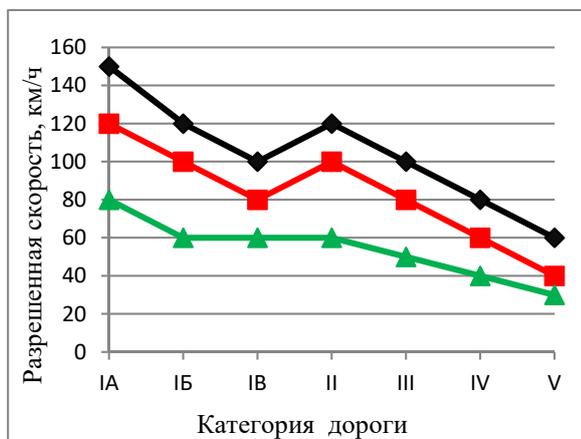


Диаграмма 5. Зависимость разрешенной скорости от класса дороги:

- Основная скорость, км/ч;
- Скорость на пересеченной местности, км/ч;
- Скорость на горной местности, км/ч.

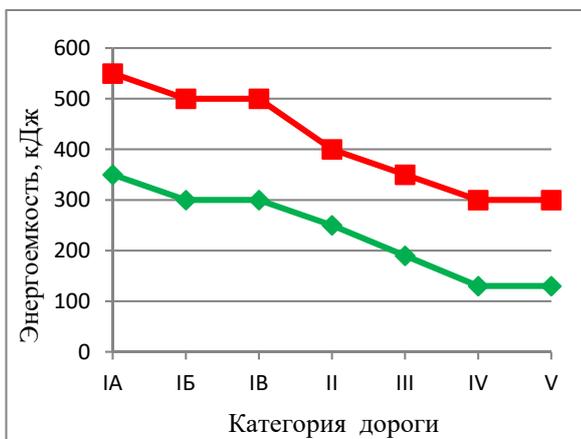
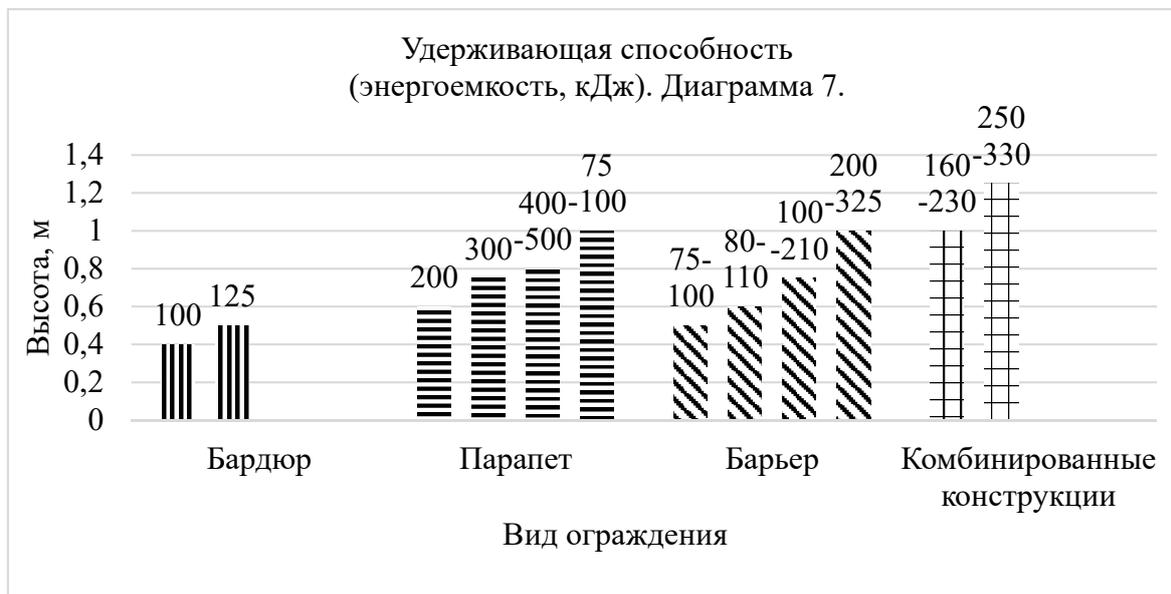


Диаграмма 6. Зависимость энергоемкости от категории дороги:

- Минимальное значение энергоемкости, кДж;
- Максимальное значение энергоемкости, кДж.

Разрешенная скорость, выбираемая на дороге, зависит от продольного уклона и радиуса поворота дороги в плане, если таковые имеются (см. СП 34.13330.2012. «Автомобильные дороги»). Это существенно влияет на выбор удерживающей способности ограждения безопасности и его высоты.

На основании полученных данных можно составить зависимость удерживающей способности от высоты для разных видов ограждений безопасности (Диаграмма 7):



Дорожные ограждения безопасности, как и другие элементы конструкций дорог, подвергаются испытаниям, определяющим их соответствие потребительским качествам. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 33129-2014. Они бывают стендовые и натурные. По результатам испытаний устанавливаются основные потребительские характеристики: значение удерживающей способности, динамический прогиб и рабочая ширина (Табл. 3).

Таблица 3 – Виды испытания барьерного ограждения

Испытания		Цель испытания
1.	Стендовые испытания	Проверка прочности и надежности крепления элементов ограждения между собой и к основанию
2.	Ударные                      Статические	
3.	Натурные испытания	Проверяют соответствие конструкции ограждения требованиям безопасности и устанавливают предельное значение удерживающей способности.

На стендовых статических испытаниях проверяют фрагменты или отдельные детали конструкции всех типов дорожных ограждений. Испытания проводят, как правило, на стадии разработке конструкции. Ударные испытания проводят на площадках с разным покрытием: жестким, грунтовым и варьируемым (например асфальтобетонным). Также используют ударную технику массой 850 кг, которую разгоняют до 30 км/ч и ударяют о барьерное ограждение.

Натурные испытания проводят с целью определения фактических значений удерживающей способности и других характеристик дорожных ограждений.

Удерживающую способность при ударе  $У$ , кДж рассчитывают по формуле (1):

$$У = \frac{1}{2}MV^2\sin^2\alpha(1)$$

где:

- $M$  — масса автомобиля варьируется от 1 до 35 тонн;
- $V$  — скорость в момент наезда от 50 до 100 км/ч в зависимости от вида испытуемого транспорта;
- $\alpha$  — угол удара может быть как прямым так и острым, измеряется в градусах.

Барьерные ограждения, как и дороги, под действием окружающей среды со временем теряют свои функциональные качества. Такое свойство конструкций называется износом. Согласно отраслевым дорожным нормам 218.017-2003 износ ограждения зависит от безопасной скорости автомобиля (Табл. 4).

Таблица 4 – Износ ограждения

1.	Износ, %	0-20	50	100
2.	[V], км/ч	$V_p$	$0,7 \cdot V_p$	20

Параметр износа зависит от изменения энергоемкости конструкции, которая характеризуется размерами и состоянием конструкции (бордюрные, парапетные и барьерные).

Износ ограждения определяется по формуле (2):

$$И_{огр} = \left(1 - \frac{E_{\phi}}{E_{тр}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{Д \cdot E}{E_{тр}}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

где:

- $E_{\phi}$  - значение энергоемкости для наиболее распространенных отечественных конструкций в зависимости от высоты приведены на диаграмме 5;
- $E_{тр}$  - требуемое значение энергоемкости для мостов на дорогах различной категории;
- $Д$  - показатель дефектности конструкций.

В результате анализа всех выше представленных данных можно подобрать метод выбора ограждения безопасности. Наиболее рациональным является матричный метод. Матрица – это, как правило, математическая прямоугольная таблица элементов, представляющая собой совокупность строк и столбцов, на пересечении которых находятся её элементы. В большинстве случаев такими элементами являются числа. В нашем случае матрица в виде таблице наиболее полно отражает выбор параметров ограждений безопасности в зависимости от параметров автомобильных дорог.

Таблица 5 – Матричный метод выбора ограждения безопасности

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U		
Характеристик а О.Б.	Категория дороги	IA			IB			IV			II			III			IV			V				
	Условия движения	Легкие $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 3000$	Средние $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 1500$	Сложные $\alpha\% > 30,$ $R_m < 1500$	Легкие $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 2500$	Средние $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 1000$	Сложные $\alpha\% > 30,$ $R_m < 1000$	Легкие $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 2500$	Средние $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 1000$	Сложные $\alpha\% > 30,$ $R_m < 1000$	Легкие $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 2000$	Средние $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 800$	Сложные $\alpha\% > 30,$ $R_m < 800$	Легкие $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 1500$	Средние $\alpha\% \leq 40,$ $R_m \geq 600$	Сложные $\alpha\% > 40,$ $R_m < 600$	Легкие $\alpha\% \leq 30,$ $R_m \geq 1500$	Средние $\alpha\% \leq 50,$ $R_m \geq 600$	Сложные $\alpha\% > 50,$ $R_m < 600$	Легкие $\alpha\% \leq 50,$ $R_m \geq 1000$	Средние $\alpha\% \leq 60,$ $R_m \geq 500$	Сложные $\alpha\% > 60,$ $R_m < 500$		
Выбор типа ограждения																								
1.	Уровни удерживающей способности	У1 (130 кДж)																			1			
2.		У2 (190 кДж)												1				1				1*	1	
3.		У3 (250 кДж)												1,3				1*,3*	1,3				1*,3	1,3
4.		У4 (300 кДж)				1,3			1,3					1,1*,3*	1,3			1*,3*	1,3			1*,3*	1,3	1*
5.		У5 (350 кДж)	1			1,1*	1		1,1*	1				1,1*	1			1*					1*	
6.		У6 (400 кДж)	1*	1			1,1*			1,1*						1,1*								
7.		У7 (450 кДж)		1,1*							1													
8.		У8 (500 кДж)			1						1,1*													
9.		У9 (550 кДж)			1,1*																			
10.		У10 (600 кДж)			1,1*																			
Выбор высоты ограждения																								
11.	Высота ограждения	0,75 м									1,1*	1			1,1*	1,1*	1	1,1*	1,1*	1	1,1*	1,1*	1,1*	
12.		0,9 м																						
13.		1 м				3,3*			3,3*			3,3*	3		3*	3,3*	3	3*	3,3*	3			3*	3
14.		1,1 м	1,1*	1	1	1,1*	1	1	1,1*	1	1		1*	1,1*			1*						1*	
15.		1,3 м		1*			1*			1*														
16.		1,5 м			1*			1*			1*													
Выбор шага стоек ограждения																								
17.	Шаг стоек	1 м	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18.		1,5 м	1'	1'		1'	1'		1'	1'		1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	1'	
19.		2 м	1"			1"	1"		1"	1"		1",3	1"	1"	1"	1",3	1"	1"	1"	1",3	1"	1"	1",3	1"
20.		2,5 м													1'''			1'''				1'''	1'''	
21.		3 м				3			3				3				3				3	1''''		
22.		4 м																				1''''		
Выбор допустимого прогиба																								
23.	Допустимый прогиб	1 м	1,1'	1'	1	1		1	1		1													
24.		1,1 м	1"	1		1"	1"		1"	1"		1,1',1"	1,1"	1"	1',1",1'''	1,1"	1,1"	1',1",1'''	1,1"	1,1"	1",1"',1''',1''''	1',1",1'''	1,1"	
25.		1,2 м				1'	1'		1'	1			1'	1'		1'	1'		1'	1'		1'	1'	
26.		2,2 м										3				3				3				3
27.		2,8 м				3			3				3				3				3			3
Выбор рабочей ширины																								
28.	Рабочая ширина	1	1*	1,1*	1,1*		1,1*	1,1*		1,1*	1,1*			1,1*										
29.		1,1	1			1,1*	1		1,1*	1				1,1*	1,1*	1		1*	1,1*		1*	1,1*	1	1*
30.		1,15													1				1			1*	1	
31.		1,2												1		1*	1		1*	1			1*	1
32.		2,4												3				3			3			3
33.		2,9				3			3				3					3				3		3

Описание к таблице:

В таблице представлены ограждения безопасности барьерного (1) и тросового (3) типа дорожные (Д) односторонние (О). Ограждение барьерного типа с удерживающей способностью У1-У4 – одноярусное, с У5-У10 – двухъярусное.

Обозначение:

- 1 – барьерное металлическое ограждение безопасности;
- 3 – тросовое ограждение безопасности;
- \* – отсутствие тротуаров;
- ', ", ", ", "" – при выборе высоты ограждения показывает, каким будет допустимый прогиб.

Пример выбора ограждения безопасности:

Выбор дорожного ограждения безопасности одностороннего металлического для участка автомобильной дороги категории IV, без тротуаров, с уклоном 40‰ без радиуса:

1. Определяем условия движения согласно таблице 5: средние;
2. Выбираем удерживающую способность ограждения согласно таблице 5: У4 (4Q);
3. Выбираем высоту ограждения согласно таблице 5: 0,75 м (11Q);
4. Выбираем шаг стоек ограждения согласно таблице 5: 2 м (19Q);
5. Допустимый прогиб ограждения согласно таблице 5: 1,1 м (24Q);
6. Рабочая ширина ограждения согласно таблице 5: 1,1 м (29Q).

На основании выбранных данных можно составить формулу (3): выбранные обозначения согласно представленному матричному методу = выбранные характеристики ограждения безопасности.

$$4Q+11Q+19Q+24Q+29Q=21ДО/У4-0,752-1,1(1,1) \quad (3)$$

Выбор дорожного ограждения безопасности одностороннего металлического для участка автомобильной дороги категории III, с тротуаром, с уклоном 35‰ и радиусом 900 м (Формула 4):

1. Определяем условия движения: средние;
2. Выбираем удерживающую способность ограждения: У3 (3N);
3. Выбираем высоту ограждения: 0,75 м (11N);
4. Выбираем шаг стоек ограждения: 1,5 м (18N);
5. Допустимый прогиб ограждения: 1,2 м (25N);
6. Рабочая ширина ограждения: 1,2 м (31N);

$$3N+11N+18N+25N+31N=21ДО/У3-0,75 \ 1,5-1,2(1,2) \quad (4)$$

Выбор дорожного ограждения безопасности одностороннего тросового для участка автомобильной дороги категории III, без тротуаров, с уклоном 35‰ и радиусом 1000 м (Формула 5):

Определяем условия движения: средние;

1. Выбираем удерживающую способность ограждения: У4 (4N);
2. Выбираем высоту ограждения: 1 м (13N);
3. Выбираем шаг стоек ограждения: 2 м (19N);
4. Допустимый прогиб ограждения: 2,2 м (26N);
5. Рабочая ширина ограждения: 2,4 м (32N);

$$4N+13N+19N+26N+32N=21ДО/У4-12-2(2,4) \quad (5)$$

Рассмотрим на примере итоговой таблицы (Табл. 5) зависимость шага стоек барьерного ограждения от его цены на 1 км. пути на рабочем участке.

Шаг стоек принимаем 1, 1,5 и 2 метра; Высота ограждения 0,75 м.

Цена 1 кг. веса конструкции - 80 рублей.

80 руб. - средняя стоимость металла в европейской части Российской Федерации с учетом покрытия горячего цинкования на конец третьего квартала 2017 года.

Возьмем дорожные ограждения односторонние: 11ДО - рабочий участок на 1 км.

Шаг стоек зависит от веса ограждений и напрямую влияет на его стоимость. (Табл. 6,7).

Таблица 6. – Стоимость дорожных ограждений

№	Наименование ограждения	Уровень удерживающей способности	Шаг стоек, м	Прогиб, м	Толщина секции балки, мм	Высота ограждения, м	Сечение стойки швеллер	Вес в тоннах на 1 км.	Стоимость 1 кг веса, руб.	Стоимость, тыс. руб.	Сравнение стоимостей, %	Заглубление стоек в грунт, м
1	11-МО	У3	1,0	0,7	3	0,75	№12	33,540	80	2683,20	106%	-
2	11-МО	У3	1,5	0,7	4	0,75	№14	31,389	80	2511,14	100%	-
3	15-МО	У3	1,5	0,55	4	0,75	№16	33,727	80	2698,16	107%	-

Таблица 6. – Стоимость мостовых ограждений

№	Наименование ограждения	Уровень удерживающей способности	Шаг стоек, м	Прогиб, м	Толщина секции балки, мм	Высота ограждения, м	Сечение стойки швеллер	Вес в тоннах на 1 км.	Стоимость 1 кг веса, руб.	Стоимость, тыс. руб.	Сравнение стоимостей, %	Заглубление стоек в грунт, м
1	11-ДО	У3	1,0	1,5	4	0,75	№12	37,934	80	3034,78	175%	1,1
2	11-ДО	У3	1,5	1,25	4	0,75	№14	32,574	80	2605,98	150%	1,1
3	11-ДО	У3	2,0	1,0	4	0,75	№16	29,889	80	2391,18	138%	1,1
4	11-ДО	У3	2,5	1,35	3	0,75	№16	21,600	80	1728,00	100%	1,1
5	11-ДО	У3	3,0	1,0	4	0,75	№16	25,300	80	2024,00	117%	1,1

В итоге, на основании представленных таблиц и диаграмм зависимостей параметров ограждения и дорог, можно сказать, что выбор ограждения достаточно сложный процесс, требующий досконального изучения условий движения и особенностей трассы. Рассмотренный матричный метод выбора ограждения дает лишь поверхностный взгляд на способы подбора того или иного ограждения и не является действующим методом. На сегодняшний день, не смотря на обилие технологических характеристик ограждений безопасности, главным показателем выбора ограждения для заказчика является его цена. Но, надо помнить, что при выборе конструкции, главным её критерием должна является безопасность.

#### Литература:

1. Д.З. Аптыкаева, А.В. Тулупова, Н.А. Богоявленский Основные характеристики ограждений безопасности, применяемые на автомобильных дорогах общего пользования и мостах.
2. М.В. Иашвили, С.В. Петров. Безопасность на дороге и в общественном транспорте — Новосибирск: НГПУ, 2011. — 123 с.
3. П.М. Саламахин. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. Книга 2 – Москва: Академия, 2007. – 267 с.
4. С.И. Булдаков. Проектирование основных элементов автомобильных дорог – Екатеринбург, 2011. – 275 с.
5. СТО521000-001-01375096-2015 Ограждения дорожные удерживающие тросовые. Технические требования.
6. СТО 589921-001-03984346-2015 Ограждения дорожные удерживающие парапетные. Технические условия.
7. СТО 05765820-001-2015 Ограждения дорожные удерживающие боковые барьерного типа для автомобилей. Технические условия.
8. ГОСТ 26804-2012 Ограждающие дорожные металлические барьерного типа. Технические условия.
9. ГОСТ33129-2014 Дороги автомобильные общего пользования ограждения дорожные. Методы контроля.
10. ГОСТ 33127-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Классификация.

## PRINCIPLES OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF THE BRIDGE RECONSTRUCTION IN THE CONDITIONS OF MEGAPOLIS

*Fedorova Sofia, the third-year student of the department “bridges and tunnels” of  
the Petersburg State University of Railway Transport, Saint-Petersburg.  
(Scientific adviser - Chizhov S., Candidate of Engineering sciences, Associate  
Profesor)*

The reconstruction of the bridge structures is of particular interest and special complexity due to close connection with engineering tasks in the conditions of a megapolis and limitations for using in daily life of urban people.

The main problems in reconstruction are the need to take into account the architectural appearance, the volume-planning appearance of space, associated with the construction, the junctions, the bridge clearance, and the additional functions that are taken into account, such as skip of pedestrians, bicycles, railway transport, ships and communications. It is also very important to forecast changes in these factors. The opportunity of reconstruction is determined by economic feasibility of applying the reconstruction technologies.

The reconstruction of the city's bridges is strongly connected with modernization of transport infrastructure, roads, and embankments. There are many ways of reconstruction, depending on initial conditions, types of bridges, cross obstacles, and type of load. Since the issue of reconstruction of such structures is not only an engineering problem but also an organizational, it is extremely important to define areas of responsibility, financing structure, time-limits and connect the production technology works with the possibilities of the city to use the reserve roads.

Assessment of the effectiveness of the reconstruction can be carried out considering the whole range of complex factors, influencing the functional properties of structures in the transport system, using the coefficient of functionality, determined with considering the operational stages for each of the individual functions of the structures in the transport system.

$$C_f = \frac{\sum R_t}{\sum CO_{\text{sup}} + CO_m}$$

where

$C_f$  – coefficient of functionality

$\sum R_t$  – total revenue by n – function

$\sum CO_{\text{sup}}$  – the costs of supporting the n – function

$CO_m$  – maintenance costs

A set of functional properties and number of dependent parameters will include the characteristics, defining the state of the facilities and transport system. Depending on the characteristics of the transport system and facilities the number of parameters will differ. So, for urban transport facilities effectiveness will depend on the ability of



The determination of  $C_f$  before the reconstruction showed, that the contents of the cost of maintaining buildings has sharply increased, because of the need to ensure high-speed trains and crossing vehicles in bridge clearance.



Image 1 – American bridges before reconstruction

American bridges were named so because the spans that were used industrially were manufactured in the standard American metal trusses. The average service of the bridges was about a hundred years. They even may serve longer, because only heavy passenger's trains passed through them. But the rapid increase in the number of cars in the early 90s raised the question of the throughput of bridge clearance and demanded the reconstruction of the embankments of Obvodniy channel. The bridges are located in the heart of the city and crossing the Obvodniy channel, the embankments of which are used as transit highway. The area is filled with objects of industrial-civil purpose and considered as dense urban area.

Properly, the project for reconstruction of bridges and embankments were divided into two main parts. (Image 2).

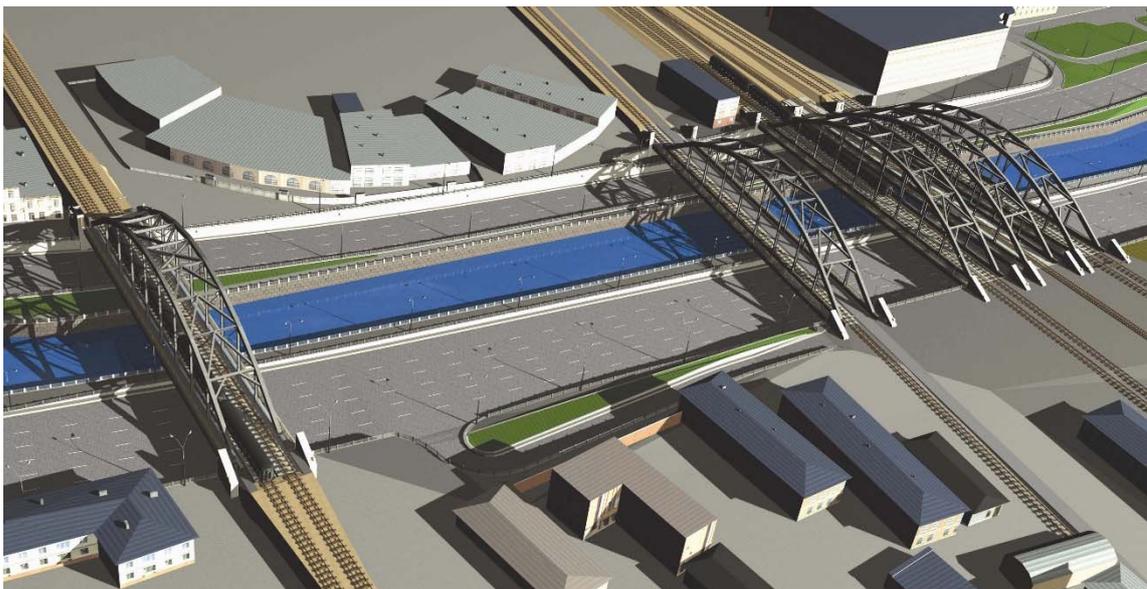


Image 2 – View of the site reconstruction

Initially, it was decided to reconstruct the bridge, and then proceed to the reconstruction of the embankments of the Obvodniy channel. In the first stage, the Institute Lengiprotrans developed a general concept of reconstruction of transport hub, considering the switching of the movement, the demolition of buildings and transport communications. Reconstruction of bridges was carried out in stages. Meanwhile, the production of works on construction of new facilities was going along with the dismantling of old structures.

The need of solution of functional properties complex required the development of unique, applied in combination with the decrease of the carriageway level, in according with modern requirements for road clearance.

The project aimed to cover the Obvodniy channel by single span ( $L=110m$ ) without intermediate supports and to build on the site of existing bridges, four new structures, identical in construction and scheme of work. (Image 3).

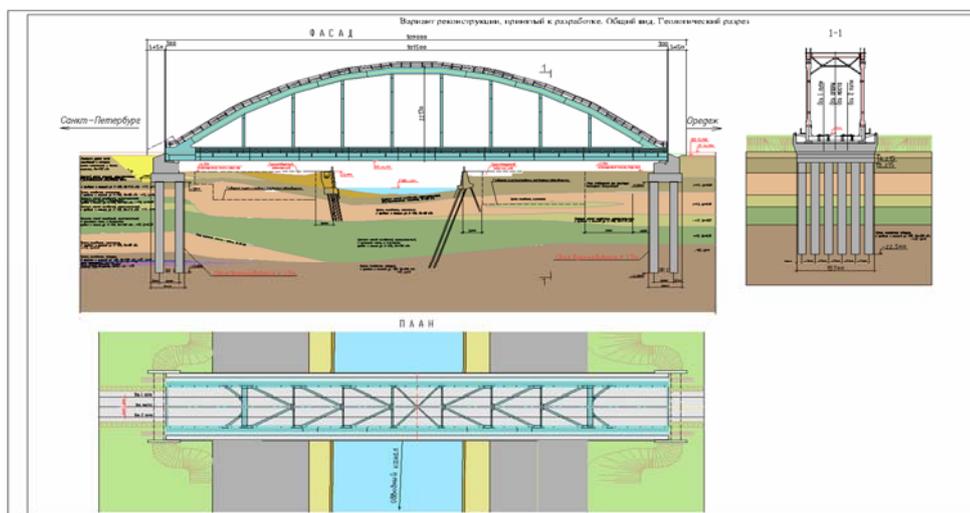


Image 3 – Principal design of bridges

Modeling of the superstructure in the software package Revit, showed compliance with the requirements for carrying capacity at various speeds of trains.

The highlight of the project was a metal arch with the ride from below, to be included in joint work with the ballastless roadway slab with anchor bolts of Nelson. Construction of the arch was developed by the Institute "Giprostroykost". Depending on the intended use of the project includes the construction of four railway bridges.

The changes were subjected to further validation by mathematical simulation of the designs for various working conditions in the design process and when performing input control of project documentation. After the construction of each structure, each of them was tested, which confirmed the results of the calculation. (Image 4).

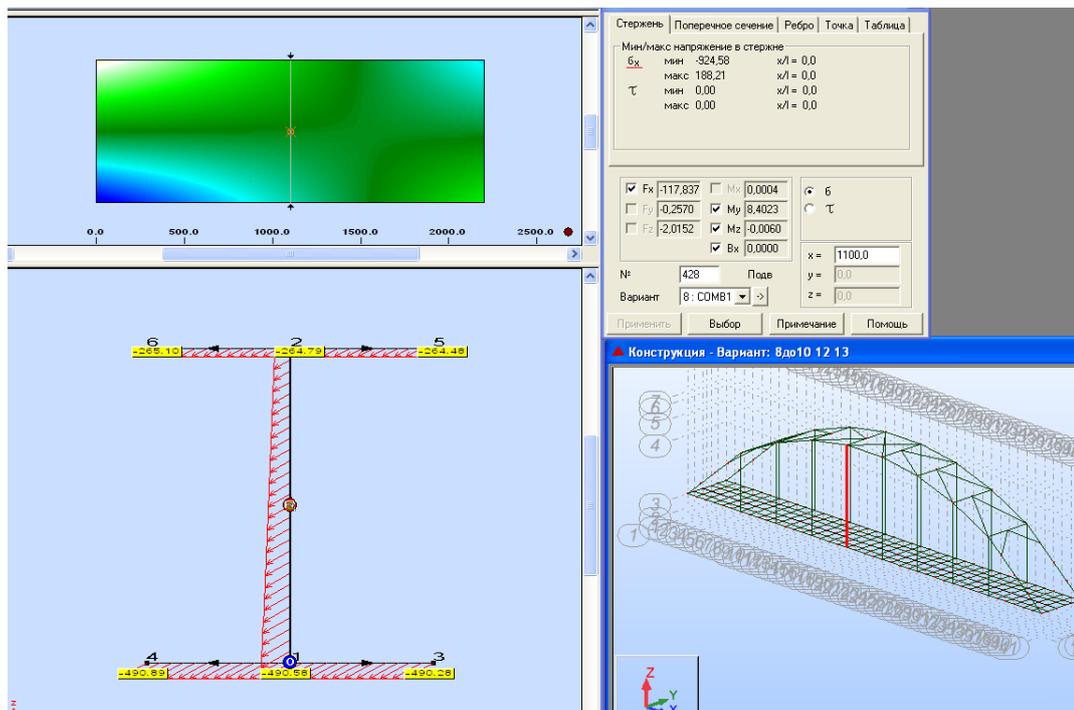


Image 4 – The results of the calculation in the graphical representation

The production of works included the following main stages:

- Construction of upper station system;
- Installation of elements of the arches;
- Construction of foundations of the bridge;
- Dismantlement of old and temporary structures;
- Installation practices (including cross shifting of the span)

During the process of construction, a permanent monitoring was organized for the nearby buildings. This resulted in high efficiency in preventing possible deformation of the bases of constant and dynamic loads from the arch and equipment. According to the monitoring results of deformation, the foundation soil has been eliminated or did not exceed the allowable rate.

It should be noted that since the work took place on the existing road in the vicinity of the contact network and of the zone of moving trains, security of works and occupational safety was significantly important. A significant amount of work occurred in the dismantling of obsolete structures, including spans and supports permanent and temporary bridges.

A significant amount of work occurred in the dismantling of obsolete structures, including spans and supportive permanent and temporary bridges. Dismantlement was organized with consideration to eliminate the possibility of ingress of debris at the Obvodniy channel and to comply with all necessary environmental requirements.

Reconstruction of embankments of Obvodniy channel provides four-lane traffic on both sides. Since the superstructure has a greater building height than the current design, the project provides for the lowering of the carriageway and the construction of a transport tunnel is shallow at the intersection of the embankment with bridges. As span has a high construction height, than the previous structure, the project covers

lowering of the roadway level and constructing of a shallow transport tunnel at the intersection of the embankment with bridges. (Image 5).



Image 5 – View of the embankment after reconstruction

#### Conclusions:

Evaluation of the effectiveness of a transportation hub after the reconstruction showed:

1. Total operating costs for the provision of functional properties of buildings, in accordance with the technical specifications reduced by 48.7% compared to the original.
2. The use of unique constructive solutions of arched metal span  $L=110$  m, with riding on the ballast, allowed to provide the required load capacity and operational safety for train loading on the bridge, for vehicles and pedestrians in the bridge clearance.
3. Reconstruction of the bridge provided the opportunity for the comprehensive improvement of the surrounding areas and infrastructure, which belong to the historical center of St. Petersburg.
4. The project implementation will allow to increase throughput of site of the highway, to produce a full landscaping of the adjacent territory, to ensure the safety of trains and users of transport infrastructure.
5. Last, but not least, if we talk about the effectiveness of the reconstruction, it is a way to improve the quality of life.

## References:

1. 123. EN 1991-2 (2003): Eurocode 1: Actions on structures. P. 2: Traffic loads on bridges.
2. Smirnov V. N. Osobennosti vysokoskorostnogo dvizheniya zheleznodorozhnykh ekspressov po mostam [Features high-speed Express trains on bridges], V. N. Smirnov, Saint Petersburg, 2015. – pp. 57 (in Russian).
3. Chizhov S.V. O trebovaniyakh k mostam pri vysokoskorostnom dvizhenii [About the requirements to the bridges under high-speed movement], Chizhov S.V., Yakhshiyev E.T., Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya, 2014, no. 4 (41). pp. 87-91 (in Russian).
4. Kondratov V.V. Nagruzki, prinyimayemye pri proyektirovanii zheleznodorozhnykh mostov [Loads taken in the design of railway bridges] / Rupasova I.V., Kondratov V.V., Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya, 2012. no. 4 (33), pp.117-124 (in Russian).
5. Chizhov S.V. Otsenka bezopasnosti mostov s uchotom dinamicheskogo faktora nadozhnosti [Assessment of the safety of bridges taking into account the dynamic reliability factor], Chizhov S.V., Prokopovich V.S., Yakhshiyev E.T., D'yachenko L.K., Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya, 2016, no. 2 (47), (in Russian).

## **РАЗВИТИЕ МОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ГОРОДА КРАСНОДАРА В ПРЕДДВЕРИИ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО ФУТБОЛУ 2018 ГОДА**

*Москаленко Глеб Сергеевич, магистрант 2-го курса*

*кафедры «Транспортные сооружения»*

*Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар*

*(Научный руководитель – Близниченко С.С., канд. техн. наук, доцент)*

В связи с проведением в 2018 году в России чемпионата мира по футболу перед организаторами в лице Оргкомитета РФ встал вопрос о выборе мест предматчевых тренировок команд различных стран мира, участвующих в этом крупнейшем международном спортивном мероприятии. В качестве одного из таких мест был определен и г. Краснодар.

В Кубанской столице специально к чемпионату мира был построен новый стадион футбольного клуба (ФК) «Краснодар» и отремонтированы существующие арены. Однако, места расположения крупных спортивных объектов в г. Краснодаре препятствуют их доступности во время проведения международных футбольных матчей.

Дело заключается в том, что одной из застарелых градостроительных проблем г. Краснодара является отсутствие достаточного числа мостовых переходов через р. Кубань, связывающих кубанскую столицу с левобережьем в направлении на Новороссийск, Джубгу и Сочи. Имеющиеся три городских моста уже не справляются с пропуском плотных транспортных потоков.

Особенно трудное положение сложилось в центре города, где скапливаются массы транспортных средств. Из-за заторов движения, наблюдающихся на многих участках городских магистралей, существенно затруднен и пропуск транзитного движения.

Так, например, в центральной части Краснодара расположен стадион «Кубань», подъезд к которому также затруднен из-за низкой пропускной способности улично-дорожной сети города на подходах к этому спортивному объекту. Только постройка новых мостовых переходов через р. Кубань, сравнительно недалеко от месторасположения указанного стадиона может способствовать решению указанной проблемы и значительно улучшить ситуацию с заторами на городских дорогах. С этой целью в период с 2014 по 2017 годы городская и краевая администрации предприняли меры к организации проектирования хотя бы одного нового городского моста, расположенного рядом с существующим Яблоновским. Однако, по разным причинам, дело застопорилось. Да, и один новый мост не решит всех проблем.

Несмотря на это, научные и проектные организации Краснодарского края и других городов России продолжают работать над созданием проектов новых дорожных и мостовых объектов с целью оптимизации транспортной системы г. Краснодара, включая строительство новых мостовых переходов через р. Кубань.

Свои предложения по строительству новых мостов имеются и у коллектива научных работников кафедры «Транспортные сооружения» КубГТУ, работающего под руководством доцента С.С. Близниченко над решением указанной проблемы в течение последних пяти лет. В состав указанного творческого коллектива входит и автор данной статьи. Ниже излагается основное содержание предлагаемых нами проектных решений.

Ниже представлена транспортная схема г. Краснодара в районе расположения стадиона «Кубань» (Рис. 1). На ней показаны места трех существующих мостовых переходов.

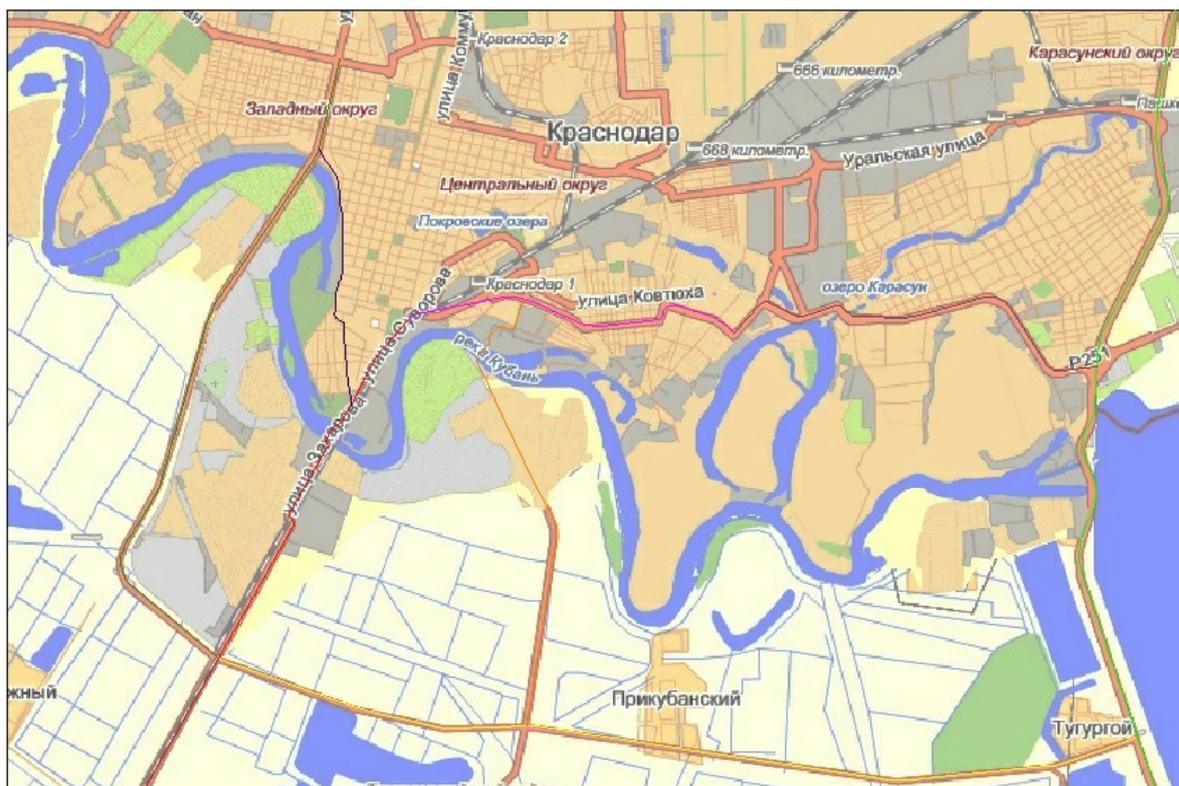


Рисунок 1 – Существующие мостовые переходы через р. Кубань

Нами предварительно были детально изучены распределение и состав транспортных потоков в районе расположения трех существующих мостовых переходов по состоянию на 2012 год (Рис. 2) и 20-летнюю перспективу – 2032 год (Рис. 3). Исследования велись по рекомендациям проф. Г.А. Федотова [1].

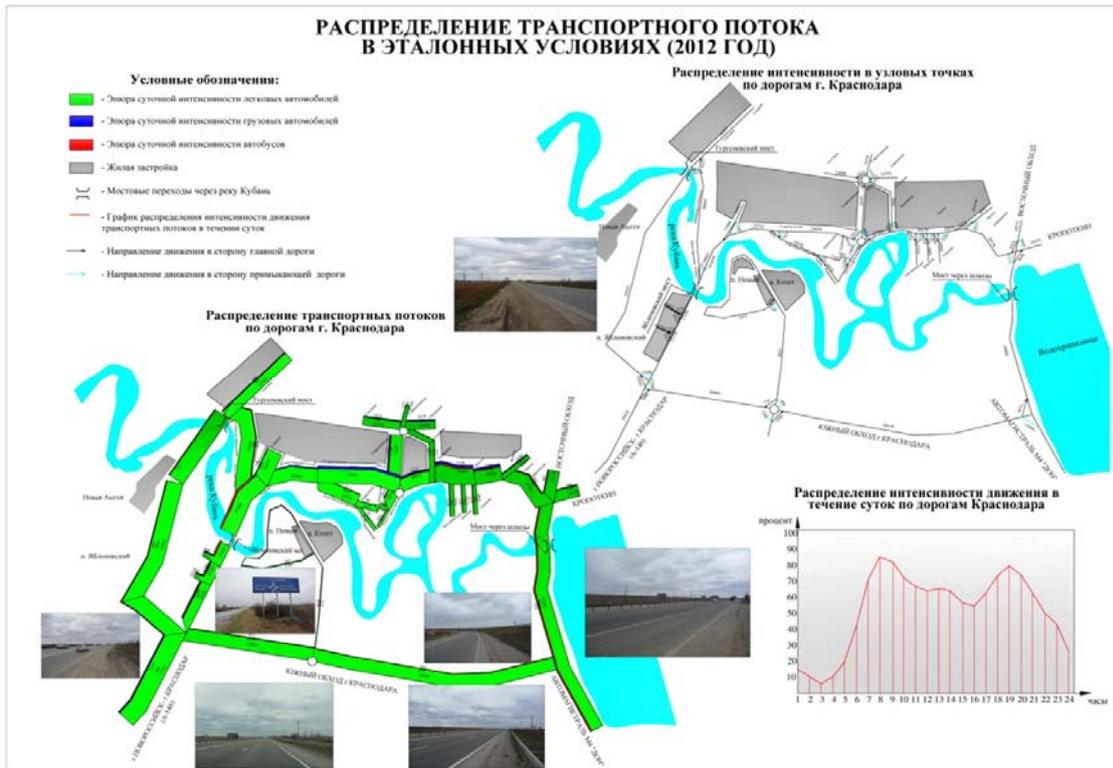


Рисунок 2 – Распределение транспортных потоков в 2012 году

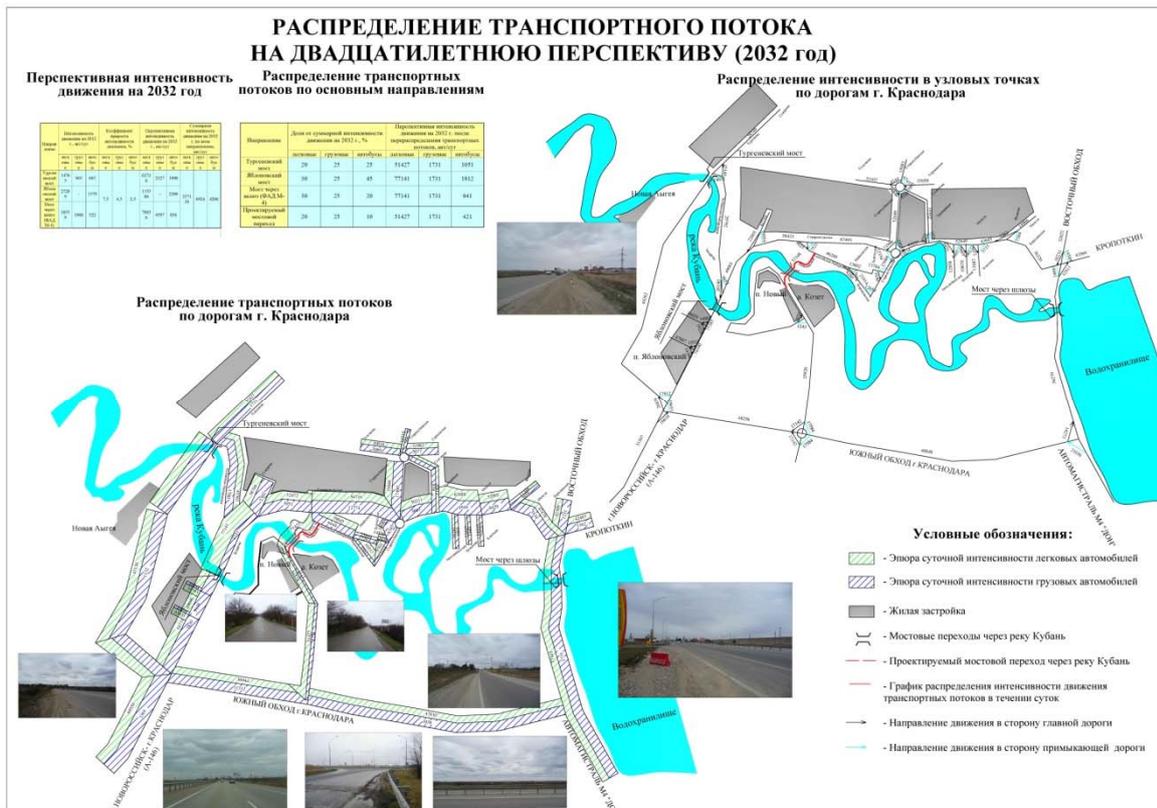


Рисунок 3 – Распределение транспортных потоков в 2032 году

Анализ собранных нами исходных данных об интенсивности и составе движения, позволил сделать вывод о необходимости перераспределения части

транспортного потока с существующих трех мостовых переходов на новые мосты с подходами к ним, обеспечивающие оптимизацию транспортной схемы г. Краснодара в районе расположения стадиона «Кубань».

Нами предлагается построить два новых мостовых перехода через р. Кубань в непосредственной близости от стадиона «Кубань». Первый из них будет располагаться рядом с существующим Яблоновским мостом (Рис. 4), второй – в отдалении от него за пос. Яблоновским у аула Козет и пос. Новый (Рис. 5).

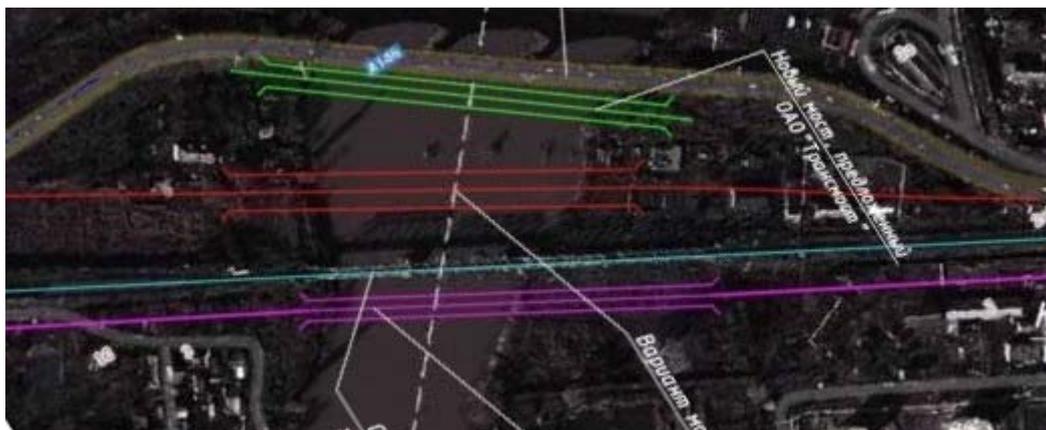


Рисунок 4 – Новый мостовой переход в районе существующего моста



Рисунок 5 – Новый мостовой переход в районе аула Козет и п. Новый

По обоим предлагаемым к осуществлению новым мостовым переходам указанным творческим коллективом, включая автора данной статьи, были выполнены проработки основных проектных решений, включая конструкции мостов и подходов к ним. Проектирование выполнялось двумя разными бригадами студентов в виде комплексных дипломных проектов (выпускных квалификационных работ – ВКР).

При этом работа над комплексным проектом была организована научным руководителем следующим образом. Первый студент разрабатывал проект подходов к мосту (план трассы, продольный профиль, поперечные профили земляного полотна, конструкция дорожной одежды), второй – работал над технологией возведения подходов (отсыпка земляного полотна и строительство дорожной одежды), третий – проектировал конструкцию моста (опоры и пролетное строение), четвертый – создавал проект производства работ по

строительству моста (строительство опор и пролетного строения), пятый – составлял сметы на все виды строительных работ, шестой – разрабатывал бизнес-план платного проезда по мостовому переходу. Все проектные экономические решения разрабатывались с учетом рекомендаций ведущих специалистов дорожной отрасли [2].

Ниже в качестве примера, показан один из чертежей моста (Рис. 6).

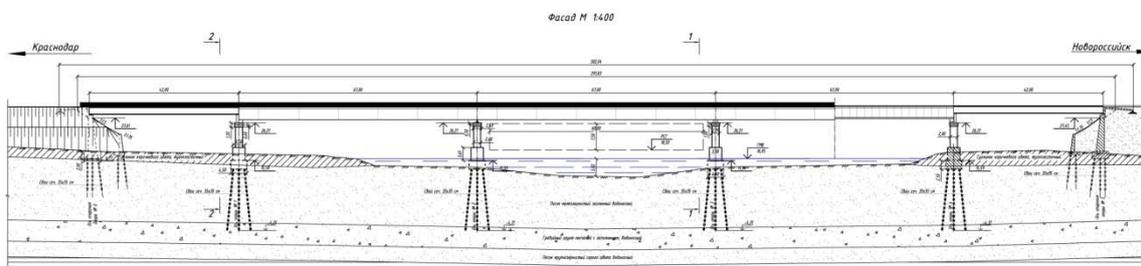


Рисунок 6 – Фасад нового моста в районе п. Яблоновского

Как видно из чертежа, предлагается построить пяти пролетный мост с неразрезным пролетным строением. При этом расположение судоходного пролета остается неизменным по сравнению с существующим Яблоновским мостом, отстоящим от проектируемого на 2 километра.

Кроме вышеперечисленного, в каждом комплексном дипломном проекте решались вопросы строительства транспортных развязок в разных уровнях и пунктов сбора платы за проезд по платному мостовому переходу. Было осуществлено также изучение общественного мнения о возможности взимания платы за проезд по мостам с учетом возможностей пользователей и интереса инвесторов данного проекта. В результате опроса водителей и пассажиров выяснилась большая заинтересованность автомобилистов в осуществлении предлагаемых к реализации двух новых мостовых переходов.

Нами также рассматривалась возможность привлечения инвестиций для осуществления строительства и эксплуатации новых мостовых переходов на платной основе. Для этого нами, как было указано выше, были разработаны соответствующие бизнес-планы по методике, изложенной в [3].

Описанные в статье проектные решения новых мостовых переходов являются альтернативными разработками [4]. Дело в том, что одновременно с нами, по заказу Администрации Краснодарского края и Муниципального образования «Город Краснодар», ведется проектирование реконструкции существующего Яблоновского моста в проектной организации «Трансмост» (г. Санкт-Петербург). Однако реконструкция только одного из существующих мостов не решает проблему транспортной доступности всех стадионов кубанской столицы. Для этого, все-же, необходима постройка дополнительно двух новых мостовых переходов. Именно поэтому мы сочли возможным предложить Администрациям края и города свой альтернативный проект решения указанной проблемы.

Представленные творческим научным коллективом во главе с доцентом СС. Близниченко в данной статье материалы по строительству новых мостовых

переходов были рассмотрены на заседании градостроительного совета проектного института «Краснодаргражданпроект» и включены в состав проектных решений Генерального плана г. Краснодара.

Одновременно оба проекта строительства новых мостовых переходов были также переданы в Государственную Думу для решения вопроса о софинансировании из госбюджета данных объектов. В настоящее время этот вопрос решается на государственном уровне.

#### Литература:

1. Федотов Г.А. Изыскания и проектирование мостовых переходов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.
2. Экономика дорожного хозяйства / [А.И. Авраамов, А.А. Авсеенко, Е.Н. Гарманов и др.]; под ред. Е.Н. Гарманова. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с.
3. Дингес Э.В. Опыт разработки бизнес-плана строительства платного дорожного объекта. – М.: Информавтодор, 2001. – 84 с.
4. Близниченко С.С., Москаленко Г.С. Развитие дорожно-мостового хозяйства Краснодара на альтернативной основе // «Строительство-2014». Строительство. Дороги. Транспорт: материалы Международной научно-практической конференции. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. С. 14-16.

## ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИИ В ТРАНСПОРТНОЙ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Леконцева Д.Д., Кавыева И.А., студенты 4-го курса  
кафедры «Автомобильные дороги и мосты»  
Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, г. Пермь*

*(Научный руководитель – Богоявленский Н.А., старший преподаватель)*

Данная статья посвящена информационному моделированию. Развитие BIM технологий прошло большой путь, начиная с 60-х годов 20 века. Дальнейшее развитие помогло прочно укрепиться в сфере строительства, а так же многих других. На сегодняшний день сложно представить деятельность проектировщиков без применения BIM моделирования. Высокая точность и универсальность позволяют широкое применение и открытие новых возможностей для усовершенствования данной концепции, что в будущем поможет добиться ещё больших результатов.

**Ключевые слова:** BIM, BIM-технология, информационное моделирование, электронное строительство, информационная модель

В настоящее время увеличивается количество проектов в области проектирования дорог, мостов и других объектов транспортной инфраструктуры. Проекты становятся наиболее трудоемкими и комплексными, охватывающими как реконструкцию, так и строительство новых сооружений. Набирает популярность объединение автомобильных дорог, железных дорог с системой пересадки на метро, самолет или другие виды транспорта. Происходит масштабное строительство, которое включает участие подрядчиков, заказчиков и других участников строительства. Наиболее современные компании используют технологии BIM, которые включают в себя организованную, структурированную информацию о строящемся сооружении. BIM (Building Information Modeling – информационное моделирование сооружений) – процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, который формирует основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от планирования до проектирования, выпуска рабочей документации, строительства, эксплуатации и сноса). Применение BIM–технологии сокращает срок реализации проекта, упрощает обслуживание готового объекта, может продлить срок его эксплуатации.

Идея информационного моделирования была предложена в 1975 году профессором Технологического института Джорджии Чаком Истманом, но сам термин BIM вошел в лексикон специалистов относительно недавно из-за активного внедрения принципов информационного моделирования в программном обеспечении ведущих разработчиков архитектурных систем примерно в 2002 году.

ВІМ предполагает комплексный подход в проектировании. Существует несколько компаний-разработчиков программных обеспечений этой технологии. Среди них лидирующее место занимает компания Autodesk. Самым распространенным продуктом является AutoCAD. У Autodesk существуют программные комплексы, которые позволяют реализовать информационное моделирование различных объектов. В каждый из этих комплексов входят следующие основные продукты: AutoCAD, AutoCAD Architecture, AutoCAD MEP, AutoCAD Raster Design, 3ds Max Design, Navisworks Simulate, Navisworks Manage, Revit, Inventor, Robot Structural Analysis Professional, InfraWorks и др. Каждое ПО осуществляет различные задачи на определенном этапе работ в рамках жизни сооружения, такие как двухмерное и трехмерное проектирование и черчение, демонстрация проектных идей с помощью изображений и видеороликов, моделирование последовательности строительных работ, определение объемов, интеграция данных из различных источников для комплексной проверки проектов, координации и количественного анализа, проектирование оборудования, которым оснащаются здания, визуализация и выпуск документации, инженерные расчеты и анализа, а так же создание, оценка и демонстрация предложений по генплану в 3D с возможностью их быстрого утверждения.

Для проектирования объектов инфраструктуры применяется Infrastruktura Design Suite. Программные продукты Geotechnical Module, Bridge Module, Rail Layout Module, River and Flood Analysis Module, входящие в состав комплекса, предоставляют инженерам преимущества на всех стадиях проектирования и эксплуатации проектов транспортных сооружений, землеустройства и водопользования.

Также можно обратить внимание на такую программу, как KorFin. Это система, которая осуществляет обмен данным с различными геоинформационными системами. Она хорошо взаимодействует с программными обеспечениями, используемыми при проектировании. При применении KorFin первоначально вводятся такие данные, как 3D-модель и текстура местности, внешние данные ГИС, линии инфраструктуры и другое в различных форматах. Затем данные экспортируются в чертежи, изображения и модели.

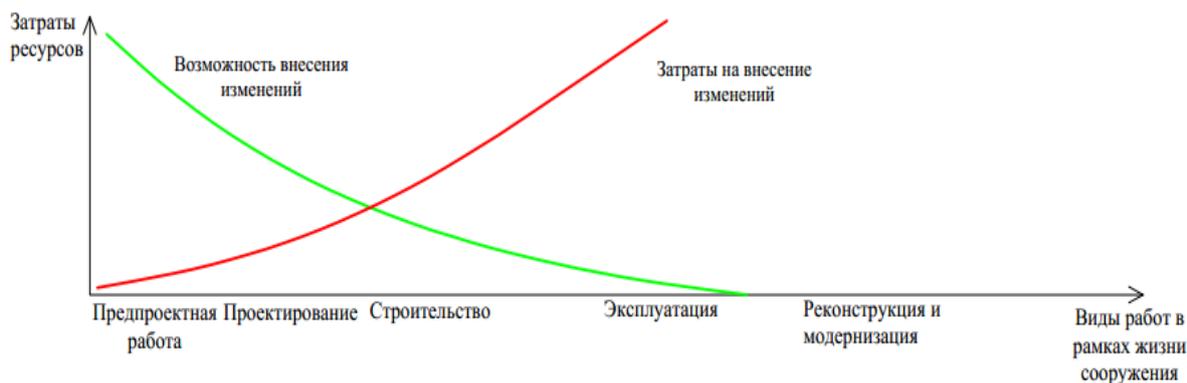


Рисунок 1 – Зависимость затрат на внесение изменений от стадии жизненного цикла

Информационное моделирование позволяет выявлять все ошибки в проекте на ранних стадиях, значительно повышая качество проектной и рабочей документации. Тем самым затраты на исправление ошибок минимизируются (Рис. 1).

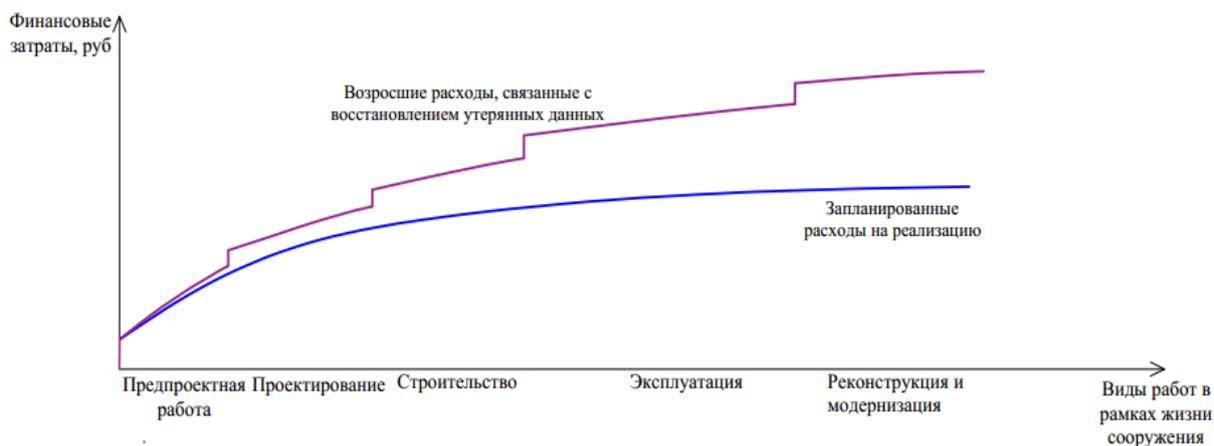


Рисунок 2 – Сокращение затрат с BIM

Сохранение накопленной информации упрощает работу с объектом с самого начала предпроектных работ (Рис. 2). В обычной ситуации отсутствие связи между специалистами на разных этапах приводит к ускоряющемуся росту затрат с каждым годом жизни объекта. BIM обеспечивает положительный эффект за счёт ускорения коммуникации между всеми участниками работ, сокращения числа ошибок и упрощения их исправления. Вся информация BIM объединяется в базу данных, что позволяет в любой момент времени получать актуальную проектную документацию и визуализации, а также анализировать их.

BIM-технология эволюционирует, развиваются технологии проектирования и строительства. Но несмотря на все достоинства информационного моделирования, в частности, возможность работать со всей моделью, используя любой из её видов, присутствуют некоторые сложности в необходимости составления нормативно-информационной базы. На

сегодняшний день не все программные комплексы способны отвечать стандартам BIM. Можно сказать, что процесс развития информационного моделирования далек до логического завершения.

#### Литература:

1. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий.- М: ДМК Пресс, 2011.-392с.:ил
2. Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства. URL:[https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/ampaigns/BTT-RU/BIM%20for%20buildings\\_Autodesk.pdf](https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/ampaigns/BTT-RU/BIM%20for%20buildings_Autodesk.pdf)
3. KorFin. –URL:<http://www.korfin.de/willkommen-ru.html>
4. Морозова А.С. Autodesk о дорожном проектировании: проблемы и решения // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. - №2(3). – С.63-66
5. Баранник С.В. Применимость BIM-технологий в дорожной отрасли // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. - №1(4). – С.24-28

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Анон С.А., магистрант, ДСФ, ТГАСУ, Томск  
(КИРЯКОВ Е.И, канд. техн. наук, доцент кафедры МиСД)*

Развитие транспортной инфраструктуры страны предполагает повышение удобств и безопасности проезжающих, пешеходов. Для этой цели требуется значительное количество энергии для освещения дорог, работы средств связи, видеофиксации, метеообеспечения, цветовой сигнализации и т.д. В основном энергообеспечение осуществляется за счет подключения к постоянным источникам энергоснабжения, но в случаях большой удаленности линий электропередач (ЛЭП) от транспортных коридоров, становится экономически не целесообразным их использование и тогда переходят к использованию автономных источников энергоснабжения.

Для небольших объектов таких как: пешеходные переходы, остановочные площадки, перекрестки в настоящее время достаточно широкое применение нашли гибридные системы, состоящие из ветрогенератора мощностью 300 Вт и двух фотоэлектрических панелей по 80Вт каждая.



Рисунок 1 – Ветро-солнечные системы для освещения пешеходного перехода

Однако для объектов с большим потреблением электроэнергии таких как: транспортные развязки, средние и большие мосты, тоннели и т.д., обеспечение автономными источниками энергоснабжения несмотря на требования нормативных документов [1] не выполняется из-за высокой стоимости этих работ. Для снижения стоимости получения энергии на транспортных сооружениях разработано немало технологий. Наиболее предпочтительным способом является использование ветровой энергии и энергии проезжающего автомобиля, так как не у каждого сооружения имеется необходимый водный

ресурс для установки гидротурбин, либо достаточное количество солнечных дней в году в данном районе, или наличие геотермальных источников [2].

Примером использования энергии движущегося транспорта может послужить разработка мексиканского предпринимателя Эктора Рикардо Масиаса (Рис.2). Разработавшего концепцию нового альтернативного источника энергии.



Рисунок 2 – мексиканский предприниматель Эктор Рикардо Масиас

В энергетической системе Эктор Рикардо Масиас решил использовать небольшие пандусы, которые будут свободно перемещаться вверх и вниз. В исходном состоянии они будут выступать над поверхностью дороги на 5 см. Проезжающий автомобиль наезжает на эти пандусы и толкает их вниз, затем пандусы нажимают на пружину, прикрепленную к мехам. Затем меха создают избыток воздуха, который под давлением проходит через шланг в специальную емкость, а оттуда на турбину, заставляя ее крутиться и вырабатывать электрический ток. При этом, чем интенсивнее будет поток автомобилей на дороге, тем больше электроэнергии будут вырабатывать турбины. [3]

В качестве примера использования естественного ветра можно привести модель компьютерного моделирования европейских ученых, где ветровые турбины, установленные под виадуками между мостовыми опорами, и могут быть эффективно использованы для производства экологически чистой энергии (Рис. 3).



Рисунок 3 – Виадук с ветровыми турбинами между опорами

Недостатком этой системы является зависимость от естественного ветра, т.е. если будет безветренная погода, энергия вырабатываться не будет.

В патенте RU 2528626 разработанным Голощачовым В М (Рис. 4) представлен уличный фонарь, который может освещать участки поверхностей в условиях отсутствия энергоснабжения с возможностью длительной и круглогодичной эксплуатации. В качестве альтернативных источников энергии используются солнечная радиация и вихревой ветровой поток, организованный внутри полой конусной многогранной опоры. Преобразователем солнечной радиации в электрическую энергию служит неподвижный конусный оптически активный купол и конусная солнечная батарея, установленная с возможностью вращения. Выработка электроэнергии происходит также за счет энергии вихревого воздушного потока, организованного внутри полой части многогранной опоры (МО), действующего на лопасти аэродинамической формы двух трехлопастных ветрогенераторов (ВГ). Непосредственная выработка электроэнергии происходит при пересечении магнитными силовыми линиями витков обмотки, что обеспечивается вращением лопастей трехлопастных ВГ совместно с алюминиевыми ободами и магнитами относительно витков обмоток под действием вихревого воздушного потока. Электроэнергия, вырабатываемая тандемными фотоэлектронными модулями, накапливается в аккумуляторных батареях. С помощью электронного пульта управления по команде датчика освещенности подается сигнал на включение и выключение светодиодных ламп.

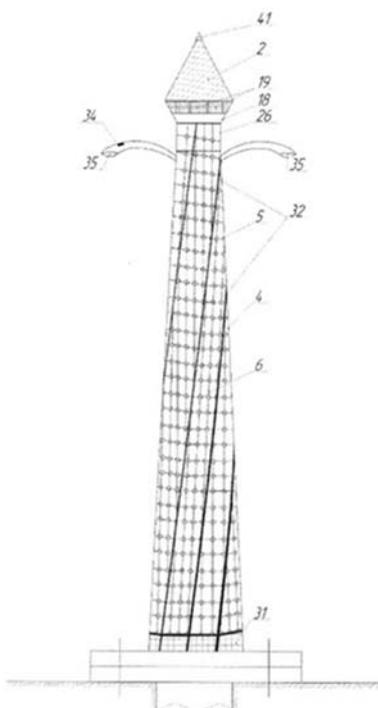


Рисунок 4 – Автономная система электроосвещения

2-неподвижный прозрачный оптически активный купол; 4-полая многогранная опора; 5-винтовые грани (угол закручивания равен  $18-25^\circ$ ); 6- тандемные фотоэлектрические модули (ТФЭМ); 18-диффузная часть полый многогранной опоры; 19-выходные окна, для отвода воздушного потока из полый многогранной опоры 4; 26- цилиндрическая часть; 31-входные окна с решеткой; 32-конфузорная часть; 34-датчик освещенности (ДО); 35-на светодиодная лампа (СДЛ); 41-защитная крышка

Недостатком этой системы является большая зависимость от наличия солнечной энергии.

Нами предлагается несколько иная идея, использования ветра, создаваемого проходящим автотранспортом. Например, на участке дороги первой или второй технической категории предшествующем мосту или транспортной развязке устанавливаются вертикальные ветрогенераторы, которые будут захватывать потоки воздуха от проходящих автомобилей и преобразовывать их в электроэнергию (Рис. 5).

Ветрогенераторы должны быть небольших размеров, но обладающие достаточной мощностью и количеством достаточным для обеспечения освещенности моста или транспортной развязки. За счет постоянного движения автомобилей на большой скорости будет создаваться воздушный поток, который даже при отсутствии естественного ветра или маленькой его скорости будет обеспечивать необходимую мощность генератора. Использование не только искусственного, но и естественного ветра, позволяет сделать устройство универсальным, и использовать его в любых климатических условиях. В итоге может быть получена система преобразования энергии искусственных потоков воздуха в электрическую для энергоснабжения транспортных сооружений.



Рисунок 5 – Расположение ветрогенераторов на разделительной полосе

Мощное воздействие воздушного потока от проходящего автотранспорта в свое время была подтверждена экспериментально компанией «Форд Моторс».

Каждый знаком с довольно сильным воздействием воздушной волны, после проехавшего на высокой скорости грузового автомобиля или автобуса. Данное аэродинамическое воздействие испытывает любой объект, находящийся непосредственно в близости от этого источника. В конце 70-х годов в статье [6] рассматривались аэродинамические нагрузки от проезжающего мимо автобуса на стоящий легковой автомобиль (Рис.6,7).

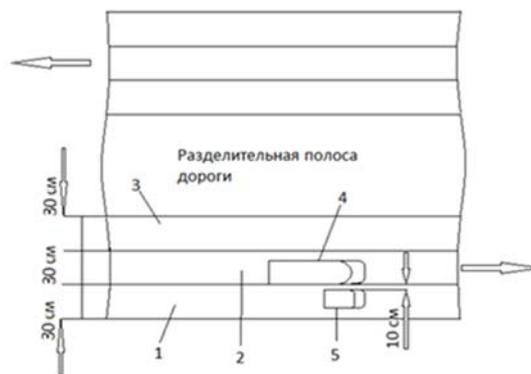


Рисунок 6 – Положение автомобилей на скоростной магистрали.

1-отводная полоса; 2-внешняя полоса; 3-внутренняя полоса;  
4-автобус; 5-легковой автомобиль



Рисунок 7 – Проезжающий автобус мимо автомобиля

Данный эксперимент планировалось провести в дорожных условиях, но из-за трудностей, обусловленными погодными условиями, пришлось перенести испытания на моделях в лабораторных условиях. Для моделей был выбран масштаб 1:10, чтобы общий размер экспериментальной установки находился в практически приемлемых пределах. Расстояние от автомобиля до проходящего мимо автобуса варьировалось от 12 до 20 см (что в натуре составляло от 1,2 до 2 м.), скорость автобуса составляла 21 м/с. (75 км/ч), так же для фиксации результатов были использованы чувствительные весы. Результаты испытаний приведены на кривой (Рис.8.), которая отображает два разнонаправленных пика воздействия ветровой нагрузки на стоящий на обочине объект при проезде модели автобуса.

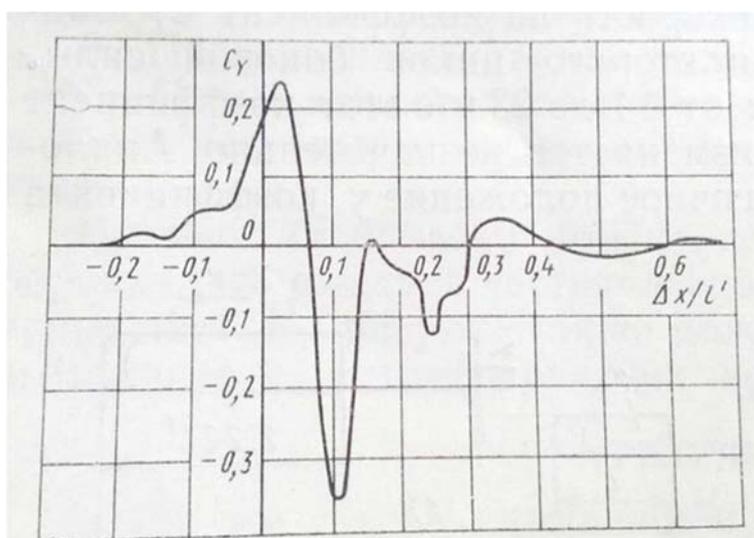


Рисунок 8 – Изменение коэффициента боковой силы  $C_y$  в зависимости от расстояния объектов

На графике видно, что начальное возмущение возникает примерно при параметре  $\Delta x/L' = 0,025$ , что соответствует моменту, когда передний край автобуса находится сзади легкового автомобиля на расстоянии, равном двойной длине кузова автомобиля. Первый пик силы достигается в момент, когда передний край автобуса находится сзади автомобиля на  $1/4$  длины последнего. Это означает что боковая сила направлена от автобуса в сторону автомобиля. При дальнейшем

движении автобуса положительная сила меняет свое направление и возникает отрицательный пик (притяжение к автобусу), когда передний край автобуса совпадает с передним краем автомобиля, а в дальнейшем волна затухает с уменьшением амплитуды при отдалении автобуса от автомобиля. Видно, что по абсолютной величине отрицательный пик приблизительно на 40% больше положительного.

Результаты этого эксперимента показали, что воздушный поток, образующийся от проходящего транспорта, обладает значительным моментом и может быть использован как движущая сила для вращения крыльчатки ветрогенератора с необходимой скоростью.

Использование силы ветра от проходящего транспорта для энергоснабжения транспортных сооружений позволяет:

- 1) Получать экологически чистую энергию в необходимых количествах;
- 2) Экономить финансы на энергопотреблении сооружения за счет использования альтернативного источника питания;
- 3) При наличии избытков электроэнергии аккумулировать ее для дальнейшей передачи другим потребителям.

Данный метод получения альтернативной энергии можно считать универсальным, так как он не зависит от наличия естественного ветра и может быть размещен вдоль любого транспортного сооружения: автомобильных и ж/д путей, метрополитена и т.д.

Данная разработка в настоящее время находится в стадии оформления заявки на изобретение. Для подтверждения рабочей гипотезы проведены опытно-полевые работы и подготовка к проведению эксперимента в реальных дорожных условиях.

#### Литература:

1. ГОСТ Р 52766–2007 Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. Утвержден: Ростех регулирование (23.10.2007) Дата введения 01.07.2008. М.: Стандартинформ 2008. 27с.
2. Панов М.В. Система автономного энергообеспечения автомобильных дорог с использованием ветрогенераторов / М.В. Панов, Е.И. Киряков // Материалы 59-й научно-технической конференции студентов и молодых ученых. 2013.С.358-362
3. Сайт.Ссылка:<http://scsiexplorer.com.ua/index.php/novie-razrabotki/dobyvanie-i-hranenie-elektricheskoy-energii/1255-proezzhajuschie-po-dorogam-avtomobili-budut-vyrabatyvat-elektroenergiju.html>
4. Сайт. Ссылка: <http://www.mastergrad.com/blogs/post/8800/>
5. RU 2528626 «Автономная микроэлектростанция уличного фонаря»
6. Биувейс Ф.Н. Аэродинамические нагрузки, действующие на стоящий автомобиль\ и вызванные проходящим мимо автобусом // Аэродинамика автомобиля. Сборник статей. Перевод с английского Ф.Н. Шклярчука. Москва «Машиностроение»1984г с.152.

## ЗАЩИТА ОТ ВЕТРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО МОСТОВЫМ СООРУЖЕНИЯМ

*Сарвас Андрей Сергеевич, магистрант 2-го курса  
кафедры «Транспортное строительство»  
Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов  
(Научный руководитель – Овчинников И.Г., д-р. техн. наук, проф )*

Воздействие сильного бокового ветра оказывает неблагоприятное влияние на движущиеся по мостовому сооружению автотранспортные средства, вызывая нарушение их устойчивости и управляемости, а в некоторых случаях и аварии. Особенно опасно внезапное воздействие бокового ветра на автотранспортные средства, движущиеся с большой скоростью и обладающие большой «парусностью».



Рисунок 1 – Виадук Мийо, расположенный над долиной реки Тарн

Неблагоприятные в этом отношении условия имеют место на высоких мостах и виадуках, пересекающих глубокие долины или ущелья (Рис. 1). Вдоль больших речных долин и по горным лощинам обычно дует сильный ветер. Подходы к мостовым сооружениям обычно часто располагаются в выемках, хорошо защищающих движущиеся транспортные потоки от бокового воздействия ветровых потоков [1]. Двигаясь с большой скоростью и выезжая из выемки на мостовое сооружение, автомобиль подвергается сильному ветровому воздействию, направленному вдоль реки или лощины. Внезапность, а часто и значительная интенсивность бокового ветрового воздействия может привести к аэродинамической неустойчивости автотранспортного средства, выходу его за пределы выделенной полосы движения и даже сносу с моста.

В мировой практике [2] отмечается большое количество аварий автомобилей связанных с их поперечным смещением под действием бокового ветрового потока. Аварии такого типа особенно часты при слабом сцеплении колеса автомобиля с проезжей частью. Поэтому на многих мостах, расположенных в местностях, с возможным воздействием сильного ветрового потока, принимают специальные меры для защиты проезжающих по ним автомобилей от сноса боковым ветром.

Опыт эксплуатации мостовых сооружений, подверженных сильному ветровому воздействию при больших скоростях движения автотранспортных средств пока еще недостаточно обширен и меры обеспечения безопасности движения в таких условиях мало изучены. Все вышеуказанное приводит к необходимости проведения дальнейших как теоретических, так и экспериментальных исследований в данной области, а также к анализу имеющихся практических данных.

### **Меры защиты автотранспортных средств от бокового ветрового воздействия на мостовых сооружениях**

Мероприятия, предотвращающие аварии автомобилей, движущихся по мосту, от воздействия бокового ветрового потока делятся на два типа: предупредительные и защитные.

Наиболее простой способ уменьшения опасности возникновения аварий заключается в предупреждении водителей транспортных средств об опасности, вызванной боковым ветровым воздействием на впереди лежащем отрезке пути. Таким предупреждением могут быть специальные дорожные знаки, установленные перед въездами на мост (Рис. 2).



Рисунок 2 – Знак 1.29 [3] Боковой ветер

Данный знак, привлекая внимание водителя, плохо указывает на степень предстоящей опасности и может вызвать ненужное снижение скорости движения транспортного средства при слабом боковом ветре на мосту или полном его отсутствии. Вместе с тем при очень сильном боковом ветре такой предупреждающий знак может быть в неполной мере учтен водителем.

Намного более эффективным способом является применение предупредительного устройства, в котором, кроме оповещения о предстоящей

опасности, дается информация о допустимой скорости движения. Для этого на мостовом сооружении должны быть установлены измеряющие силу (скорость) бокового ветра приборы. По показаниям этих приборов автоматически определяется допустимая скорость движения автомобилей по мосту и дается соответствующий информационный сигнал у входов на мостовое сооружение. Предупредительные сигналы необходимо устанавливать на определенном расстоянии от зоны воздействия бокового ветрового потока для того, чтобы автотранспортные средства, движущиеся с большей скоростью, имели участки пути, достаточные для необходимого снижения скорости движения.

Более эффективной мерой обеспечения безопасности движения автомобилей служат ветрозащитные барьеры. Данные барьеры могут быть сплошными или сквозными. Их можно совмещать с перилами, делая; таким образом, ветровые ограждения с двух сторон моста.

Опыты, проведенные при проектировании мостовых сооружений, показали, что сплошные перила при высоте 1-1.2 м в достаточной степени защищают автомобили от воздействий сильного бокового ветра. В качестве ветрозащитных перильных ограждений могут выступать шумозащитные экраны (Рис. 3,4) или конструктивные особенности пролетных строений мостов (Рис. 5).



Рисунок 3 – Конструкция перильного ограждения на виадуке Мийо



Рисунок 4 – Путепровод с шумозащитным экраном

За рубежом изучается также вопрос о применении ветрозащитных сеток. Такие сетки хорошо предохраняют автомобили от действия бокового ветра. Сетки можно располагать по краям проезжей части моста, а также на разделительной полосе.

Опытные данные показывают, что сетки высотой около 2,5 м, поставленные на разделительной полосе, и перила высотой 1,1 м с сетками, дают достаточно хороший защитный эффект.



Рисунок 5 – Мост Кайзермюлен

Достоинством устройства средней сетки является также то, что она одновременно может служить и мерой против ослепления водителей в ночное время фарами встречных автомобилей (Рис. 6).



Рисунок 6 – Сетка на разделительной полосе на трассе

Такие щиты, которые одновременно служат ветрозащитными и противоослепляющими, установлены, кроме сплошных перил на ряде мостовых объектов в Европе.

Устройство ветрозащитных барьеров не исключает необходимости установки перед въездами на мост также сигналов, предупреждающих о боковом ветре.

В климатических условиях многих районов РФ ветрозащитные барьеры могут способствовать задержанию снега при метелях и вызывать образование на мосту снежных валов. Это обстоятельство является недостатком ветрошумозащитных экранов и должно приниматься во внимание.

Кроме того, в соответствии с актуализированной редакцией СП 35.13330 «Мосты и трубы» (п. 5.48) [4], висячие и вантовые мосты, а также стальные балочные мосты с пролетами более 100 м следует проверять на аэродинамическую устойчивость и пространственную жесткость. Для конструкций с динамическими характеристиками, существенно отличающимися от аналогичных характеристик построенных мостов, кроме аналитических расчетов следует проводить соответствующие исследования на моделях. Установка ветро- и шумозащитных экранов на мостовых сооружениях меняет аэродинамику этого сооружения, и должно быть учтено при его проектировании.

#### Литература:

1. Инженерные сооружения в транспортном строительстве : в 2 кн. : учебник / П. М. Саламахин [и др.] ; под ред. П. М. Саламахина. - 3-е изд., испр. - М. ИЦ «Академия», 2014 - . - (Высшее образование) (Бакалавриат). Кн. 2. – 2014. – 272 с. ISBN 978-5-4468-0575-4.
2. Гибшман Е. Е. Безопасность движения на мостах / Е.Е. Гибшман. – М., Транспорт, 1967. – 187 с.
3. ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.
4. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*. М.: Стандартинформ. 2011. 341 с.

## **ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Хватынец Владислав Александрович, магистрант  
кафедры «Строительное производство»*

*Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк  
(Научные руководители – Шабанов Д.Н., канд. техн. наук, ассистент;  
Парфёнова Л.М., канд. техн. наук, доцент)*

Продолжающийся рост автомобилизации стимулирует тенденцию к интенсификации реконструкции дорожной инфраструктуры и благоустройства городов. Такая тенденция делает особенно актуальной задачу разработки экономичных дорожных покрытий, обладающих высокими эксплуатационными качествами, показателями современного технического уровня и позволяющих вести круглогодичное строительство. В этом отношении высокие потенциальные возможности имеют дорожные покрытия, состоящие из трёх основных слоёв. Важным критерием при создании данного покрытия является обеспечение совместной работы всех слоёв дороги, это возможно в случае высокого коэффициента сцепления, между слоями, значительно превосходящего сдвиговые усилия. При таком варианте покрытия, основным слоем, воспринимающим большую часть нагрузок, является средний, который в свою очередь лежит на жёстком основании [1-3].

Такое жёсткое основание, возможно получить при использовании техногенных отходов литейного производства при приготовлении смесей [4]. При производстве смесей для дорожного основания на смешанном вяжущем, одна из задач заключается в правильном подборе качественного и количественного состава вяжущего для случая замены части извести тонкомолотым литейным шлаком, а заполнителем служит отработанная формовочная смесь [5].

С целью повышения прочностных свойств среднего слоя, эксплуатируемого под воздействием изгибающих сил, ударных или динамических нагрузок, было изучено влияние дисперсного армирования отходами щелочестойкой стеклосетки [6]. (Рис. 1).

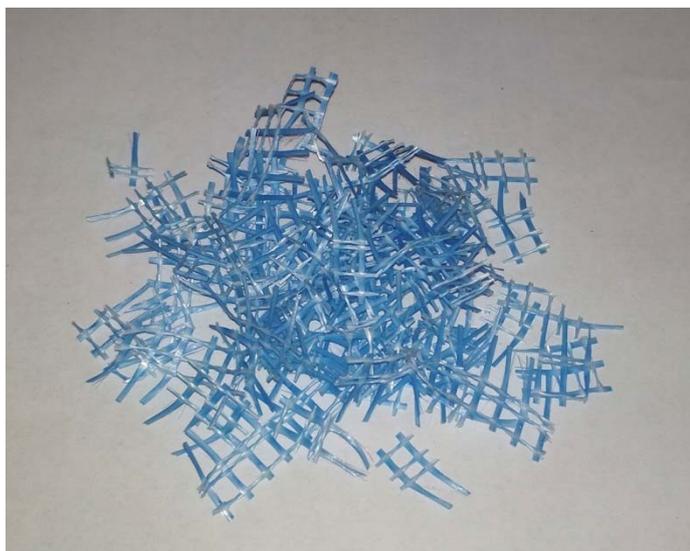


Рисунок 1 – Отходы щелочестойкой стеклосетки

В ходе исследования были заформованы образцы четырёх видов, с различным процентным содержанием фибры от массы цемента: без фибры, 10%, 20% и 30%. Размеры образцов: длина – 140мм, ширина – 120 мм, толщина – 30мм. Во всех смесях в/ц ровнялось 0,4, расход цемента – 1000 кг/м<sup>3</sup>. После формовки образцы прошли тепловлажностную обработку.

Готовые образцы испытывались на продавливание на гидравлическом прессе ПГМ-1000МГ4. Плита ложилась на жёсткое основание, сверху ставился металлический круглый штамп диаметром 60 мм, на который давил пресс. (Рис. 2).



Рисунок 2 – Испытание образца на гидравлическом прессе ПГМ-1000МГ4

Полученные, в ходе испытания, данные представлены ниже (Табл. 1). Основными показателями являются усилие и деформация образцов.

Таблица 1 – Данные результатов испытания

№ образца	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Расход воды, кг/м <sup>3</sup>	в/ц	Содержание фибры, %	Усилие P, кН	Перемещение L, мм
1	1000	400	0,4	0	1,01	2,764
2	1000	400	0,4	10	0,11	0,012
2	1000	400	0,4	10	0,21	0,164
2	1000	400	0,4	10	0,33	0,302
2	1000	400	0,4	10	0,44	0,395
2	1000	400	0,4	10	0,54	0,469
2	1000	400	0,4	10	0,95	0,748
2	1000	400	0,4	10	1,22	0,829
2	1000	400	0,4	10	1,45	0,973
2	1000	400	0,4	10	1,74	1,117
3	1000	400	0,4	20	0,1	0,014
3	1000	400	0,4	20	1,06	2,007
4	1000	400	0,4	30	0,56	0,499
4	1000	400	0,4	30	1,27	1,207

По полученным данным построен совмещённый график, который отражает усилия и соответствующие перемещения всех образцов. (Рис. 3).

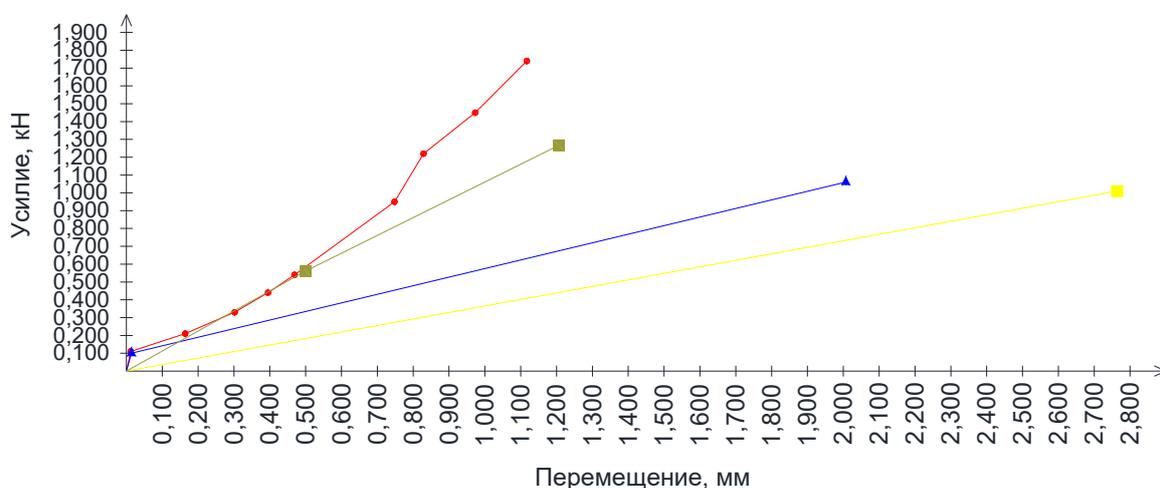
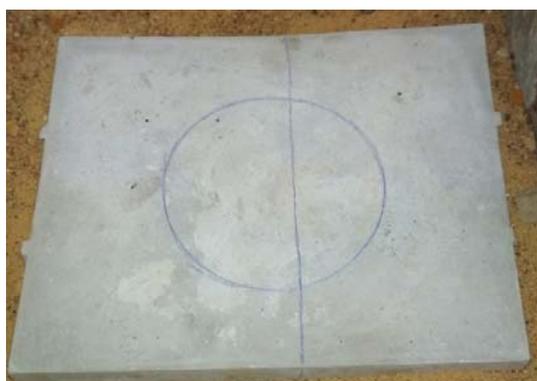


Рисунок 3 – График усилий и перемещений образцов: жёлтый – без фибры, красный – 10% фибры, синий – 20% фибры, зелёный – 30% фибры.

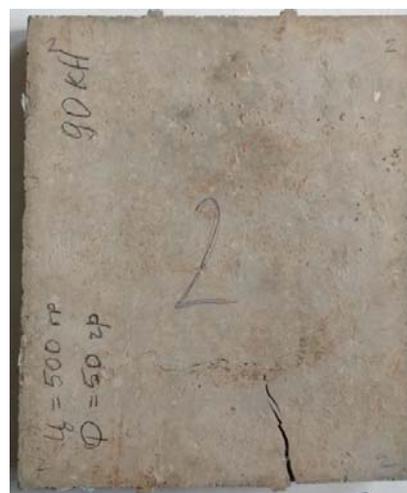
Далее образцы нагружались до начала трещинообразования. Отдельно сведены в таблицу усилия, при которых раскрываются трещины в образцах (Табл. 2). Ниже представлен характер раскрытия трещин различных образцов. (Рис. 4).

Таблица 2 – Усилия и перемещения при раскрытии трещин

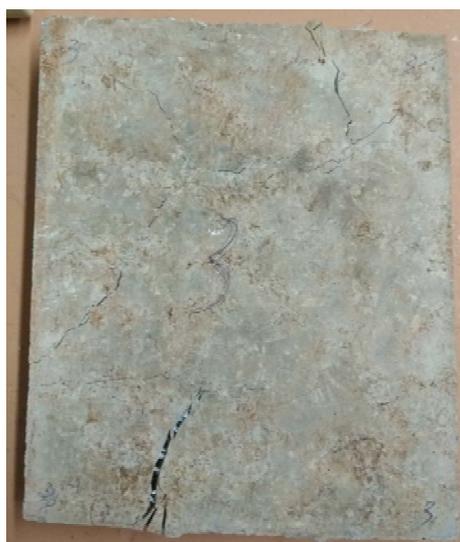
№ образца	Содержание фибры, %	Усилие P, кН	Перемещение L, мм
1	0	1,01	2,764
2	10	210,88	1,778
3	20	284,96	7,189
4	30	89,58	3,263



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Раскрытие трещин образцов: а) без фибры; б) 10% фибры; в) 20% фибры; г) 30% фибры.

По характеру разрушения образцов видно, что без фибры разрушение происходит хрупкое. Добавленная фибра связывает между собой образец внутри, что в свою очередь предотвращает хрупкое разрушение и не даёт рассыпаться образцу под нагрузкой. Даже после раскрытия трещин образец держит свою форму, не разламываясь на части.

Так же анализируя данные таблицы 1, можно отметить, что наиболее оптимальным является второй образец, где армирование составляет 10% от

массы цемента. В образце номер два, при наибольшем усилии равным 1,74 кН – наименьшее перемещение, которое составляет 1,117 мм.

По данным таблицы 2, можно сделать вывод, что оптимальным так же является второй образец, у которого трещинообразование начинается при усиллии 210,88 кН, и перемещение в этот момент равно 1,778 мм. Стоит отметить, что в образце №3 трещинообразование начинается при усиллии 284,96 кН, что выше чем во втором образце, однако при этом усиллии перемещение в разы выше и составляет 7,189 мм.

Таким образом, по полученным в ходе испытания данным, можно сделать вывод, что для создания основного среднего слоя в многослойной дороге возможно применение отходов щелочестойкой стеклотетки в качестве армирующей фибры. За счёт её применения увеличивается усиллие, при котором происходит разрушение, и значительно уменьшаются перемещения. Так же стоит отметить, что с применением фибры изменяется характер разрушения, что не маловажно для бетонов. Разрушение перестаёт быть хрупким, и после раскрытия трещин образец не разрушается за счёт связывающего действия фибры. Исходя из результатов испытаний, целесообразно формировать изделия с содержанием фибры как во втором образце, 10% фибры от массы цемента. Данный процент армирования даёт наиболее оптимальные показатели усиллия, перемещения и максимального усиллия при котором происходит раскрытие трещин.

#### Литература:

1. Карпов Б.Н. Сборные многокомпонентные дорожные покрытия. – 2000г. – URL: <http://tekhnosfera.com/sbornye-mnogokomponentnye-dorozhnye-pokrytiya>
2. Высоцкий Ю.Д. Опыт эксплуатации сборных силикатобетонных дорожных покрытий // Автомобильные дороги. – 1972. – №12. – С. 20-21.
3. Василенко Л.Т., Панкратова Н.Д. К расчёту напряжённого состояния плиты на неоднородном упругом основании // Прикладная механика (Киев). – 1991. – №10. – С. 31-38.
4. Хватынец В.А. Техногенные отходы литейного производства – эффективное сырьё для приготовления смесей, используемых в укрепленных основаниях автомобильных дорог // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – №2. – С. 47-51.
5. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов // Новые композиционные материалы в строительстве – 1981. – С. 5-9.
6. Качан М.С., Парфёнова Л.М. Физико-механические свойства бетонов с полиакрилонитрильными волокнами // Вестник Полоцкого государственного университета. Строительство. Прикладные науки. – 2011. – С. 30-34.

## ТРУБОБЕТОН КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В РАМКАХ ОРГАНИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

*Чугунова Мария Алексеевна, магистрантка 3-го курса  
кафедры «Транспортное строительство»  
ФГБОУ ВО СГТУ имени Гагарина Ю.А., г.Саратов  
(Научный руководитель – Овчинников И.Г., д-р техн. наук, профессор)*

На сегодняшний день умы инженеров и архитекторов определенного направления занимает инновационное направление в строительстве – бионика. В литературе мы так же можем встретить такой термин, как биомиметика (от лат. bios - жизнь, и mimesis - подражание), который имеет значение - подход к созданию технологических устройств, при котором идея и основные элементы устройства заимствуются из живой природы.

В этом смысле научный интерес конструкторов, дизайнеров и архитекторов к законам формообразования и использование в этих направлениях идей и форм природы, живой и неживой, предстает достаточно закономерным и обусловленным. Живая природа в процессе развития стремится к органической целесообразности существования, связанным с минимальным расходом строительных материалов, времени и энергетических ресурсов. Такая направленность и целесообразность природных форм, как мы видим, и привела к возможности применения законов формообразования в развитии и жизнедеятельности объектов природной среды с точки зрения технической, технологической и конструктивной в искусственных сооружениях, создаваемых рукой человека, находящегося с природой в имманентном биологическом родстве.

Закономерности формирования природных объектов из тонко натянутых нитей (например, паутина), или конструкции из нитей с натянутыми мембранами между ними, перепончатые конечности водоплавающих птиц, крылья летучих мышей и др. послужили прообразом в процессе создания разнообразных конструкций мостовых сооружений на гибких тросах и вантах. Применение принципа вантовых сооружений, как было выявлено учеными в процессе проектирования, показало себя как наиболее эффективное техническое решение для перекрытия сооружений с большим пролетом - «висячие покрытия». В 1953 г. Р. Б. Фулер приводит информацию о научных разработках простейших пространственно-стержневых структур, в которых все стержни соединяются не друг с другом, а на основе вантовых конструкций. При создании подобных фигур Фулер вывел и основной принцип работы этих конструкций - «давление прекращается - растяжение продолжается», на давление работают стержни, на растяжение ванты[1].

У истоков активного развития в применении конструкций из трубобетона мы считаем появление монотрубной системы. Проф. В. А. Росновским была предложена идея использования одной тонкостенной стальной трубы в качестве

элемента конструкции мостов. Стальная труба должна быть заполнена бетоном, что нашло свое применение в ряде проектов, реализованных ученым. В.А. Росновский показал преимущества применения трубобетона по сравнению со стандартными решениями.

В.А. Росновский предложил различные мостовые конструкции с применением именно этого подхода, а впоследствии по одному из этих проектов был возведен железнодорожный мост через р. Исеть неподалеку от г. Каменск-Уральский (Рис. 1). Пролетное строение представляет собой две сквозные серповидные арочные фермы пролетом 140 м, стрелой подъема  $f = 21.91$  м, высота ферм на среднем участке – от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{3}{4}$  пролета, на концевых участках пояса сближаются к опорным узлам, расстояние между фермами 7 м ( $\frac{1}{20}$  пролета), длина панелей ферм 6,083 м. Надарочные стойки выполнены из трубобетона диаметром 529x8 мм.



Рисунок 1 – Фото с сайта <http://www.top-kirov.ru/unikalnye-proekty-gorodov-budushhego.php>, дата обращения 18.06.2017г.)

Трубобетон - универсальное решение для климатических условий России. Трубобетон может служить идеальным решением для использования в условиях вечной мерзлоты. Так же, это лучшее решение для болотистых почв и зон наводнений. Исследователи считают, что трубобетон – это один из безопасных вариантов в зонах высокой сейсмичности, оптимальный выбор при строительстве в горах.

Трубобетон - универсальное решение для строительства современной инфраструктуры России, будь то небоскребы, спортивные или развлекательные комплексы, мосты или эстакады.

Как известно, разрушение зданий и сооружений может происходить при сильном землетрясении. И, конечно же, не только от горизонтальных сейсмических сил, как это считалось до сих пор, но и от гравитационных сил. Это вес сооружения и вертикальная составляющая землетрясения, действующие

на сооружения, уже имеющие сейсмические повреждения и горизонтальные перемещения. Поэтому, преимуществом трубобетонных конструкций мы считаем их способность выдержать сейсмические воздействия в горизонтальном и вертикальном направлениях без разрушения. Трубобетонные сооружения очень надежны в процессе всего жизненного цикла. В предельном состоянии такие конструкции не теряют несущую способность одновременно, в сравнении с конструкциями из железобетона, а еще достаточно долгое время способны выдерживать нагрузку. Исходя из результатов испытаний, проведенных В.А. Долженко, В.А. Росновского, Л.И. Стороженко и др. получен вывод о том, что получая большие деформации, трубобетонный стержень и дальше может нести серьезную нагрузку[2].

Значительный вклад в развитие технологии трубобетона и расчета конструкций внесли отечественные ученые: А.А. Долженко[3], [4], [5], А.И. Кикин[6], Р.С. Санжаровский, Л.И. Стороженко, А.Л. Кришан, М.Я. Бикбау[7], А.В. Курочкин и др.. Эти ученые определили положительные и отрицательные стороны в применении трубобетона при строительстве сооружений большой высоты.

Существуют примеры конструкций с использованием трубобетона, включая и мостовые конструкции.

Например, в 2010 году был построен мега-мост «Manaus-Iranduba», пересекающий Амазонку, длина которого составила 3,5км. В этом проекте трубобетон нашел свое применение в опорах, спроектированных как массивные стойки из трубобетона. Упомянутый выше мост связал крупные города Северной/Северо-восточной Амазонки с районом Южной Амазонки (Рис. 3).



Рисунок 3 – Общий вид моста «Manaus-Iranduba» через реку Амазонка  
Фото с сайта <http://www.top-kirov.ru/unikalnye-proekty-gorodov-budushhego.php>,  
дата обращения 17.06.2017г.)

Прочность бетонного ядра, стесненного стальной оболочкой как обоймой, повышается приблизительно в 2 раза по сравнению с бетоном без обоймы. Многочисленные исследования выявили, что, вместо ожидаемой усадки, происходит набухание бетона в трубе и его расширение, сохраняющееся на протяжении многих лет, что создает благоприятные условия для его работы. Эффект «разбухания» характерен для бетона, не только заключенного в стальную трубу, но и изолированного любым другим способом от окружающей среды. Причиной эффекта разбухания является отсутствие влагообмена между бетоном и внешней средой[8]. Изоляция бетона от окружающей среды создает лучшие условия для прочностных характеристик бетона под нагрузкой. Исходя из полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что в неизолированный бетон со временем получает более серьезную степень деструкции при нагрузках, изолированный. Развитие микротрещин в неизолированном бетоне постоянно прогрессирует, у изолированного бетона при аналогичном напряжении оно полностью прекращается в первые 2 – 3 дня[9]. Заполнение стальной трубы бетоном помогает повысить ее противокоррозионную стойкость, защищая от коррозии внутреннюю поверхность трубы, уменьшая гибкость элементов, увеличивая местную устойчивость стенок трубы, повышая сопротивление оболочки вмятию в узлах сопряжений, равно как и при ударных воздействиях во время транспортирования и монтажа. Наружная поверхность трубобетонных конструкций примерно в 2 раза меньше, чем конструкций из профильного проката, вследствие этого у них меньше расходы по окраске и эксплуатации. На цилиндрических поверхностях задерживается меньше пыли и грязи, являющихся активизаторами процессов атмосферной коррозии, поэтому трубобетонные конструкции имеют повышенную коррозионную стойкость

Полная стоимость сооружений из трубобетона значительно ниже стоимости аналогичных железобетонных и стальных. Меньшая масса трубобетонных элементов в сравнении с железобетонными облегчает их транспортирование и монтаж. Трубобетон экономичнее железобетона из-за отсутствия опалубки, кружал, хомутов, отгибов, петель, закладных деталей; он более вынослив, менее подвержен механическим повреждениям. Отсутствие распределительной и рабочей арматуры позволяет получить более высококачественную укладку жестких бетонных смесей.

Трубобетонные элементы эффективнее железобетонных и стальных конструкций. При замене железобетонных конструкций на трубобетонные значительно уменьшается расход бетона и металла за счет закладных деталей, почти вдвое снижаются трудозатраты, уменьшается вес конструкций.

С архитектурной точки зрения следует отметить эстетичный внешний вид трубобетонных колонн. Это придает зданиям и сооружениям, построенным из них, несколько большую выразительность.

Аналогия с живой природой, закругленные углы, плавные естественные линии, натуральные оттенки, природные материалы, легкость форм – вот основные особенности стиля бионика.

С течением времени через призму бионического подхода мы видим все больше и больше примеров того, что человеческие изобретения в большинстве своем позаимствованы из природных «патентов», существование которых проверено веками. Как логичный результат - именно бионический подход в проектировании зданий и сооружений с каждым днем становится одним из наиболее востребованных архитектурных течений во всем мире, имеющих в своем арсенале проектных решений наиболее органичные и естественные для человека решения по организации его жизнедеятельности.

Именно благодаря природным ресурсам инженеры и ученые получили бесчисленное множество вариантов заимствования технологий и идей. Благодаря современным техническим средствам и компьютерному моделированию, сегодня люди получили возможности разобраться более детально, как устроен окружающий их мир, постараться скопировать некоторые его детали в собственных целях, для технических нужд.

Так же нельзя не отметить, что широкому применению трубобетонных конструкций в России препятствует отсутствие отечественных нормативных документов по их расчету и проектированию не только для сейсмических районов, но и для несейсмических районов. Хотя прочность трубобетона изучалась многими исследователями на протяжении десятков лет, существующие методы расчета существенно отличаются друг от друга. В них не учитываются или учитываются не в комплексе свойства материалов, неполно отражаются основные особенности и специфика сопротивления трубобетона деформированию в зависимости от характера действующей нагрузки. Кроме того, открывается перспектива использования в трубобетонных колоннах высокопрочных бетонов, что так же позволит существенно снизить размеры поперечных сечений несущих конструкций, а следовательно и общие затраты на строительство.

Мультидисциплинарный подход в сфере проектирования наталкивает инженеров на поиск новых проектных решений. По сравнению с бионической философией в архитектурном проектировании и механическом проектировании, развитие бионического проектирования мостов далеко позади. В этой главе были рассмотрены некоторые последние проекты, чтобы выделить некоторые попытки, сделанные в этой сфере. Показано, как бионические методы могут помочь инженерам обращаться как к традиционным вопросам (эффективность, экономичность, изящность), так и к возникающим (устойчивость, использование энергии, и др.). Однако, отмечено что большинство завершенных проектов достигли только низкого или среднего уровня инспирации согласно биомиметрической карте Винсента. Трудности применения биомиметрических методов в мостостроении возникают вследствие неспособности поиска биологических аналогий и недостатка поддержки от исследователей в области биомиметрии в процессе проектирования. В современном мостостроении нам необходимо больше интересных идей в дизайне как стационарных мостов, так и подвижных.

## Литература:

1. Шнякина М.А., Овчинников И.Г. Использование идей бионического проектирования в формировании эстетического вида мостов// Магистратура – автотранспортной отрасли: материалы I всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания». 27-28 октября 2016 г.; СПбГАСУ. – СПб.: НИЦ АРТ, 2017. – 462 с.: ил. с.66 – 71.
2. Аймагамбетова С.М., Дуванова И.А. Применение трубобетонных конструкций в современном строительстве // Материалы международной научно-практической конференции ч.1. Инженерно-строительный факультет. - СПб, 2012.
3. Росновский В.А. Трубобетон в мостостроении. - М.: Трансжелдориздат, 1963.
4. Передерий Г.П. Трубчатая арматура. – М.: Трансжелдориздат, 1945. - 105 с
5. Скворцов Н.Ф. Прочность сталетрубобетона: дисс. ...докт. техн. наук. – М., 1953. – 45 с
6. Лопатто А.Э. Железобетон в машиностроении. – Одесса: Маяк, 1966.
7. Берг О.Я., Рожков А.И. Исследование неупругих деформаций и структурных изменений высокопрочного бетона при длительном действии сжимающих напряжений. Тр. ЦНИИС, вып.70, М., 1969. – С. 11-18.
8. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 4. Опыт применения трубобетонных свай с оболочкой из полимерных композиционных материалов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/148TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/148TVN615
9. Christopher D.P. Baxter, Antonio Marinucci, Aaron S. Bradshaw and Russell J. Morgan. Field study of composite piles in the marine environment // University of Rhode Island Transportation Center. URITC PROJECT NO. 536153. 2005.68 p.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМОЧЕВИНЫ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Малык Никита Игоревич, студент 4-го курса кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Ходяков В.А., ассистент)*

Гидроизоляция подземных сооружений является одной из наиболее актуальных проблем в строительстве. От того как качественно будет защищена конструкция от влаги, зависит срок ее службы. Учитывая специфику таких сооружений, как тоннели, подземные пешеходы, цоколи, фундаменты зданий и т. д., подбор технологии и материалов при гидроизоляции должен проходить с особой ответственностью.

В настоящее время, при проектировании любого подземного сооружения, основными критериями при выборе вида гидроизоляции, являются гидрогеологические характеристики района строительства, выбранные строительные материалы, допустимый уровень влажности в строящемся сооружении. В итоге выбирать приходится из большого количества типов гидрозащиты.

Развитие технологий и новые разработки, в сфере гидроизоляционных материалов, могут давать возможность максимально защитить подземные сооружения, тем самым продлить срок их эксплуатации. Одной из таких технологий является напыляемая гидроизоляция, которая позволяет создавать бесшовные равномерные защитные мембраны.

Преимущество использования полимочевины при гидроизоляции подземных сооружений, обусловлено свойствами этого материала.

Полимочевина является органическим полимером, который образуется при реакции смолы полиэфираина и изоцианата. Данная реакция протекает под большим давлением, поэтому отверждение происходит в течение нескольких минут и эксплуатировать поверхность можно практически сразу после нанесения. Покрытие из напыляемых эластомеров отличается высокой эластичностью, прочностью на разрыв (10-30 МПа), адгезией к таким материалам, как бетон, металл, дерево, большая долговечность (порядка 30-40 лет).

Сегодня, как правило, при гидроизоляции тоннелей используется рулонная гидроизоляционная защита, которая в любом случае приводит к появлению швов. Напыление полимочевины позволяет избавиться от их возникновения и последующего усиления.

Как известно, любые сооружения, которые подвержены воздействию воды, наиболее уязвимы в области швов. Их гидроизоляция с помощью полимочевины является наиболее качественной защитой, в сравнении с рулонной изоляцией. Так как реакция отверждения происходит очень быстро, исключается появление подтеков, пузырей и неровностей.

Нанесение полимочевины происходит при помощи специального оборудования (Рис. 1).

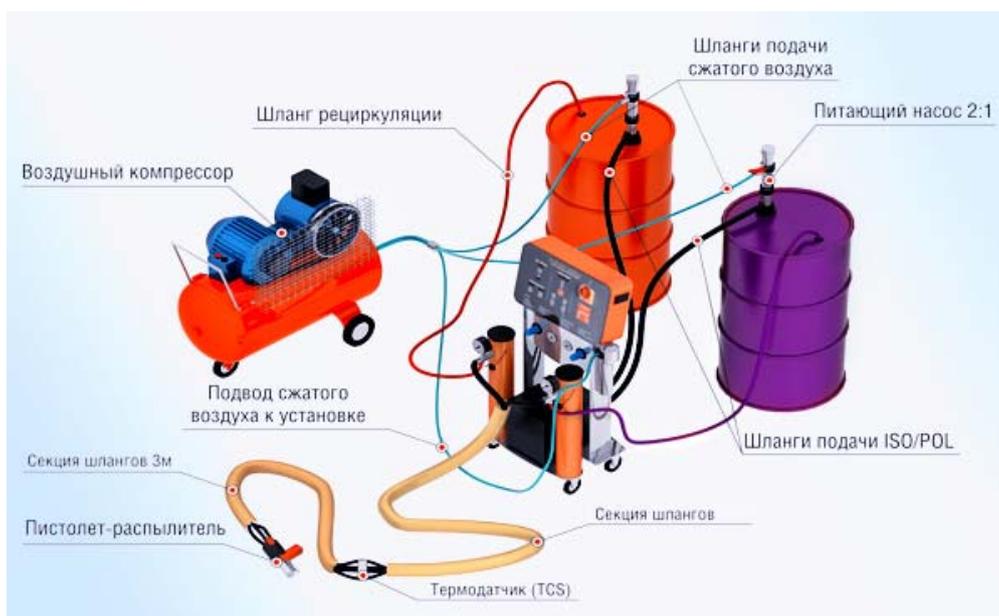


Рисунок 1 – Схема подключения оборудования для нанесения поликарбамидных эластомеров (полимочевины)

Необходимым условием получения качественного поликарбамидного покрытия является обеспечение хорошего смешения компонентов полимочевины. А в виду быстрой реакции отверждения, происходит смешение должно за очень короткий промежуток времени. Современные установки эффективно справляются с почти мгновенным смешиванием исходных компонентов, за счет взаимного соударения их потоков, путем подачи исходных составляющих под большим давлением (прядка 150-200 атмосфер), а также их предварительного нагрева (около 80°C), для достижения требуемой вязкости.

Еще одним немаловажным преимуществом данного типа гидроизоляции является высокая скорость технологического процесса. За одну рабочую смену можно покрыть порядка 1000 кв. м. поверхности, а в совокупности с быстрой реакцией отверждения позволяет значительно сократить сроки сдачи объекта.

Качество защиты полимочевинными покрытиями во многом зависит от качества предварительной обработки поверхности нанесения. Она должна быть отчищена, избавлена от сколов и неровностей. В случае защиты поверхности бетона, ее влажность не должна превышать 4%. В противном случае обязательным является использование грунтовок, которая химически связывает избыточную влагу.

Данный вид гидроизоляции имеет и другие недостатки. Один из самых значительных является стоимость компонентов и оборудования, необходимого для качественного производства гидроизоляционных работ.

## Литература:

1. Оборудование для нанесения полимочевины – 2012. – URL: <http://propolyurea.ru/faq/272.html>
2. Гидроизоляция полимочевиной – 2017. – URL: <http://kmapolimer.ru/gidroizolyatsiya-besshovnoe-napyilenie/gidroizolyatsiya-polimochevinoj>
3. Использование полимочевины при гидроизоляции тоннелей, паркингов и других подземных сооружений – 2015 – URL: <http://www.pm21.ru/primenenie-polimochevini/101-ispolzovanie-polimochevini-elastomerov-pri-gidroizolacii-tonelei>

## ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

*Арийчук Денис Владимирович, студент 4-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Ляхевич Г.Д., д-р техн. наук, профессор)*

Прочность различных сооружений обеспечивается применением на них гидроизоляции, исполняющей различные способы и материалы учитывая назначения и классификации конструкции. Гидроизоляция употребляется для защиты бетона и арматуры от коррозии, наружные уровни и стыки труб защищаются гидроизоляцией. Гидроизоляция должна быть морозостойкой, теплостойкой, биостойкой, химическистойкой, а также эластичной и устойчивой при продолжительном воздействии воды или давлении грунта, деформации бетона.

Водопропускные трубы являются искусственными сооружениями, предназначенными для пропуска под дорожной насыпью небольших водостоков, функционирующие постоянно или периодически.

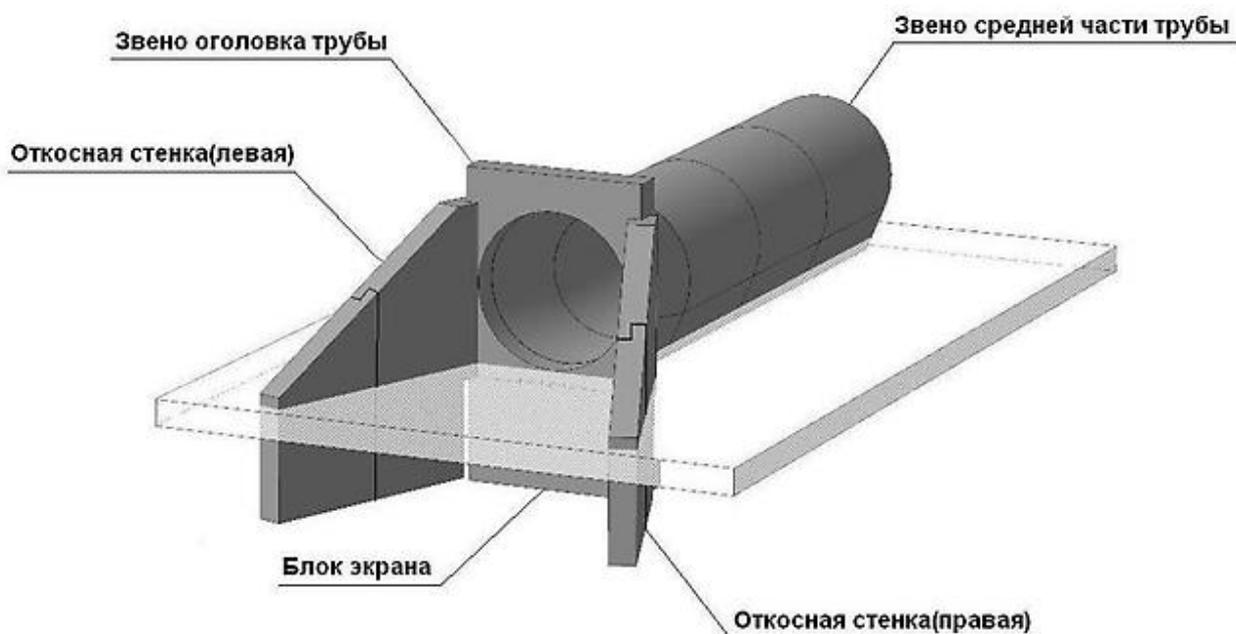


Рисунок 1 – Схема водопропускной трубы

Главный образец изоляции железобетонных и бетонных труб на сегодня совершается с помощью битумной мастики. Покрывание делается неармированные (обмазочные) и армированные (оклеенные). Обмазочная гидроизоляция создается в два слоя битумной мастики, имеющие толщину 1,5-3 мм каждый по грунтовому слою. Гидроизоляция с армированием состоит из материальных слоев между трехслойной битумной мастикой по грунтовочному слою. Поверхности элементов железобетонных труб и их элементов (звенья,

плиты перекрытий, насадки и другие) обычно защищаются оклеенной изоляцией.

Последовательность сознания гидроизоляции:

- наружная подготовка;
- гидроизоляция;
- устройство защитных слоев.



Рисунок 2 – Пример нанесения битумной мастики

При наружной подготовке конструкции требуется очищение от грязи, просушка, грубо говоря, нужно подготовить конструкцию к нанесению битумной мастики.

Далее идет нанесение битумного лака на изолируемые поверхности конструкции, который выступает в роли грунтовки, для того, чтобы заполнить мелкие поры и трещины на поверхности. Нанесение битумного лака служит еще и для сцепления битумной мастики и бетонной поверхности. Лак лучше наносить с помощью распыления с использованием различных установок. Далее после просушки грунтовки слоями наносится горячая мастика толщиной 1,5-3 мм, притом последующий слой наносится после того, как высохнет предыдущий слой. Для того, чтобы повысить качество работы и трудозатраты используются различные механизированные установки.

Заключительным этапом при гидроизоляции является нанесение защитного слоя. Защитный слой необходим для того, чтобы гидроизоляция не была подвергнута механическим повреждениям при засыпке. Таким образом это дает многолетнюю эксплуатацию и нормальную работу водопропускных труб.

### Литература:

1. Все о трубах в строительстве –2015г. – URL: <http://experttrub.ru/vodoprovodnye/tehnologija-ustrojstva.html>
2. Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах – 2015г. – URL: [https://znaytovar.ru/gost/2/VSN\\_3281\\_Instrukciya\\_po\\_ustroj.html](https://znaytovar.ru/gost/2/VSN_3281_Instrukciya_po_ustroj.html)
3. Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах – 2014г. –URL: <http://aquagroup.ru/normdocs/2129>

## ПРОДАЖА ТОННЕЛЬНО-РАСТОЧНОЙ МАШИНЫ HERRENKNECHT S-424

*Корбут Евгений Александрович, студент 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

ООО «Mtkvati Hesi» - проект грузинской гидроэлектростанции, который расположен в муниципалитете Ахалцихе региона Самцхе-Джавахети, на реке Mtkvari. Mtkvati Hesi - это портфолио компании Грузинского совместного инвестиционного фонда. Общая инвестиционная стоимость проекта составляет 131 млн. Долл. США, и его целью является разработка гидроэлектростанции общей установленной мощностью 53 МВт и ежегодной выработки энергии в 251,5 ГВтч. Общая мощность, генерируемая ГТЭС Мтквари, будет использоваться внутри страны.



Рисунок 1 – Туннельно-расточная машина Herrenknecht S-424

В период с ноября по декабрь 2017 года «Mtkvati» завершит строительство своего 9-километрового туннеля, и по вышеуказанной причине будет проводиться продажа используемого туннельно-расточной машины Herrenknecht S-424(Рис. 1) диаметром 6 метров.

6 мая 2014 года GCF(Грузинский совместный инвестиционный фонд) приобрёл 100% акций проекта Mktvari

Ряд международных консультантов по строительству провели экспертизу для проекта. Техничко-экономическое обоснование было проведено Verkis, одним из ведущих инженерных консультантов Исландии, а детальный проект проводил УкрГидроПроект, крупнейшая в Украине инжиниринговая компания в области гидроэнергетического строительства.

#### Литература:

1. New GCF – URL: <http://www.gcfund.ge/news/97>
2. GEORGIAN CO-INVESTMENT – URL: <http://gcfund.ge/en/energyandinfrastructure/5/>
3. Tunnelbuilder promoting the world's tunneling industry to a qualified audienc – URL: <http://tunnelbuilder.com/News/Sale-of-Herrenknecht-Tunnel-Boring-Machine-S-424.aspx>

## ЗАПАДНЫЙ КАНАЛИЗАЦИОННЫЙ ТОННЕЛЬ

*Гайданович Виталий Витальевич, студент 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Robbins Crossover (XRE) TBM был выбран для того, чтобы проложить тоннель длиной 5,8 км в рамках усилия контроля по управлению сточными водами в Мехико. Машина диаметром 8,7 м (Рис. 1) включает в себя функции, как одиночного щита, так и EPB, чтобы «пересечь» совершенно разные типы грунта. После завершения строительства прекратится затопление в городских районах, и сточные воды будут направлены на первую очистную станцию района, что скажется на жизни 2,1 миллиона человек.



Рисунок 1 – Robbins Crossover и его команда

Путь тоннеля проходит через гору высотой до 170 м и через зоны разлома. Большая часть тоннеля состоит из андезитовой породы с полосами туфа и более мягкого материала в зонах разлома, а также участка длиной 874 м в мягком грунте.

Robbins XRE TBM обладает такими компонентами, как конвертируемая режущая головка, съемным ленточным конвейером и винтовым конвейером, редукторами для увеличения крутящего момента при прохождении щита через сложные грунты. Крутящий момент является одним из способов, при котором щитовой комплекс может продвигаться через зоны разлома, не застревая. Для достижения высокого крутящего момента на низкой скорости на многоскоростных коробках передач включают пониженную передачу. С многоступенчатой коробкой передач режущая головка может спокойно

проходить различные типы грунта. Щитовой комплекс может работать в стандартном режиме с низким крутящим моментом и высокой скоростью вращения.

Машина была запущена в августе 2015 года. Первые участки тоннеля были в более мягких грунтах, прежде чем ТВМ начал проходку в более твердой породе. Скорость прохождения тоннеля увеличилась по сравнению с записями проекта, установленными в декабре, и увеличилась снова в январе после того, как машина достигла наилучшего дня 42,8 м и лучшей недели 185,1 м.

В начале 2016 года ТВМ проходила через скальную породу шириной 30м. Разработка тоннеля через скальную породу была медленной. Скорость прохождения поднялась в более компетентной андезитовой скальной породе. После промежуточного перерыва в марте 2016 года с последующим осмотром и техническим обслуживанием, ТВМ продолжил.

К июню 2016 года ТВМ добился двух национальных рекордов для продвижения ТБМ - один для разработки грунта 57 м за один день, а другой для проходки тоннеля 702,2 м за один месяц.

Осенью 2016 года, ТВМ столкнулось с естественной пещерой. Объем пещеры был приблизительно 90 кубических метров, включая около 57 кубических метров неустойчивой породы. ТВМ был остановлен, и были приняты немедленные меры для заполнения пещеры.

К концу октября 2016 года ТВМ достиг финальной части, мягкой почвы, а земля имеет консистенцию неконсолидированного грунта. Тем более на поверхности находится жилой район, и это означало, что оседание должно быть сведено к минимуму, и было принято решение преобразовать машину в режим ЕРВ.



Рисунок 2 – Ленты для грунта

Машина была полностью готова к запуску в начале 2017 года (Рис. 2). Щитовой комплекс начал свой последний участок длиной около 18 м, который был уменьшен из-за наклона грунта всего от 12 до 14 м. К марту 2017 года осталось всего около 775 м. Лучшим днем проходки ТВМ в мягкой почве было

19,5 м всего за 12 часов с впечатляющими результатами, несмотря на ограниченные часы работы из-за жилого района. Окончание проходки тоннеля произошло в конце мая 2017 года.

#### Литература:

1. Featured project - URL: <http://www.therobbinscompany.com/projects/tunnel-emisor-poniente-tep-ii/>.
2. Описание тоннеля - URL: <https://www.bnamericas.com/project-profile/es/tunnel-emisor-poniente-ii-tep-ii-tunnel-emisor-poniente-ii-tep-ii>.
3. Supervisa EPN avances de Túnel Emisor Poniente II - URL: <https://www.razon.com.mx/supervisa-epn-avances-de-tunnel-emisor-poniente-ii/>.

## СПОСОБЫ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА НА ПОЛНОЕ СЕЧЕНИЕ

*Евсей Сергей Николаевич, студент 4-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Существует множество методов разработки грунта при строительстве тоннелей, которые используются сейчас и которые остались в прошлом.

Возвращаясь к истории, вспомним метод поддерживающего ядра, схожий со способом опертого свода, описанный ниже. Метод поддерживающего ядра впервые был использован в Германии в 1803 году, поэтому его также называют «немецким» способом. Суть метода заключается в формировании согласно контуру тоннеля прорези, в которой выполняется возведение стенок и арки. После набора бетоном необходимых показателей прочности, грунт в центральной части тоннеля удаляется. Во время формирования контура забоя, центральную часть породы служит опорой для рапорок деревянного крепежа. Перед разработкой забоя делают 3 штольни: 2 боковые у подошвы тоннеля и одну в шельге свода (верхней точке арки). Штольни проделываются на всю длину кольца с некоторым запасом. Формирование забоя начинается с крыши боковых штолен симметрично снизу вверх с примыканием к калотте, раскрываемой одновременно (Рис. 1). Проходка сопровождается установкой деревянной проставки, самой простой и эффективной по конструкции. На заключительном этапе, после создания забоя, прокладка проводится в направлении от подножия тоннеля к замку арки. Используют простейшую по конструкции деревянную опалубку. После получения бетоном необходимой прочности начинается разработка центральной опорной части. Временные крепежные отверстия демонтируются.

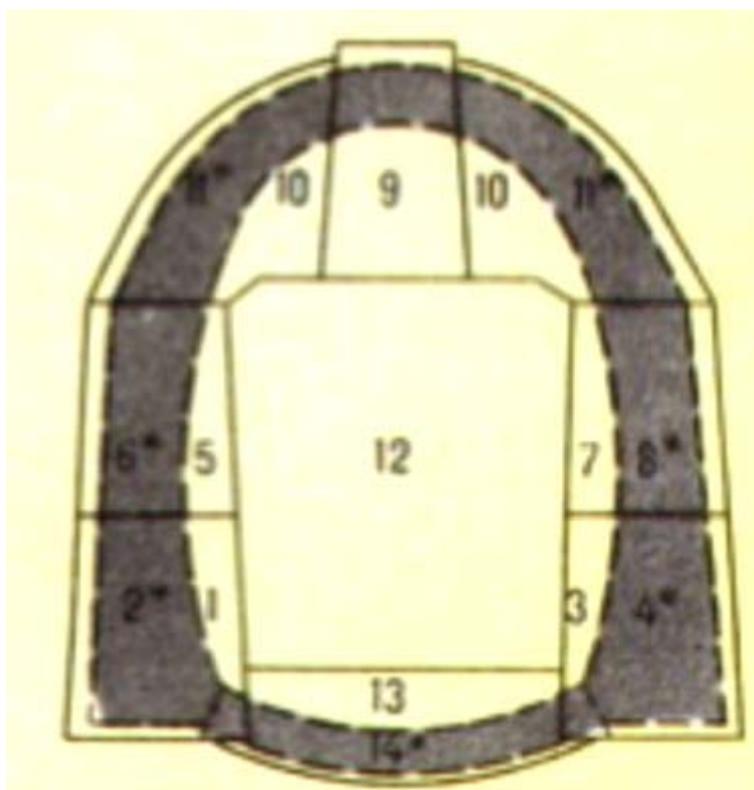


Рисунок 1 – Раскрытие сечения тоннеля способом опорного ядра

К следующему методу относят способ опертого свода, впервые примененный в Бельгии 1828 года при строительстве тоннеля на мелководных почвах, его также называют «бельгийским». Суть этого способа в том, что всю трассу делят на некоторые участки длиной в 6-7 м. После чего, в пределах этого кольца, ведётся раскрытие грунта в последовательности, показанной на рисунке ниже (Рис. 2), далее возводится постоянная обделка, и все работы переносятся на следующее кольцо. Начинаются работы с разработки направляющей штольни, далее подготавливают калотту, где возводят бетонный свод, который пятами опирается на породы в средней части. От производимых операций и пошло название способа (Рис. 3).

Этот способ считается очень трудозатратным, есть вероятность неравномерной осадки свода. Темпы и материалоемкость также отрицательная его сторона, однако способ считается очень безопасным и надёжным, возводить свод можно практически с самого начала забоя, поэтому он может быть выбран при строительстве коротких тоннелей с малым коэффициентом крепости.

Совсем ещё недавно новоавстрийский метод считался высокоинновационным. Скорость строительства тоннелей как в стабильных, так и в низкопрочных породах высока (от 3,0 – 7,0 м/сут), стоимость строительства сравнительно других методов меньше на 30-40%. Способ очень экономичен, имеет низкое потребление материала. Метод используется не только в благоприятных, но и в сложных геологических условиях, в неустойчивых, подверженных взбиванию, осадкам. Этот метод широко используется для разработки городских тоннелей неглубокого заложения без осадки.

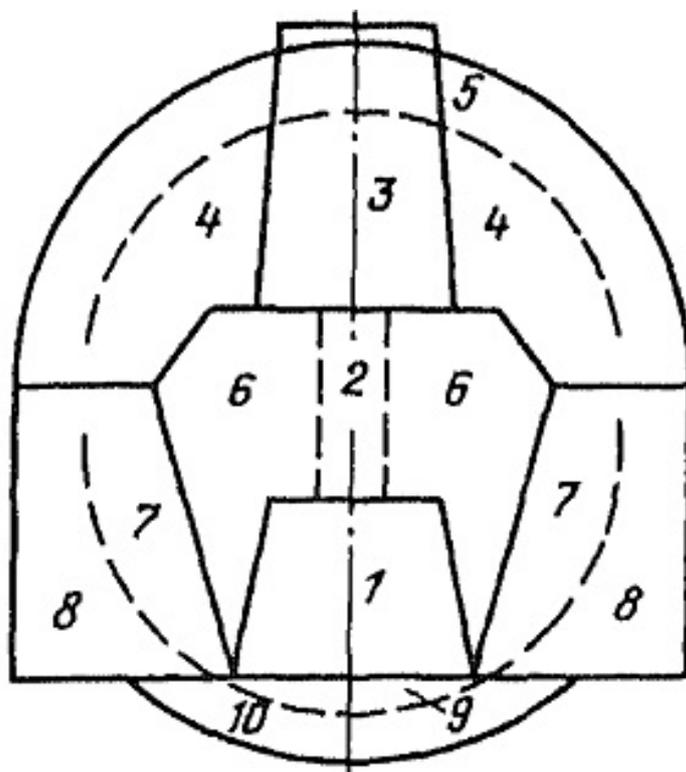


Рисунок 2 – Раскрытие сечения тоннеля способом опертого свода

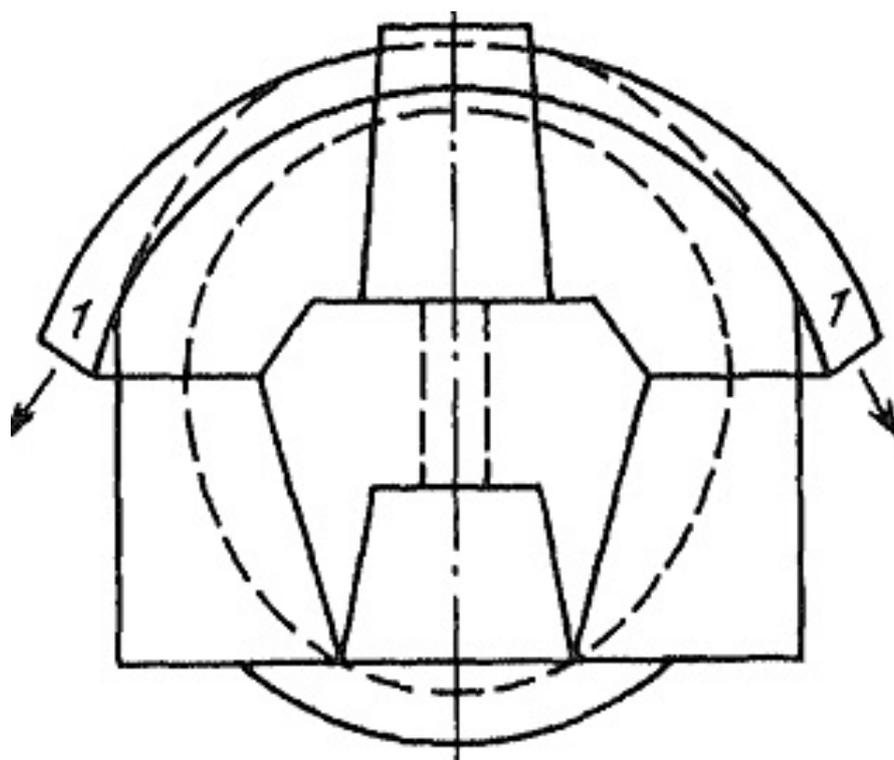


Рисунок 3 – Схема опирания свода на породный массив

Основным отличием новоавстрийского метода является максимальное использование несущей способности окружающей массы горных пород и ее вовлечение в работу в качестве защитной структуры, защищающей тоннель от разрушения. Для этой цели пограничный слой горной породы фиксируется временной опорой из анкеров, арочной крепи или набрызгбетона. Эта поддержка

преобразует контурный слой в несущую конструкцию, передавая значительную часть нагрузки на окружающий горный массив. Остальная часть нагрузки переносится на постоянную обделку, расход материала которой, стоит отметить, намного ниже, чем при других методах.

Новоавстрийский метод разрешает перемещения контура тоннеля, избавляя от напряжений горный массив. Когда же временная крепь исчерпывает свои ресурсы, возводится постоянная обделка. В результате подкладка работает при нагрузке значительно меньше, чем если бы она была установлена до того, как массив был выгружен.

Необходимым условием применения метода является измерение на протяжении строительства тоннеля деформаций, перемещений и напряжений в обделке и в горной породе. Это позволяет постоянно контролировать состояние горного массива и строить временное сооружение, при необходимости.

Итак, кратко основные положения нового австрийского метода сводятся к следующему:

1. Главным несущим элементом является горная порода, смещения которой вокруг выработки ограничены некоторыми значениями, определяемыми пропускной способностью временной крепи;

2. Внешняя оболочка (из породы и анкеров), усиленная набрызгбетоном, подразумевает собой трубу большого диаметра, закрытие которой должно обеспечиваться в течение короткого периода времени, определяемого экспериментально. Наиболее благоприятные формы поперечного сечения тоннеля круглые, овальные или другие, но с изогнутыми стенками и поддоном, поскольку с прямоугольным поперечным сечением в углах скапливаются большие напряжения;

3. Важной особенностью новоавстрийского метода является требование по максимально быстрому закрытию обделки по всему контуру тоннеля путем установки дополнительно к хранилищу и стенам перевернутой арки тоннеля. Момент закрытия обратного свода определяется по результатам измерений смещения контуров и напряжений в облицовке. Как правило, закрытие выполняется не позднее, чем через 30 дней, но возможны случаи, когда необходимость возникает уже через 1-2 смены. Реверсивная арка возводится из набрызгбетона или омоноличиванием;

4. Процесс стабилизации движений горных пород вокруг тоннеля осуществляется путем инкрементного укрепления нагружаемых оболочек (горных пород и временных опор) из-за увеличения количества анкеров, их длины, поперечного сечения арки, дополнительного слоя набрызгбетона, доармирования за счёт добавления фибры и др. Упрочнение осуществляется под контролем движения контура тоннеля и напряжений в обделке.

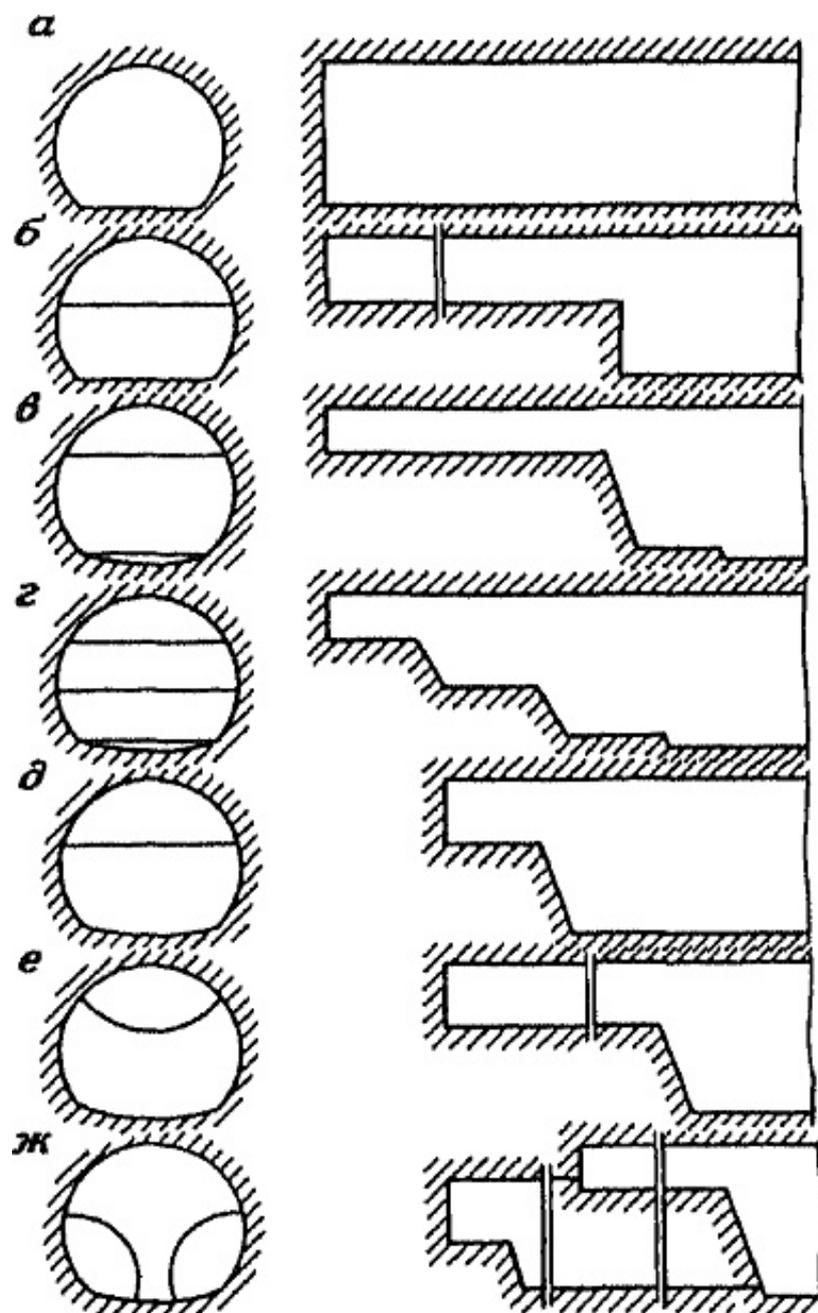


Рисунок 4 – Наиболее распространенные схемы раскрытия сечения тоннеля

Для проведения проходческих операций забой делится на несколько секций, количество которых зависит в основном от устойчивости породы (Рис. 4). Работы по выработке забоя производятся в основном буровзрывным способом, либо проходческими комбайнами. Также можно разрабатывать вручную с помощью механических инструментов и рабочих. Далее возводится временная крепь из набрызгбетона, анкеров или же стальных (чугунных) арок. Постепенно, по длине тоннеля, все участки расширяются, а забой вверху калотты опережает ее нижнюю часть (величина рознится от 1-2 пролётов тоннеля до нескольких десятков метров). При транспортировке, для удобства, в некоторых случаях могут использоваться наклонные рампы.

В широких тоннелях, построенных на слабых грунтах, открытие секции начинается с боковых валов, затем развивается калотта и, наконец, ядро. Площадь поперечного сечения боковых штолен считается равной 20-25 м<sup>2</sup>, крепь – это набрызгбетон по всей длине арматурной сетки, после устанавливают анкера. Штольни опережают развитие калотты тоннеля (Рис. 5). Постоянная бетонная обделка устанавливается со значительным отставанием от «лица» после стабилизации движения контура горной породы. Обычно это происходит через 1-3 месяца после закрытия обратной дуги. Толщина этой подкладки меньше толщины прокладки, рассчитанной на полную нагрузку, и составляет не более 30 см. Таким образом строились станции Венского метрополитена (Рис. 6,8).

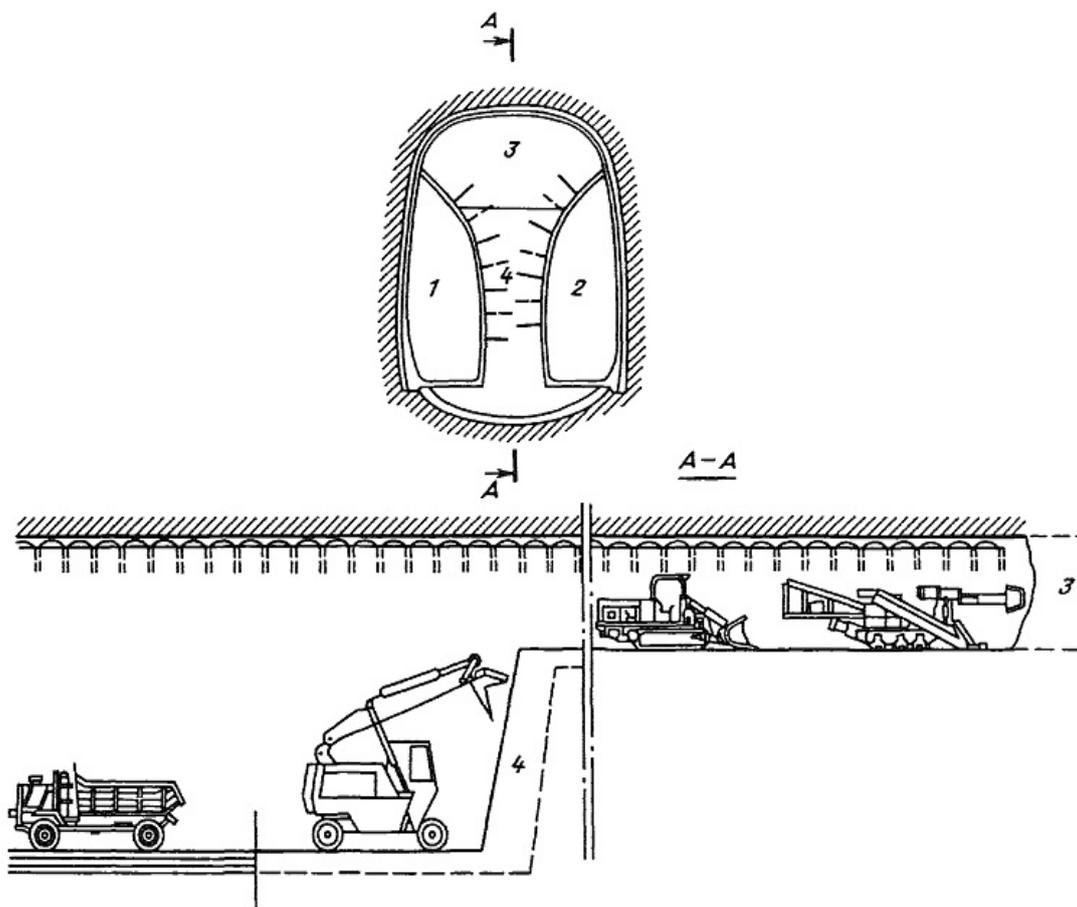


Рисунок 5 - Вариант раскрытия забоя с боковыми штольнями

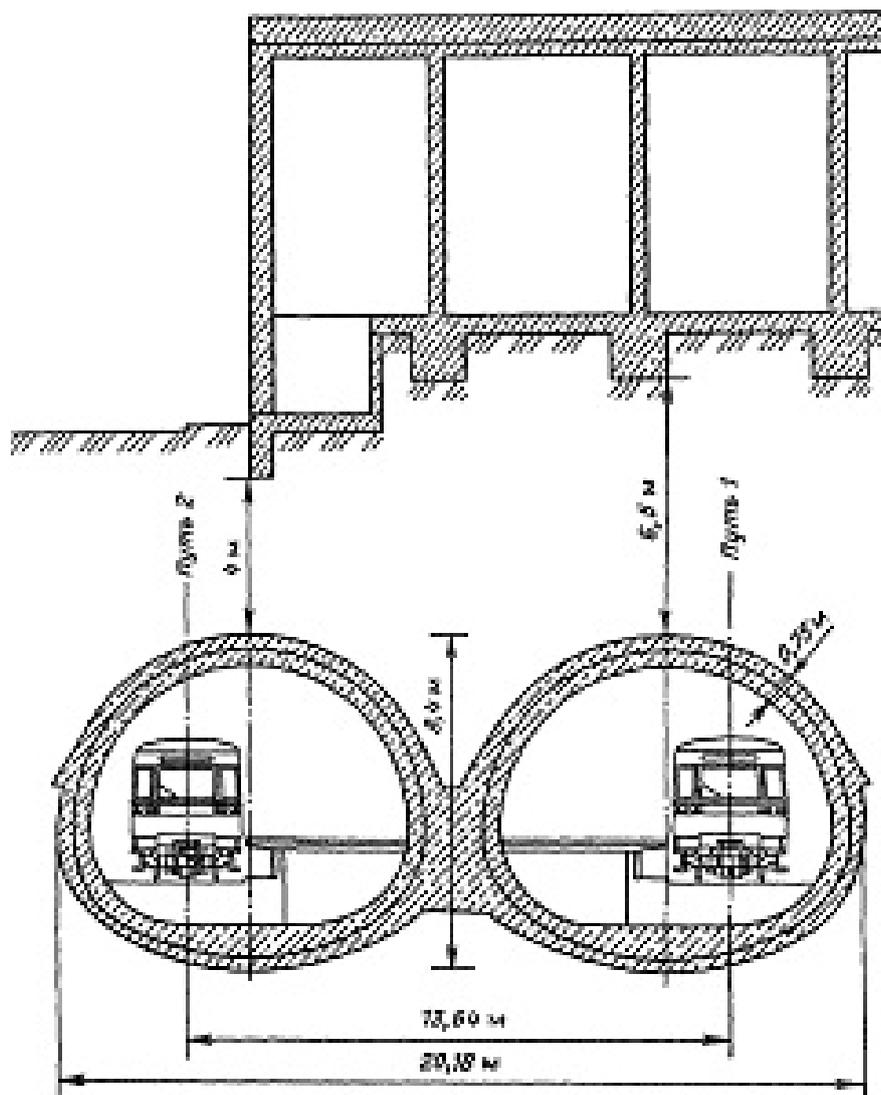


Рисунок 6 – Сечение станций тоннеля Венского метрополитена

Для установления систематического контроля по длине тоннеля через каждые 100-150 м монтируются специальные измерительные станции. В вертикальном направлении по оси тоннеля просверливаются отверстия для скважин, в них устанавливается измерительное оборудование и приборы для считывания (Рис.7).

Измерения проводятся в заданном режиме, и полученные данные сравниваются с расчетными данными, вычисленными путём геологической разведки, включая проведение экспериментальных поисковых галерей.

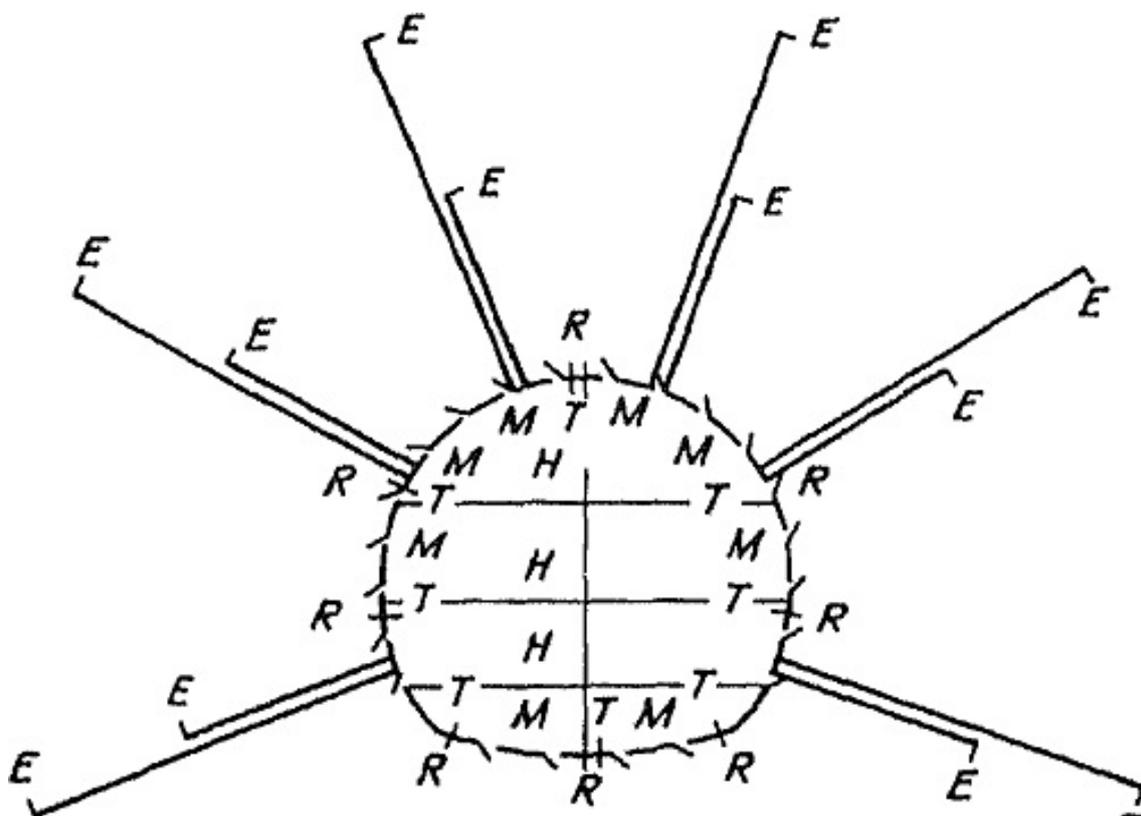


Рисунок 7 – Измерительный створ тоннеля

Новоавстрийский метод больше всего нуждается в конкретно подходящих горно-геологических условиях: глины, песчаные и глинистые сланцы, пластиковые мергели и т. д. Породы должны обладать свойствами затухающей ползучести. Односторонние нагрузки на обделку могут вызвать перелом тонкого покрытия, следовательно их необходимо исключить. Поток воды из горных пород должен быть минимальным. Однако этот метод успешно используется в скальных, нарушенных и трещинных породах с использованием буро-взрывных работ.

В качестве типового примера разработки новоавстрийским методом с использованием BVR является железнодорожный тоннель Einmalberg (Германия).

Тоннель «Einmalberg» 2-х путный с длиной в 1127 м, площадь поперечного сечения 105 - 117 м<sup>2</sup> (в зависимости от характеристик породы). Тоннель расположен в пестром песчанике с горизонтальной стратификацией. Слои толщиной от нескольких сантиметров до 2-х м пересекают многочисленные крутопадающими трещинами. Слои густой глины, включенные между слоями пестрого песчаника, имеют толщину от нескольких сантиметров до 1 м. В некоторых случаях горизонтальное появление песчаника приводило к неожиданному отслаиванию породы в кровле. Приток воды в тоннеле не превышал 1 л/с.

Первоначальная площадь верхней части выработки тоннеля - 50 м<sup>2</sup>, а затем с отставанием в 80-120 м, развиты выступы с альтернативным расположением одностороннего входа в верхние секции, а на расстоянии в 80 м выполнено

раскрытие обратного свода и его бетонирование. Замыкание произведено на расстоянии около 200 м от забоя.

Бурение скважин производилось 2-мя самоходными гусеничными буровыми установками «Тамрок». Установки, оснащенные гидравлическими бурильщиками на 2-х фидерах с удлинением, также использовались для крепления анкеров. Вывозили породу 3-мя колесными погрузчиками SAT-966 и хранили на расстоянии около 220 м от поверхности, после загружали на самосвалы и доставляли к порталу. Для применения набрызгбетона использовалось полуавтоматическое «Me-nadier GM-90».

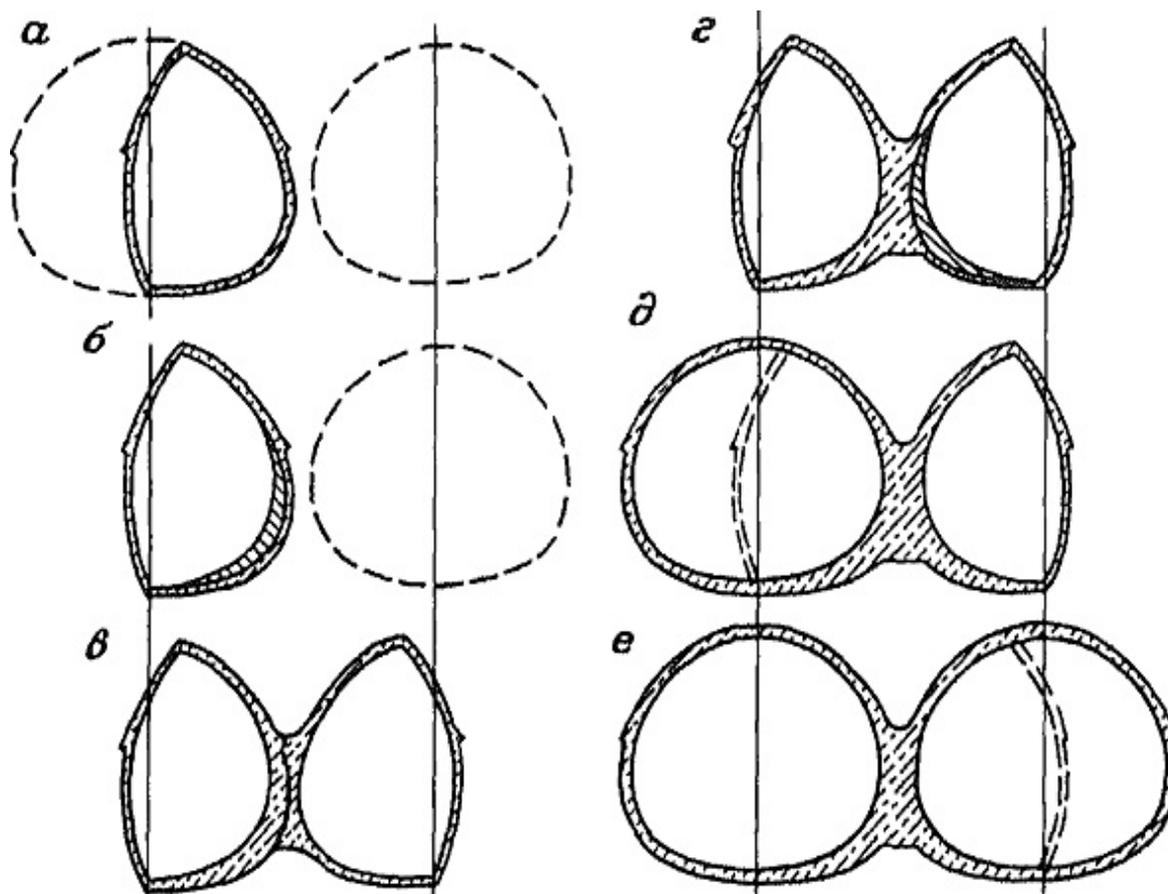


Рисунок 8 – Этапы раскрытия сечения станций тоннеля Венского метрополитена

Параметры и устройство опоры определялись зависимостью от категории горных пород. Покрытие с толщиной 10-30 см использовалось в сочетании с металлической сеткой в несколько слоёв, железобетоном или полимерными анкерами длиной 2-6 м, а в некоторых секциях - арочной опорой из проката. Подкладка бетона имела толщину 30 см. Средняя скорость разработки тоннеля составляет 140 м/месяц.

За последние 200 лет скорость строительства, качество и надежность тоннелей постепенно увеличивалось, и на данный момент мы пришли к этому оптимальному варианту, которым в Сочи, первом городе на постсоветском пространстве, построили несколько тоннелей в предверии Олимпиады 2014 года в Сочи.

Первым фактором, побуждающим использовать этот метод, является возможность разработки забоя на полное сечение в слабых почвах без осадки поверхности, в то же время риски обрушения породы минимальны.

Одной из особенностей этого метода является его подготовка путем горизонтального бурения буровыми установками. С помощью самоходной буровой установки изготавливаются колодцы, в них вставляются трубы из стекловолокна и закачивается цементный раствор. Уже после достижения прочности этого защитного экрана, проводится разработка породы гидромолотом. Производится выбор грунта погрузчиком и вывоз его грузовыми самосвалами. Затем начинается работа над установкой черновой крепи. Стальная арка установлена, затем она укрепляется набрызгбетонной смесью со специальной установки. Следующим этапом работы является гидроизоляция тоннеля (сначала в области «пят» чистовой отделки).

После этого производят монтаж арматурного каркаса, так называемых «пят» (то есть боковые части основания свода чистовой отделки), устанавливается инвентарная опалубка и начинается бетонирование. Бетонирование осуществляется бетононасосами, а раствор доставляется на грузовых "миксерах" с заводов. При бетонировании элементов чистовой отделки используется бетон марки В30. После того как бетон приобретет достаточную прочность, опалубка будет демонтирована. Далее устанавливают рельсы под монтажные тележки и передвижную инвентарную опалубку. Затем начинается вторая и третья стадии гидроизоляции - гидроизоляция стен, арка нижней и верхней частей.

После того как гидроизоляционное устройство в нижней части хранилища будет завершено, начинается монтаж арматурного каркаса. Захватка не превышает 12 метров.

Работа не прерывается и производится параллельно с разработкой лба. После устройства арматурного каркаса начинается бетонирование. Одновременно вяжут армокаркас в верхней части свода, куда уже перемещена опалубка. Подача бетона осуществляется через бетононасос, шланги которого стыкуются со специальными отверстиями в опалубке. После того, как бетон набирает необходимую прочность, инвентарная опалубка демонтируется и передвигается дальше. Затем весь цикл работ повторяется. Затем повторяется весь цикл работы.

За демонтажом инвентарной опалубки следуют работы по устранению поверхностных неровностей с другой монтажной тележки.

Способ разработки на полное сечение является усовершенствованием предыдущего метода, превосходит его во многих параметрах. И, с целью повышения эффективности в тоннелестроении, совершенствовании прогрессивных технологий и конструкций, вполне логичным будет его использование на проходческих работах повсеместно, в качестве главенствующего способа.

## Литература:

1. Власов С.Н., Маковский Л.В., Меркин В.Е. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. — М.: ТИМР, 1997.
2. Ссылка на on-line-журнал Секретарь-референт. 2012: [Электронный ресурс]. URL: <http://как-ето-sdelano.livejournal.com/48881.html> (Дата обращения: 12.12.2017).
3. Вяхирев Р.И., Макаров А.А. Стратегия развития газовой промышленности России. — М.: Энергоиздат, 1997.
4. Георадары на объектах ОАО «Мосинжстрой» // Подземное пространство мира. — 1999. — № 2-3. — С. 46-49.

## **СРАВНЕНИЕ ТПМК «НАДЕЖДА», «ВИКТОРИЯ» И «ЭЛИЗАБЕТ». ПРОЕКТ СВАРТИСЕН**

*Ольховка Вадим Валерьевич, студент 5-го курса*

*кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Гидроэлектрический проект Свартисен:

Рассмотрим данный проект как пример механизированной проходки, перед тем как приступить непосредственно к сравнению. Общая информация о проекте: примерно 99 % от всего объема электроэнергии в Норвегии производится на гидроэлектростанциях, что делает эту область энергетики ключевой частью инфраструктуры страны. Использование Норвегией гидроэнергетики началось еще в 1877 году, когда был завершен первый гидротехнический проект. К 1990 году в Норвегии было построено более 170 подземных гидротехнических сооружений, включавших в себя около 3500 км тоннелей по всей стране. Владелец-подрядчик Statkraft строит и эксплуатирует все центральные государственные гидроэлектростанции. Эти гидроэлектростанции, в свою очередь, производят 28% электроэнергии от общего объема ежегодной гидроэнергетики в Норвегии. Проект Свартисен, который также принадлежит компании Statkraft, состоит из 46 шахт, которые соединены с 40-километровыми тоннелями диаметром от 3,5 м до 5 м. Эти тоннели предназначены для сбора и транспортировки воды из ледниковых образований в горах Траллбергейт. Собранная вода транспортируется до водохранилища Сторгломватнет. Оттуда, через тоннель длиной 7 км, вода подается к силовой установке в Килвике. Установка располагается на уровне моря. Помимо этого, имеются еще два водосточных тоннеля. Они предназначены для сбора остатков воды из входов в основные тоннели. Эти тоннели располагаются на склоне холма. В 1988 году компания Statkraft заключила контракт с компанией Robbins на поставку пяти проходческих машин. Эти машины должны были проложить 57 км тоннеля для нового проекта Свартисен. Этот объем составил 62 процента тоннелей от общего числа необходимых сооружений для проекта. Две из поставленных машин оказались ветераны ТВМ, 8,5 м и 3,5 м в диаметре. Объем работ выполненный этими машинами составил 7,3 км и 15,4 км тоннеля. Также для проекта были поставлены три новых ТВВ Robbins High Performance (HP). Новые машины были способны выдерживать высокие нагрузки: до 312 кН на 48 – сантиметровый резак. Также к их преимуществам относятся более высокие проходческие показатели.



Рисунок 1 – TBM Robbins High Performance

Геология в районах строительства состояла из: слюдяных сланцев и слюдяных гнейсов (80%); гранит и гранитный гнейс (13%); известняк и мрамор (7%). Слои известняка имели диапазон от нескольких сантиметров до более чем ста метров. Прочность на сжатие геологических формаций составляла диапазон от 100 МПа до более чем 300 МПа. Кроме этого, из-за неравномерных топографических условий нагрузки на массив горных пород были весьма разнообразны на разных участках проходки. Но в целом, в более чем 85 процентах случаев твердые породы сохраняли стабильные условия.

Все три новые машины HP были оснащены дисковыми резаками диаметром 48.3 см, разработанными компанией Robbins для проекта Свартисен. Помимо этого, машины были выполнены более прочными, чем стандартные ТВМ, и имели триосиальные основные подшипники. Это позволяло выдерживать более высокие нагрузки. Две машины диаметром 4,3 м весили по 262 тонны каждая. Они снабжались режущими головками мощностью 2,345 кВт, позволявшие каждой из машин достигать 9 048 кН тяги. Для одной из машин был поставлен комплект для преобразования. Этот комплект позволял машине увеличить ее диаметр до 5 м, за счет добавления шести резаков. Общая масса машины с комплектом составляла 290 тонн. Третья машина HP массой 180 тонн имела диаметр 3,5 м. Мощность режущих головок данной машины составила 1340 кВт на каждую головку, что давало ей 7 800 кН тяги. В дополнение к более высоким уровням проникновения в грунт и повышенной скорости проходки, новое поколение ТВМ позволило продуктивно использовать экипаж. Каждая машина была объединена с резервной системой дистанционного управления и телевизионными камерами. Экипаж машин состоял из четырех человек: один человек для управления машиной и загрузки железнодорожных вагонов, оператор локомотива, электрик и механик, чтобы обслуживать рельса, кабеля, вентиляционную систему, гидравлические системы и т.д.

Все три новые машины показали очень впечатляющих результаты по скорости проходки. Первая машина диаметром 4,3м проложила 6021м тоннеля за время с сентября 1989 года и по октябрь 1990 года. Ее скорость при этом в среднем составила 3,8 м/час. В режиме с использованием комплекта для увеличения диаметра до 5 м скорость в среднем составила 2,74 м/час. Вторая машина диаметром 4,3 м прошла 11861 м тоннеля за время с сентября 1989 года по апрель 1991 года. Ее скорость составила в среднем 3,5 м/час. Третья машина начала работать в июле 1990 года. В мае 1991 года, пройдя около 4700 м, в забое начали проявляться заводненные участки грунта. Этот фактор зачительно замедлял работу около 4 месяцев. Однако, несмотря на плохие условия, машина по-прежнему имела среднюю скорость около 3,7 м/час.



Рисунок 2 – забой щита

Сравнение ТПК «Надежда», «Виктория», «Элизабет»:  
**ТПК «Надежда» (Московский метрополитен)**  
Диаметр – 10,6 м. Длина – 70 м. Масса – 1600 т.



Рисунок 3 – ТПК «Надежда»

**ТПК «Виктория» (Московский метрополитен)**  
Диаметр – 10,6 м. Длина – 95 м. Масса – 1800 т.

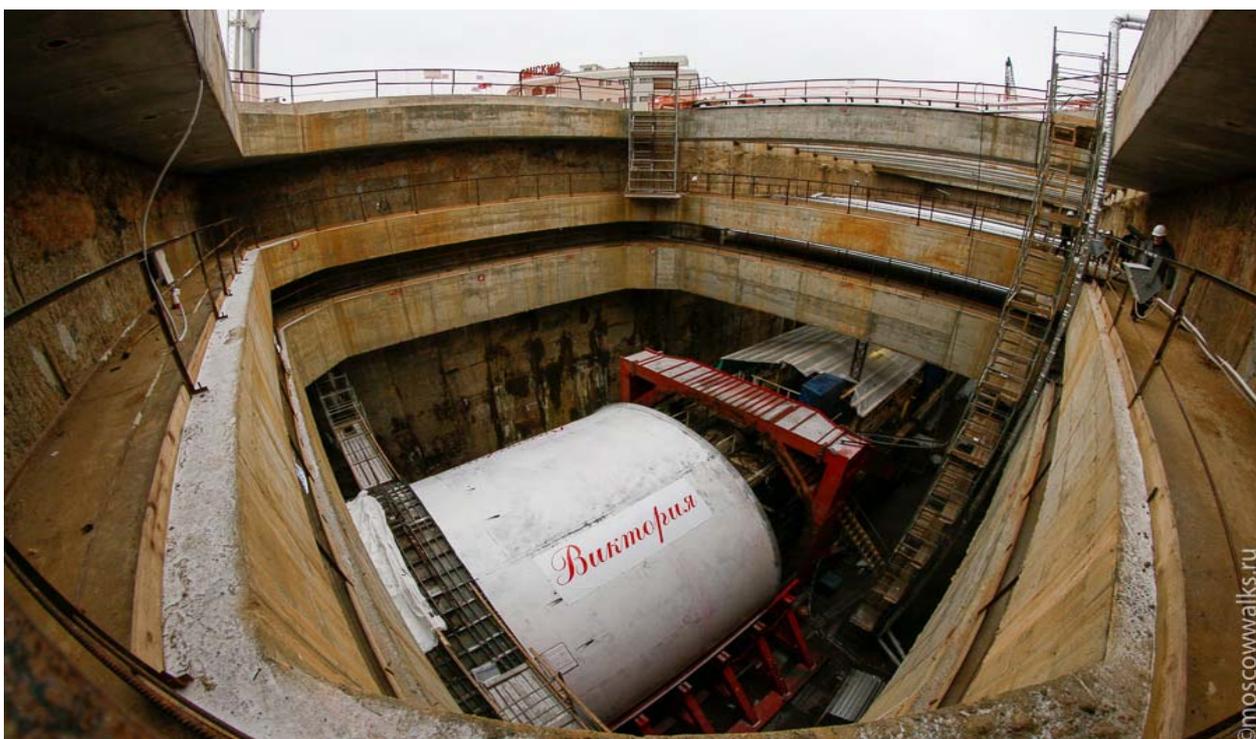


Рисунок 4 – ТПК «Виктория»

## **ТПК «Элизабет» (лондонского железнодорожного проекта Crossrail)**

Диаметр – 7,1 м. Длина – 150 м. Масса – 1000 т.



Рисунок 5 – ТПК «Элизабет»

Представленные щиты имеют конструкцию проходческих щитовых комплексов с грунтопригрузом. Что делает их одинаково эффективными на мягких, связных грунтах. Также данная конструкция позволяет щитам быть довольно универсальными для других грунтов за счет кондиционирования грунта.

Кондиционирования грунта - изменение пластичности, текстуры и водопроницаемости почвы путем введения различных материалов кондиционирования, таких как вода, бетонит или пена. Из всего перечисленного следует что представленные щиты при идентичных геологических условиях будут показывать приблизительно одинаковую эффективность.

Экономическая выгода. Цена: «Надежда» – 23 млн. евро, «Виктория» – 20 млн. евро, «Элизабет» – 12 млн. евро. Но стоит также учитывать, что ТПК «Надежда» и «Виктория» имеют диаметр более 10 метров, что позволяет прокладывать двухпутный тоннель. Что, в свою очередь, предоставляет ряд экономических выгод. К примеру, уменьшение количества работников. Тогда как «Элизабет» способна прокладывать лишь однопутный тоннель. И это приводит нас к выводу, что ТПК «Элизабет» в экономическом плане проигрывает своим оппонентам.

Что же касается скорости проходки и объемы вынимаемого грунта: «Надежда»  $\approx$  15м/сут ; 5300 М<sup>3</sup>/сут. , «Виктория»  $\approx$  12м/сут ; 4200 М<sup>3</sup>/сут. «Элизабет»  $\approx$  24м/сут ; 3800 М<sup>3</sup>/сут. Но стоит учитывать тот факт, что «Элизабет» прокладывает однопутный тоннель, а «Надежда» и «Виктория» двухпутный. Что при одинаковых параметрах поставленных задач практически уравнивает скорость проходки.

Перед тем как сделать выводы приведем все данные в таблицу:

Таблица 1 – характеристики представленных ТПМК

Характеристики	Надежда	Виктория	Элизабет
Диаметр	10,6 м	10,6 м	7,1 м
Цена	23 млн. евро	20 млн. евро	12 млн. евро
Скорость проходки	15 м/сут	12 м/сут	24 м/сут
Объем вынимаемого грунта	5300 М <sup>3</sup> /сут	4200 М <sup>3</sup> /сут	3800 М <sup>3</sup> /сут
Длина	70 м	95 м	150 м

Вывод:

При выборе горнопроходческих щитовых комплексов следует в первую очередь учитывать геологические особенности разрабатываемого участка. После чего учесть экономические факторы.

Из сравнения представленных щитов можно сделать вывод: щиты с малым диаметром уступают щитам с большим диаметром в экономическом плане и в производственном.

Литература:

1. Featured project - URL: <http://www.therobbinscompany.com/projects/svartisen-hydroelectric-project/>.
2. Данные о скорости проходки - URL: <http://tass.ru/moskva/3907026>.
3. Данные о ТПМК «Элизабет» - URL: <https://masterok.livejournal.com/2406703.html>.
4. Данные о ТПМК «Виктория» - URL: <http://darkcjc.livejournal.com/408982.html>.
5. Данные о ТПМК «Надежда» - URL: <https://topspb.tv/news/2017/01/19/put-nadezhdy-tonnel-soedinil-begovuyu-i-novokrestovskuyu/>.
6. Данные о стоимости - URL: <http://www.metrostroy.com/>
7. Общие данные о ТПМК - URL: <http://mirmetro.net/>

## ПЛАСТИКОВЫЕ ДОРОГИ В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

*Королёв Владислав Олегович, студент 4-ого курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Голландская компания Volker Wessels работает над проектом пластикового дорожного покрытия. Воплощается концепция дорог из пластиковых отходов. На замену традиционного подхода многоуровневого «пирога» с насыпным или накатанным покрытием, пластиковое шоссе будет отдаленным аналогом «бетонки». Его будут очень быстро собирать на месте из блоков. При этом панели будут не сплошными, а пустыми. В пустотах разместятся кабели, трубопровод, коллекторы и другие элементы инфраструктуры (Рис. 1).



Рисунок 1 – Пластиковая дорога

Пластиковые дороги компании Volker Wessels обладают рядом преимуществ: во-первых, гарантируется более высокое качество покрытия, кроме того, поврежденная панель может легко и быстро извлекаться, а вместо нее устанавливаться новая, что сократит временные и денежные затраты. Во-вторых, при повреждении труб или их плановом осмотре, нет необходимости в проведении земляных работ, что так же сократит средства и время. В-третьих, по

истечении срока своей эксплуатации, панель можно переработать и снова использовать материал для создания новой панели. В-четвертых при проведении экспериментов было установлено, что пластиковые дороги обладают широким температурным диапазоном (от  $-40$  до  $+80$  °C), при котором их можно применять в дорожном и тоннелестроении. А так же данная технология позволит применять систему подогрева дороги, что в северных регионах снизит аварийность при очень низких температурах.

Дорожная разметка будет осуществляться следующим образом: вся необходимая разметка наносится сразу на литые дорожные панели, которые устанавливаются плотно, прилегая друг к другу. Такая дорожная разметка будет держаться гораздо дольше. Так же планируется в будущем наносить такое покрытие, которое будет сообщать участникам дорожного движения о температурных колебаниях, путем изменения цвета дороги.

При испытаниях было установлено, что сцепление шин автомобиля с дорогой из пластика такое же, как и сцепление шин с асфальтобетоном. Конечно же пластик не обладает должной шероховатой поверхностью, в отличие от асфальта. Однако, ученые-технологи, путем постановки ряда экспериментов, смогут прийти к необходимой «шершавости» поверхности.

Не менее важным фактором в тоннелестроении является отвод воды. В конструкции пластмассовых дорожных плит предусмотрены небольшие отверстия, расположенные по всей поверхности дороги. Таким образом удаляются излишки влаги.

Кроме этого важным аспектом в современном мире является экологичность новой технологии. Известен факт, что асфальт выделяет углекислый газ, тем самым вносит вклад в создание парникового эффекта. Пластиковая дорога практически не выделяет углекислый газ.

Первой площадкой для эксперимента станет голландский город Роттердам. Ученые могут дать ответ на много сложных вопросов, включая мощность материала, стойкость к химическим веществам и ультрафиолету, безопасность в дождь, снег, оледенение и т.п.

Пластиковые дороги в тоннелестроении так же является перспективным направлением, поскольку это и экономически выгодно, экологически чище, в пустотах блоков можно разместить вентиляционные системы, коммуникации для освещения тоннелей, можно выводить воду из тоннеля. Так же на поверхность пластиковых дорог можно наносить термочувствительную краску, которая будет нам предоставлять информацию о температурных изменениях в тоннеле.

#### Литература:

1. Гнатов , А.В. Современные дороги и дороги будущего, их виды и перспективы использования / А.В. Гнатов // Вестник ХНАДУ. –2017. – Вып. 76. – С.66-73
2. Дороги из пластика // Материал сайта –2017. – [https://fastmb.ru/autonews/autonews\\_rus/1565-dorogi-iz-plastika.html](https://fastmb.ru/autonews/autonews_rus/1565-dorogi-iz-plastika.html)

## ПРОЕКТ МЕТРО НА ПЛАТФОРМЕ BIM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 5D

*Новик Сергей Викторович, студент 4 курса кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Проект «Кабатас-Месидиека-Махмутби» – это первый проект линии метро в Турции, разработанный на платформе **Building Information Modeling** с использованием технологии 5D – информационной модели, включающей в себя, помимо прочего, стоимость проекта или любой другой исчисляемой характеристики. Расположен тоннель метро на европейской стороне Стамбула, будет иметь общую длину 22,5 км и включать в себя 19 станций (Рис. 1), а также подземный склад депо и различные мастерские, что делает его одним из самых амбициозных проектов в области гражданского строительства в Турции. Все проектные работы выполнялись экспертами BIM в Prota с использованием программного обеспечения Autodesk Revit и Navisworks. 3D-изображения ниже – это скриншоты станций метро, разработанных инженерами Prota на 3D-платформе.

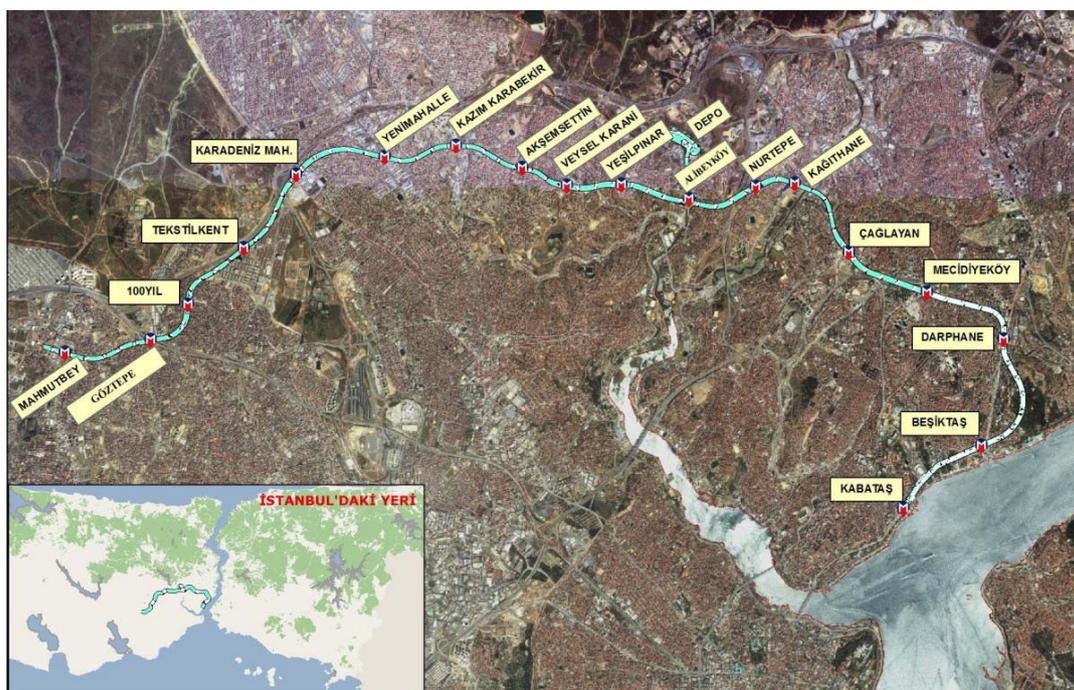


Рисунок 1 – Карта линии метро Кабатас-Месидиека-Махмутби

В рамках проекта **Prota** выполнила следующие услуги:

- Архитектурное проектирование станций, склада и диспетчерского центра; туннелей и конструкций, подготовка проектных руководств для архитектурных работ (Рис. 2,3).
- Структурное проектирование станций, склада депо и диспетчерского центра, туннелей и сооружений, подпорных стен и геотехнических исследований

и отчетности, подготовка руководств по проектированию железобетонных конструкций и изделий из стали (Рис. 4).



Рисунок 2 – Поперечный разрез тоннеля в 3D

- Услуги по проектированию дорожных покрытий и проектированию, включая системы дренажа и скрещивания. Проектирование туннелей NATM и ТВМ.
- Проектирование механической системы, проектирование электромеханической системы, управление шумом и акустическое моделирование, системы пожарной сигнализации, проектирование систем управления и связи, ландшафтный дизайн, отвод дорог и перемещение инфраструктур.
- Услуги по управлению проектами и координации.
- Подготовка сметы расходов, векселей и тендерных документов.

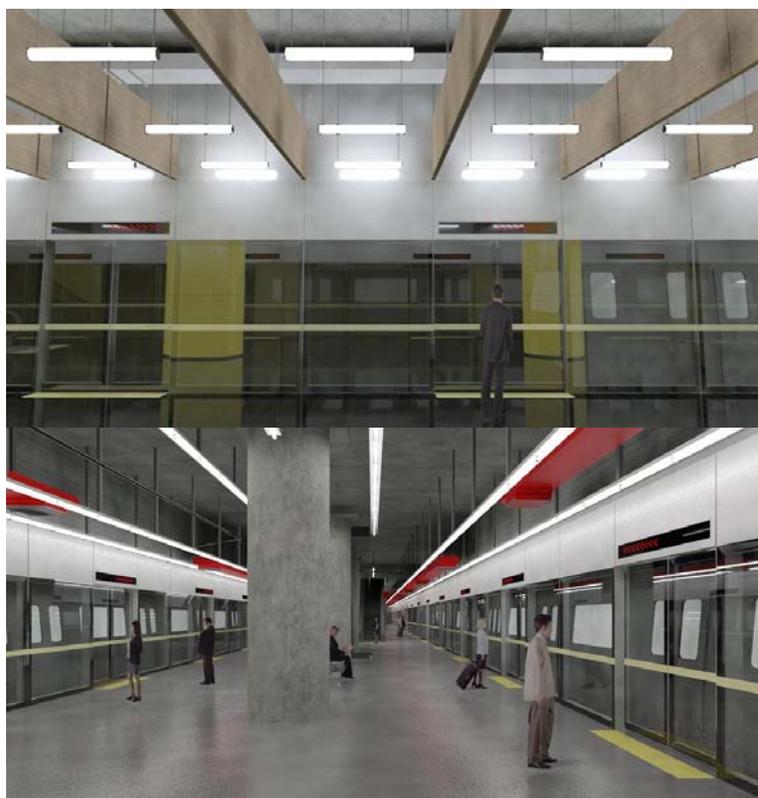


Рисунок 3 – Визуализация станций метро



Рисунок 4 – Визуализация одного из акведуков на линии ж/д

По сравнению с общими архитектурными проектами туннельная инженерия отличается более сложными геологическими условиями, большим количеством конструкций, большим количеством неизвестных факторов и более значительным распределением ресурсов при строительстве.

Существуют различные типы программного обеспечения BIM, доступные на рынке. Одним из широко используемых программных продуктов является Autodesk Revit (Рис. 5). Одно из преимуществ Autodesk Revit - автоматизация, что позволяет сэкономить время и улучшить взаимопонимание заинтересованных сторон. Основным фактором для Autodesk Revit, выбранным в качестве инструмента моделирования в этом проекте, является то, что этот программный комплекс обеспечивает многодисциплинарную интеграцию и настраиваемую автоматизацию, что важно для 5D BIM-процесса. Хотя и возможно включить более 5 измерений информации, можно предположить, что чрезмерная информация может неблагоприятно повлиять на сложность реализации BIM.

Интеграция информации не только повысила эффективность и точность процесса на всех этапах, но и позволила лицам, принимающим решения, владеть более сложной интерпретацией информации, что практически невозможно при использовании обычного 2D CAD-процесса. Виртуализация 5D Building Information Modeling значительно снизит технические барьеры для клиентов для участия в проекте. Это повысит удовлетворенность клиентов путем преодоления разрыва ожиданий и фактических результатов проекта. В целом, больше исследований должно быть сосредоточено на разработке практических 5D лучших практик BIM.

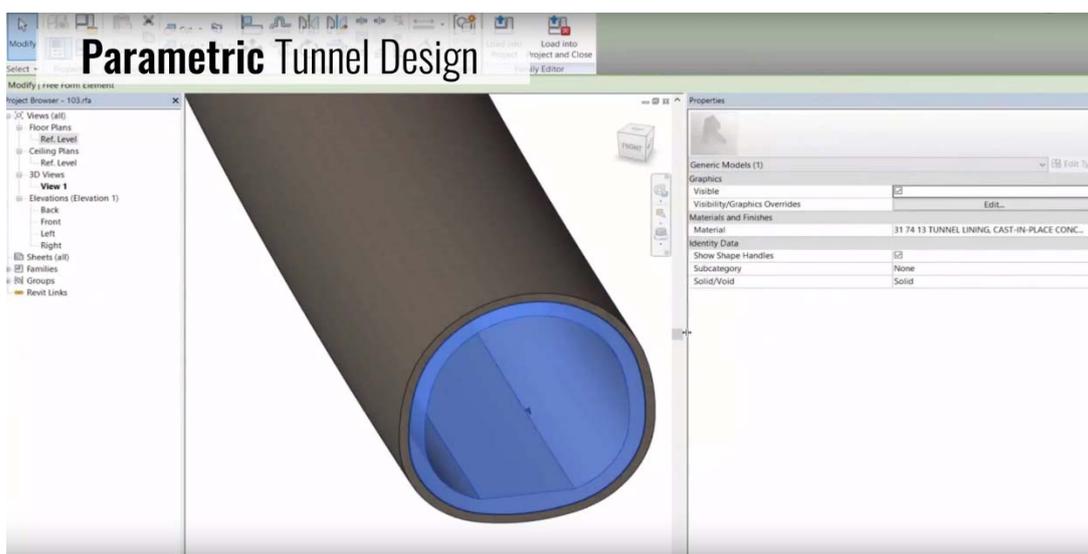


Рисунок 5 – Редактирование элементов тоннеля в Revit

Стоимость линии метро Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey составляет 3,7 млрд. Австралийских долларов (1 млрд. Долларов США). Эта линия будет перевозить 1 млн. пассажиров в день. Люди из Багджилара Махмутбей смогут достигнуть Кабаташа в течение 31,5 минут и сэкономить при этом время и топливо в сравнении с автомобилем. Сегодня около 3 миллионов человек в Стамбуле используют систему железнодорожного транспорта и цель состоит в том, чтобы 11 миллионов человек в 2019 году смогли использовать систему железных дорог. Эта линия метро будет интегрирована с 8 районами: Бейоглу, Бешикташ, Шишли, Кагитане, Багджылар, Эйюп, Газиосманпаша и Эсенлер. Все строительные работы по проекту метро планируется завершить к концу 2019 года.

ВМ - это новый подход, который в настоящее время трансформирует строительную отрасль. В Беларуси создание подобных проектов при помощи ВМ 5D так же может найти свое применение. В настоящее время ведется строительство третьей линии Минского метрополитена, далее планируется четвертая линия, а в будущем очень возможно, что и «кольцевая» для разгрузки пассажирских потоков на центральных станциях (Рис. 6). Автоматизация проектирования поможет существенно сократить расходы, связанные с удорожанием объекта в процессе строительства. В СНГ нормальным считается показатель в 20% от его предварительной стоимости, однако часто может доходить до погрешности в 50%. Грамотная работа проектировщиков может сократить расходы до 5-7%, а это экономия огромных денег из государственного бюджета страны.

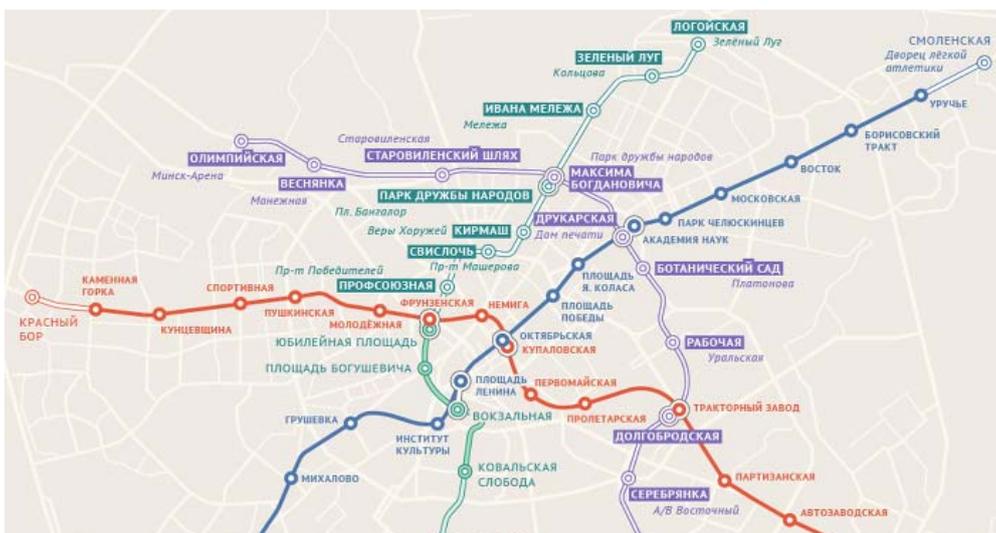


Рисунок 6 – Возможная схема Минского метрополитена в будущем

### Литература:

1. S. Mihindu, Y. Arayici. Digital Construction through BIM System will Drive the Reengineering of Construction Business Practices. Int. Conf. Visualisation, 29 (2008).
2. MATEC Web of Conferences 66, 00026 (2016), IBCC 2016 URL:[https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/29/matecconf\\_ibcc2016\\_00026.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/29/matecconf_ibcc2016_00026.pdf)
3. D. Forgues, I. Iordanova, F. Valdivesio, S. Staub-French. Rethinking the cost estimating process through 5D BIM: a case study. In Constr. Res. Congress, 778 (2012)

## ЩИТОВОЙ КОМПЛЕКС ОТ KAWASAKI ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА «TOKYO BAY AQUA-LINE» (ТОКИЙСКОЙ АКВАЛИНИИ)

*Рахманов Александр Евгеньевич, студент 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А. А., старший преподаватель)*

В 1997 году в Японии открылась Аквалиния Токийского залива (Рис. 1) (длинной 15,1 км) – последний крупный проект 20-го века, а участок в 9,6 км на этой дороге является одним из крупнейших в мире тоннелем, который находится под морским дном.



Рисунок 1 – Токийская Аквалиния

Сооружение было построено с применением нескольких уникальных щитовых комплексов с активным гидропригрузом, внешний диаметр которых составляет 14,14 м, а длина экранирующих машин – 3,5 м (Рис. 2).



Рисунок 2 – Щитовой комплекс для Аквалинии

Что бы справиться с проблемой сверхбольшого диаметра и тоннелирования на длинные дистанции при интенсивном давлении воды (0,5 МПа), экранирующие машины Кавасаки оснащены устройствами для подземного тактирования и высокоточными автоматическими эжекторами сочетая в себе самые передовые технологии того времени и ноу-хау в отрасли. Так же щит имеет автоматическое сборочное оборудование для монтажа обделки (Рис. 3). Всего в проекте участвовало 2 парных щитовых комплекса, каждые из которых двигались на встречу друг другу (Рис. 4).

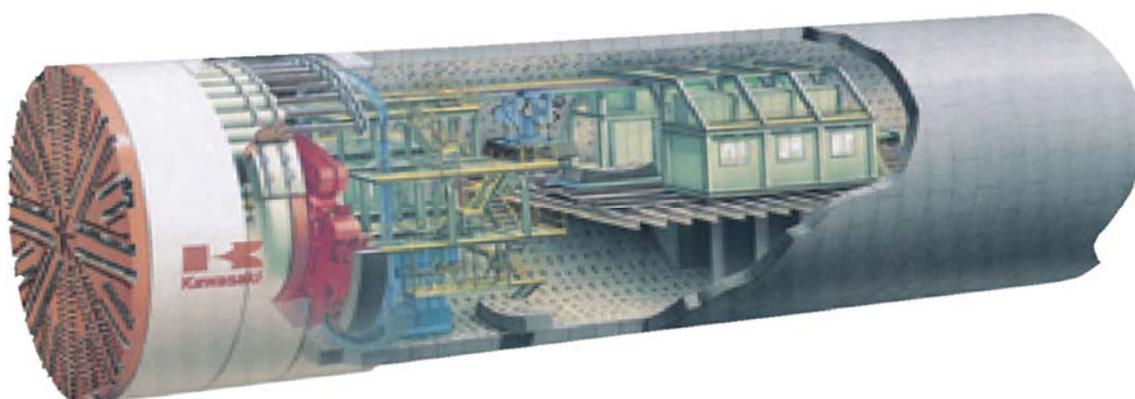


Рисунок 3 – Схема оборудования комплекса



Рисунок 4 – Схема движение щитовых комплексов

Один из комплексов ввели в эксплуатацию в октябре 1994г. Он начал свое движение от центрального тоннеля Кисаразу двигаясь в сторону центрального тоннеля Каванаджи (Рис. 5).

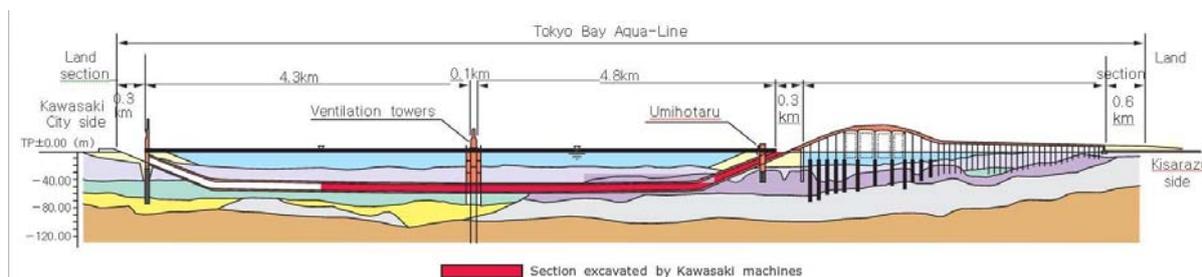


Рисунок 5 – Схема тоннеля

Щиты имеют 3 портала, один из которых представляет собой наземное сооружение, а два других подводные. Центральный портал является основным (Рис. 6) и служит в качестве вентиляционной шахты. Место сопряжения тоннеля с мостом имеет более вытянутую форму и приспособлено в качестве торгово-развлекательного центра. Этапы его строительства можно разделить на 2 стадии : сооружение ограждения котлована металлическими сваями заполненными железобетоном (Рис. 7) и стадию разработки грунта (Рис. 8).



Рисунок 6 – Центральная платформа



Рисунок 7 – Боковая платформа (1 стадия)



Рисунок 8 – Боковая платформа (2 стадия )

Рассмотренный нами щит был собран на центральной платформе(Рис. 9) и продолжал работу до стыковки со своим аналогом. Во время работы использовалась автоматическая подача тубингов (Рис. 10)



Рисунок 9 – Сборка щита



Рисунок 10 – Подвоз тьюбингов

Наиболее опасное место в подводном строительстве – это место сближения 2 щитов. Поскольку порода не устойчива и есть риск затопления тоннеля, косплексы приближают на максимальное расстояние, затем происходит инъекция в грунт по всему периметру (Рис .11,12), после этого уже производят демонтаж (Рис. 13).

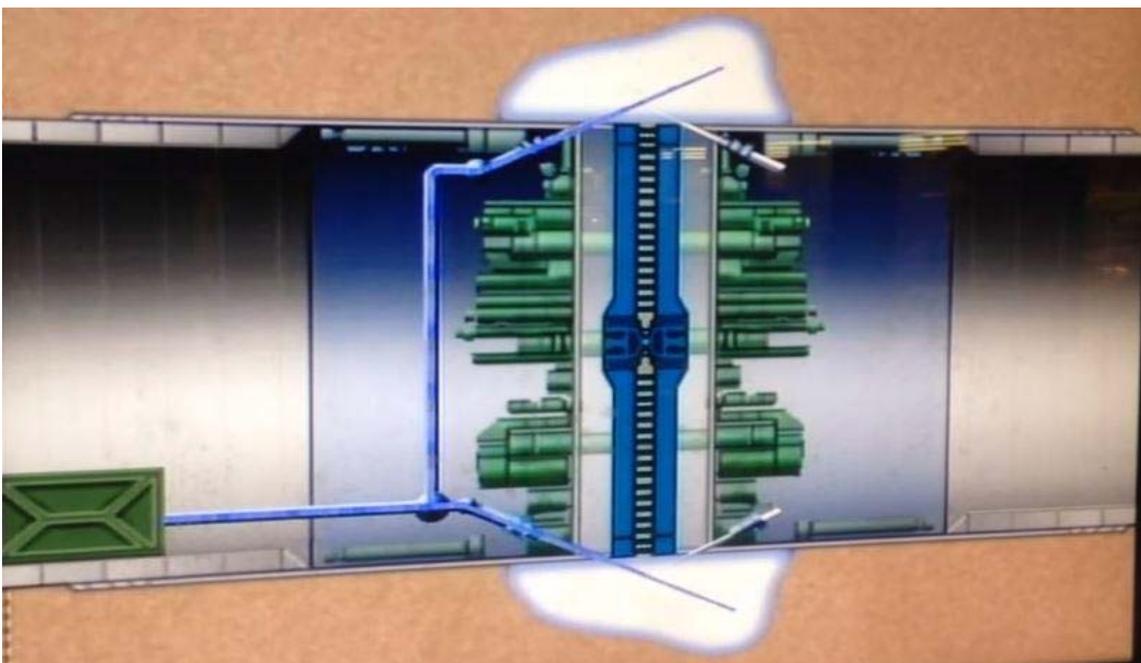


Рисунок 11 – Схема стыковки 2 щитов с применением инъекцирования



Рисунок 12 – Стыковка 2 щитов



Рисунок 13 – Демонтаж щитового комплекса

#### Литература

1. Featured project-URL: <http://www.nccnet.co.jp/english/introduction/tokyobay.html>
2. Описание тоннеля-URL: <https://www.japanvisitor.com/tokyo/aqualine>
3. Supervisa EPN avances de Túnel Emisor Poniente II - URL: <https://www.razon.com.mx/supervisa-epn-avances-de-tunel-emisor-poniente-ii/>.

## СПОСОБЫ ОГНЕЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Мутор Павел Иванович, студент 4-го курса кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Термин «противопожарная защита железобетонных конструкций» означает комплекс мер, предназначенных для повышения огнестойкости: проектные решения, использование различных материалов и экранов, соблюдение правил, изложенных в СНиП, ГОСТ и НПБ. Во время пожара несущие конструкции и опоры испытывают дополнительные нагрузки. Когда достигается определенная температура, происходит деформация и потеря прочности.

Противопожарная обработка бетона направлена на предотвращение деформации и разрушения наиболее важных компонентов. Когда поверхность бетона нагревается до 350 ° начинают возникать деформации.

На огнестойкость конструкции влияет:

- Тип бетона.
- Класс и толщина арматуры.
- Толщина огнезащитной обработки бетонных поверхностей.
- Геометрия и структура его опор.
- Уровень максимальной нагрузки.

Наиболее распространенным способом обеспечения защиты от нагрева является распыление волокон низкой плотности или цементных соединений.

Огнестойкие спреи

Огнестойкие спреи распыляют на сталь обеспечивая ей огнестойкость. Огнестойкие спреи также могут наноситься по дереву, ткани и другим строительным материалам. Распылители делятся на «Мокрые спреи» или «Сухие спреи».

Вспучивающиеся покрытия

Вспучивающаяся краска, это материал используемый для защиты и обеспечения огнестойкости конструкционных стальных элементов. Его преимуществом является то, что он увеличивая свою первоначальную толщину в 100 раз, обеспечивая превосходную огнестойкость, создавая буфер между огнем и стальными элементами. Этот огнезащитный материал можно наносить также и на конструкционную древесину.

Вермикулитовые плиты

Вермикулитовая плита – это спрессованная смесь вермикулита вспученного с минеральным вяжущим. Связкой гранул вермикулита является силикат натрия и целевые минеральные добавки.

Огнезащитная штукатурка

Огнезащитная штукатурка – это плотный водный раствор смеси связующего и наполнителя, в качестве которых используются различные негорючие неорганические вещества и материалы. В зависимости от их сочетания, того или иного объемного соотношения в составе, различают различные виды огнезащитных штукатурок.

Традиционная мокрая штукатурка в ее составе в качестве связующего используется портландцемент марок 400–600, а в качестве основного наполнителя – кварцевый песок.

Огнезащитная штукатурка на основе глины. Производится из гипсового теста с добавлением водного раствора сульфитно-дрожжевого щелока. Преимуществом такой огнезащитной штукатурки является то, что под воздействием высокой температуры происходит спекание слоя материала на защищаемой поверхности без образования трещин.

Огнезащитные штукатурки на основе гипса, жидкого стекла. Наполнителями в составе таких огнезащитных штукатурок используются шлаки ТЭЦ, различные минеральные ваты. Такие огнезащитные штукатурки считаются самыми эффективными. Они имеют низкую удельную плотность.

#### Газобетон

Газобетонные бетонные блоки улучшают и обеспечивают более длительное сопротивление огню, когда это необходимо, особенно вокруг стальных колонн. Пористость материала достигается за счет образования пузырьков газа в цементно-песчаной смеси при реакции алюминиевой пудры с известью.

#### Литература:

1. Fireproofing Methods for Structural Members– URL:  
<http://proffidom.ru/93-ognezashchita-zhelezobetonnyh-konstrukciy.html>
2. Огнезащита железобетонных конструкций – URL:  
<http://spb01.ru/ognezashchita/ognezashchita-zhelezo-betonnykh-konstruktsiy/>
3. Способы огнезащиты железобетонных конструкции – URL:  
<http://proffidom.ru/93-ognezashchita-zhelezobetonnyh-konstrukciy.html>

## СКУЧНАЯ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКАЯ КОМПАНИИ «THE BORING COMPANY»

**Матыс Вероника Олеговна**, студентка 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А. А., старший преподаватель)

Будущее движется вперед. Илон Маск, известный предприниматель и изобретатель создал целую бурильную компанию для воплощения своей затеи по уменьшению пробок, как альтернативный способ избегания траты времени на дорогах. Тоннелепроходческая машина Godot (Рис. 1) – вот детище компании Boring Company. Маск утверждает, что тоннели – это единственный способ избавиться от пробок. По его словам беспилотные автомобили – это тупиковым путь развития. Они только усугубят ситуацию пробок на дорогах, т.к. сделают обычный транспорт дешевым и легкодоступным.

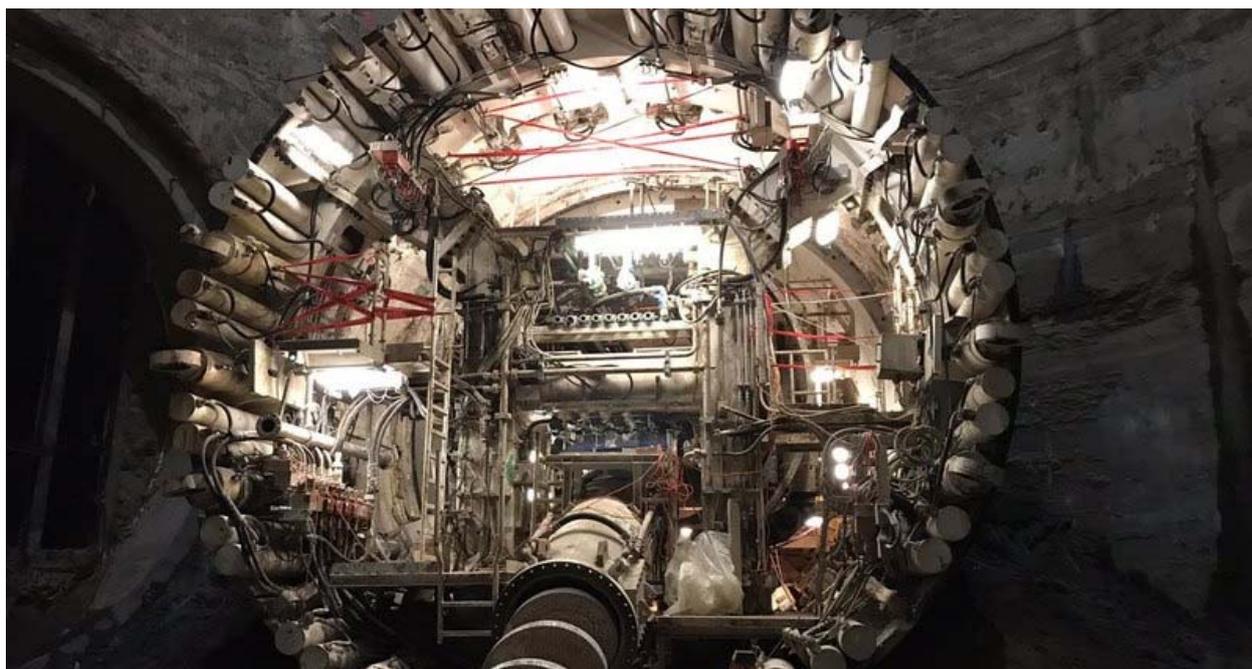


Рисунок 1 – Тоннелепроходческая машина Godot

"The Boring Company" - игра слов, словосочетание может обозначать как «Бурильная компания», а может переводится как "Скучная компания" Эта машина уже прошла первый участок тоннеля - акроним LA, Лос-Анжелес. Под акронимом LA обозначают только город Лос-Анджелес, без населенных пунктов, расположенных в одноименном округе, в частности Хоторна. По выданному разрешению местным городским советом на проведение бурильных работ на глубине 13 м города Хоторна, штат Калифорния, компания построит тестовый тоннель протяженностью 3,2 км. Подземные тоннели расположатся

под дорогами. По соглашению компании запрещается рыть тоннель под жилыми домами и предприятиями.

В процессе раскопок компания отслеживает состояние почвы, чтобы избежать оползней. По данным The Verge, пробный тоннель будет залит бетоном или засыпан землей по окончанию всех работ. Компания тщательно проверяет почву и ежедневно посылает результаты в мэрию. Если земля перемещается хоть на полдюйма в любом направлении, то работа приостанавливается до тех пор, пока не найдутся меры по устранению причин.

Данный тоннель не будет частью запланированной многоуровневой подземной системы для устранения пробок в Лос-Анджелесе. У него другая цель. Компания собирается проверить жизнеспособность новой технологии бурения, рассчитанной повысить скорость копания в 10 раз. По данным Wired, тестовый тоннель в ширину составляет 30 футов (примерно 9 метров), в длину 50 футов (15 метров), а в глубину – 15 футов (4,5 метра).

В апреле 2017 года Маск представил принцип работы тоннеля под Лос-Анджелесом (Рис. 2), а в октябре опубликовал его первое фото. Закончить строительство планируют к началу 2018 года. На фото показана как раз его небольшая часть, длиной 152 метра. Недавно сообщалось, что The Boring Company получила разрешение на строительство второго тоннеля, длиной 16,5 километра, в штате Мэриленд.

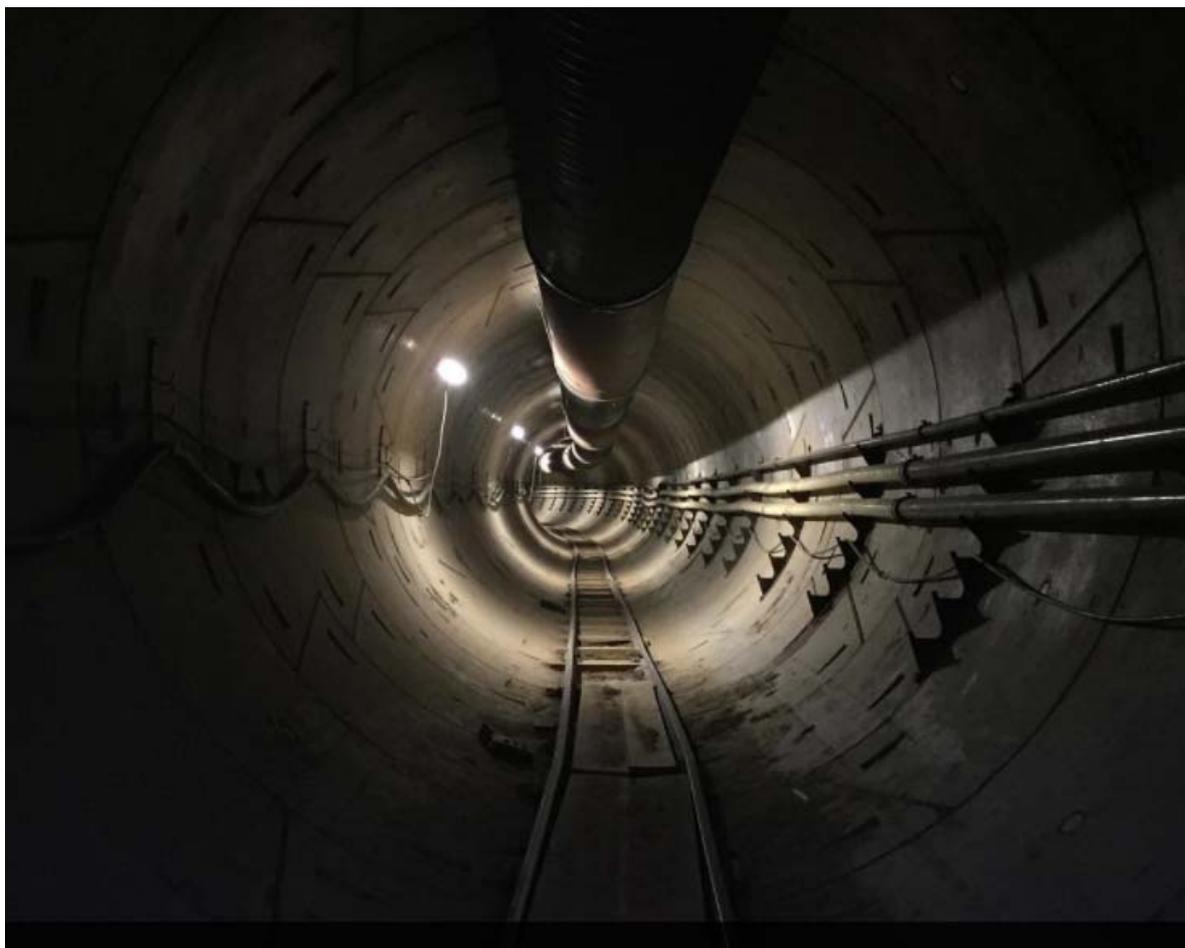


Рисунок 2 – Тоннель под Лос-Анджелесом для перевозки машин

В самом начале проекта огромную тоннелепроходческую машину доставили на территорию штаб-квартиры SpaceX.

Стартап Илона Маска "The Boring Company" осуществил важный шаг на пути к своей цели: удешевить и ускорить технологии раскопки туннелей. Что должно решить транспортную проблему мегаполисов.

По задумке новый тоннель должен работать как быстрая автострада. Это должно выглядеть так: Автомобиль спускается под землю на специальной платформе, которая в дальнейшем должна его транспортировать к пункту назначения по магнитным рельсам со скоростью 200 км/ч.

В августе 2017 года капсула Tesla (Рис. 3) для системы высокоскоростного транспорта Hyperloop разогналась до 355 километров в час. По словам Маска, теоретически модуль способен разогнаться до максимальной скорости в 800-965 километров в час.

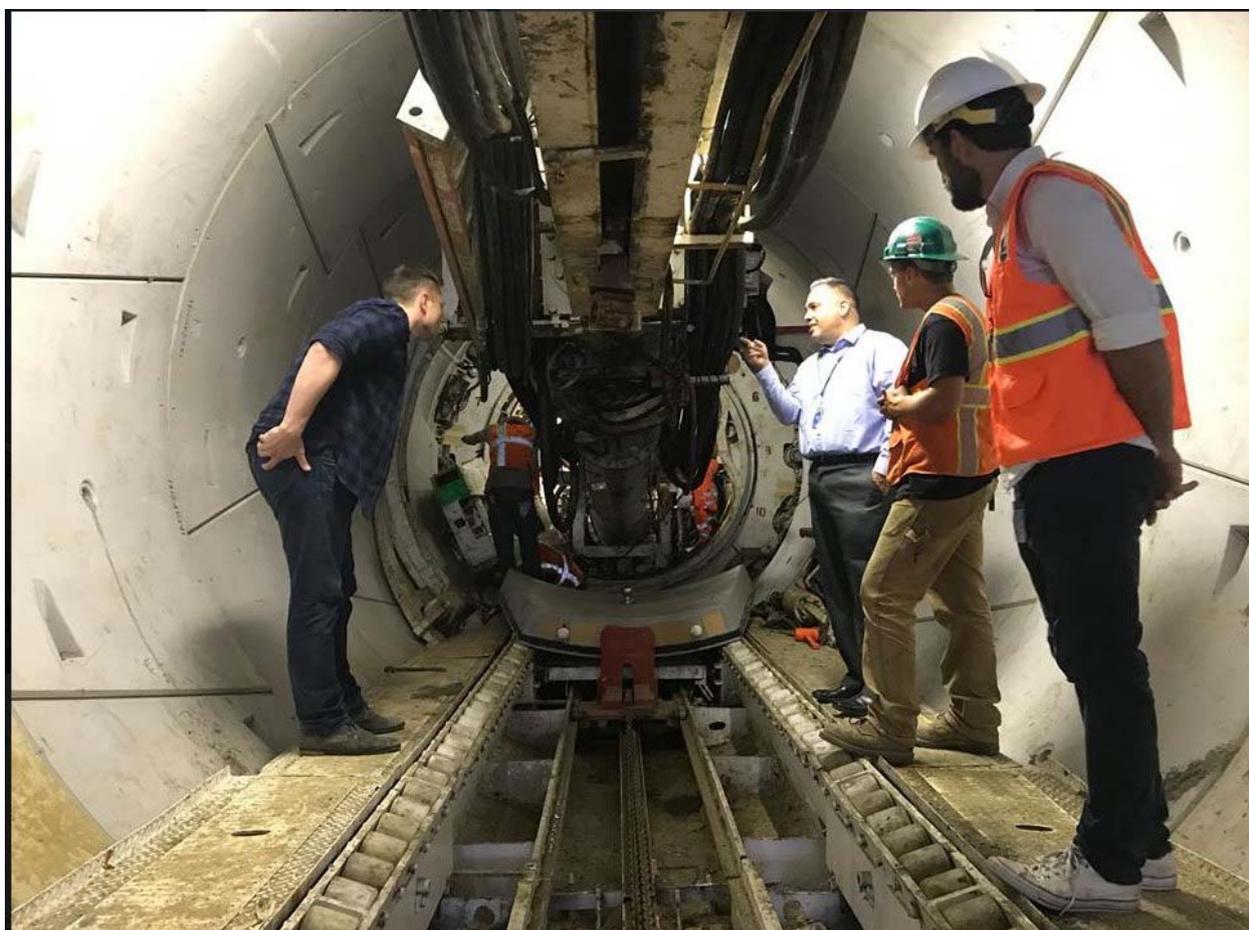


Рисунок 3 – Испытания высокоскоростной капсулы Tesla

Godot (Рис. 4) копает тоннель со скоростью в несколько метров в сутки, и Маску есть за что её невзлюбить, ведь с такими темпами и за век не справиться. Сегодняшние лучшие машины могут копать со скоростью 1/10 мили в неделю, несколько футов в день.



Рисунок 4 –тоннелепроходческая машина «Godot» The Boring Company

Наприпер, в Вашингтоне, система водоснабжения США, купила буровые щиты по прозвищу Леди Берд, Нанни и Люси, которые колебались в скорости от 18 футов в день до 57 футов, для недавнего проекта, по ограничению стока вод в местные водоемы. Рытье самого длинного тоннеля в 4,6 мили заняло около двух лет.

Маска такая низкая скорость не удовлетворяет, он нацелен на увеличение скорости проходки в 10 раз. Современные машины, стоящие десятки миллионов, достигают несколько сотен футов в день. Майк Муни, директор центра подземного туннелирования и SmartGeo в Колорадоской школе шахт, говорит что миля за неделю возможна. При такой скорости проходка тоннеля гиперлопа займет всего 4 года. Ускорение до такой скорости поможет сэкономить миллиарды долларов на туннелирование, что придаст реализма на осуществление задуманного проекта.

Ведущие специалисты подземной отрасли заявили, что это актуальная инновация, особенно, если Маск может разработать машину, которая проходит землю, одновременно строя подпорные стенки. Это задача, которую пытаются решить для буровых проходческих машин на сегодняшний день.

«Это будет довольно крутая инновация», - сказал Карлтон Рэй, директор проекта «Чистые реки» компании D.C. Water System.

Другие же, критики говорят, что Маск должен сосредоточиться на совершенствовании уже существующих транспортных систем и нуждающихся в улучшении - так же, как он занялся созданием электромобиля массового рынка с возможностью самообслуживания для Теслы.

В Европе существует международный консорциум исследователей BADGER. Целью проекта является разработка подземной роботизированной системы BADGER, которая будет иметь возможность бурить, маневрировать, локализовать, перемещать карту и перемещаться в подземном пространстве и

которая будет оснащена инструментами для построения горизонтальных и вертикальных сетей стабильных отверстий и трубопроводы.

Предлагаемая роботизированная система позволит выполнять задачи, которые пересекают различные области применения с высоким социальным и экономическим воздействием, включая бестраншейные конструкции, кабельные и трубные установки, геотехнические исследования, крупномасштабные ирригационные установки, поисково-спасательные операции, дистанционную науку и разведку.

Одна из задач - создание робота-метростроевца и по совместительству маркшейдера, способного самостоятельно прокладывать тоннели, обходя линии городских коммуникаций.

В большинстве проектов сегодня, туннельные буровые машины удаляют около пяти или шести футов земли, прежде чем он должен временно остановиться, чтобы построить подпорную стену, сказал Муни.

«Он прорывается сквозь землю, поглощая материал, как земляной червь, по существу, - сказал Муни. «Когда он движется по земле, он устанавливает за собой бетонные кольца, к задней части туннельной расточной машины, а затем отталкивает это кольцо».

Эксперты говорят, что бурение и возведение подпорного сооружения одновременно было всего лишь в нескольких случаях во всем мире. Например, немецкий производитель туннельной расточной машины Herrenknecht сказал, что он сделал это в проекте в Нидерландах в конце 1990-х годов

Сегодняшние тоннелепроходческие машины — это стройплощадки на рельсах. Их рабочий инструмент — ротор с лезвиями, срезающими грунт. Кроме разрушения стенки забоя такие машины обеспечивают отгрузку вынутого грунта и строительство крепи, без которой тоннель может обвалиться. Прокладка тоннелей длиной в несколько десятков километров занимает, таким образом, годы и обходится в миллиарды в любой валюте.

Мне, кажется, нашим специалистам нужно взять на вооружения многие идеи, которые сейчас Маск собирает воплотить в жизнь, т.к. это будущее, которое не за горами. Набираться опыта, следить за новыми тенденциями и углублять свои знания в отраслях, которые в будущем более актуальны, хоть и на сегодняшний день могут быть не востребованы. И к тому времени, когда понадобятся такие специалисты, мы уже будем готовы и конкурентоспособны.

#### Литература:

1. Привалов А. Куда копает Элон маск ? Заметки о будущем тоннелей. – 2017г. - URL: <http://www.popmech.ru/technologies/381282-kuda-kopayet-elo...budushchem-tonneley/>
2. Илон Маск построит два 20-километровых тоннеля в США. – 2017г. - URL: [https://zik.ua/ru/news/2017/12/19/ylon\\_mask\\_postroyt\\_dva\\_20kylometrovih\\_tonnelya\\_v\\_ssha\\_1229117](https://zik.ua/ru/news/2017/12/19/ylon_mask_postroyt_dva_20kylometrovih_tonnelya_v_ssha_1229117)

3. Илон Маск показал Tesla в тоннеле под Лос-Анджелесом (тоннели нужны, чтобы объезжать пробки) – 2017г. - URL: <https://meduza.io/shapito/2017/08/28/ilon-mask-pokazal-tesla-v-tonnele-pod-los-andzhelesom-tonneli-nuzhny-chtoby-ob-ezzhat-probki>
4. We thought he was kidding: Elon Musk is serious about digging a tunnel from his office . – 2017г. – URL: <http://mashable.com/2017/01/25/elon-musk-tunnel-plans/#bGC8weg81Oqq>
5. Elon Musk’s Boring Company wins approval to dig a two-mile test tunnel in California. – 2017г. – URL: <https://www.theverge.com/2017/8/24/16199410/elon-musk-the-boring-company-test-tunnel-hawthorne-california>
6. Илон Маск показал тоннель для объезда пробок в Лос-Анджелесе – 2017г. – URL: <https://daily.afisha.ru/news/12117-ilon-mask-pokazal-tonnel-dlya-obezda-probok/>
7. Анатолий Горичев – 2017г. – URL: <https://vk.com/boringcompany>

## БЕТОН, СОДЕРЖАЩИЙ РАЗЛИЧНЫЕ ПУЦЦОЛАНОВЫЕ ДОБАВКИ

*Татаринович Анна Васильевна, студентка 4-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Задача современной бетонной промышленности – производство прочного и устойчивого бетона. Это значит: высокопроизводительные бетонные смеси, предсказуемые свойства затвердевшего бетона, высокая прочность и другие высокие эксплуатационные характеристики. Традиционный бетон состоит из цемента и микроскопического заполнителя – песка и крупного заполнителя. Современный бетон – многокомпонентный композиционный материал, его структуру можно рассматривать в 3-х уровнях:

- макро (песок и крупный заполнитель);
- микро (цемент, микрозаполнители);
- наноразмерные модификаторы.

Микро- и наноэлементы составляют цементную систему или цементную пасту. Нынешняя тенденция в производстве бетона во всем мире заключается в использовании многокомпонентных цементных систем, позволяющих получать бетон с высокой прочностью. В то же время она способствует следующим экологическим и экономическим выгодам:

- снижение содержания клинкера (клинкер является наиболее энергоемким компонентом, отвечающим за большинство выбросов углекислого газа);
- утилизация промышленных отходов и побочных продуктов в качестве минеральных примесей;
- минимизация конкретных цен и транспортных расходов.

Чаще всего многокомпонентные вяжущие системы получают путем смешивания цемента с дополнительными тонкодисперсными материалами (порошки), имеющими пуццолановую активность. Наиболее популярными пуццолановыми добавками являются диоксид кремния и летучая зола. Пуццолановая реакция представляет собой простую кислотную реакцию между гидроксидом кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или  $\text{CH}$  и силиевой кислотой  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . В результате образуется гель гидрата силиката кальция ( $\text{CSH}$ ), который заполняет поры и укрепляет цементную матрицу.

Авторы подчеркивают, что в настоящее время термин пуццоланы был распространен на все кремнистые / глинистые материалы, которые реагируют с гидроксидом кальция ( $\text{CH}$ ). Глина является одним из природных гидрозных кремнистых/алюминиевых добавок. Пуццолановые добавки могут быть получены из глины с термической обработкой 600-900 °С. Метакаолин - это алюмосиликат ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  или  $\text{AS}_2$ ), он считается наиболее эффективной пуццолановой добавкой, полученной из глины после термической обработки.

Поццолановая реакция между глинистым алюмосиликатом  $AS_2$  и  $CH$  образует дополнительный алюминий, содержащий  $CSH$ -гель. Некоторые промышленные отходы, например катализатор жидкого крекинга (FCC), могут также использоваться в качестве кремнистой/глиноземной пуццолановой примеси.

Каолиновая глина не входит в число природных ресурсов, доступных в Беларуси. Однако, по опыту других стран, другие виды каолиновой глины могут использоваться как пуццолановая примесь бетона после термической обработки. Было доказано, что тщательно обожженный мергель (известковая глина) может быть превращен в очень эффективный пуццолан, который может заменить цемент в растворе. Следует отметить, что в настоящее время в Беларуси используется преимущественно однокомпонентный цемент для производства бетона. Основными причинами этой ситуации являются отсутствие опыта и отсутствие доступных местных высококачественных пуццоланов. Цена импортных пуццолановых добавок, таких как летучая зола, намного выше цены на цемент.

В этой научной работе говорится о возможности использования разнообразных локально доступных пуццолановых примесей, в том числе полученных из местной глины. Основными свойствами микронаполнителя являются его пуццолановая активность, градуировка и морфология частиц. Частицы с высокой пуццолановой активностью более эффективны при взаимодействии с цементом, но неактивные микронаполнители могут улучшить уплотнение частиц и реологические свойства бетонной смеси (например, порошок доломита, микронаполнитель, полученный из отходов измельченного бетона). Микронаполнители можно разделить на три группы: на основе натуральных материалов, полученные из промышленных побочных продуктов и коммерческих продуктов. Предлагаемая схема классификации показана на рисунке 1.

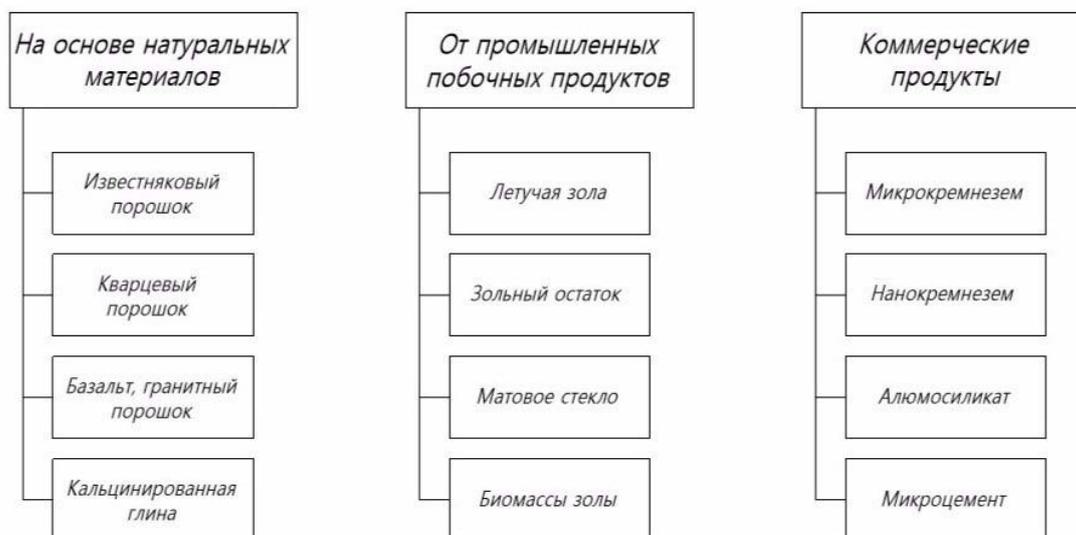


Рисунок 1 – Классификация микропуццолановой примеси

На сегодняшний день в мире, как и в Беларуси, применяется пуццолановый портландцемент, который получают при совместном помоле портландцементного клинкера(60-80%), активной минеральной добавки (20-40%) и небольшого количества гипса. Такой цемент отличается такими характеристиками, как повышенная коррозионная стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость и меньшая скорость твердения. Пуццолановый портландцемент используют для получения бетона, используемого в подводных и подземных сооружениях.

#### Литература:

1. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего : Строительные материалы, 2013, № 1. – С. 124-128.
2. Тирони А., Тресса М., Сиан А., Ирассар Э.Ф. Термическая активация каолиновых глин: Цемент и его применение, 2012, № 11-12. – С. 145-148.
3. Михайлюта Е.В., Алексеев Е.В., Коледа В.В., Шевченко Т.А. Особенности формирования фазового состава метаксаолинов и его влияние на их свойства // Цемент и его применение, 2012, № 9-10. – С. 66-69.
4. Витрувий М. Десять книг об архитектуре. – М.: Архитектура-С, 2006. – 326 с.

## БЕТОН ИЗ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

*Руденков Вадим Витальевич, студент 4-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

Бетон. Этому наиболее практичному и значительному материалу более 4000 лет. Это часто используемый строительный материал во всем мире, он делает жизнь человека гораздо легче. К сожалению, бетон не является экологически чистым материалом. Цемент, из которого делают бетон, оказывает негативное влияние на здоровье человека. Человек, при работе с цементом, подвергает себя опасности. Он получает «удары» на организм с трех сторон: глаза, кожа, легкие.

Инженеры из США придумали, как с помощью углекислого газа создать строительный материал, по техническим характеристикам наиболее похожий на бетон. В качестве составной части для нового бетона используется двуокись углерода, который, в свою очередь, выбрасывается электростанциями в окружающую среду.

CO<sub>2</sub>NCRETE- название полученного опытным путем материала. Разработчики рассчитывают на то, что их новый бетон будет оказывать помощь в улучшение ситуации с загрязнением воздуха, так как в процессе его производства не образуется вредных выбросов и более того - утилизируется двуокись углерода, которая попадает в воздух от работы электростанций. Главная мысль инновационной разработки заключается в том, что, наконец-то, нашлось полезное применение углекислому газу, который скапливался ранее.

Экспериментальные образцы нового бетона изготавливают в лаборатории при университете. Смесь из углекислого газа и извести помещают в 3D-принтер и печатают из него материал. Авторы разработки изучают потенциал, также, крупного производства CO<sub>2</sub>NCRETE для широкого, всемирного строительства. Выбросы парниковых газов являются фактором глобального потепления. Теперь диоксид углерода будет положительно работать по снижению мировой эмиссии парниковых газов.

Запатентованная технология американских инженеров CarbonCureSystem (CCS) использует мусорный углекислый газ от таких крупных эмитентов, как нефтеперерабатывающие заводы и заводы по производству удобрений. Химическая реакция при производстве является обратной процессу использования традиционного цемента в качестве основного компонента бетона.

Если посмотреть на состав бетона, а именно на цемент, то можно обратить внимание, что он - это производное от твердого известняка, который нагревается в цементных печах, что высвобождает одну молекулу углекислого газа на каждую молекулу извести. Инженеры же используют обратную этому реакцию восстановления, при этом бетон становится тверже.

Компании, которые будут использовать данную разработку, не только снизят расходы на потребление энергии при производстве продукции, но и смогут полагаться на поощрение в “зеленых” программах сертификации зданий. Модернизовав своё оборудование для использования новой технологии, производители получают следующие результаты: бетон становится дешевле, прочнее и безопасней для окружающей среды. Доказано, что 100 000 обычных бетонных блоков могут абсорбировать столько же углекислого газа, сколько усвоят за год 100 взрослых деревьев. Бетон из углекислого газа сделает планету чище!

#### Литература:

1. “Зеленый бетон”- URL:<http://zastroyshik.com/news/77>
2. Бетон из углекислого газа – URL: <http://greenevolution.ru/2014/04/24/beton-iz-uglekislogo-gaza/>
3. Новые технологии по производству бетона: - URL <http://nerud-teh.ru/new-technology/>

## ТОННЕЛИ С AUTODESK REVIT

*Беляцкий Никита Анатольевич, студент 4-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель)*

**Autodesk Revit** - это инструмент построения информационного моделирования зданий (BIM), который позволяет создавать дизайн для архитектурных, структурных и MEP-дисциплин.

Revit используется как инструмент разработки BIM во многих проектах строительства. Согласно Британскому отчету BIM 2016, Autodesk Revit является самым популярным инструментом для рисования среди всех продуктов Autodesk. (Рис. 1)

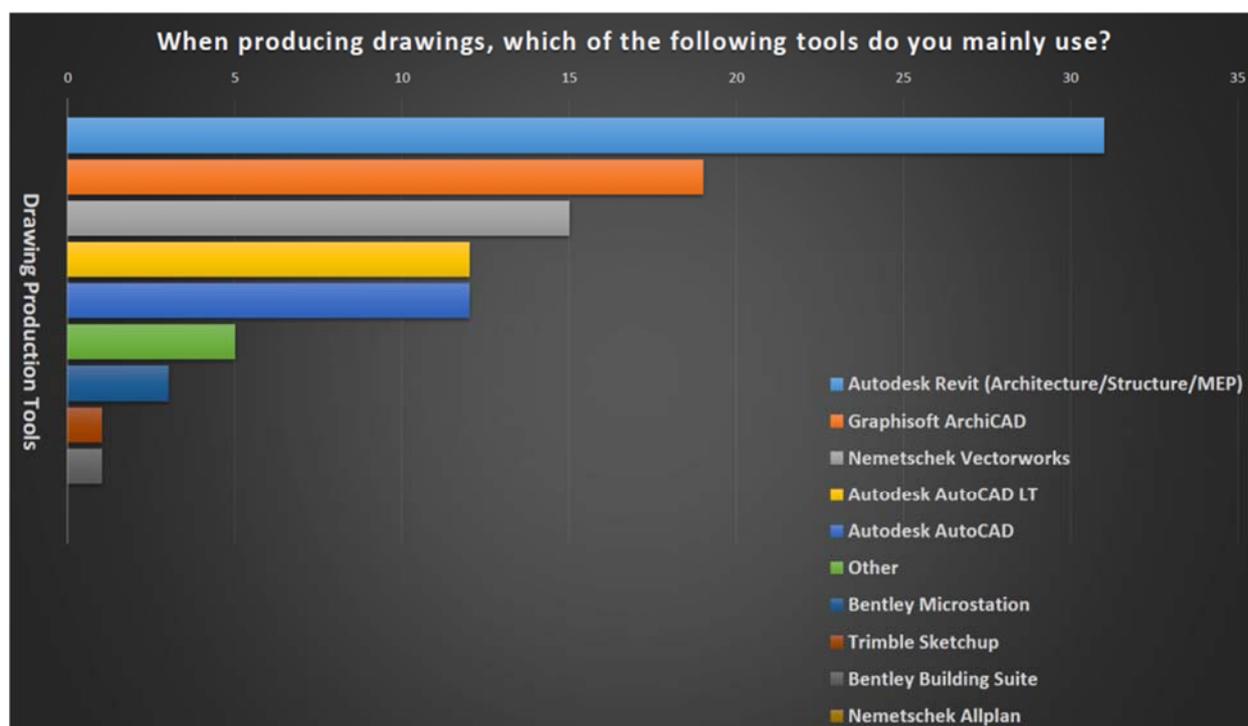


Рисунок 1 – Популярность инструментов для рисования

Поскольку его преимущества были выявлены для строительных проектов, использование BIM также быстро растет для инфраструктурных проектов. Для этой цели у Autodesk есть комплексное программное решение. Можно создать рабочий поток для инфраструктурных проектов и получить более точный, доступный, эффективный процесс на основе моделей.

С другой стороны, инфраструктурные проекты включают компоненты, которые не имеют надлежащей геометрии, такие как тоннели. Задача создания точной геометрии - сложная задача, поскольку тоннели имеют горизонтальные и вертикальные кривые. Несмотря на сложность, Revit по-прежнему является

решением для этой задачи.

Можно найти множество способов создания тоннелей. Наиболее важным критерием является удовлетворение потребностей проекта. Если строительная компания хочет создать симуляцию строительства, можно создать туннели как универсальную модель в Revit и разбить туннели с равным интервалом с Dynamo.

В случае, когда заказчик запрашивают физический прогресс в течение периодического времени, например, ежемесячно, прогресс может быть различным в каждом периоде. Создавая параметры смещения и длины для типичных адаптивных семейств тоннелей, туннели могут создаваться с различными интервалами. Первый компонент туннеля имеет 0-метровое смещение с значением длины, которое обеспечивается ежемесячным прогрессом. Компонент, который отображает следующий месяц, будет иметь значение смещения, равное предыдущей длине компонента, а новое значение длины исходит из текущего прогресса.

Общее адаптивное семейство готовится с использованием трехмерных ломаных и тоннельных секций. Смещение и длина определяются как параметры измерения, чтобы показать прогресс. (Рис. 2).

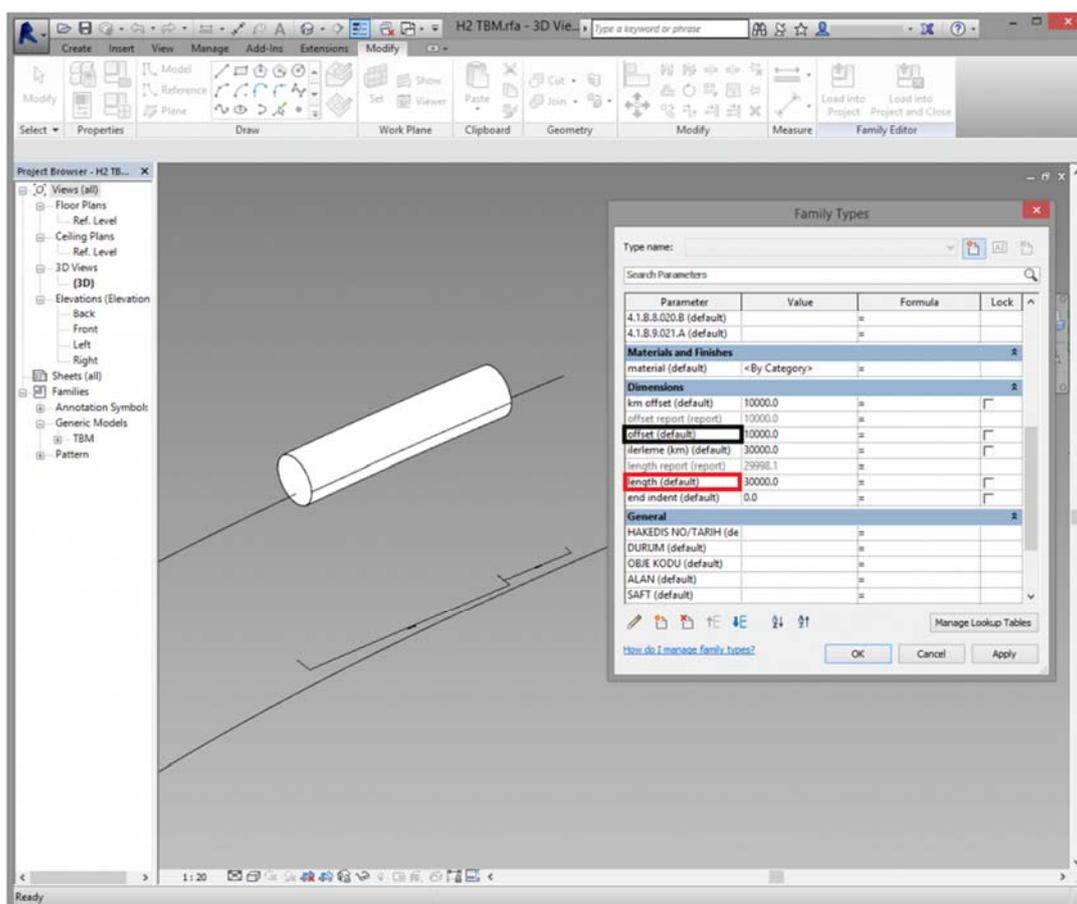


Рисунок 2 – Семейство с использованием трехмерных ломаных и тоннельных секций

В проекте значение смещения первого компонента равно 0 м, а прогресс-34,98 м. В следующем месяце значение смещения равно значению длины предыдущего месяца. Следующий прогресс-25,8 м. (Рис. 3)

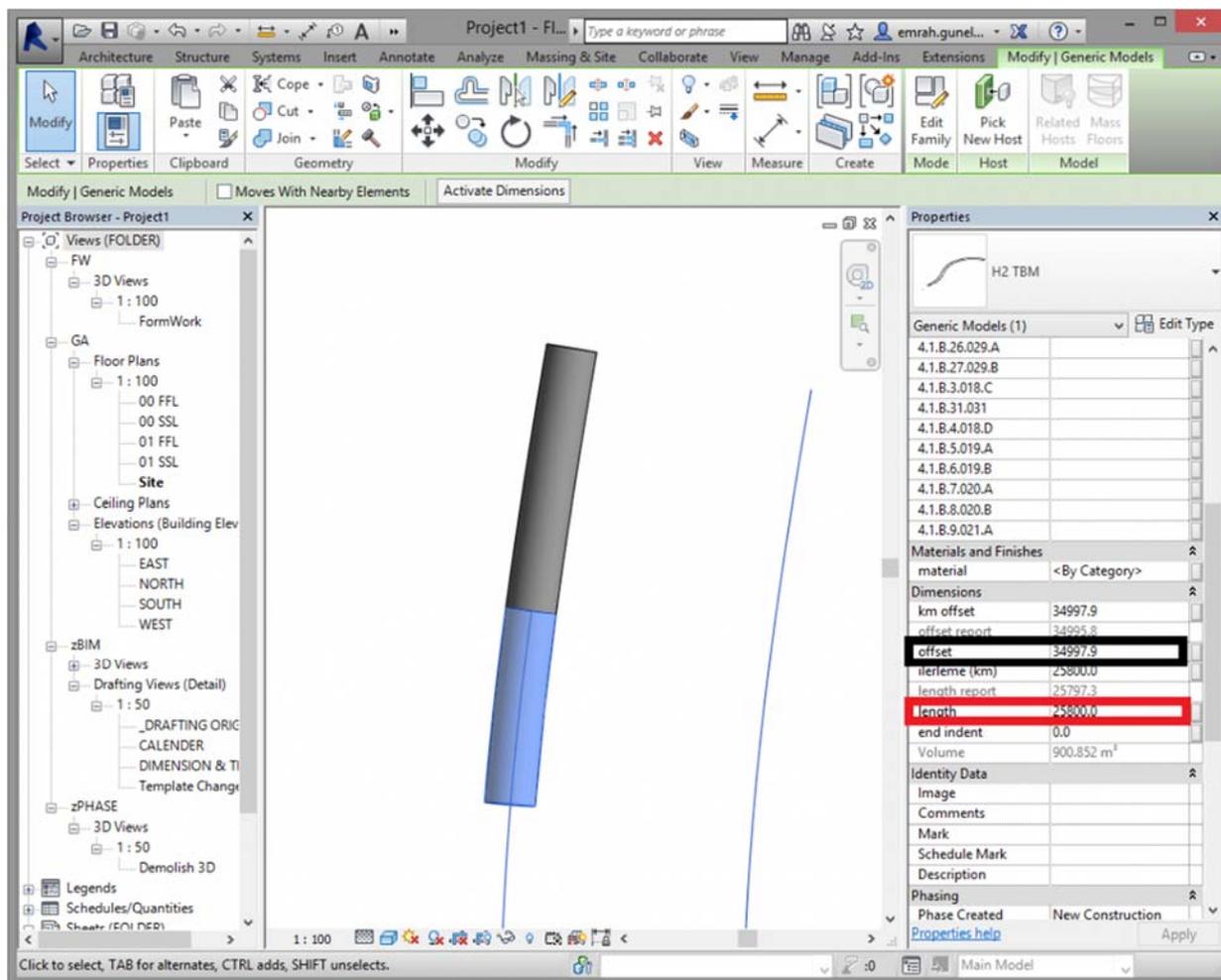


Рисунок 3 – Прогресс строительства тоннеля

#### Литература:

1. Преимущества работы Revit в тоннелестроении (электронный ресурс): <https://www.bim.prota.com>
2. Электронный ресурс: <http://sapr-journal.ru>
3. Форум Autodesk (электронный ресурс): <https://forums.autodesk.com>

## ИНЪЕЦИРОВАНИЕ ГРУНТОВ ИЗ ТОННЕЛЯ РАСТВОРАМИ

*Ларченко Александр Васильевич, магистрант 2-ого курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель - Бойко И.Л., канд. техн. наук, доцент)*

Инъекционное закрепление грунтов наиболее эффективный метод усиления грунтов. Применение его для усиления и упрочнения массива грунта за пределами обделки позволяет снизить расходы материалов и существенно улучшать его несущую способность. Однако методы инъектирования, применяемые растворы для инъекции недостаточно изучены и требуют существенной доработки. Это обуславливает **актуальность темы**.

Для укрепления грунтов используются различные виды и рецептуры инъекционных растворов. Вид раствора определяется материалом, на основе которого его приготавливают, рецептура – различными компонентами, добавками, улучшающими и регулирующими свойства раствора.

Для дополнительной защиты железнодорожных путей, платформ от возможных деформаций и просадок грунта при проходке тоннелей (с учетом, в том числе того, что деформации могут дойти до существующей поверхности с течением некоторого времени) выполняется инъектирование грунтов при проходке.

Сущность способа инъектирования заключается в следующем:

1. В лоб верхней части забоя через деревянную крепь под углом  $20^\circ$  к продольной оси щита по радиусам 2,7 м и 2,6 м погружают (забивают отбойными молотками) инъекторы длиной 3,5 м (17 штук) и 4,0 м (16 штук) соответственно. (Рис. 1). Инъекторы по радиусам забивают в шахматном порядке. Шаг забивки инъекторов по обоим радиусам составляет  $8^\circ$  (по радиусу 2,7 м шаг забивки  $\sim 0,377$  м, по радиусу 2,6 м шаг забивки  $\sim 0,363$  м). Шаг заходов забивки инъекторов в продольном направлении тоннеля составляет 2 м. Для пропуска инъекторов в деревянной крепи сверлят отверстия диаметром 34 мм.

2. После забивки в забое инъектора производят нагнетание цементного раствора на участке инъектора в 2 метра с последовательным извлечением инъектора по 0,5 м (за 4 раза по 25 л за раз). Объем закачиваемого раствора составляет 100 литров для инъекторов длиной 3,5-4 м. После окончания инъектирования инъектор извлекают. (Рис. 1).

3. После первичного нагнетания производят забивку инъекторов длиной 1,8 м, в каждое кольцо обделки вышедшее из щита, для устройства компенсационного инъектирования. Для чугунной тубинговой обделки забивку инъекторов (в двух местах на 1 кольцо) производят в два верхних отверстия для нагнетания.

4. После забивки в кольцо обделки инъектора производят компенсационное нагнетание цементного раствора на участке инъектора в 1,5 метра с

последовательным извлечением иньектора по 0,5 м (за 3 раза по 16,6л за раз). Объем закачиваемого раствора составляет 50 литров для иньекторов длиной 1,8 м. После окончания иньецирования иньектор извлекают.

5. Давление нагнетания 0,3-0,4 МПа.

6. Рекомендуемая рецептура на приготовление 100 литров раствора для иньецирования грунтов:

- вода по ГОСТ 23732-79 - 55,4 литра;
- портландцемент М500 по ГОСТ 10178-85 - 138,4 кг (около 44 литров);
- добавка полиметаллического водного концентрата по СТБ1113-98 - 1 кг;
- отношение В/Ц равно 0,4.

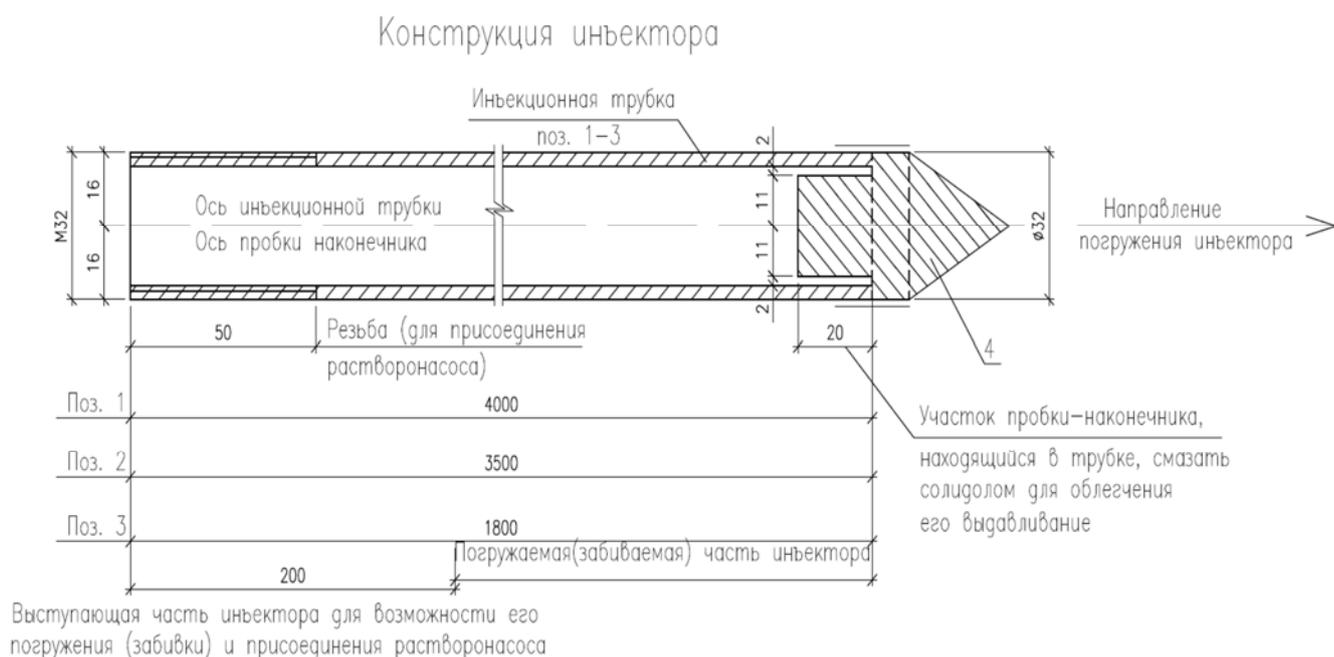


Рисунок 1 – Конструкция иньектора

Каждый иньектор извлекается и используется повторно на следующих заходках около 10 раз.

Наконечник при каждом иньецировании выдавливается давлением раствора из иньектора и остается в грунте. (Рис. 2).

Поз. 4

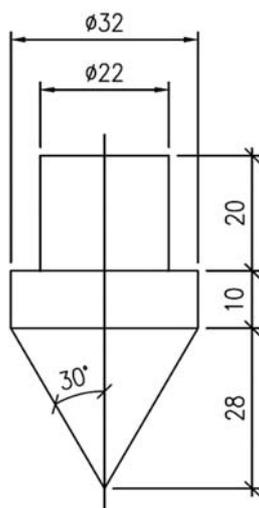


Рисунок 2 – Конструкция наконечника иньектора

Проблемы инъекционного закрепления всегда состояли в гарантированном обеспечении долговечности и прочности закрепляемых массивов грунта или конструкций, в возможности создавать массивы со значительными габаритами, а также в экологической и санитарной безопасности применяемых инъекционных составов.

Для достижения необходимого эффекта укрепления грунтов в определенных инженерно-геологических условиях могут быть использованы комплексы растворов, нагнетаемые в грунт в последовательности, установленной опытным путем.

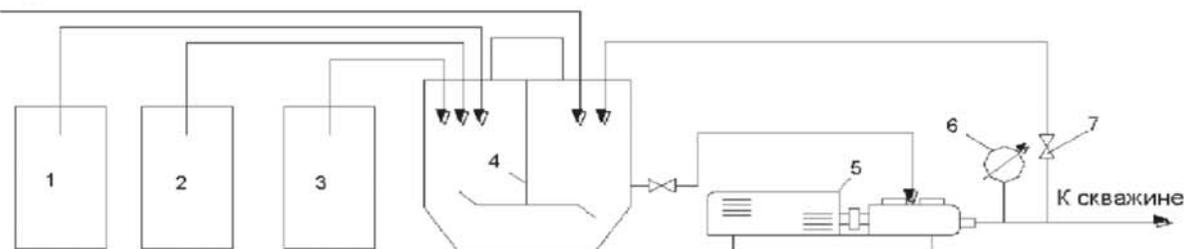
Применение особого тонкодисперсного вяжущего (ОТДВ) позволяет сочетать эффективность инъекционных технологий и устранение указанных проблем, так как, являясь минеральным вяжущим с долгим сроком сохранения инъекционных свойств, обеспечивает высокую прочность и долговечность закрепления, позволяет создавать массивы с большими габаритами и является экологически и санитарно безопасным материалом.

ОТДВ позволяет применять инъекцию не только как способ укрепления грунта и повышения его несущей способности, но и как способ превращения грунта в конструктивные элементы сооружений, что обеспечивает, например, повышение несущей способности фундаментов здания и его элементов посредством увеличения его размеров по ширине и глубине залегания.

Технологическая схема инъекции грунтов представлена на рисунке 3.

## Приготовление и нагнетание растворов на основе цемента

Вода



1- емкость бентонитового раствора (склад глинопорошка),  
2- емкость жидкого стекла,  
3- склад вяжущего цемента,

4- растворешалка,  
5- растворонасос,  
6- манометр,  
7- кран шаровой.

### Цементобентонитосиликатные растворы (расход материалов на 1 м<sup>3</sup> раствора)

В / Ц	Вода, л	Цемент, кг	Бентонит, кг	Жидк. стекло, л/кг	Плотность р-ра, г/см <sup>3</sup>
10	924	60	12	45 / 64	1.08
8	918	104	11	44 / 63	1.1
5	894	166	13	46 / 66	1.14
4	884	205	16	43 / 61	1.17
3	865	275	18	38 / 55	1.21
2	833	397	20	28 / 40	1.29
1.5	796	505	25	26 / 38	1.36
1.33	777	557	28	27 / 39	1.40
1	731	696	35	24 / 35	1.50
0.8	693	841	25	18 / 25	1.58
0.67	656	951	28	16 / 24	1.66
0.6	633	1024	31	14 / 21	1.71

Примечание - В таблицу включены материалы:

- вода по ГОСТ 23732,
- цемент по ГОСТ 10178,
- бентонитовый глинопорошок (бентонит) по ТУ 39-0147001-105-93 [10],
- жидкое стекло по ГОСТ 13078.

## Конструкция инъекционной скважины

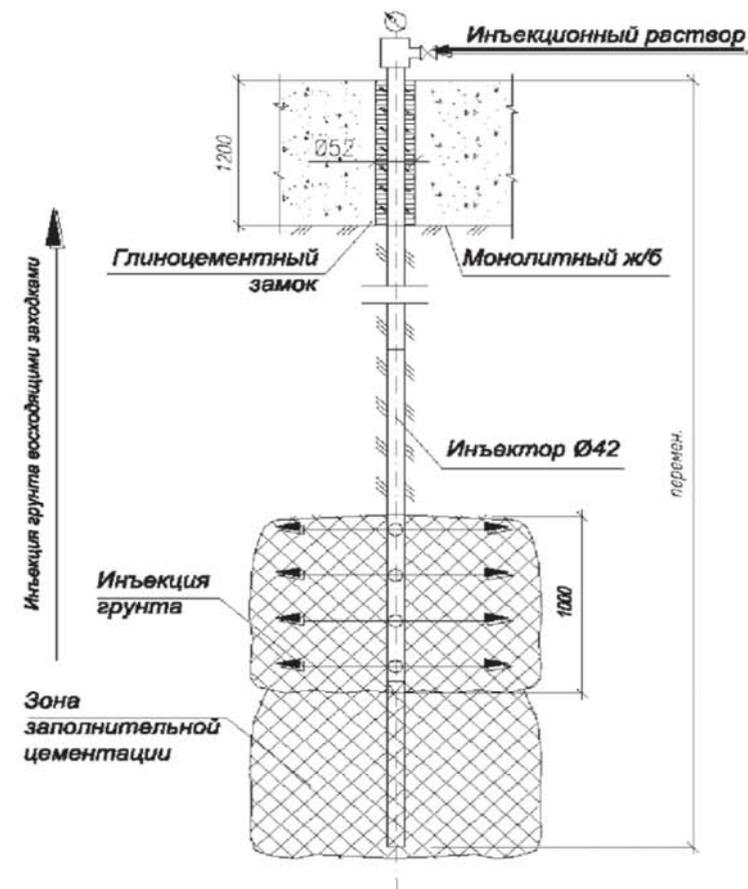


Рисунок 3 – Технологическая схема инъектирования грунтов через забивные перфорированные инъекторы

## Литература:

1. Кузёмкина, Г.М. Основы научных исследований: пособие для студентов технических специальностей / Г.М. Кузёмкина. - Гомель: УО «БелГУТ», 2005 - 82 с.
2. Реброва, И.А. Планирование эксперимента: учебное пособие / И.А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.
3. Основы научных исследований / под ред. В.И. Крутова. - М.: Высшая школа, 1989 - 400 с.
4. Рогов, В.А. Методика и практика технических экспериментов: учеб. / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. -М.: Академия, 2005. -288 с.
5. Проектирование транспортных сооружений: Учебник для вузов/ М.Е. Гибшман, В.И. Попов. – М:Транспорт, 1988. – 447с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

*Тарасов Павел Владимирович, магистрантаа кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Ляхевич Г.Д., доктор. техн. наук, профессор)*

В наше время с развитием инфраструктуры большое количество строящихся транспортных сооружений и производится реконструкция уже существующих, а с увеличением грузопотока возрастают нагрузки на несущие конструкции сооружений. Всё это требует больших затрат, и ведутся исследования строительных материалов с целью повышения эффективности и качества бетона и железобетона.

Одним из направлений является получения высокопрочных бетонов с большими показателями прочности на осевое сжатие. В мире разработки в данном направлении ведутся с конца XX века. Из такого бетона было построено несколько мостов, характеристики некоторых из которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Опыт применения высокопрочного бетона[2].

Область применения	Место строительства	Год	Прочность бетона, МПа	
			на сжатие	при растяжении
1	2	3	4	5
Пешеходный мост	Шербрук, Канада	1997	200-350	40
Пешеходный мост Seonyu	Сеул, Корея	2002	180	32
SakataMirai пешеходный мост	Саката, Япония	2002	238	40
Вантовый мост (виадук) Millau Viaduct	Автоматгистраль А75, Франция	2004	165	30
Автомобильный мост Shepherds Creek	Сидней, Австралия	2005	180	-
Пешеходный мост Rapatoetoe	Окленд, Новая Зеландия	2006	160	30
Пешеходный мост Glenmore/Legsby	Калгари, Канада	2007	-	-
Мост Gaertnerplatz	Кассель, Германия	2007	150	35

Балочный мост	Айова, США	2006-2008	150	-
Мост Whiteman на автомагистрали 24	Брантфорд, Канада	2011	140	30
Фермовый пешеходный мост из высокопрочного бетона	Испания	2012	150	
Мост через реку Jackpine	Онтарио, Канада	2013	-	-

В Беларуси для строительства сооружений используется бетон прочностью не более 60 МПа. В индустриальных высокоразвитых странах высокопрочный бетон включен в нормативные документы, что заложило прочную основу для его применения. Высокопрочный бетон получают с использованием высокодисперсных кремнеземистых добавок, например микрокремнезема и пластификаторов (суперпластификаторов), при этом водоцементное (В/Ц) отношение должно быть не более 0,4, что обеспечивает уменьшение пористости и повышение прочности матрицы цементного камня[1].

Области применения высокопрочных бетонов:

- Элементы находящиеся под большим давлением;
- Филигранные, широкие вытянутые готовые детали (балки, плиты);
- Композитные подземные балки и железобетонные гибридные конструкции мостов с большими пролетами (Снижение веса);
- Применение вместо стальных конструкций в суровых и агрессивных условиях окружающей среды (Например, в морской среде: опорные профили от наводнения) для уменьшения проблем долговечности.

Так как основным достоинством сверхпрочных бетонов является их высокая прочность на сжатие, что предполагает наиболее эффективное их использование при возведении опор и опорных частей, а в добавок ко всему обладание высокой маркой по водонепроницаемости и антикоррозийностью делает хорошим материалом при возведении конструкций, взаимодействующих с водой и агрессивной средой.

Расчет экспериментальной колоны  $L=10\text{м}$  проводился, с целью определения сечения при использовании разных марок бетона в том числе и высокопрочных бетонов, и нахождения оптимального сечения. В качестве расчетной программы принимался SCADOffice АРБАТ (64-бит), версия: 21.1.1.1 от 22.07.2015 (далее Арбат). В частности, в Арбате использовался расчетный раздел «Экспертиза колонны». Целью данного расчета являлось получение зависимости диаметра столба от класса бетона по прочности, через удовлетворительные значения диаграммы факторов (Рис. 1).

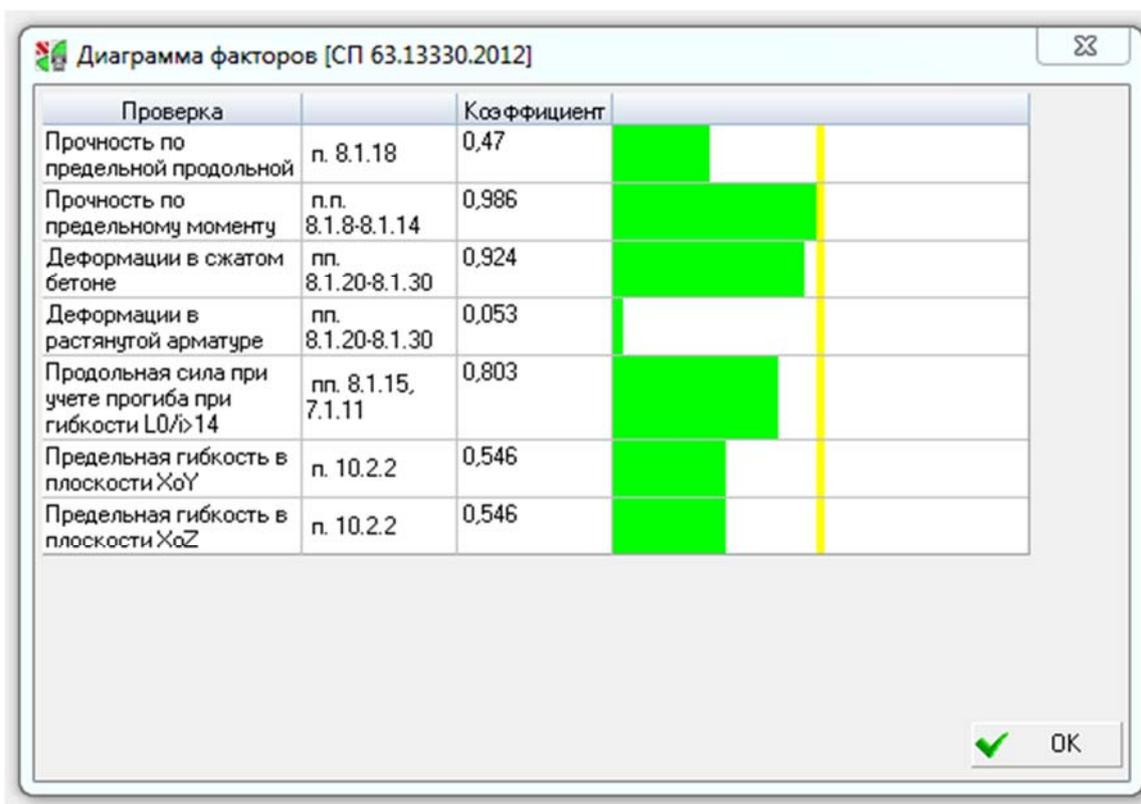


Рисунок 1 – Диаграмма факторов

Таблица 2 - Полученные максимальные значения диаграммы факторов

диаметр, мм	Класс бетона											Объем бетона, м <sup>3</sup>
	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	B70	B80	B90	B100	
610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08	0,99	2,92
615	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05	0,98	-	2,97
650	-	-	-	-	1,1	0,97	0,89	-	0,71	-	-	3,32
700	-	1,20	0,97	0,87	0,80	-	-	-	-	-	-	3,85
750	1,02	0,9	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	4,42
760	0,98	0,87	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	4,54

Из таблицы 2 наглядно видно, что использование высокопрочных бетонов позволяет уменьшить сечение столба практически на 20 % с сохранением прежнего армирования.

Стоимость затраченного бетона при возведении 10 м колонны Ø760мм из бетона B30 будет равна 545,61 рубля, а Ø610 мм из бетона B90 будет равна 479,89 рубля, что на 65,73 рубля дешевле. Данный факт показывает экономическую

выгоду использования высокопрочных бетонов. В добавок ко всему высокие физико-технические характеристики бетонов - класс по прочности, низкая проницаемость для воды (W12...W20) и газов, низкая усадка и ползучесть, повышенная коррозионная стойкость и долговечность, т.е. свойства, сочетание которых или преобладание одного из которых обеспечивает высокую надежность конструкций в зависимости от условий эксплуатации.

#### Литература:

1. Ляхевич Г.Д., Ляхевич А.Г., Ортнер Д.В. технология и эффективность использования торфяных зол в цементобетоне. Наука и техника. 2015;(2):16-23
2. Коровкин М.О., Янбукова А.Р., Ерошкина Н.А. Опыт и перспективы использования высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/02/78781> (дата обращения: 30.09.2017).
3. ТКП 45-3.03-232-2011 (02250). Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования

## АРМИРОВАНИЕ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Шелег Юлия Юрьевна, магистрант 2-ого курса кафедры «Мосты и тоннели»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель - Бойко И.Л., канд. техн. наук, доцент)*

Применение армирующие элементов при строительстве транспортных сооружений представляет собой перспективный метод создания высокоэффективных конструкций оснований и грунтовых сооружений различного назначения, содержащих новые включения, повышающие их деформативные и прочностные свойства. Однако наличие слабых грунтов в основании транспортных сооружений создает трудности при строительстве и существенно удорожает возведение зданий и сооружений. Применение свайных фундаментов не всегда оказывается технически возможным и экономически оправданным. Добиться требуемых прочности и деформируемости грунтов в основании сооружений возможно их армированием.

В настоящее время конструктивные особенности и технологии укрепления геосинтетическими материалами, методы расчета армированного основания несовершенны, что сдерживает их широкое внедрение в практику строительства.

Техническим кодексом установившейся практики допускается применять геосетки с шагом поперечных и продольных элементов, назначаемых в зависимости от их прочности на растяжение и внутренней устойчивости усиливаемого грунта. Однако, влияние размеров ячейки армирующего элемента на деформации оснований, несущую способность грунта и распределение нагрузки не установлено. Изучение влияния изменение размеров ячейки геосетки позволит снизить расход материала, что в свою очередь поможет уменьшить стоимость строительства. Работа оснований и фундаментов армированных геосеткой в настоящее время изучена недостаточно хорошо, поэтому исследование и прогнозирование работы оснований в данной области является актуальным.

В лабораторных условиях было проведено исследование работы армированного грунтового основания геосеткой. Экспериментальное исследование проводилось в четыре этапа. На первом этапе прослеживались деформации неукрепленного грунтового основания от воздействия различных нагрузок от фундамента. На втором этапе грунтовое основание было армировано сеткой, а на третьем и четвертом размеры ячейки армирующей сетки были увеличены соответственно в полтора и два раза. Во всех четырех вариантах были приложены одинаковые нагрузки, максимальные значения деформаций были зафиксированы и на основании полученных данных построен график зависимости  $S = f(P)$ . (Рис. 1).

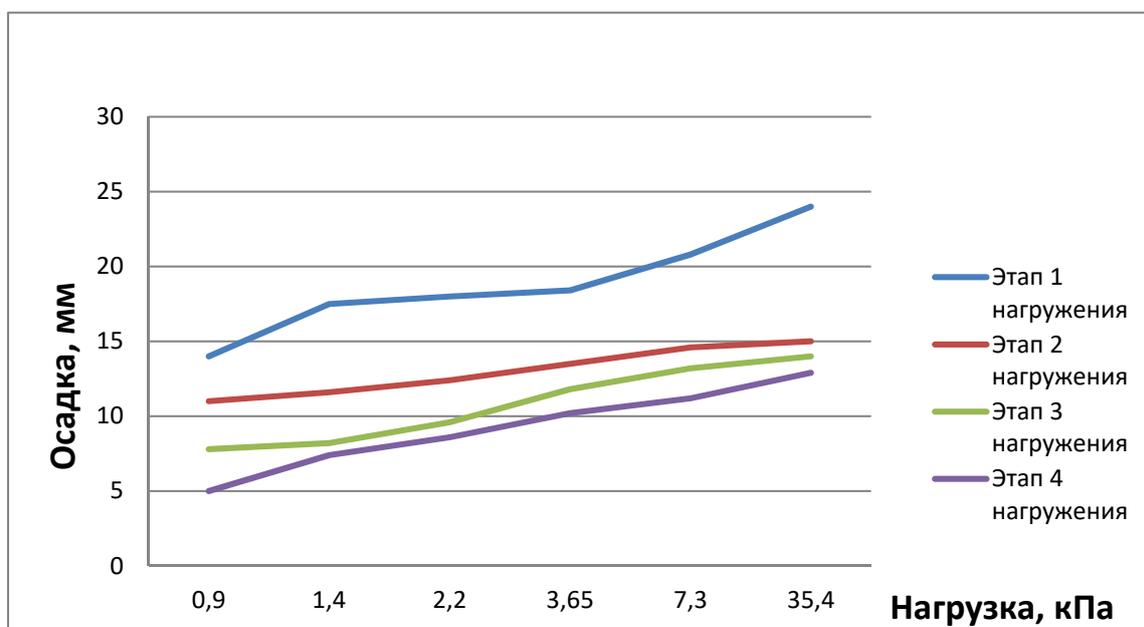


Рисунок 1 – График зависимости осадки грунта от прикладываемой нагрузки (1 этап – без армирования; 2 этап – с армированием; 3 этап – ячейка армирующего элемента- геосетка, увеличена в 1,5 раза; 4 этап - ячейка армирующего элемента - геосетка, увеличена 2 раза)

Исходя из проведенного эксперимента, можно сделать вывод о том, армирование слабых грунтов уменьшает деформации основания фундамента примерно на 20-25%, а при увеличении размера ячейки арматурной сетки до 40%, что позволяет повышать несущую способность грунта, помогает эффективно воспринимать и перераспределять действующие нагрузки, а так же снижать стоимость строительства. Введение в грунт армирующих элемента типа геосетка увеличивает значения несущей способности основания, создавая более жесткий массив, что, соответственно, снижает значения деформаций.

Полученные результаты исследования влияния размеров ячейки армирующей сетки и ее положение в грунте, позволяют прогнозировать устойчивость грунтов оснований в сложных инженерно-геологических условиях. Предложенная технология армирования слабых грунтов при строительстве транспортных сооружений позволяет повышать несущую способность грунта, помогает эффективно воспринимать и перераспределять действующие нагрузки, а так же снижать стоимость строительства. Данные решения совершенствуют наиболее часто применяемые методы усиления оснований при строительстве транспортных сооружений.

#### Литература:

1. ТКП 45-5.01-268-2012. Основания и сооружения из армированного грунта. Правила проектирования и устройства - Введ. 09.11.2012. – Минск: Стройтехнорм, 2012. – 45 с.

2. Проектирование транспортных сооружений: Учебник для вузов/ М.Е. Гибшман, В.И. Попов. – М:Транспорт, 1988. – 447с.
3. Антонов В.М. Экспериментальные исследования армированных оснований. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80с.
4. Антонов, В.М. Экспериментальное исследование армированных песчаных оснований/В.М. Антонов//Современные проблемы фундаментостроения: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Волгоград, 2001. – С. 9–10.
5. Мангушев, Р.А. Методы подготовки и устройства искусственных оснований / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С. В. Ланько, В.В. Конюшков. – М. –СПб. Изд-во АСВ, 2012. –280с.
6. Karstunen, M. Geotechnics of Soft Soil / M. Karstunen, M. Leoni. – London: Taylor&Francis Group. – 2009. – 458 p.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТОРКРЕТИРОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА

*Татаринovich Анна Васильевна, студентка 4-го курса*

*кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*(Научный руководитель – Ходяков В.А., ассистент)*

Существует два вида нанесения торкрет-бетона:

### 1. Мокрый способ торкретирования.

Это метод, в котором цемент, агрегат и вода дозируются и смешиваются вместе перед поставкой в насос и передаются через шланг к соплу, где он пневматически проецируется на поверхность. Сжатый воздух вводится в поток материала на сопле для того, чтобы передавать полученный материал к субстрату. Мокрое торкретирование, как правило, включает в себя примеси, а также может включать волокна.

### 2. Сухой способ торкретирования.

Это метод, при котором цемент и агрегаты дозируются, смешиваются и доставляются в специально изготовленную машину, при этом материалы пневматически передаются через шланги или трубы в сопло, куда вводится вода, чтобы смочить смесь, прежде чем она передается пневматически на поверхность. Торкрет-бетон может также содержать примеси или волокна, или комбинации обоих.

В таблице 1 представлены характеристики двух процессов. В Беларуси чаще всего применяется мокрый способ, однако в некоторых случаях больше подходит сухой способ.

Таблица 1. – Сравнение процессов мокрого и сухого торкретирования в различных аспектах

Вид	Мокрый	Сухой
Оборудование	Более низкие эксплуатационные расходы. Более высокие капитальные затраты.	Более высокая стоимость обслуживания. Снижение капитальных затрат.

Смешивание	Точное перемешивание на заводе. Может использовать массовый премикс. Мокрые агрегаты приемлемы.	Смешивание на рабочем месте, на заводе-изготовителе или предварительное смешивание и поставка либо в мешках, либо в больших пакетах. Снижение производительности за счет влажных агрегатов. Диапазон влажности не более 6%. Более трудоемкий.
Производительность	От умеренного до высокого уровня размещения. Выше, чем аналогичные сухие смесительные машины (от 3 до 10 м <sup>3</sup> /час для ручного насадки, до 25 м <sup>3</sup> /час для дистанционно управляемого оборудования).	Низкий и средний уровень размещения 1-5 м <sup>3</sup> /час.
Отдача	Низкая отдача, обычно от 5 до 15% в зависимости от дизайна смеси и применения.	Обычно более высокая отдача, чем при мокром способе (до 30%) в зависимости от условий и аппликатора.
Пыль	Малое количество пыли.	Большое количество пыли.
Качество	Соответствует качеству.	Потенциально более высокая изменчивость в качестве
Транспортировка через подающий шланг	Малое транспортное расстояние, например, не более 200 м по специальным линиям и со специальными смесями.	Большое транспортное расстояние, например, не более 500 м со специальным оборудованием.
Применение	Лучше подходит для больших объемов работ.	Лучше подходит для малых объемов работ и операций остановки/запуска. Подходит для удаленных и ограниченных мест доступа, где трудно определить дозирование и подачу бетона

Торкретирование играет важную роль в современном строительстве и горнодобывающей промышленности. Это чрезвычайно универсальный материал, который можно легко и быстро применить, обеспечивая экономически эффективное средство строительства.

Торкретирование является эффективным способом укладки бетона и образует отличную связь с рядом субстратов включая бетон и сталь. Он подходит к широкому спектру наземных опорных частей, накладок и строительных конструкций.

Последующее применение и начальный период твердения и застывания торкрет-бетона обеспечивает раннюю пассивную поддержку почвы. Поскольку торкрет-бетон затвердевает и набирает силу, последующая деформация создает значительное сопротивление, потому что торкрет-бетон также становится жестким. Правильно спроектированный и примененный торкрет-бетон остается на месте без провисания даже в вертикальных объектах: стенах и накладках. Он особенно подходит для районов с ограниченным доступом с использованием небольших портативных или мобильных оборудований. Торкретирование применяется либо с дистанционно управляемым, либо с ручным оборудованием. Дистанционно управляемое оборудование обычно используется в подземных объектах для обеспечения безопасной работы распылителя.

Эти преимущества привели к тому, что торкрет-бетон используется для различных объектов, некоторые из которых перечислены ниже, сгруппированы в общих областях применения.

#### 1. Тоннелестроение

При тоннелестроении торкретбетон может использоваться либо для окончательной подкладки, либо как временная поддержка, так как туннель продвигается вперед. Конечные накладки из армированного волокном торкретбетона могут быть в форме однопроходной тоннельной накладки (ОПТН) с использованием комбинации кабельных болтов, штамповочного торкретированного волокна и стальной арки (где дополнительно требуется поддержка). Толщина стенок может варьироваться от 50 мм до 500 мм и может применяться в нескольких слоях. Торкрет-бетон, применяемый в качестве временной поддержки, должен быть разработан для обеспечения ранней структурной поддержки. Это может быть выполнено позже вторым слоем для обеспечения постоянной поддержки. Постоянная опорная подкладка может иметь форму сборных бетонных сегментов или литого бетона.

По мере развития технологии торкретирования и совершенствования систем гидроизоляции ОПТН стал важным методом наземной поддержки для строительства гражданских туннелей. Для гладкой поверхности горных пород также можно наносить тонкие неармированные стеновые накладки, что снижает устойчивость к потоку воздуха.

#### 2. Наземная поддержка в горнодобывающей промышленности

Механизированное нанесение торкрет-бетона Австралийских шахт впервые произошло в 1994 году. В начальной стадии торкрет-бетон наносится на установленную сетку и болты в районах плохой земли, где сетка не отвечает требованиям. Одним из ключевых событий, способствовавших повышению

эффективности использования дробеструйных материалов для наземной поддержки, стало переход к использованию дробеструйных материалов в цикле. Это означало, что торкретирования применяется в течение цикла разработки, после проведения взрывных работ и до установки анкерных болтов. Таким образом, использование сетки не требовалось, и болты были установлены через слой дробеструйной ткани. Этот метод привел к тому, что пластины болтов устанавливались поверх слоя торкрет-бетона, обеспечивая оптимальное соединение между слоем торкретированного бетона и грунтом. Установка дробеструйной установки в течение цикла разработки требовала, чтобы дробеструйная установка как можно скорее после применения достигла требований прочности в раннем возрасте для обеспечения безопасного возвращения персонала для дальнейшего строительства. Необходимая ранняя прочность должна быть определена инженером на каждом участке, но, как правило, она имеет значения порядка 1,0 МПа. Это обычно достигается через 3-4 часа после опрыскивания.

Другая разработка, которая повысила производительность торкретбетона в наземной поддержке, - это гидросигнализация. Было показано, что промывка водой под высоким давлением улучшает сцепление с подложкой на 300%. В большинстве случаев нет необходимости в том, чтобы буровое судно выполняло любое масштабирование отработанного грунта.

Производительность слоя торкрет-бетона может быть улучшена за счет увеличения толщины нанесенного слоя и / или увеличения дозы волокна. Следовательно, одна прикладная система может справиться с несколькими различными требованиями к дизайну. В сейсмически активных зонах некоторые шахты устанавливают сетку поверх готового слоя торкретбетона для обеспечения дополнительной поддержки, так как сетка с неизолированной оболочкой имеет гораздо большую пластичность, чем сетка с ячейками. Сегодня практически все подземные шахты в Австралии используют торкрет-бетон для наземной поддержки.

### 3. Засыпка грунта или раскопка поверхности

Торкрет-бетон может быть эффективно использован для засыпки областей чрезмерного оседания грунта. Традиционные методы, такие как односторонняя опалубка, могут требовать, чтобы персонал подвергался опасным условиям, а также представлял трудности с материально-техническим обеспечением для доступа и строительства.

Одним из примеров является перегородка водосброса Шеннон Крик (завершено в сентябре 2008 года). Стены плотины были круто наклонены и имели высоту до 11 метров. Спецификация для сформированных и залитых стен была заменена альтернативной конструкцией с применением торкрет-бетона. Перелом был распространен из-за неизбежных наземных условий и сложных углов раскопок. В сочетании с двойным слоем арматуры это затрудняет применение компактного уплотняющего материала. Чтобы решить эту проблему, для приведения подложки в линию был применен слой слепящего бетона. Затем была установлена арматура, и торкрет-бетон наносился и был

отлично уплотнен, имел повышенную производительность и сниженную стоимости.

#### 4. Огнеупорная керамика

Печи всех типов могут быть облицованы или отремонтированы специальными смесями из дробеструйных материалов, таких как высокоглиноземистые цементы и дробленые огнеупоры, обладающие повышенными огнеупорными свойствами. Одним из главных преимуществ огнеупорного дробеструйного материала является то, что его можно быстро и в больших объемах разместить в практически недоступных местах, например, на высоте внутри дымовых труб или в отдаленных частях больших печей.

#### 5. Ремонт, восстановление, и укрепление

Торкретирование может быть легко использовано для восстановления поврежденных структур. Типичными применениями являются ремонт изношенных бетонов, вызванных коррозией или отслаиванием, а также бетона, поврежденного огнем. Ремонт и восстановление возможно только после выявления и правильной подготовки. Сооружения, пригодные для ремонта с использованием торкрет-бетона могут включать мосты, водопропускные трубы, канализационные коллекторы, плотины, вышки, порты, здания и стальные конструкции. Существующие бетонные конструкции могут быть усилены торкретбетоном, где, например, может потребоваться частично вырезать и заменить конструкцию исходного бетона из-за соты. Штукатурка также может использоваться, когда необходимо увеличить размер элемента конструкции с целью увеличения грузоподъемности. Структурные элементы, которые могут быть усилены этим способом, включают в себя балки, колонны, плиты, стены из кладки, резервуары и трубы.

#### Литература:

1. Торкретирование поверхности – особенности технологии. – 2016г. – URL: <http://gidroguide.ru/vid/torkretirovanie-poverxnosti.html>
2. Технология торкретирования. – 2016г. – URL: <https://studfiles.net/preview/5854309/page:3/>
3. Технология торкретирования. – 2013г. – URL: <http://www.vostosil.ru/Pdf/technology-of-torkret.pdf>

## ВІМ СТАНДАРТЫ В БЕЛОРУССИИ

*Тихон Артём Николаевич студент 1-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет  
(Научный руководитель: Костюкович О.В., старший преподаватель)*

Не так давно стремительно начала развиваться такая технология, как ВІМ.

В Беларуси серьезно подошли по развитию ВІМ на государственном уровне. В сфере освоения программ, разработке и вводе информационных методик, была создана научная программа по специальностям «Архитектура», «ПГС», «Мосты и тоннели». Беларуский национальный технический университет перешел на обучение кадров для освоения технологии моделирования зданий. Ведущий технический вуз стал еще одним пользователем программного обеспечения Autodesk, получив бесплатное использование всех продуктов. Это обучение включает в себя подготовку и переподготовку специалистов (Рис. 1).

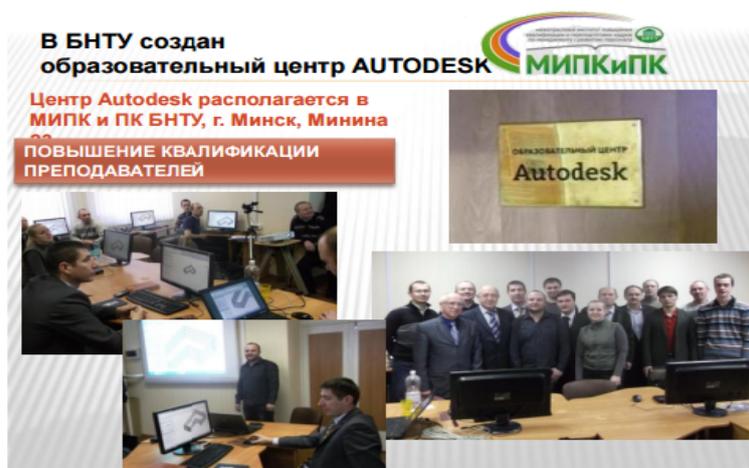


Рисунок 1 –Повышение квалификации преподавателей

Что же такое ВІМ? Не так давно стремительно начала развиваться такая технология, как ВІМ.

ВІМ (Building Information Modeling) – это информационное моделирование и создание всецелой модели сооружения от его зарождения, до сноса. Эта модель эксплуатируется на всем протяжении существования сооружения (Рис. 2).

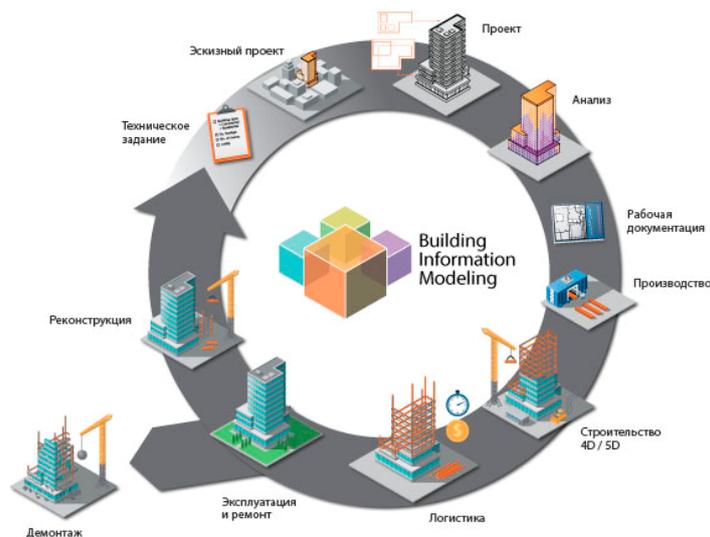


Рисунок 2 – Схема единой информационной модели

При построении модели все участники проекта (начиная с инженера и заканчивая сантехником) ведут совместную работу в режиме реального времени. При внесении изменений в проект мгновенно вносятся изменения во все разделы. В конечном итоге производится трехмерная информационная база данных, которая содержит все параметры элементов проекта (внешний вид, данные о материалах, несущие конструкции, площади, объемы и т.д.).

В данный момент времени работа перешла от теории к практике: некоторые объекты уже производятся с использованием BIM-технологии.

Экспертам Минскпроект пришлось осваивать программное обеспечение на настоящих объектах и с реальными сроками (Рис. 3). К примеру, настоящей конструкцией для реконструкции стал стадион Динамо. Многие проектные организации в ближайшем будущем перейдут к освоению BIM технологии.

Бесспорно, процесс освоения технологии не прост. Он требует больших затрат времени к освоению, проведения большинства технических изменений.

Результат на первоначальной ступени, чаще всего, неприемлем и это тянет за собой трудовые и финансовые затраты. Но спрос по сравнению с классической технологией строительства возрастает и это дает возможность развиваться дальше.

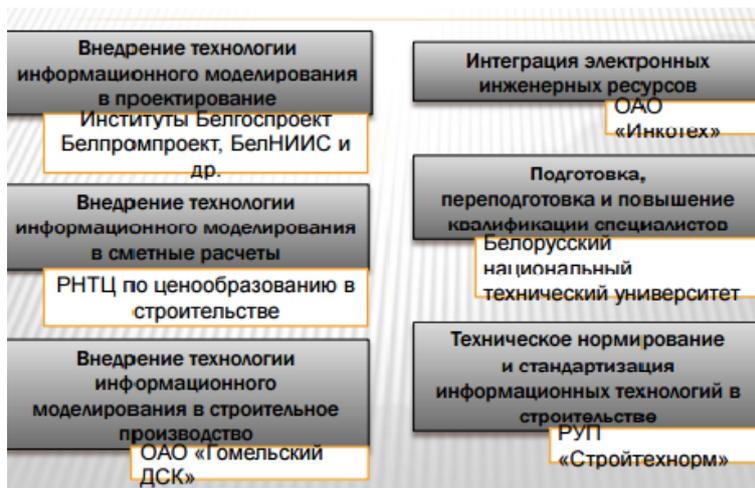


Рисунок 3—Основные задачи и исполнители отраслевой программы

## МАГДЕБУРГСКИЙ ВОДНЫЙ МОСТ

*Атрошенко Павел Алексеевич студент 1-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет  
(Научный руководитель: Костюкович О.В., старший преподаватель)*

**Акведук** (от лат. *Aqua* — вода и *disco* — веду) — водовод (канал, труба) для подачи воды к населённым пунктам, оросительным и гидроэнергетическим системам из расположенных выше их источников.

Когда мы думаем о европейских акведуках, мы часто думаем об элегантных и сверхпрочных арочных мостах, построенных во времена Римской империи, в качестве средства транспортировки пресной воды в новые поселения, расположенные в основном в современной Италии и на Пиренейском полуострове. В Германии также можно увидеть руины римского акведука в виде длинного и в значительной степени подземного акведука Эйфеля в Кельне. Однако, когда дело доходит до водных мостов, это современный технический прогресс, который управляет сценой немецкого акведука.



Рисунок 1 – Магдебургский водный мост

Несмотря на то, что Магдебургский водный мост действительно похож на исключительную работу фотошопа, он действительно существует. Что касается науки, стоящей за ней, это не так уж сложно. Построенный из 68.000 метров кубических бетона и 24.000 тонн стали, был завершен в 2003 судоходный

акведук шириной 34 метра, глубиной 4.25 метра, общей длиной 918 метров (690 метров над сушей и 228 метров над водой) лучше всего можно охарактеризовать как автострада для лодок вместо автомобилей; река, проходящая через реку; дно представляет собой «километровую бетонную ванну». Самый длинный пролет составляет 106 метров. Как всемирно действующий самый длинный судоходный акведук (918 метров) – водный мост Магдебург соединяет два жизненно важных судоходных канала (канал Миттельланд и канал Эльба-Гавел) над могучей рекой Эльбой.

## ПОНЯТИЕ «МОСТЫ». ЛОНДОНСКИЕ МОСТЫ

*Шукелойть Владислав Геннадьевич студент 1-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет  
(Научный руководитель: Костюкович О.В., старший преподаватель)*

Старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели».

Мост – это структура, используемая пассажирами и транспортными средствами для пересечения местности, которая является непригодной для дальнейшего пути. Инженеры строят мосты над озерами, реками, болотами, каньонами и оживленными автомагистралями железнодорожными путями. Без мостов люди нуждались бы в лодках, чтобы пересечь водные пути, и им пришлось бы путешествовать по таким препятствиям, как каньоны и овраги. Мосты имеют длину от нескольких метров до нескольких тысяч километров. Мост должен быть достаточно крепким, чтобы поддерживать собственный вес, а также массу пешеходов, транспортных средств и людей которые его используют. Он также должен противостоять естественным явлениям, таким как: землетрясения, сильные ветры, изменения температуры, наводнения торнадо, цунами и оползни. Большинство современных мостов имеют бетонный, стальной или деревянный каркас, асфальтовое или бетонное дорожное покрытие.

Дорога - это часть моста, на котором передвигаются пешеходы и транспортные средства. Большинство мостов удерживаются, минимум, двумя опорами, установленными в земле. Расстояние между двумя соседними опорами - пролет моста. Опоры на каждом конце моста называются абатментами, а опоры, которые стоят между абатментами –причалами. Общая длина моста – это расстояние между абатментами.

Большинство коротких мостов поддерживаются только абатментами и известны как однопролетные мосты. Мосты, которые имеют один или несколько причалов в дополнение к абатментам, называются многопролетными мостами. Большинство длинных мостов это многопролетные мосты. Основной пролет–самый длинный пролет многопролетного моста. Двадцать четыре моста протягиваются через речку Темза в Лондоне от Кью-Бридж до Тауэрского моста. Некоторые железнодорожные мосты являются пешеходными, однако большинство мостов предназначены для транспорта. Самым старым из всех является Лондонский Мост, который первоначально был деревянным. В 1209 г. его заменили каменным мостом с магазинами и зданиями с обеих сторон. В 1831 г. был возведен гранитный мост, а в 1973г. был построен бетонный мост. Мост это структура, используемая пассажирами и транспортными средствами для пересечения местности, которая является непригодной для дальнейшего пути. Инженеры строят мосты над озерами, реками, болотами, каньонами и оживленными автомагистралями железнодорожными путями. Без мостов люди

нуждались бы в лодках, чтобы пересечь водные пути, и им пришлось бы путешествовать по таким препятствиям, как каньоны и овраги.

Мосты имеют длину от нескольких метров до нескольких тысяч километров. Мост должен быть достаточно крепким, чтобы поддерживать собственный вес, а также массу пешеходов, транспортных средств и людей которые его используют. Он также должен противостоять естественным явлениям, таким как: землетрясения, сильные ветры, изменения температуры, наводнения торнадо, цунами и оползни. Большинство современных мостов имеют бетонный, стальной или деревянный каркас, асфальтовое или бетонное дорожное покрытие. Дорога - это часть моста, на котором передвигаются пешеходы и транспортные средства. Большинство мостов удерживаются, минимум, двумя опорами, установленными в земле. Расстояние между двумя соседними опорами - пролет моста. Опоры на каждом конце моста называются абатментами, а опоры, которые стоят между абатментами - причалами. Общая длина моста это расстояние между абатментами. Большинство коротких мостов поддерживаются только абатментами и известны как однопролетные мосты. Мосты, которые имеют один или несколько причалов в дополнение к абатментам, называются многопролетными мостами. Большинство длинных мостов это многопролетные мосты. Основной пролет – самый длинный пролет многопролетного моста. Двадцать четыре моста протягиваются через речку Темза в Лондоне от Кью-Бридж до Тауэрского моста. Некоторые железнодорожные мосты являются пешеходными, однако большинство мостов предназначены для транспорта. Самым старым из всех является Лондонский Мост, который первоначально был деревянным. В 1209 г. его заменили каменным мостом с магазинами и зданиями с обеих сторон. В 1831 г. был возведен гранитный мост, а в 1973 г. был построен бетонный мост.

### ***Вэстминстерский мост***

На протяжении более 500 лет ближайший мост к Лондонскому мосту находился в Кингстоне. Предложения по строительству моста в Вестминстере были сделаны еще в 1664 году. Им противостояла Корпорация Лондона и водники. Несмотря на дальнейшую оппозицию в 1722 году и после того, как в 1729 году в Путни был построен новый деревянный мост, в 1736 -схема получила одобрение парламента. Финансируемый частным капиталом, лотереями и грантами, Вестминстерский мост, разработанный швейцарским архитектором Чарльзом Лабелье, был построен в промежуток с 1739 по 1750. Когда открывался только второй мост, через Темзу под Кингстоном. Лондонский парламент ответил на Вестминстерский мост, удалив здания на Лондонском мосту и расширив его в 1760-63 годах. Мост должен был помочь в развитии как Южного Лондона, так и обеспечить доступ непосредственно к портам южного побережья для расширения «Западного конца» в северном банке, без того, чтобы трафик не пробивался через уже перегруженный маршруты. Для облегчения этого была также разработана группа обходных дорог, что привело к сложному соединению на слоне и замке в Саутварке, затем в составе Суррея. Мост окрашен преимущественно зеленым цветом того же цвета, что и кожаные сиденья в

Палате общин, которая находится на стороне Вестминстерского дворца, ближайшего к мосту. Это контрастирует с мостом Ламбет, который является красным, того же цвета, что и места в Палате лордов, и находится на противоположной стороне Дома Парламента. В 2005 году он прошел полную реконструкцию, которая была закончена в 2007 году. Работа была завершена подрядчиками Interserve и инженерами Tony Gee and Partners. Он связывает Вестминстерский дворец на западной стороне реки с уездным залом и лондонским глазом на востоке и был завершающим пунктом в первые годы лондонского марафона. Следующим мостом вниз по течению является пешеходный мост Хангерфорд, а вверх по течению - мост Ламбет. В 1981 году мост был отмечен структурой II категории.

### ***Мост Миллениум***

Лондонский пешеходный мост Миллениум - это пешеходный стальной подвесной мост, пересекающий реку Темзу в Лондоне, Англия, соединяющий Бэнксайд с городом. Он расположен между мостом Southwark (вниз по течению) и мостом Блэкфрайарз (вверх по течению). С началом строительства в 1998 году он принадлежит и поддерживается Bridge House Estates благотворительным фондом, контролируемым корпорацией City of London Corporation. Лондонцы прозвали мост Мокрым Мостом после того, как толпы пешеходов почувствовали неожиданное колебательное движение в первые два дня после открытия моста. Мост был закрыт и модифицирован, и дальнейшие модификации полностью устранили «колебание». Южный конец моста находится рядом с театром Глоуб, галереей Банксайда и Тейт Модерн, северной границей рядом с лондонской школой под кафедральным собором Святого Павла. Ориентация моста такова, что из-за реки открывается вид на южный фасад Сент-Пауля, обрамленный опорами моста, что обеспечивает живописный вид на собор.

### ***Тауэрский мост***

Тауэрский мост - это объединенный и подвесной мост в Лондоне, Англия над рекой Темзой. Он находится недалеко от Лондонского Тауэра, который дает ему свое название. Этот мост стал знаковым символом Лондона. Tower Bridge - один из нескольких лондонских мостов, принадлежащих и обслуживаемых City Bridge Trust, благотворительным фондом, контролируемым корпорацией Сити Лондона. Мост состоит из двух башен, которые связаны на верхнем уровне с помощью двух горизонтальных проходов, которые рассчитаны на то, чтобы выдерживать горизонтальные силы, действующие на подвесные участки моста влево и вправо. Вертикальная составляющая сил в подвесных секциях и вертикальные реакции двух проходов переносятся двумя прочными башнями. Опорные шарниры и рабочие механизмы размещены в основании каждой башни. Его нынешний цвет относится к 1977 году, когда он был окрашен в красный, белый и синий цвета для Серебряного юбилея королевы. До этого он был окрашен в шоколадно-коричневый цвет. Тауэрский мост иногда ошибочно называют Лондонским мостом, который на самом деле является следующим мостом вверх по течению. Популярная городская легенда гласит, что в 1968 году

сэр Пол Тейм, покупатель старого лондонского моста, который позже был отправлен в озеро Муккававу-Сити, штат Аризона, ошибочно полагал, что он покупает Тауэрский мост, но эта легенда была разрушена самим Теймом и развенчана Джеком Финней, продавцом моста.

### ***Южный мост (Лондонский мост)***

Лондонский мост - это мост между Лондоном и Саутварком в Лондоне, Англия, над рекой Темзой. Расположенный между Кэннон-стрит Железнодорожный мост и Тауэрский мост, он образует западный конец Лондона. На южной стороне моста находятся собор Саутварк и станция Лондонского моста; с северной стороны находятся памятник Большому пожару в Лондоне и станция метро «Памятник». Это был единственный мост через Темзу вниз по течению от Кингстона, пока Вестминстерский мост не открылся в 1750 году. Мост несет часть дороги А3, которая поддерживается Управлением Большого Лондона; сам мост принадлежит и поддерживается Усадьбой Бридж-Хаус (City Bridge Trust), независимой благотворительной организацией, контролируемой корпорацией Сити Лондона. Тауэрский мост часто ошибочно называют Лондонским мостом. Область между Лондонским мостом и Тауэрским мостом на южной стороне Темзы управляется компанией London Bridge Business Improvement District (BID).

### Литература:

1. Электронный ресурс: London.Wikia.com /Millennium\_bridge – Режим доступа: [http://london.wikia.com/wiki/Millennium\\_Bridge](http://london.wikia.com/wiki/Millennium_Bridge) .- Дата доступа : 29.12.2017 г.
2. Электронный ресурс: London.Wikia.com /Tower\_bridge – Режим доступа: [http://london.wikia.com/wiki/Tower\\_Bridge](http://london.wikia.com/wiki/Tower_Bridge) .- Дата доступа : 29.12.2017 г.

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ТОННЕЛЕЙ

*Малаев Владислав Александрович, студент 1-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет.  
(Научный руководитель: Костюкович О.В., старший преподаватель)*

Существует четыре основных типа тоннелей. Это:

1. Железнодорожные тоннели
2. Тоннели автотранспорта
3. Водные тоннели
4. Горнопромышленные тоннели.

**Железнодорожные тоннели.** Среди величайших технических достижений в мире были длинные железнодорожные тоннели через скалы Альп и других скалистых гор. Железнодорожные тоннели сокращают время в пути и повышают эффективность поездов. Чем больше угол под которым локомотив должен подниматься, тем меньше веса он может вытащить. Главной задачей железнодорожных тоннелей является уменьшение расходуемого топлива, путем сокращения дистанции между пунктам назначения, позволяя поездам тянуть больше товаров и людей.



Рисунок 1 – Железнодорожный тоннель

**Автотранспортные тоннели.** Эти тоннели обеспечивают маршруты для автомобилей, грузовиков и других автомобилей. В таких тоннелях имеется специальное оборудование для удаления выхлопных газов. Например, тоннель Холланда, который расположен под рекой Гудзон и который соединяет Нью-Йорк и Нью-Джерси, использует вентиляторы для вентиляции. Эти вентиляторы способны полностью менять воздух в тоннеле каждые 90 секунд. Многие тоннели с двигателем также имеют специальные системы мониторинга, которые помогают предотвратить пробки.



Рисунок 2 – тоннель Холланда

**Водные тоннели.** Основными задачами водных тоннелей является водоснабжение городов, гидроэлектростанций или ферм для орошения. Так же водные тоннели используют для отведения сточных вод. Большинство водных тоннелей имеют размеры от 3 до 6 метров или более в диаметре, и они имеют гладкие прокладки, которые помогают потоку воды. Многие тоннели, несущие воду на гидроэлектростанции, облицованы сталью, чтобы выдерживать чрезвычайно высокие давления.



Рисунок 3 – Водный тоннель

**Горнопромышленные тоннели.** Горнопромышленные тоннели прокладываются с помощью взрывных работ или тоннельных машин. Основной задачей данного типа тоннеля является добыча полезных ископаемых.



Рисунок 4 – Горнопромышленный тоннель

## БЕЗБАЛЛАСТНЫЙ ПУТЬ LVT

*Тарлецкий Иван Владимирович студент 1-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет.*

*(Научный руководитель: Костюкович О.В., старший преподаватель)*

Аннотация: Для увеличения периода использования, ремонтпригодности железнодорожных путей, была придумана система безбалластных путей LVT.

Система безбалластных путей LVT имеет в себе бетонные шпалы в резиновом коробе, которые имеют преимущество над деревянными шпалами потому, что деревянные шпалы под воздействием вибрации и давления трескаются и их замена требуется раз в некоторое время. А бетонные полушпалы на эластичном клее, уменьшают вибрацию и увеличивают срок службы. А также они уменьшают уровень шума с 80 до 72 децибел.

Безбалластный путь LVT находится в железобетонном коробе, эта конструкция сооружается без короба путем заливки неармированного бетона в опалубку. Эта конструкция представлена на рисунке 1 и представляет собой полушпалы (блоки) из армированного бетона, которые находятся в резиновом чехле с широкой амортизирующей прокладкой под блоком. Эти блоки в чехлах замоноличиваются в бетонное основание (путевой бетон) без армирования и без П-образной плиты. Узлы рельсовых креплений на блоках могут быть самыми разными. На опытном участке представлены блоки со креплениями компаний Pandrol, Vossloh, Schwichag. Конструкция LVT сертифицирована в России. В г. Сызрань установлена линия по производству блоков.

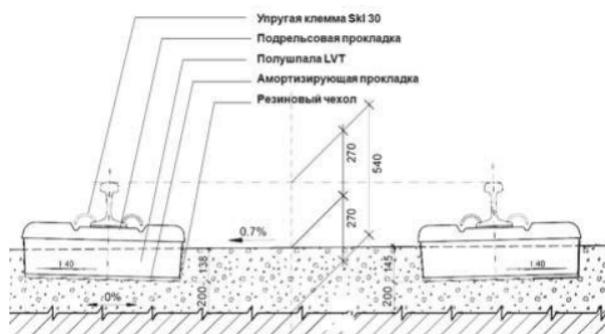


Рисунок 1 – Безбалластный путь LVT

Безбалластный путь LVT Блоки в резиновых чехлах замоноличены в неармированный слой путевого бетона толщиной 30 см. Расстояние от края блока до края бетонного слоя – 25 см, ширина – 3 м. Верхняя его поверхность выполнена с двухсторонним уклоном в середину колеи, где расположен водосборный желоб. Через 15 м имеются поперечные желоба для отвода воды наружу. Слой путевого бетона располагается на несущем слое армированного бетона. Толщина этого слоя – 20 см, ширина – 54 340 см. Под ним расположен

гидравлически связанный слой неармированного тощего (с минимальным процентным содержанием цемента) бетона толщиной 20 см, шириной 380 см. Первоначально сооружается слой из тощего бетона, затем возводится несущий слой. Далее осуществляется сооружение безбалластного верхнего строения пути LVT «сверху вниз»: из автомобильных миксеров бетон подается в бетоноукладчик, который перемещается по рельсам, рельсы находятся в подвешенном состоянии, опираясь на монтажные столбики с регулировочными элементами, и к ним подвешиваются блоки в резиновых чехлах с демпфирующими прокладками. Размеры будущего бетонного слоя обеспечиваются опалубкой. В нижней части этого бетонного слоя задаются так называемые «провокаторы трещин» в виде металлических полос шириной 5 см, расположенных вдоль шпальных ящиков. Блоки имеют горизонтальную подрельсовую площадку, поэтому перед заливкой бетона точное положение рельсовых нитей с подвешенными блоками, подуклонка и ширина колеи задается регулировочными элементами и монтажными штангами. При заливке бетона затирка его верхней поверхности осуществляется вручную. Для поточного выполнения работ, в том числе в тоннелях, имеются специализированные поезда с приготовлением бетона на подвижном составе и укладкой его в путь.

#### Литература:

1. Электронный ресурс: [rzdstroy.ru/ divisions](http://rzdstroy.ru/divisions) – Режим доступа: <http://www.rzdstroy.ru/divisions/innovations/>. - Дата доступа: 3.11.2017 г.

## **Секция 2**

# **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РЕКОНСТРУКЦИИ, РЕМОНТЕ, СОДЕРЖАНИИ И МОНИТОРИНГЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ЭЛЕМЕНТЫ ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВ**

*Салимов Артем Маратович, студент 3-го курса кафедры*

*«Автомобильные дороги и мосты».*

*Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, г. Пермь*

*(Научный руководитель – Бартоломей И.Л., канд. техн. наук, доцент)*

Вечномерзлые (ВМГ), многолетнемерзлые (ММГ) грунты и мерзлые породы (МП) на территории Российской Федерации являются закономерными естественноисторическими образованиями, которые характеризуются определенными законами возникновения, существования, развития и распространения. Вечномерзлые и многолетнемерзлые грунты составляют 65% территории, в том числе они занимают 85% территории Сибири и 95% Республики Саха (Якутия). Более 30% разведанных запасов нефти и около 60% природного газа сосредоточено в районах распространения вечной мерзлоты на территории РФ. Сооружение и эксплуатация скважин в районах с данными сложными природными условиями вызывает ряд специфических осложнений.

В основном к месторождениям прокладываются грунтовые дороги IV-V технической категории. Прокладка автомобильных дорог через лесные районы с большим избытком лесоматериала, дает возможность устройства через реки, ущелья, овраги балочных деревянных мостов малых пролетов, рассчитываемых на нагрузку А11. При этом, будучи построенными на вечной мерзлоте, данные сооружения подвергаются ряду воздействий, вызывающих деформации или разрушения [1].

В деревянных мостах используются деревянные сваи, при этом нагрузки, передаваемые на элементы опор, не значительны. Обычно используются сваи длиной до 10 м, диаметром от 150 до 250 мм у острия и от 300 до 350 мм у конца. При этом деревянные сваи имеют ряд преимуществ: доступны конструкции длиной от 10 до 20 м и стоимость меньше, чем у других типов свай. При изготовлении применяется дерево местных пород: ель, западная сосна или лиственница.

Чтобы сохранить элементы опоры, находящиеся выше вечной мерзлоты, их закрашивают. При этом сваи под давлением пропитывают креозотом. Креозотовое покрытие снижает силы смерзания по сравнению с чистой древесиной [2].

Возникновение деформаций в деревянных сооружениях происходит из-за оттаивания мерзлоты или пучения грунта при его промерзании. Это происходит редко, ввиду того что древесина плохой проводник тепла. Чаще происходит пучение опор.

Процесс пучения происходит следующим образом: деятельный слой зимой примерзает к элементам опоры и увеличивается в объеме, потом поднимает

опору, а пустое пространство заполняется плывуном. Поэтому летом опора не может встать на место (Рис. 1).

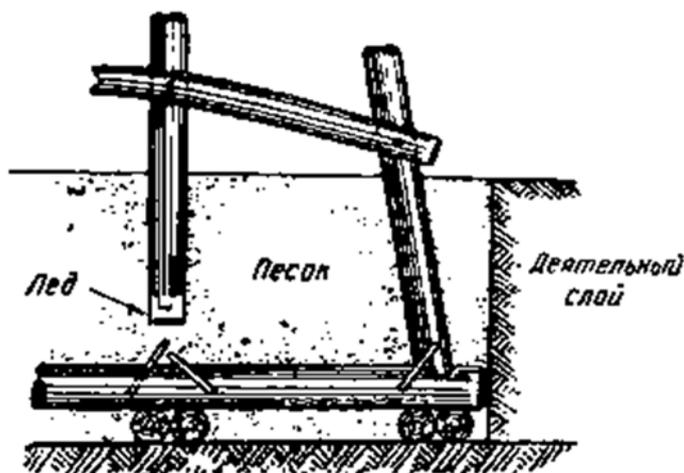


Рисунок 1 – Отрыв стойки лежневой опоры вследствие пучения

Грунт, примерзая к элементам моста, сможет ее поднять только в том случае, если нижние слои грунта прочные и глубина оттаивания достаточно велика. В мостах главным образом подвергаются воздействию пойменные опоры. На речные быки и устои оказывается меньшее воздействие, так как быки защищены слоем воды, а устои - насыпью.

Для элементов моста большую опасность представляет образование наледей. При устройстве моста обычно происходит стеснение потока, что способствует образованию наледей. Наледи в свою очередь вызывают деформации моста из-за того что поднимают опоры. Нередки случаи, когда наледи образуются на буграх и по размерам доходят до пролетного строения, в основном на мостах малых габаритов. При этом наледи вызывают значительные деформации.

Существует ряд мер для борьбы с опасным влиянием вечной мерзлоты на элементы деревянного моста. Меры делятся на 2 группы. Первая - это уменьшение отрицательных свойств грунтов. Вторая – применение особых типов конструкций.

К первой группе относятся осушение деятельного слоя, что ведёт к ослаблению пучения грунта и снижению интенсивности смерзания его с опорами. Например, устройство дренажей по берегам и на поймах водотока. Ко второй группе относится предохранение элементов моста от наледей. Это достигается несколькими методами. Один из наиболее эффективных - утепление русла реки. Данный метод применяется на незначительных водотоках. Сущность метода заключается в том, что под мостом происходит беспрепятственный пропуск воды. Для этого русло реки на участке 20 - 100 м вверх и 20 - 50 м вниз по течению искусственно утепляют в начале зимы, до снегопада. Утепление может осуществляться устройством над поверхностью воды (захватывая берега на 1 - 2 м) легкого помоста из жердей, покрытого слоем мха, хвороста или валежника. Толщину утепляющего слоя в зависимости от применяемого

материала принимают от 0,3 до 0,5 м. После выпадения снега поверх утепления укладывают рыхлый, не утрамбованный снег слоем не менее 0,5 м (Рис. 2) [3].

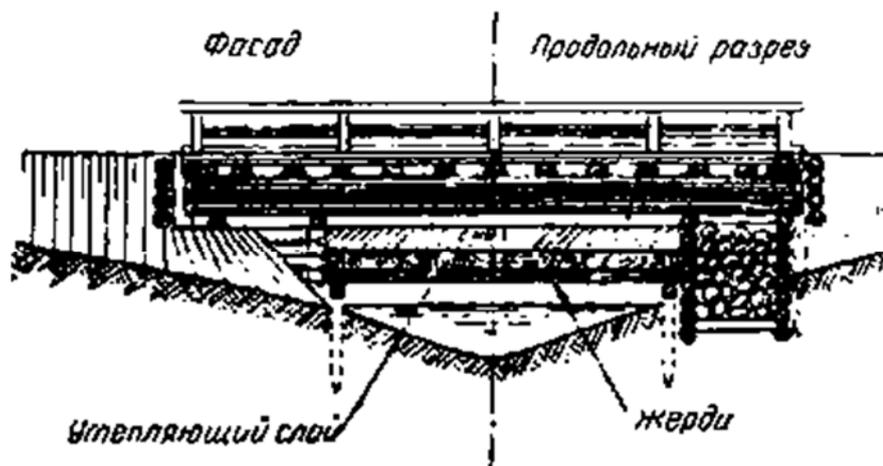


Рисунок 2 – Утепление русла водотока под мостом

#### Литература:

1. Цыганков А.В. Проектирование и расчет деревянных автодорожных мостов: учеб. пособие / А.В. Цыганков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2007. – 434 с.
2. Геотехнические вопросы освоения Севера / Под ред. Андерсленда О.Б. и Андерсона Д.М.: Пер. с англ. - М.: Недра, 1983. - 551 с.
3. Гибшман Е.Е. Деревянные мосты на автомобильных дорогах : учебник для автомобильно-дорожных вузов / Гибшман Е.Е. — Москва ; Ленинград : Издательство Наркомхоза РСФСР, 1942. — 408 с. : ил.

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НА НОВЫХ МОСТАХ, ПОСТРОЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Сидорова Анастасия Юрьевна, магистрант 3-го курса  
кафедры «Транспортное строительство»  
Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., г. Саратов  
(Научный руководитель – Овчинников И.Г., док. тех. наук, профессор)*

Для контроля и предотвращения аварий мостовых сооружений необходим контроль их технического состояния.

При проектировании конструкции моста необходимо произвести расчеты с использованием конечно-элементных программных комплексов. При этом выполняются следующие виды расчетов, обеспечивающих надежность конструкции: расчет на прочность; расчет на устойчивость; частотный анализ; частотный отклик; ряд других статических и динамических расчетов.

Для полной оценки необходимо, прежде всего, установить условия, определяющие соответствие состояния моста эксплуатационным требованиям на момент обследования и с учетом перспективы развития движения.

Авторы статьи [2] считают, что при такой постановке вопроса указаний действующих нормативных документов явно недостаточно, так как они учитывают только дефектацию конструкций, в то время как необходимыми условиями являются:

- обеспечение требуемой грузоподъемности мостового сооружения;
- обеспечение приблизительно такой же, как и на основной дороге скорости движения основных видов транспортных средств по мосту и мостовому переходу;
- обеспечение безопасности движения по мосту и мостовому переходу;
- обеспечение требуемой долговечности элементов перехода, то есть надежности их во времени как по грузоподъемности, так и по условиям пропуска движения, а также и по условиям пропуска паводковых вод под мостом.

На сегодняшний день распространенным способом решения данной задачи является техническое обследование элементов конструкции моста. Согласно источнику [1] существует два вида мониторинга технического состояния объекта: периодический и непрерывный.

Периодически проводятся геодезические измерения и неразрушающий контроль (различными методами). Как правило, применяют неразрушающие методы контроля, но дополнительно возможно использование псевдо неразрушающих методов (с локальным нарушением защитного слоя бетона, взятием образцов материала в виде кернов или вырезкой), которые могут применяться в начале мониторинга.

Однако такой периодический контроль не может учесть фактическую историю действия нагрузок (период и амплитуду), которая является одним из основных критериев для определения остаточного ресурса.

Непрерывный мониторинг состояния (НМС) мостов - это система наблюдения за условиями работы и поведением мостовой конструкции, направленная на обеспечение сохранения его функциональных потребительских свойств в заданных пределах, осуществляемая на непрерывной, длительной основе с использованием измерительной аппаратуры и обеспечивающая предоставление информации о состоянии конструкции в реальном режиме времени [3].

Поэтому для достоверной оценки текущего и прогнозирования дальнейшего технического состояния моста, с целью заблаговременного предупреждения о тенденциях его изменения, необходима установка постоянно действующей системы (Рис. 1), способной не только заменить периодические обследования, но и повысить безопасность эксплуатации, другими словами – необходима установка комплексной системы мониторинга СМ). Непрерывный мониторинг организуется в 3 стадии. Первая стадия - разработка проекта системы мониторинга, вторая стадия - ввод в действие СМ, третья стадия - проведение мониторинга. При мониторинге используются технические средства со сроком службы не менее десяти лет при длительности мониторинга более 10 лет или сроком службы не менее длительности мониторинга с учетом замены неисправных и выработавших свой ресурс компонент.

Мониторинг мостов может проводиться по решениям приемочных комиссий, по требованиям проектных, эксплуатационных организаций и организаций, выполняющих работы по обследованию, а также в связи с выполнением научно-исследовательских и опытных работ, когда решение вопросов, связанных с эксплуатацией сооружения, не может быть получено только расчетным путем, по данным обследований и испытаний.

В случае применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) есть ряд оснований для согласования непрерывного мониторинга, а именно: отсутствие норм проектирования с использованием этих материалов, недостаточное количество испытаний подобных конструкций, малый срок эксплуатации уже существующих объектов из полимерных композиционных материалов.

Также мониторинг желательно проводить в следующих случаях:

- применение полимерного композиционного материала при строительстве новых мостов и плановом ремонте;
- интеграция в эксплуатируемые мосты посредством приклеивания к несущей конструкции;
- применение полимерного композиционного материала для армирования высоконагруженных сводов подземных сооружений и мониторинга возникающих деформаций при осадке грунта;
- определение протечек грунтовых вод за счет контроля температуры конструкции;

- применение полимерного композиционного материала в конструкциях ответственных элементов и фундаментов энергетических комплексов;
- применение композиционного материала в качестве оболочки подземных и наземных трубопроводов и несущих арочных элементов.

Если принято решение о проведении мониторинга, то для большей надежности необходим, как непрерывный, так и периодический мониторинг технического состояния искусственного сооружения.



Рисунок 1 – Оптоволоконные системы мониторинга

Сотрудники Института интеллектуальных инфраструктур Дрексельского Университета (Drexel Intelligent Infrastructure Institute, Drexel University, Philadelphia) исследовали возможности измерения поведения с целью информационного управления мостами в реальном времени. Одна из таких управляющих систем установлена на автодорожном мосту «Коммодор Джон Бэрри» (Commodore John Barry Bridge) через р. Делавер возле Филадельфии. Русловое пролетное строение моста перекрывает пролеты 250, 500 и 250м (Рис. 2).

Система сбора данных управляется, синхронизируется и объединяется программным обеспечением, разработанным на базе «Labview» фирмы National Instruments (США). Сбор информации о ветре, температуре, радиации и влажности производится с помощью измерительной системы «555С» фирмы «Handar» (Финляндия), для опроса используется система сбора данных «CR10X» фирмы «Campbell» (США). Видеокамеры управляются системой «EVI» фирмы Sony (Япония). Весьма объемный поток данных от датчиков перемещений и ускорений, полученных за короткие отрезки времени принимается системой сбора данных «Optim» фирмы «Megadac» (США). В этой системе оператор может подключиться к управлению в любой момент.

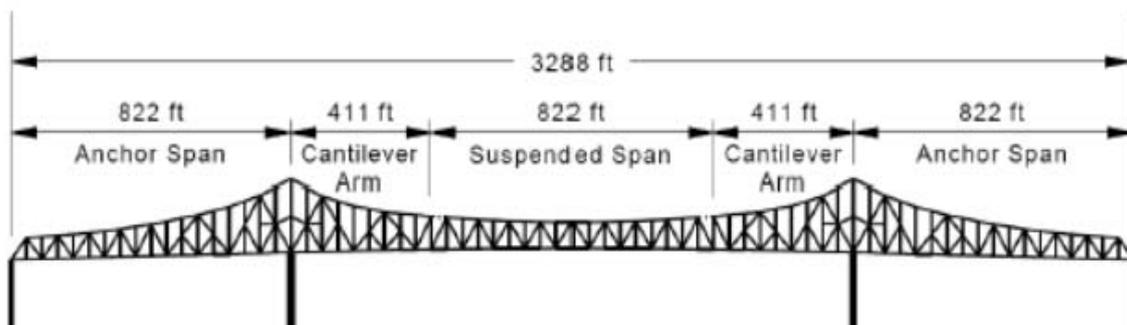


Рисунок 2 – Схема моста «Коммодор Джон Бэрри» [3]

Одним из примеров внедрения системы мониторинга на мостовых конструкциях в России является система на мосту через реку Белая, расположенного на автомобильной дороге "Западный обход г. Уфы" и построенного в 2000 году (Рис. 3). Мост выполнен по индивидуальному проекту: является металлическим, балочным, неразрезным, имеет длину около 720 м, установлен на 8 опорах, состоит из 69 секций.



Рисунок 3 – Общий вид моста

Основной причиной необходимости установки системы мониторинга на данном объекте было выявление просадки опор по результатам проведенного технического обследования и, как следствие, значительное отклонение геодезической кривой пролетного строения от сдаточной.

В будущем создаваемые системы непрерывного мониторинга состояния сооружений могут получать со спутников, самолетов и наземных баз изображения и данные о погоде, грузонапряженности, дорожной ситуации и реакции сооружения на эти воздействия, смогут обобщать и предоставлять в графическом виде данные для рассмотрения их координаторами в режиме

реального времени, с целью более эффективного управления человеческими и материальными ресурсами, противодействия внешним воздействиям. Системы непрерывного мониторинга состояния транспортных сооружений могут быть подключены к объединенным информационным системам, которые позволят должностным лицам и инженерам анализировать накопленные и только что полученные данные для более полного анализа ситуации.

В России уже начали использовать системы автоматизированного управления дорожным движением (АСУДД). К данным системам мониторинга подключили 28 улиц и проспектов в Санкт-Петербурге и полностью оснастили платную трассу М-11 «Москва – Санкт-Петербург». Управление системами осуществляется из центра управления дорожным движением. Системы автоматизированного управления дорожным движением выполняют управляющие и информационные функции, основными из которых являются:

- управление транспортными потоками;
- обеспечение транспортной информацией;
- управление безопасностью и управления в особых ситуациях.

Подобные системы также помогут управлять состоянием построенных искусственных сооружений путем регулирования транспортного потока, исключая перегрузки несущих конструкций.

Таким образом система мониторинга позволяет:

- 1) снизить затраты при эксплуатации мостовых сооружений, т.к. после установки системы мониторинга не требуется проведения периодических обследований;
- 2) повысить условия безопасного движения по мосту вследствие непрерывного мониторинга и возможности мгновенного оповещения сотрудников службы эксплуатации моста и служб быстрого реагирования о возможном возникновении потенциально опасной ситуации;
- 3) использовать новейшие современные строительные материалы с малым опытом их применения.

Безусловно, эффективность системы тем выше, чем раньше на этапе эксплуатации объекта она была установлена.

Использование систем мониторинга как наиболее эффективный способ профилактики различных «болезней» мостов обеспечивает безопасность и надежность эксплуатации на весь период их долгого 100 - 150 летнего жизненного цикла.

#### Литература:

1. ОДМ 218.4.002-2008. «Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений».
2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 1. Международный и отечественный опыт применения мониторинга // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 1, No1 (2014) <http://t-s.today/PDF/01TS114.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01TS114

3. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений // Транспортные сооружения, Том 1, №2 (2014) <http://t-s.today/PDF/01TS214.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01TS214

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ**

*Макаренко Татьяна Сергеевна, студент 5-го курса*

*кафедры «Автомобильные дороги»*

*Белорусско-Российский университет, г. Могилев*

*(Научный руководитель – Шаройкина Е.А., старший преподаватель)*

Дорожная разметка играет одну из самых важных ролей в обеспечении безопасности дорожного движения. Для неопытного водителя дорожная разметка поможет не только остаться в безопасности, но и сориентирует на незнакомой развязке, направит на многополосной дороге. Для пешеходов – комфорт перемещения в виде пешеходных переходов. Разметкой обозначают и велодорожки, что упрощает жизнь велосипедистам: дает безопасность перемещения и защищает от конфликтов с другими участниками дорожного движения.

Стоит отметить, что срок службы дорожной разметки различными материалами разный. Срок эксплуатации дорожной разметки, нанесенной традиционной дорожной краской или эмалью, принято считать от трех до шести месяцев. В то время как пластиковая разметка, служит до трех лет. Пластиковая разметка, в свою очередь, может наноситься холодным и горячим способом (пластик холодного нанесения и термопластик). Все чаще практикуют использование стеклошариков. Добавим, что для климатических условий Беларуси, разметка, нанесенная краской с повышенной износостойкостью, служит не более года. Стоимость материалов заметно разнится. Но если углубиться в изучение вопроса, то можно заметить, что перекрытие дороги на время ремонтных работ, привлечение материально-технических ресурсов ведет не только к удорожанию обслуживания автомобильной дороги, но и к ряду неудобств для участников дорожного движения. Ведь водителям придется либо объезжать участки ремонта, либо стоять в пробках. Нельзя не обратить внимание на тот факт, что при нанесении разметки краской движение перекрывают два-три раза в год, а при нанесении пластиковыми материалами – один раз в три – четыре года.

Не мало важно и зрительное восприятие разметки при движении в автомобиле. Для усталых глаз водителя необходима яркая, красочная, не поврежденная износом дорожная разметка. Говоря о погодных условиях стоит отметить, то в дни проливных дождей видимость разметки заметно ухудшается. И, в случае с пластиковой разметкой, которая возвышается над дорожным покрытием на два – три миллиметра, видимость заметно лучше. Случается так, что на особо оживленных участках дороги или на дорогах большой интенсивности она быстрее изнашивается. Поэтому необходимо проводить комплекс мероприятий по ее обновлению: докрашивать или заново наносить на особо неблагоприятных участках. Дорожные работы такого вида ведут к

удорожанию обслуживания автомобильной дороги, дают дополнительные траты на использование машин, механизмов и людей.

Таким образом мы можем сформулировать требования к дорожной разметке для обеспечения безопасного движения автомобилей, пешеходов и других участников дорожного движения. От дорожной разметки мы ждем:

1. долгий срок эксплуатации
2. достаточно яркую видимость в любое время суток
3. обеспечение безопасности для всех участников дорожного движения.

С этими требованиями на сегодняшний день отлично справляется дорожная разметка, наносимая полимерными материалами. Пластики для дорожной разметки разделяют на:

1. термопластик
2. спрей-пластик
3. пластик холодного нанесения [2]

Для улучшения световозвращающего эффекта применяют стеклошарики. Данная технология позволяет повысить видимость дорожной разметки в неблагоприятных погодных условиях, и в осенне-зимний период. Наличие микростеклошариков в составе разметочного материала увеличивает срок службы разметки на 10-15%. Стоит сказать, что эти стеклянные микросферы устойчивы к перепадам температур, имеют достаточную стойкость к воздействию щелочей и других химических веществ. А также, на наш взгляд, самое главное качество для обеспечения безопасности дорожного движения – хорошее сцепление с шиной автомобиля. Разметка с использованием стеклошариков имеет неровную, шершавую, рельефную поверхность, что даст и шумовой эффект. Речь идет о так называемых шумовых полосах, располагаемых на расстоянии 100-150 м от переходов, перекрестков и других мест, где требуется повышенное внимание.

Качественная дорожная разметка холодными пластиками, кроме всего перечисленного, способствует понижению аварийности на дорогах в 4,5-10 раз за счет лучших светотехнических характеристик и способности сохранять их со временем. Благодаря стеклянным микрошарикам, которые входят в состав материала, обеспечивается хорошая видимость разметки в любое время суток при любых погодных условиях. [3]

Принимая во внимание исследование компании 3M, постоянная долговечная разметка, характеризуется способностью выдержать до 8 млн наездов шин, (для сравнения: краска выдерживает до 500 тыс. наездов, а термопластик — около 1,5 млн наездов) обеспечивает лучшую безопасность движения, так как сохраняет свои световозвращающие свойства и хорошее сцепление с колесами машин в течение всего срока службы (Рис. 1). Именно такая разметка давно применяется в Европе. [1]



Рисунок 1 – Видимость дорожной разметки в темное время суток

Использование пластиковой дорожной разметки призвано продлить срок службы, как дорожного полотна, так и дорожной разметки, и различных конструкций на дороге. И это, безусловно, повышает качество дорог, а также безопасность дорожного движения. Внедрение полимеров для создания надежного, долговечного, дорожного покрытия – очень перспективное направление, которое открывает широкие возможности для создания дорог высокого качества. Такие автомобильные дороги дадут комфорт перемещения не только нам, но и нашим детям.

#### Литература:

1. Мы работаем над лозунгом «Безопасность превыше всего». – 2017г. – URL: [https://www.3m.com.by/3M/ru\\_BY/company-cis/?WT.mc\\_id=www.3m.by](https://www.3m.com.by/3M/ru_BY/company-cis/?WT.mc_id=www.3m.by) (дата обращения 15.11.2017).
2. СТБ 1231-2012. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Общие технические условия
3. СТБ 1424-2011. Материалы для разметки дорог. Стеклошарики для предварительного введения

## **О БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Стальмаченок Павел Александрович, студент 4-го курса  
строительного факультета,  
Полякова Татьяна Анатольевна, ст. преподаватель кафедры  
«Автомобильные дороги»  
Белорусско-Российский университет, г. Могилев  
(Научный руководитель – Полякова Т.А., старший преподаватель)*

Общая протяженность автомобильных дорог Могилевской области составляет более 13000 км, из них около 10000 км имеют твердое покрытие. По территории области проходят два международных транспортных коридора – номер IX (M1/E30) и номер IXB (E95/M8). В последнее время заметно увеличилась интенсивность движения на дорогах и выросла доля тяжелого автомобильного транспорта в общем объеме перевозок. Кроме того, в Могилевской области, как впрочем во всей Республике Беларусь, отмечается рост уровня автомобилизации. Перечисленные факторы несомненно влияют на уровень безопасности участников движения на автомобильных дорогах.

Вопрос обеспечения дорожной безопасности уже несколько лет является весьма актуальным. В связи с этим на разных уровнях принимаются решения и проводятся мероприятия, направленные на снижение аварийности на автомобильных дорогах. Несомненно, для принятия наиболее рациональных и действенных на данном этапе решений, необходимо отслеживать динамику изменения состояния уровня аварийности во времени и выявлять наиболее проблемные направления. Поэтому сбор и анализ статистических данных является одним из важных начальных этапов в борьбе за безопасность.

Авторами был проведен анализ уровня аварийности на дорогах Могилевской области за 2010-2016 г. по данным Белстат и ГАИ УВД Могилевского облисполкома. За данный период прослеживается общая устойчивая тенденция к снижению количества ДТП. (Рис. 1).

Основным общим показателем, характеризующим дорожную безопасность, является количество пострадавших (погибших и раненых) в ДТП. Можно отметить, что за исследуемый период данный показатель устойчиво снижается.

Был проведен анализ наиболее уязвимых участников дорожного движения с точки зрения их безопасности. В Могилевской области более половины пострадавших составили пешеходы.

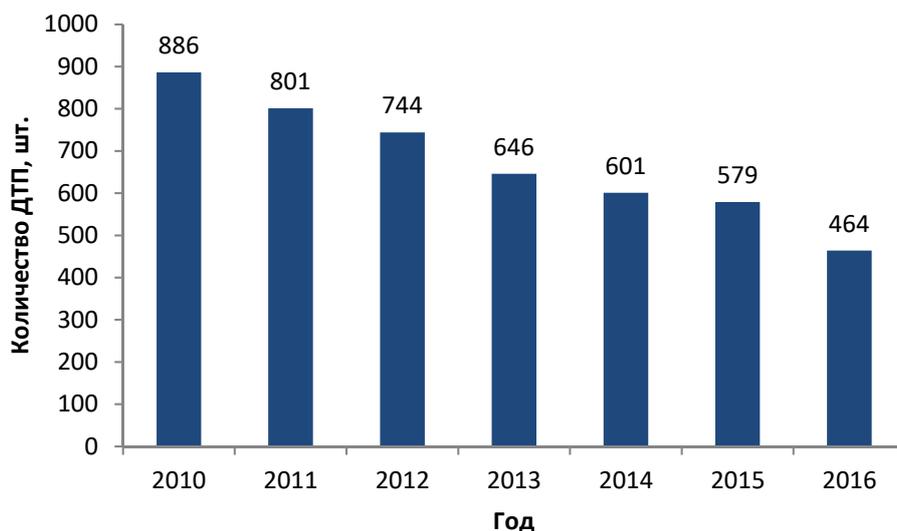


Рисунок 1 – Количество ДТП в Могилевской области с 2010 по 2016г.

При общем анализе ДТП мы использовали типовую статистическую форму отчетности ГАИ УВД Могилевского облисполкома, которая насчитывает 117 показателей. Выявить наиболее опасные и проблемные зоны в ней очень сложно. Поэтому мы решили выполнить структуризацию общего количества ДТП за 2016 г. по четырем факторам: фактору вида ДТП, фактору места ДТП, фактору организации движения, фактору условий движения. Результаты представлены на рисунках 2, 3, 4, 5.



Рисунок 2 – Распределение ДТП по фактору участника

Анализируя полученный график, можно отметить, что основными виновниками аварий за 2016 г. являются водители автотранспортных средств. Не может не настораживать, что более 13 % ДТП было совершено водителями в

нетрезвом состоянии, а 6% водителей скрылось с места ДТП. Высокой является и доля детского травматизма.



Рисунок 3 – Распределение ДТП по фактору места происшествия



Рисунок 4 – Распределение ДТП по фактору организации движения

Большая часть аварий произошла на республиканских автомобильных дорогах, в областном центре и иных населенных пунктах.

В настоящее время наиболее опасными факторами организации движения являются пешеходный переход и скоростной режим автомобилей.

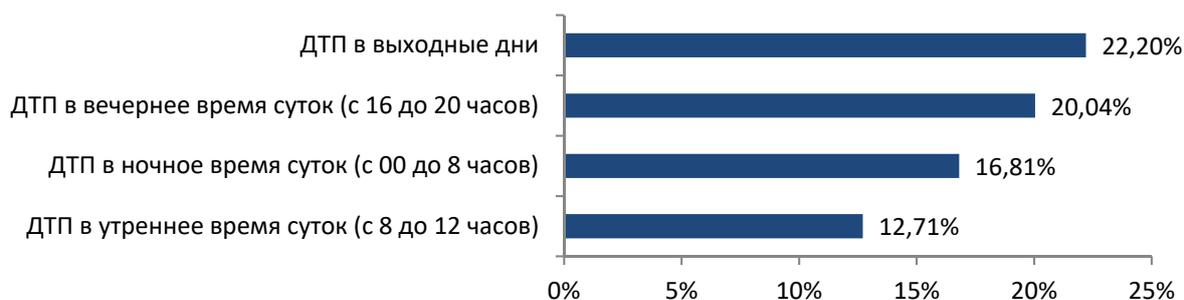


Рисунок 5 – Распределение ДТП по фактору условий движения

Наибольшее количество ДТП было совершено в выходные дни (суббота и воскресенье), и во время вечернего «часа пик» с 16 до 20 ч.

Сложившаяся «картина» аварийности позволяет сделать вывод, что несмотря на значительную проведенную работу, на дорогах Могилевской области остается повышенный риск ДТП. Поэтому необходимо принимать эффективные меры для повышения безопасности участников движения на различных уровнях: законодательном, административном, общественном. На наш взгляд, это может быть продолжение ужесточения наказаний за нарушение правил дорожного движения и особенно для водителей, находящихся в нетрезвом состоянии; проведение обучения всех участников движения безопасному поведению, включая пешеходов и детей; активное формирование транспортной культуры как у водителей, так и у пешеходов; проведение комплекса мероприятий по обеспечению безопасных дорожных условий на стадии проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

#### Литература:

1. Правонарушения в Республике Беларусь. Статистический сборник. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.mvd.gov.by> (дата обращения 12.10.2017).
2. Министерство внутренних дел Республики Беларусь. Общая статистика за 2016, 2017г. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения 12.10.2017).
3. Концепция обеспечения безопасности дорожного движения в г. Минске «Добрая дорога»: учебный материал для подготовки магистров / Ю.П. Важник [и др.] под общ. ред. начальника Упр. ГАИ МВД РБ, полковника милиции Д.М. Корзюка. – Минск: Новое знание, 2017. – 200с.: ил.
4. Бутраменко, А. А. Влияние элементов обустройства автомобильных дорог на уровень аварийности / А. А. Бутраменко, Т. А. Полякова // Научная дискуссия современной молодежи: актуальные вопросы, достижения, инновации: Междунар. науч.-практич. конф. 26 ноября 2016 г.: матер. – Пенза, 2016. – С. 64–66.

## **ДЕФЕКТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ**

*Татаринovich Анна Васильевна, студентка 4-го курса*

*кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*(Научный руководитель – Ходяков В.А., ассистент)*

В связи с высокой стоимостью опалубки строители очень часто не соблюдают необходимые этапы выдержки бетона в опалубке, производят распалубку сооружения раньше положенного срока. Во время монтажа опалубки значимым является величина сцепления бетона с опалубкой, так как при большой величине сцепления затруднены работы по распалубке конструкции. При падении качества поверхностей бетона возникают дефекты.

Недостаточная жесткость и плотность опалубки приводит к деформированию конструкции в период укладки бетонной смеси, при этом изменяется форма железобетонных элементов. Деформирование опалубки зачастую приводит к сдвигу и деформации каркасов и стенок из арматуры, уменьшению несущей способности элементов конструкции, возникновению наплывов и выступов.

Деформация конструкции может произойти из-за нарушения размеров: при их увеличении возрастает собственный вес конструкции, а при уменьшении снижается несущая способность. Нарушения такого характера наблюдаются в случае изготовления опалубки на стройке без надлежащего контроля инженера.

Результатом дефектного установления армированного каркаса, отсутствия прокладки является недостаточное количество защитного слоя или малая толщина. При применении очень жесткой бетонной смеси образуются раковины и трещины возле арматурных стержней, вследствие этого снижается связь цемента с арматурой, возникает риск формирования коррозии арматуры.

Бывают случаи, когда бетонная смесь налипает на арматуру и опалубку, из-за этого образуются полости в бетонных конструкциях.

При уходе за бетоном необходимо создание температурно-влажностных условий, которые могут обеспечить сохранение воды в бетоне, которая необходима для гидратации цемента. В случаях, когда процесс твердения проходит при постоянной температуре и влажности прочность бетона увеличивается с каждым днем.

Зачастую бетон покрывают пленкой из полимеров с целью недопущения пересыхания. Пересушенный бетон имеет много микротрещин и не обладает большой прочностью и морозостойкостью.

Появление дефектов облегчает проникание агрессивной среды вовнутрь конструкции плиты проезжей части и способствует перераспределению усилий в сталежелезобетонном пролетном строении моста. Следовательно, необходим

учет не только геометрических изменений, но и процесса деградации материалов конструкции во времени под влиянием агрессивной среды.

Отметим, что последние десятилетия в нашей стране и во всем мире было возведено большое количество железобетонных конструкций. В связи с этим возникает проблема надежной эксплуатации конструкций с учетом множества отрицательных факторов, вызывающих появление и развитие дефектов различного вида. В данной работе классифицированы дефекты и повреждения железобетонных конструкций транспортных сооружений. Рассмотрены причины возникновения и развития различных видов дефектов и повреждений, как в частях железобетонных конструкций, так и в железобетонных плитах.

#### Литература:

1. Овчинников И.Г., Козлов И.Г., Кононович В.И., Фаизов Т.С. Диагностика транспортных сооружений. - Саратов: СГТУ, 1999. - 184 с.
2. Овчинников И.Г. Обследования, ремонт и усиление оснований и фундаментов транспортных сооружений / И.Г. Овчинников, А.А. Шейн, А.А. Пискунов. Учебное пособие, Казань, изд-во КГАСА, 2005. 300 с.
3. Добромыслов А.Н. – Дефекты в конструкциях при строительстве. – Москва, 2009. – 190 с.
4. Гроздов В.Т. – Дефекты строительных конструкций и их последствия. - Санкт-Петербург, 2007. – 129 с.

## ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА

*Татаринovich Анна Васильевна, студентка 4-го курса*

*кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*(Научный руководитель – Ходяков В.А., ассистент)*

От структуры и состояния узлов, которые обеспечивают соединение плит с главными балками, зависит несущая способность всего пролетного строения. Наиболее нагруженными, подверженными воздействию постоянных и временных нагрузок, являются железобетонные плиты проезжей части. Исследования показывают, что, чаще всего, именно плиты проезжей части определяют свойства, определяющие отношение материалов к различным физическим процессам, нагрузкам. В таблице 1 приведены характерные дефекты и повреждения железобетонной плиты пролетного строения.

Таблица 1 – Характерные дефекты и повреждения железобетонных плит пролетного строения

Вид дефекта (повреждения)	Местоположение дефекта (повреждения)
1	2
Разрушение защитного слоя бетона с обнажением арматуры	Железобетонная плита
Поверхностное разрушение бетона без обнажения арматуры	Железобетонная плита
Выбоины, наплывы, неровности покрытия	В районе деформационных швов
Продольные трещины, непробетонированные участки стыков	Поперечные стыки плиты проезжей части
Усадочные трещины	Поверхность плиты
Нарушение соединения металлических коробов и плит проезжей части	Железобетонная плита
Поверхность с неглубокими раковинами	Поверхность железобетонной плиты
Разрушение плиты проезжей части вдоль шва омоноличивания их с прогоном	Железобетонная плита

Сплошное выщелачивание консолей плит, включенных в совместную работу с главными балками	Железобетонная плита
Недостаточная толщина защитного слоя (арматура "просвечивает" или оголена)	Железобетонная плита
Разрушение бетона с обнажением арматуры	Консоли сборных плит проезжей части, нижние поверхности и торцы
Продольные силовые трещины в плите, поперечные усадочные трещины в плите	Нижняя поверхность плит на участке между главными балками
Трещины по контакту бетона омоноличивания и основного бетона плит	Стыки омоноличивания плит
Внутренние полости (пустоты)	В бетоне омоноличивания плит
Наклонные трещины	Железобетонная плита
Некачественное заполнение продольного шва между металлом и плитой	Железобетонная плита
Наличие пустот под плитой проезжей части	Железобетонная плита
Хаотично расположенные трещины	Поверхность железобетонной плиты

Исходя из этого, наиболее опасными для плит проезжей части являются:

- множественные трещины в швах плит;
- некачественный бетон;
- недоброкачественное состояние гидроизоляции.

Долговечность арматур в железобетонных плитах. Сохранность арматуры в железобетоне плиты зависит от щелочной среды в бетоне:  $pH = 12-13$ . Эти условия являются источником пассивации арматуры, происходит образование защитной пленки на металле, если при этом присутствуют хлориды, то водородный показатель  $pH$  уменьшается до 5-7. При нарушении требуемой щелочности и пассивации начинается процесс коррозии арматуры. Соединения, которые содержат хлорид, присутствуют в бетоне в виде связанного хлора и его ионов. Свободные ионы хлора катализируют в реакцию взаимодействия с металлом. После применения солей в средствах против гололеда стала возникать проблема быстрого коррозионного разрушения. Решения, связанные с увеличением долговечности конструкции, должны быть направлены на принятие мер, препятствующих попаданию ионов хлора в бетон. При этом степень противокоррозионной защиты в искусственных сооружениях должна быть выше, чем в обычных железобетонных конструкциях. Причиной этого служит то, что применение арматуры малого диаметра даже при небольшой степени коррозии является причиной уменьшения несущей способности сооружения. В

то же время высокие напряжения в арматуре делают сталь более чувствительной к воздействию коррозии.

Перечислим основные места и причины проникновения влаги на нижнюю поверхность железобетонной плиты и металл балок:

- отверстия для штырей, поддерживающих опалубку при омоноличивании железобетонной плиты проезжей части;
- швы омоноличивания между торцами плиты проезжей части;
- продольный шов по оси моста между плитами, не имеющих слезников, что приводит к затеканию воды на нижнюю поверхность плиты и металлических балок;
- водоотводные трубки недостаточной длины; места установки водоотводных трубок, вокруг которых просачивается вода;
- отверстия для прохода кабеля судовой канализации с выщелачиванием бетона вокруг отверстия;
- скол бетона на плите проезжей части с обнажением арматуры.

Появление пороков улучшает возможность проникновения агрессивной среды вовнутрь конструкции плиты проезжей части и способствует перераспределению усилий в железобетонных пролетных строениях мостов. Следовательно, необходим учет не только геометрических изменений, но и процесса деградации материалов конструкции во времени под влиянием агрессивной среды.

#### Литература:

1. Овчинников И.Г., Козлов И.Г., Кононович В.И., Фаизов Т.С. Диагностика транспортных сооружений. - Саратов: СГТУ, 1999. - 184 с.
2. Овчинников И.Г. Обследования, ремонт и усиление оснований и фундаментов транспортных сооружений / И.Г. Овчинников, А.А. Шейн, А.А. Пискунов. Учебное пособие, Казань, изд-во КГАСА, 2005. 300 с.
3. Добромыслов А.Н. – Дефекты в конструкциях при строительстве. – Москва, 2009. – 190 с.
4. Гроздов В.Т. – Дефекты строительных конструкций и их последствия. - Санкт-Петербург, 2007. – 129 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛКИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

**Колонович Александр Викторович**, студент 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»

**Новиков Павел Игоревич**, студент 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»

**Ходяков Вячеслав Андреевич**, аспирант  
кафедры «Мосты и тоннели»

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Ходяков В.А., ассистент)*

Элементы несущих конструкций мостов постоянно испытывают динамические воздействия. Причинами воздействий являются различные внешние факторы: порывы ветра, движение автотранспорта по сооружению, поперечные удары от подвижной нагрузки, воздействие льда на конструкции опор, сейсмические воздействия и другие.

Различают два основных вида колебаний: собственные и вынужденные. Свободные колебания всегда затухают, если отсутствуют внешние воздействия на колебательную систему. Простейшим механизмом уменьшения энергии колебаний является превращение ее в теплоту из-за трения в механических колебательных системах. Свободным колебаниям соответствует постоянная частота и период, величины которых зависят от вида конструкций, геометрических характеристик и материала. Запись колебательных перемещений осуществляется с помощью специальных приборов: акселерометра и электрического тензометра.

Испытательная модель представляла собой балку длиной один метр на шарнирных опорах, одна из которых является подвижной. Импульсное динамическое воздействие моделировалось путем сбрасывания на балку грузов с определенной высоты (Рис. 1).

Проводилась серия испытаний с изменением колеблющейся массы. Применялись грузы массой 500 грамм. Амплитудно-частотные характеристики колебания балки снимались при помощи цифрового акселерометра и электротензометра. Благодаря специализированной программе осуществлялась математическая обработка данных, позволяющая наблюдать спектр сигнала, оценивать параметры сигнала: среднее значение, среднеквадратическое значение, пиковое значение, полный размах, частоту сигнала, период. Сигналы преобразуются в результирующую величину с помощью специальных датчиков, установленных на металлической балке. Преобразователь интерфейса синхронизирует датчики между собой, что позволяет наблюдать взаимодействие в различных точках объекта.



Рисунок 1 – Испытательная установка – балка, с подключенными к ней датчиками

Динамическое воздействие на балку моделировалось не менее десяти раз в каждом испытании (Рис. 2), что давало возможность максимально корректно изучить затухание свободных колебаний с учетом изменчивости полученных экспериментальных данных.

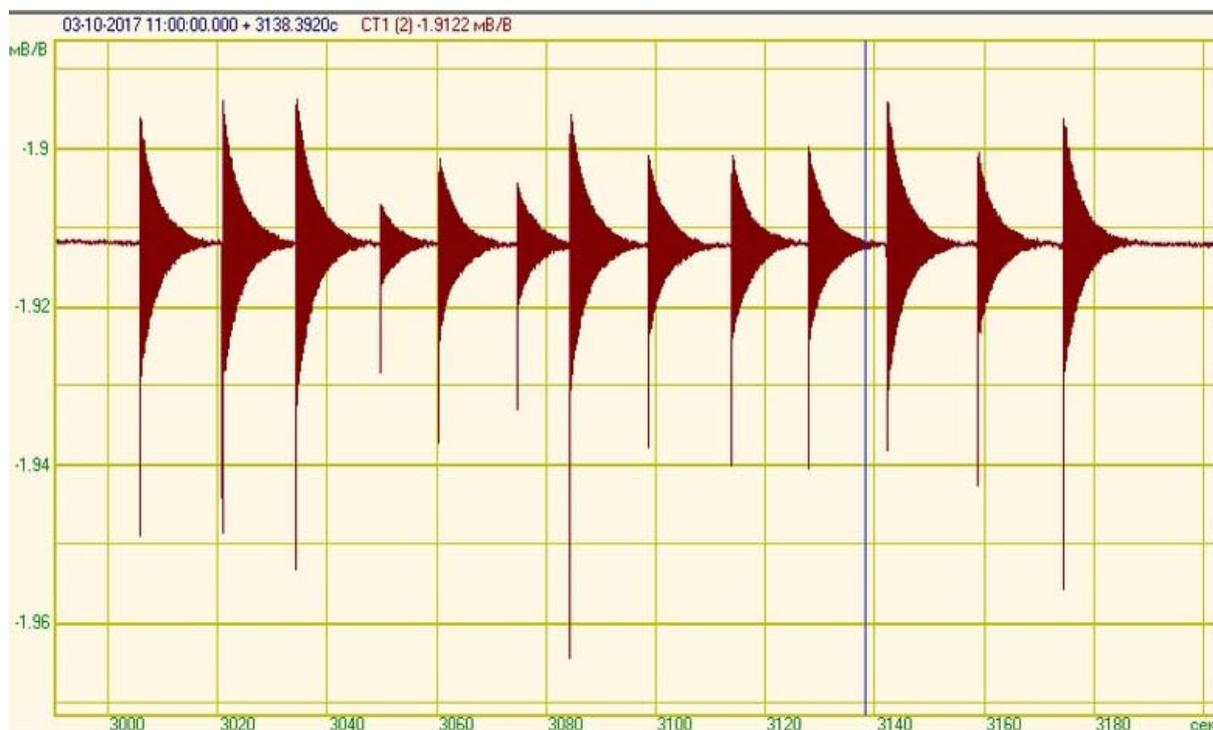


Рисунок 2 – Осциллограмма, полученная после серии испытаний

Испытания проводились с грузами 0,503; 1,010; 1,508 и 2,009 килограмма. На компьютере фиксировались данные затухания свободных колебаний (Рис. 3).



Рисунок 3 – Осциллограмма свободных затухающих колебаний балки при импульсной нагрузке

После обработки данных, полученные средние характеристики были сведены в таблицу 1. Важно было определить количественную характеристику быстроты затухания колебаний - декремент затухания  $\lambda$ , который равен натуральному логарифму отношению двух последующих максимальных отклонений колеблющейся величины в одну и ту же сторону.

Таблица 1 – Средние значения характеристик после обработки данных

Масса загрузки, м, кг.	Средний период, Т с.	Средняя частота, $\nu$ Гц.	Средний декремент затухания, $\lambda$
0,000	0,063	15,87	0,0493
0,503	0,075	13,20	0,0422
1,010	0,086	11,52	0,0318
1,508	0,097	10,36	0,0264
2,009	0,105	9,50	0,0194

Далее мы построили графики, на которых отображена зависимость частоты (Рис. 4) и декремента затухания (Рис. 5) от массы груза при ударной нагрузке.

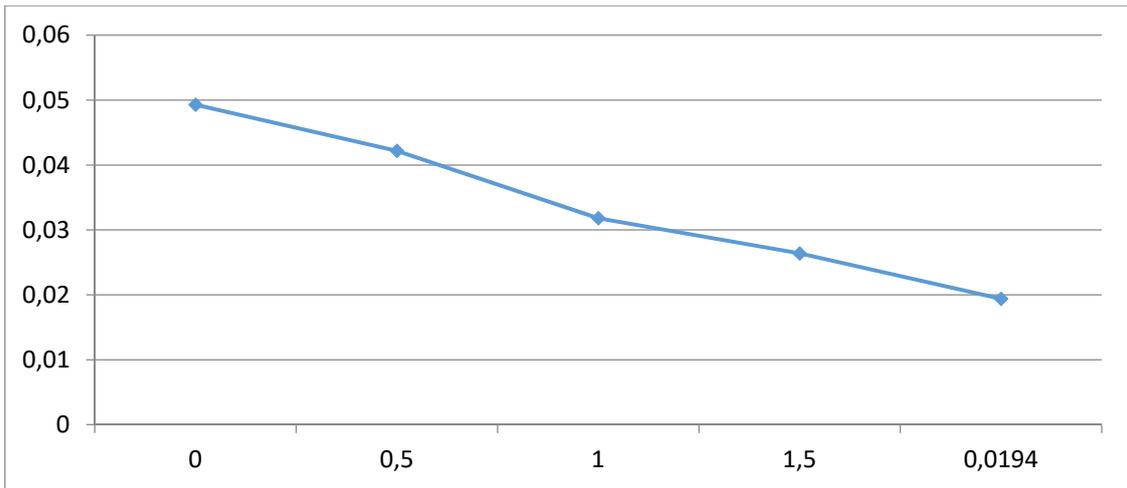


Рисунок 4 – График зависимости декремента затухания свободных колебаний от массы груза при ударе

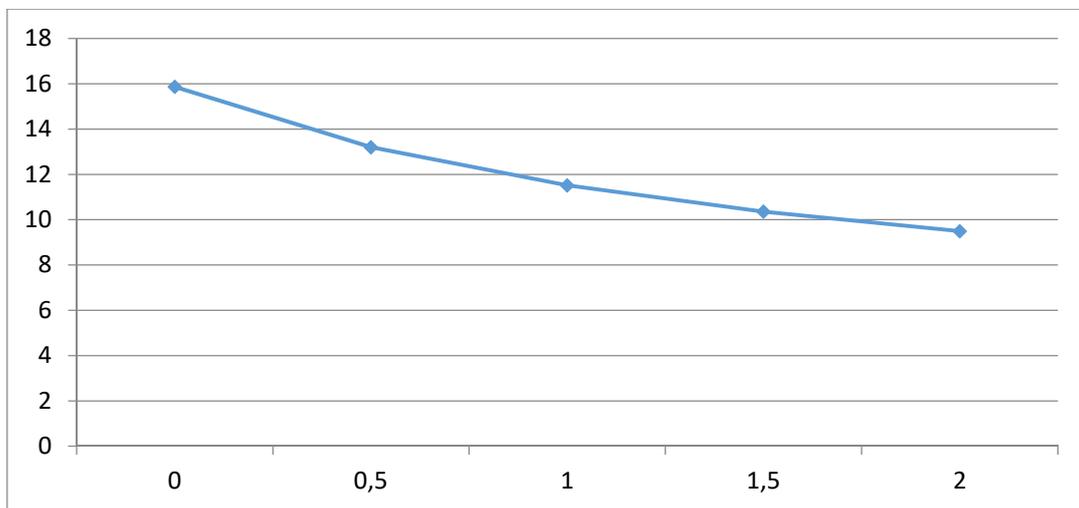


Рисунок 5 – График зависимости частоты от массы груза при ударе

После анализа графиков были выявлены зависимости, что с увеличением массы груза при ударе декремент затухания и частота свободных колебаний уменьшались.

Во второй форме (Рис. 6) колебания протекают в противофазе: перемещение имеет направление, противоположное направлению возмущающей силы.

Проводились серии испытаний с изменением колеблющейся массы до одного килограмма.

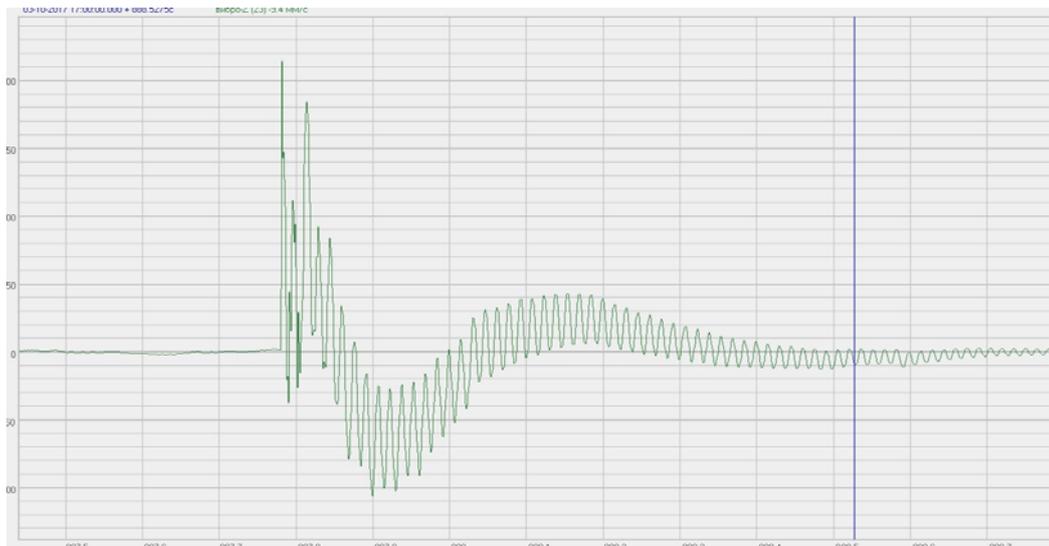


Рисунок 6 – Вторая форма колебаний

Испытания проводились точно так же, как и в случае с первой формой колебаний. После обработки были получены средние значения характеристик, которые далее свели в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты обработки данных

Масса загрузки, т, кг.	Средний период, Т с.	Средняя частота, $\nu$ Гц.
0	0,015	65,08
0,503	0,021	45,98
1,01	0,024	40,71

Зависимость частоты от массы груза при ударе отображена на графике (Рис. 7).

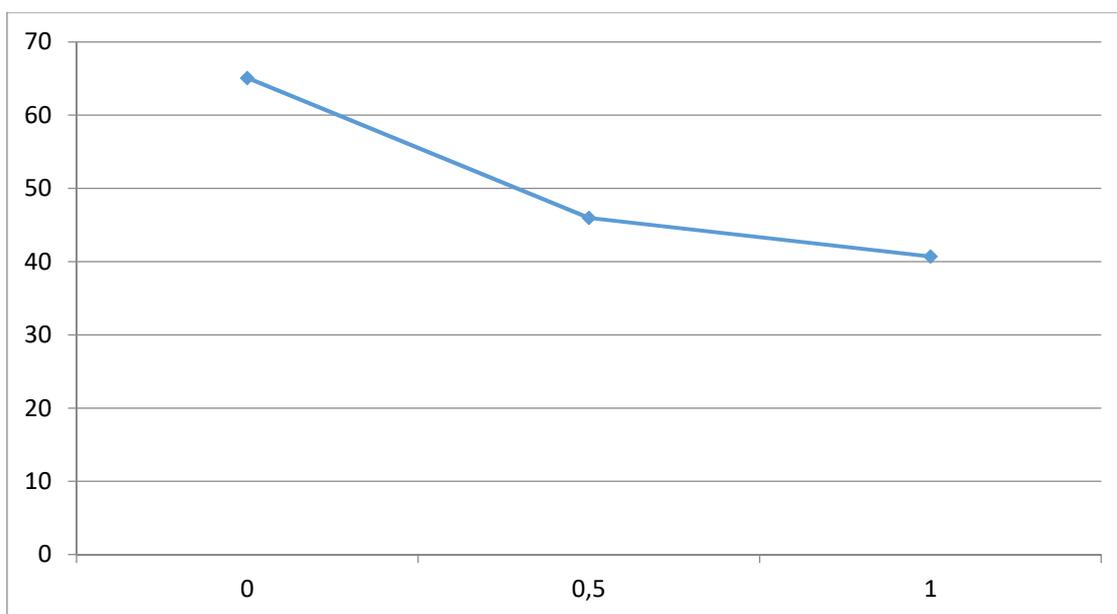


Рисунок 7 – Зависимость частоты от массы груза

При выполнении ручного расчета необходимо определить коэффициент жесткости пружины эквивалентные коэффициенту жесткости пролетного строения. Сделать это можно по следующей формуле:

$$k = \frac{F}{x}, \text{ где}$$

F – нагрузка, Н;

x – прогиб, мм;

В зависимости от нагрузки, действующей на пролетное строение, конечные результаты, полученные при расчете, сведены в таблицу 3.

Определяем приведенную массу балки по формуле:

$$M_6 = \frac{17}{35} * pl, \text{ где}$$

p-погонная нагрузка на единицу длины балки, кг/м;

l-длина пролета, м;

$$M_6 = \frac{17}{35} * 2,380 * 1 = 1,156 \text{ кг.}$$

Принимаем k = 11192 Н/м.

Далее определяем собственную частоту колебаний балки по формуле:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ где}$$

m- масса груза + приведенная масса балки, кг;

k- жесткость пружины, Н/м;

$$\nu = \frac{1}{2 * 3,14} * \sqrt{\frac{11192}{1,156}} = 15,67 \text{ Гц.}$$

Таблица 3 – Изменение жесткости пружины от нагрузки на ПС

Нагрузка, кг	Нагрузка, Н	Прогиб Ф, мм	усл. Жёсткость пружины, Н/мм
0,503	4,9	0,431	11,448
1,010	9,9	0,885	11,195
1,508	14,7	1,320	11,207
2,009	19,7	1,771	11,128
2,511	24,6	2,209	11,151
2,009	19,7	1,777	11,091
1,508	14,8	1,326	11,156
1,010	9,9	0,892	11,107
0,503	4,9	0,439	11,240
		Ср. знач.	11,191

Сравнение и сопоставление конечного результата компьютерного расчета с результатами эксперимента и ручным расчетом – это главная цель нашей работы в специализированном программном комплексе.

Изначально, мы создали поперечное сечение и указали длину металлической балки равные ее реальным размерам. Так же был создан материал, соответствующий испытываемому образцу. При моделировании динамического воздействия, учитывалась масса груза вплоть до грамма, позволяющая максимально точно приблизиться к результатам эксперимента. Расчет производился для двух форм колебания.

С помощью препроцессора, была создана расчетная схема и приложены необходимые нагрузки для того, чтобы в дальнейшем произвести расчет и получить конечный результат.

После создания расчетной схемы и загрузки металлической балки, мы выполнили компьютерный расчет, с помощью которого определили частоту металлической балки для обоих форм колебания (Рис.8).

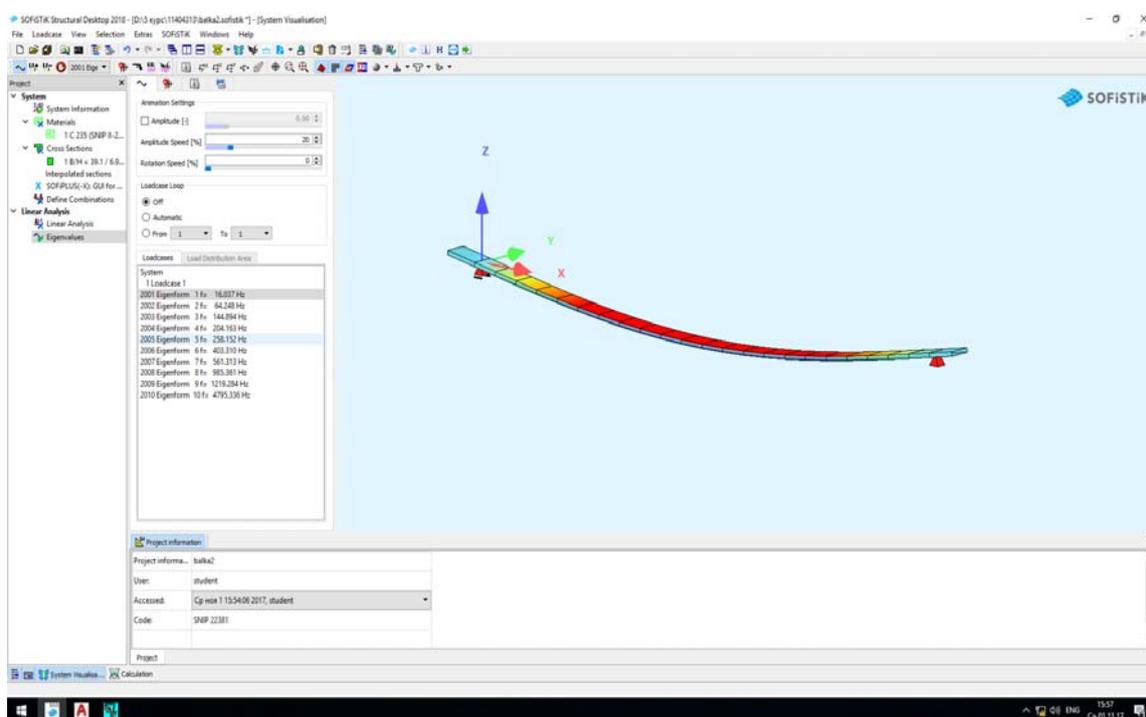


Рисунок 8 – Частота колебания балки без загрузки

По результатам компьютерного расчета первой формы колебаний, была составлена таблица, в которую были занесены значения частоты, полученные с помощью компьютерного расчета и результатов испытания. (Табл.3).

Таблица 3 – Сравнение полученных результатов

Масса загрузки, т,кг.	Частота, в Гц. Результат испытания	Частота, в Гц. Компьютерный расчет	Отклонение от испытания, %	Частота, в Гц. Ручной расчет	Отклонение от испытания, %
0	15,89	16,03	0,88	15,67	1,38
0,503	13,20	13,19	0,076	13,10	0,76
1,010	11,51	11,46	0,43	11,63	1,48
1,508	10,36	10,28	0,77	10,24	1,16
2,009	9,49	9,10	4,11	9,07	4,43

Глядя на таблицу можно сделать вывод, что конечные результаты, полученные при компьютерном и ручном расчете, близки к результатам натурального испытания и имеют отклонения 0-4%. Следовательно, мы можем воспользоваться любым из вышеописанных расчетов при определении амплитудно-частотных характеристик реального сооружения, получая при этом достоверные конечные результаты.

Компьютерный расчет во второй форме колебаний происходит аналогично первому (Рис. 9).

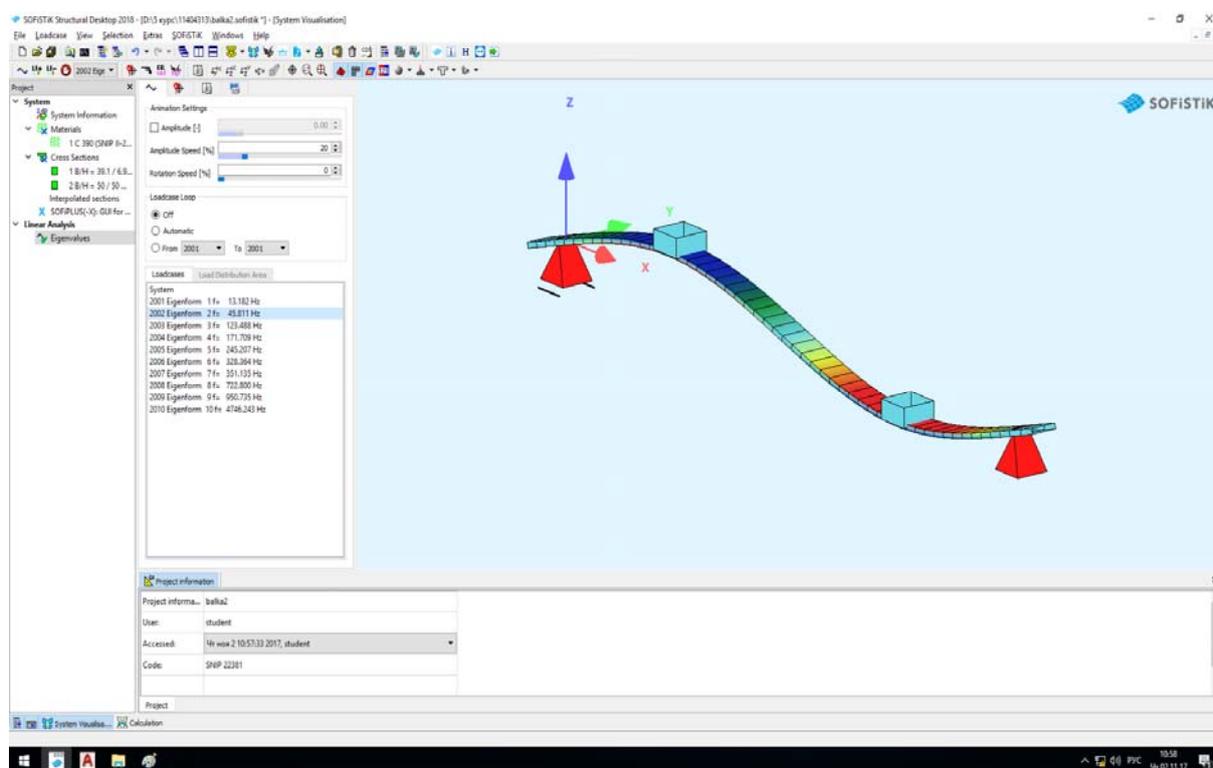


Рисунок 9 - Расчетная схема при второй форме колебаний

Точка приложения груза была на расстоянии 0,25 метра от края пролета. Расчет выполнялся при нагрузках до 1,009 килограмма.

Результаты компьютерного расчёта и результатов испытания были сведены таблицу (Табл. 4).

Таблица 4 – Сравнение полученных результатов натурального испытания и компьютерного расчета

Масса загрузки, т,кг.	Частота, в Гц. Результаты испытания	Частота, в Гц. Компьютерный расчет	Отклонение от испытания, %
0	65,08	65,04	0,06
0,503	45,68	45,81	0,29
1,010	40,71	39,54	2,87

Отклонение конечных результатов компьютерного расчета от результата натуральных испытаний не превышает 3%. Это говорит о том, что результат, полученный с помощью компьютерного расчета, является достоверным. Это дает нам возможность варьировать методами определения амплитудно-частотных характеристик сооружений, получая на выходе реальный конечный результат.

Полученные результаты исследования однозначно дают понять особенности изучаемого явления и возможности прогнозирования эффекта резонанса на эксплуатируемых транспортных сооружениях.

С помощью акселерометра и электротензометра определены амплитудно-частотные характеристики металлической балки. Определены частоты, периоды и декремент затухания металлической балки. Построены графики зависимости декремента затухания и частоты от массы груза при ударе.

Произвели компьютерный расчет в ПК SOFiFTiK и ручной расчет. Конечные значения определенных характеристик мы свели в таблицу. Проанализировав результаты видно, что отклонения компьютерного и ручного расчета от результатов натурального испытания составили 0-5 %, что не превышает допустимое значение отклонение равное 5%. Это говорит о том, мы можем воспользоваться любым из вышеописанных расчетов при определении амплитудно-частотных характеристик реального сооружения, получая при этом достоверные конечные результаты.

Впервые в Беларуси проведено сравнение натуральных испытаний с компьютерным расчетом в ПК SOFiSTiK.

#### Литература:

1. Bog5.in.ua. Декремент затухания. Логарифмический декремент затухания – Март 2011г. - URL: [http://bog5.in.ua/lecture/vibration\\_lect/lect4\\_vibr.html](http://bog5.in.ua/lecture/vibration_lect/lect4_vibr.html)
2. Карпов А.С. Расчет собственных частот и форм колебаний опорных и пролетных конструкций автомобильных эстакад. – 2014. – С. 1 – 14. (2014).
3. Bolotin V.V. Vibratsii v tekhnike. Spravochnik v 6-ti tomakh. Tom 1. Kolebaniya lineynykh sistem. I.I. Artobolevski, A.N. Bogolyubov, V.V. Bolotin. – М.: Mashinostroenie, 1978. – 352 s. – UDK 62-752(031)
4. Культербаев Х.П. Основы теории колебаний. – 2003. – С. 1-25. (2013).
5. Работнов Ю.Н. Соппротивление материалов. – 1963. – С. 372-378. (1963).

6. Msd.com.ua. Колебание элементов конструкций. - URL:  
<http://msd.com.ua/zhelezobeton/kolebaniya-elementov-konstrukcij/>
7. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов.  
- М.: Мир. - 1978. - С. 106. – 848. (1978).

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1 Современные направления в проектировании и строительстве транспортных сооружений

*Измайлов В.А.*

КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОДОРОЖНЫХ ТРУБ И УСЛОВИЯ ИХ  
ПРИМЕНЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ..... 4

*Ильин И.Б.*

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗПАСНОЕ ПРОИЗВОДСТВО АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ  
СМЕСИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ..... 9

*Трапезников А.А., Борисов Р.Э.*

МАТРИЧНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ОГРАЖДЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА  
АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТАХ И ДОРОГАХ..... 12

*Fedorova S.*

PRINCIPLES OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF THE BRIDGE  
RECONSTRUCTION IN THE CONDITIONS OF MEGAPOLIS..... 22

*Москаленко Г.С.*

РАЗВИТИЕ МОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ГОРОДА КРАСНОДАРА  
В ПРЕДДВЕРИИ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО ФУТБОЛУ 2018 ГОДА..... 29

*Леконцева Д.Д., Кавыева И.А.*

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИИ В ТРАНСПОРТНОЙ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ..... 35

*Анон С.А.*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО  
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ..... 39

*Сарвас А.С.*

ЗАЩИТА ОТ ВЕТРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО МОСТОВЫМ  
СООРУЖЕНИЯМ..... 46

<b><i>Хватынец В.А.</i></b> ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....	51
<b><i>Чугунова М.А.</i></b> ТРУБОБЕТОН КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В РАМКАХ ОРГАНИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ.....	56
<b><i>Малык Н.И.</i></b> ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМОЧЕВИНЫ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	62
<b><i>Арийчук Д.В.</i></b> ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ.....	65
<b><i>Корбут Е.А.</i></b> ПРОДАЖА ТОННЕЛЬНО-РАСТОЧНОЙ МАШИНЫ HERRENKNETCH S-424.....	68
<b><i>Гайданович В.В.</i></b> ЗАПАДНЫЙ КАНАЛИЗАЦИОННЫЙ ТОННЕЛЬ.....	70
<b><i>Евсей С.Н.</i></b> СПОСОБЫ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА НА ПОЛНОЕ СЕЧЕНИЕ.....	73
<b><i>Ольховка В.В.</i></b> СРАВНЕНИЕ ТПМК «НАДЕЖДА», «ВИКТОРИЯ» И «ЭЛИЗАБЕТ». ПРОЕКТ СВАРТИСЕН.....	84
<b><i>Королёв В.О.</i></b> ПЛАСТИКОВЫЕ ДОРОГИ В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ.....	90
<b><i>Новик С.В.</i></b> ПРОЕКТ МЕТРО НА ПЛАТФОРМЕ ВІМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 5D .....	92
<b><i>Рахманов А.Е.</i></b> ЩИТОВОЙ КОМПЛЕКС ОТ KAWASAKI ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА «ТОКУО BAU AQUA-LINE» (ТОКИЙСКОЙ АКВАЛИНИИ).....	97

<i>Мутор П.И.</i> СПОСОБЫ ОГНЕЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	104
<i>Матыс В.О.</i> СКУЧНАЯ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКАЯ КОМПАНИИ «THE BORING COMPANY».....	106
<i>Татаринovich А.В.</i> БЕТОН, СОДЕРЖАЩИЙ РАЗЛИЧНЫЕ ПУЦЦОЛАНОВЫЕ ДОБАВКИ.....	112
<i>Руденков В.В.</i> БЕТОН ИЗ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА.....	115
<i>Беляцкий Н.А.</i> ТОННЕЛИ С AUTODESK REVIT.....	117
<i>Ларченко А.В.</i> ИНЪЕЦИРОВАНИЕ ГРУНТОВ ИЗ ТОННЕЛЯ РАСТВОРАМИ.....	120
<i>Тарасов П.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ В МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.....	125
<i>Шелег Ю.Ю.</i> АРМИРОВАНИЕ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	129
<i>Татаринovich А.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТОРКРЕТИРОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	132
<i>Тихон А.Н.</i> ВІМ СТАНДАРТЫ В БЕЛОРУССИИ.....	137
<i>Атрошенко П.А.</i> МАГДЕБУРГСКИЙ ВОДНЫЙ МОСТ.....	140

***Шукелойть В.Г.***

ПОНЯТИЕ «МОСТЫ». ЛОНДОНСКИЕ МОСТЫ..... 142

***Малаев В.А.***

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ТОННЕЛЕЙ..... 146

***Тарлецкий И.В.***

БЕЗБАЛЛАСТНЫЙ ПУТЬ LVT..... 148

**Секция 2 Современные направления в реконструкции,  
ремонте, содержании и мониторинге  
транспортных сооружений**

***Салимов А.М.***

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ЭЛЕМЕНТЫ  
ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВ..... 151

***Сидорова А.Ю.***

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НА НОВЫХ МОСТАХ, ПОСТРОЕННЫХ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ..... 154

***Макаренко Т.С.***

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ  
ПУТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ..... 160

***Стальмаченок П.А., Полякова Т.А.***

О БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ  
В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ..... 163

***Татаринovich А.В.***

ДЕФЕКТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ. ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ..... 167

***Татаринovich А.В.***

ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ  
ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА..... 169

***Колонович А.В., Новиков П.И., Ходяков В.А.***

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛКИ.  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА..... 172

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ,  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ, РЕМОНТЕ И СОДЕРЖАНИИ  
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

МАТЕРИАЛЫ

II Международной студенческой конференции