

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

Факультет транспортных коммуникаций

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

МАТЕРИАЛЫ

72-й Студенческой научно-технической конференции

Минск  
БНТУ  
2016

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор Г.П. Пастушков;  
доктор технических наук, профессор Г.Д. Ляхевич;  
кандидат технических наук, доцент И.Л. Бойко;  
кандидат технических наук, доцент А.С. Мацкевич;  
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;  
ассистент А.Н. Вайтович;  
ассистент М.А. Кисель;  
ассистент О.В. Костюкович;  
ассистент М.П. Петров;  
ассистент В.А. Ходяков;

В сборник включены тезисы докладов, представленных на 72-й студенческой научно-технической конференции БНТУ студентами кафедры «Мосты и тоннели».

© Белорусский национальный  
Технический университет, 2016

## ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВ В AUTODESK REVIT

Аксёненко Р.А., Козюля А.А., Косяков А.Д.  
(Научный руководитель – Костюкович О.В.)

В программном комплексе Autodesk REVIT были созданы варианты деревянных мостов:

- Мост с пролетными строениями из дощато-гвоздевых ферм
- Мост с пролетными строениями из клееных балок
- Мост с пролетными строениями из клефанерных балок.

Дощато-гвоздевое пролетное строение включает в себя перекрестные стенки из двух слоев досок, верхние и нижние пояса, системы попарного объединения ферм между собой.

Клееные балки производятся из деревянных ламелей и обладают высокими прочностными характеристиками за счет соединения противоположно направленных волокон.

Клефанерные балки состоят из фанерных и дощатых поясов. Поперечное сечение балки может быть двутавровым и коробчатым.

Ледорезы использовались шатровые, как наиболее эффективный вариант. Данные ледорезы имеют клиновидную форму и при ледоходе куски льда забрасываются на ледорез и переламываются.

Главное преимущество использования Autodesk REVIT в данной работе состоит в том, что создав полную трехмерную модель сооружения, можно создать любой вид, разрез, чертеж.

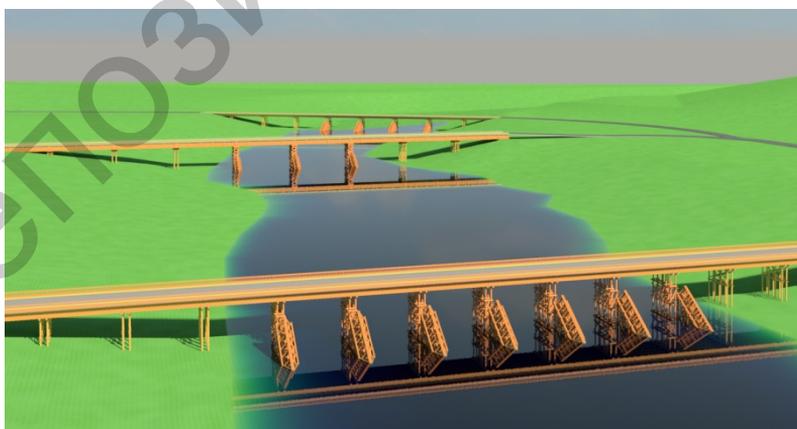


Рисунок 1 – Общие виды моделей деревянных мостов

### Литература

1. Сайт кафедры «Мосты и тоннели» - <http://mit.na.by/>
2. Сайт компании Autodesk Россия - <http://www.autodesk.ru/>

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДА УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

Артёменко Д.Н.

(Научный руководитель – Костюкович О.В.)

Усиление свай заключается в создании и включении в работу дополнительных элементов, благодаря которым можно увеличить сечение сваи или степень её армирования.

Выбор способа усиления свай в первую очередь зависит от вида повреждения и причины его появления. Наиболее эффективным методом, в случае образования трещин, раковин, коррозионных разрушений и т.п., является метод усиления железобетонной обоймой. Суть данного метода заключается в устройстве обоймы на ту часть сваи, которая находится свободной от грунта. При использовании этого метода происходит наращивание сечения, которое сопровождается применением арматурного каркаса или, так называемой, стальной обоймы, а также бетона омоноличивания (рис. 1).

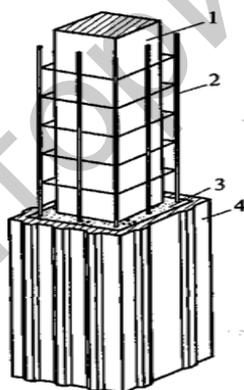


Рисунок 1 – Усиление сваи с использованием железобетонной обоймы: 1- ствол усиляемой сваи; 2- арматурный каркас (стальная обойма); 3- бетон омоноличивания; 4- облицовка

Существует ещё один действенный метод усиления свай путём создания цементной рубашки вокруг сваи. Данный метод подразумевает использование цементного раствора, который подаётся под давлением в заранее подготовленные скважины в грунте. Скважины сооружают посредством пробуривания отверстий в грунте диаметром от 50 до 80 мм, располагаемых вплотную к стволу сваи. Через нагнетание цементного раствора создаётся своеобразная оболочка вокруг сваи, которая препятствует дальнейшему разрушению сваи.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНО АРМИРОВАННОГО ОСНОВАНИЯ

Бойко В. И.

(Научный руководитель – Бойко И.Л.)

### Аннотация

В связи с строительством в осложненных геологических условиях актуальным становится исследование методики расчета армированного основания. В данной работе описан один из способов расчета горизонтально армированного основания с использованием метода конечных элементов.

Исследуемые фундаменты состояли из 3-х плит высотой 0,5 м при размерах в плане 2,236 x 2,236 м, уложенных в котловане на 1,2 м ниже поверхности на слое армированного грунта. Армирование основания выполнено бетонными решетками с шагом 1 м и сечением 150x150 мм.

Испытания фундаментов проводились статической вдавливающей нагрузкой согласно ГОСТ 20276-99, использовалась силовая балка с анкерными сваями, служащая упором для гидравлического домкрата типа ДГ-200 грузоподъемностью 2000 кН (рис. 1). Вертикальные перемещения фундамента и грунтов по глубине основания измерялись прогибомерами системы Аистова БПАО с точностью 0,01 мм, закрепленными на реперной системе. Для измерений перемещений грунтов по глубине основания проволоки прогибомеров были прикреплены в массиве грунта к коническим наконечникам (грунтовым маркам), погружаемым ударами до заданных глубин.



Рисунок 1 – Опытная установка на армированном грунте (в правой части видны бетонные армирующие решетки)

Выполнен расчет армированного основания с использованием программного комплекса SOFiSTiK.

Ниже слоя армированного грунта под фундаментом № 1 залегают слои торфа и сильнозаторфованного грунта на глубине 3,7 м до 8,7 м с модулем деформации  $E = 2$  МПа. При давлении под подошвой штампа до 0,35 МПа его осадка оказалась равной 18,9 мм с армированным основанием и

42,2 мм без армированного основания.

Под слоем армированного грунта под фундаментом № 2 залегают слои песка средней прочности с модулем деформации  $E=18$  МПа, а ниже имеются прослойки песков разной крупности и прочности. При давлении 0,35 МПа максимальная осадка штампа равнялась 29,34 мм с армированным основанием и 38,24 мм без армированного основания.

В основании фундамента № 3 ниже слоя армированного грунта залегают песок средний прочный с модулем деформации  $E = 25$  МПа. Максимальная осадка штампа при давлении 0,35 МПа была равной 9,26 мм с армированным основанием и 13,46 мм без армированного основания.

#### Заключение

Исходя из таких результатов испытаний можно сделать вывод, что хотя осадка и несущая способность грунтов оснований уменьшается за счет армирования грунтов под подошвами фундаментов бетонно-решетками, но они сильно зависят еще и от физико-механических характеристик грунтов, залегающих ниже слоя армирования.

#### Литература

1. Грунты. Методов деформационных испытаний грунтов на сжимаемость эталонным следует считать метод полевых штамповых испытаний: ГОСТ 20278-85. – М.: Стройиздат, 2005.
2. Грунты. Классификация грунтов: ГОСТ 25100-2011. Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве.–2011 – 63 с.
3. Абелев, К. М. Особенности технологии устройства оснований и фундаментов гражданских зданий на слабых водонасыщенных глинистых грунтах: дис. .... канд. техн. наук: 05.23.08 / К. М. Абелев. - Москва, 2002. – 215 л.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА НА ПЛОЩАДИ БАНГАЛОР Г. МИНСКА

Бойко В.И.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

### Аннотация

В статье описывается возможность применения информационной модели при проектировании транспортного узла. Разработаны несколько вариантов транспортной развязки и станции метро, оценена их примерная стоимость, архитектурная целостность, оптимизированы транспортные потоки, что позволило улучшить пропускную способность транспортной развязки с сохранением целостности окружающей застройки и парка.

В связи с постоянным увеличением автомобильного и пассажирского потока на площади Бангалор в городе Минске разработан эскизный проект транспортного узла.

В состав транспортного узла входит транспортная развязка и станция метро, расположенная под транспортным тоннелем по улице Сурганова. Общий вид транспортного узла представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид транспортного узла с прозрачной поверхностью земли

В процессе проектирования были разработаны несколько вариантов транспортной развязки, выполнено технико-экономическое сравнение вариантов, анализ транспортных потоков.

Эскизный проект транспортной развязки, тоннеля, пешеходных переходов и станции метро по улице Сурганова выполнен с использованием информационной модели. Расположение объектов транспортного узла в пространстве выполнено исходя из технико-

экономического сравнения вариантов, учитывающего места расположения существующей застройки, расчета и оптимизации пропускной способности транспортной развязки, оценки архитектурной целостности объекта строительства.

Подземные пешеходные переходы и станция метро выполнены с применением программы Autodesk Revit 2015. Общий вид подземного пешеходного перехода представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид подземного пешеходного перехода

При создании архитектурного решения станции метрополитена использовалось параметрическое моделирование. Общий вид платформенного участка представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Общий вид платформенного участка станции метрополитена

Проект транспортной развязки и автомобильного тоннеля выполнен в программе Autodesk InrfaWorks 360.

### Заключение

Использование информационной модели позволило сохранить целостность архитектуры площади Бангалор, исключить затенения нижних этажей близстоящих домов, уменьшить уровень шума от проезжающего транспорта, запроектировать различные варианты транспортных узлов, станций метро, выполнить технико-экономическое сравнение вариантов объектов строительства, оценивать транспортные потоки и архитектурную целостность предложенных вариантов проекта.

### Литература

1. Барчугов Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // Архитектура и современные информацион- ные технологии. – 2013. – № 25/13-04. – URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/index.php>.
2. Revit. Программа для проектирования зданий и сооружений// Официальный сайт Revit. – URL: <http://www.autodesk.ru/products/revit-family/>
3. Петров, М.П. Переход на BIM-технологии в проектировании на примере Autodesk Revit / М.П. Петров // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. Т. 1. С. 447-449.
4. InfraWorks 360. Программа для концептуального проектирования// Официальный сайт InfraWorks 360. – URL: <http://www.autodesk.ru/campaigns/eni/iw>.

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА СОСТОЯНИЕМ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ В ГОРОДЕ МИНСКЕ

Ботяновский А.А.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

### Аннотация

Изложен состав, методы и результаты геодезических изысканий, выполненных при строительстве транспортной развязки в городе Минске.

Основной задачей геодезических работ по наблюдениям за осадкой и деформациями конструкций объектов транспортной развязки в городе Минске является обеспечение контроля осадки и деформации тоннельной обделки действующего метрополитена в период строительства транспортной развязки, с целью недопущения возникновения сверхнормативных значений и, в случае необходимости, принятия оперативных мер их минимизации. Также выполнялись геодезические измерения при проведении испытаний защитного экрана и пролетного строения возводимого путепровода.



Рисунок 1 – Общий вид геодезических знаков, установленных на точки наблюдения за конструкциями перегонных тоннелей

Для выполнения поставленных задач перед началом работ была разработана программа мониторинга, исходя из которой был разработан проект производства геодезических работ.

Проект производства геодезических работ предусматривал выполнение ежедневных измерений осадок и деформаций наблюдаемых конструкций с последующей передачей данных для обработки в специализированных программных комплексах. В дальнейшем, периодичность проведения измерений уменьшалась, в связи со стабилизацией состояния наблюдаемых конструкций и отсутствием выполнения опасных технологических процессов, которые могли бы значительно влиять на состояние сооружения и безопасность движения по нему.

Сущность геодезических работ непосредственно на строительной площадке заключалась в геодезическом сопровождении при проведении испытаний конструкций и выполнения исполнительных съемок земляных работ для последующего учета стадийности при выполнении пространственного расчета.

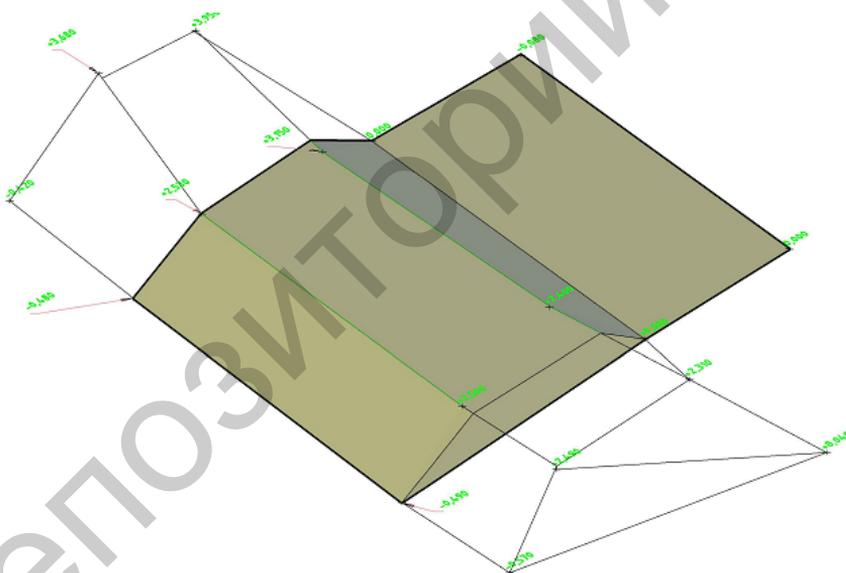


Рисунок 2 – Съемка загрузения плиты защитного экрана грунтом при проведении испытаний

Также при проведении геодезических работ на данном объекте был опробован метод лазерного 3-D сканирования, который в значительной мере облегчает выполнение обмерочных работ, исполнительных съемок, а также помогает получать полную картину о динамике качественных и количественных показателей дефектов и повреждений в контролируемых конструкциях. Результаты лазерного сканирования были переданы для

дальнейшей их обработки и создания пространственной модели сооружения.



Рисунок 3 – Общий вид результата лазерного сканирования сооружений транспортной развязки

#### Заключение

Результаты проделанной работы позволили корректировать некоторые расчетные предпосылки и анализировать процесс влияния строительства нового объекта на уже существующий.

#### Литература

1. Пастушков, Г.П. Испытание сталежелезобетонного пролетного строения длиной 55 метров с применением инновационного измерительного оборудования / Г.П. Пастушков, В.Г. Пастушков, В.А. Белый, А.А. Яковлев // Наука та прогрес транспорту. 2010. . С. 191-192. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=22284895>)
2. Петров, М.П. Переход на BIM-технологии в проектировании на примере Autodesk Revit / М.П. Петров // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. Т. 1. С. 447-449. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=23646397>)
3. Мойсейчик, Е.А. Приборы для неразрушающего контроля, диагностики и обследований мостовых сооружений / Е.А. Мойсейчик, Е.К. Мойсейчик, В.Г. Пастушков // Депонированная рукопись № 858-B2007 31.08.2007.
4. Ходяков, В.А. Высокие технологии в проектировании и строительстве мостов / В.А. Ходяков, В.Г. Пастушков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 432-439.

## НАДЕЖНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ванагель В.В.

(Научный руководитель – Нестеренко В.В.)

### Аннотация

Обеспечение надежности сооружений, в частности мостовых – серьезная задача. Необходимый уровень надежности, руководствуясь только нормативными требованиями, не может быть обеспечен. Нормы лишь устанавливают минимальный уровень надежности, при строительстве необходимо сохранить его, а во время эксплуатации важнейшей задачей станет не потерять заложенный проектом уровень работоспособности. В данной работе описаны возможные способы достижения необходимого уровня надежности при изменении характеристик железобетонного изгибаемого элемента, в нашем случае балки.

Суть работы заключается в анализе того, насколько существенно будет изменяться надежность железобетонный изгибаемых элементов в зависимости от класса бетона, диаметра и класса арматуры, линейных размеров конструкции, толщины защитного слоя бетона с учетом предельных допустимых отклонений по толщине защитного слоя бетона.

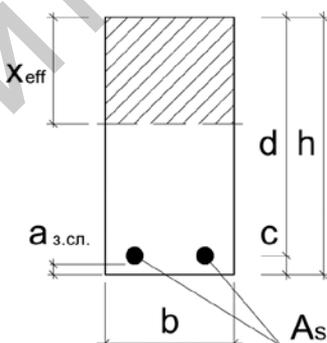


Рисунок 1 – сечение изгибаемого железобетонного элемента

Исходными данными для расчета стали:

1. линейные размеры сечения (150 × 300, 200 × 400, 250 × 500, 300 × 600, 350 × 700, 400 × 800);
2. толщина защитного слоя (20мм, 25мм, 30мм);
3. бетон (класс бетона на осевое сжатие C22/27.5, C28/35, C32/40);
4. продольная рабочая арматура (2Ø16S400 и 2Ø20S400) .

Полученные значения надежности сравнивались с нормативным значением, которое равно трем.

В первой части работы был рассмотрен случай, когда изменялся диаметр арматуры, при этом сохранялась толщина защитного слоя бетона, класс бетона и линейные размеры сечения балки. Изменение диаметра не привело к достижению нужного уровня фактической надежности, более того практически не повлекло изменения. Далее было решено для каждого диаметра арматуры увеличить толщину защитного слоя до 25мм и 30мм. Как показал расчет, это не является эффективным, нужного значения фактическая надежность не достигла. Только изменив класс бетона на С32/40, увеличив диаметр арматуры до 20мм, мы смогли достигнуть существенного сдвига численного значения надежности и даже переступили необходимый «порог» (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

класс бетона	$a_{з.сл.}$ мм	$d_s$ , мм	Надежность	
			$n^{not}$	$n^{act}$
С22/27,5 $f_{ck}=22$ МПа	20	16	3,0831	2,9107
		20	3,1345	2,9125
	25	16	3,0838	2,9094
		20	3,1358	2,911
	30	16	3,0846	2,9081
		20	3,1372	2,9096
С28/35 $f_{ck}=28$ МПа	20	16	3,1059	2,9518
		20	3,1703	2,9787
	25	16	3,1069	2,9509
		20	3,1719	2,9778
	30	16	3,1079	2,95
		20	3,1735	2,977
С32/40 $f_{ck}=32$ МПа	20	16	3,1162	2,9705
		20	3,1862	3,0085
	25	16	3,1172	2,9697
		20	3,1879	3,0079
	30	16	3,1183	2,969
		20	3,1897	3,0074

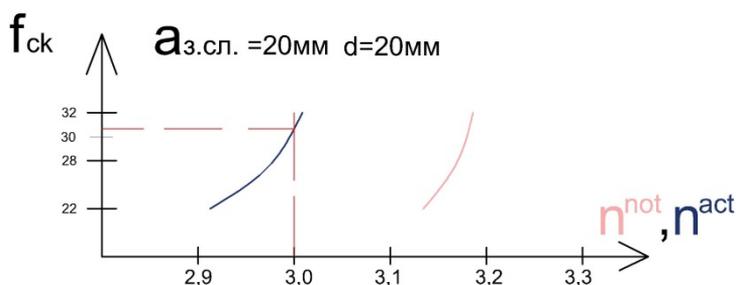


Рисунок 2 – график зависимости надежности от класса бетона

Во второй части работы была проанализирована зависимость надежности от линейных размеров изгибаемого железобетонного элемента при сохранении отношении сторон поперечного сечения  $b:h=1:2$ . Проведя необходимый расчет, по полученным данным был построен график зависимости надежности от высоты, приведённый на рисунке 3.

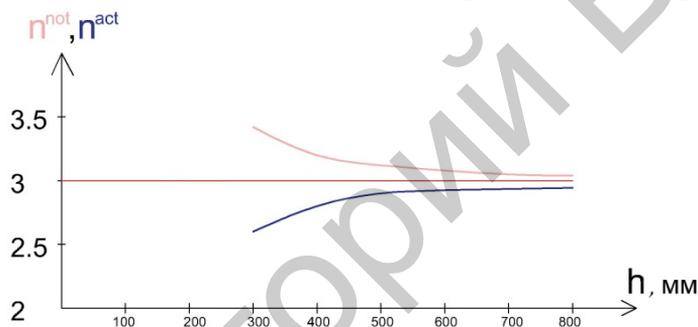


Рисунок 3 – график зависимости надежности от высоты сечения

Проанализировав рисунок 3 можно сказать, что изменение линейных размеров сечения изгибаемого железобетонного элемента не достаточно для достижения оптимальной надежности конструкции.

В третьей и заключительной части был рассмотрен случай, когда сохраняется процент армирования сечения. Из исходных данных был рассчитан процент армирования, равный 0,2233%. Через уже известный процент армирования и заданные линейные размеры, для каждого из сечений был найден соответствующий диаметр арматуры, а после и надежность. По полученным результатам был построен график зависимости надежности балки .при сохранении процента армирования, от высоты сечения.

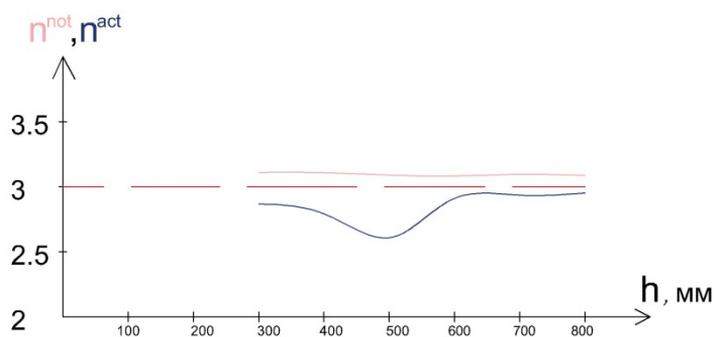


Рисунок 4 – график зависимости надежности от высоты поперечного сечения

Проанализировать полученный результат на данном этапе достаточно трудно, необходимо более детально изучать вопрос и его специфику.

#### Заключение

Очевидно, что вопрос о надежности конструкций является важнейшим вопросом. Установление и дифференцирование конкретных численных значений параметров надежности создают научную основу для проектирования конструкций разной надежности. Одной из важнейших задач на сегодняшний день остается подбор оптимальных характеристик конструкции, при которых надежность изгибаемого железобетонного элемента будет равна нормативному значению, а стоимость такой конструкции должна стремиться к минимальной.

#### Литература

1. Лычев, А.С. Надежность железобетонных конструкций: Учебное пособие / А.С. Лычев, В.П. Корякин. – Куйбышев, 1974.
2. Методы определения и контроля надежности больших систем / Под ред. А.А. Черного. - М.: Энергия, 1976.
3. ГОСТ 13015.0-83 (1989) Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОННЕЛЯ ЧЕРЕЗ ГОРУ УГЛОВАЯ

Гракович А.Д.

(Научный руководитель – Ходяков В.А.)

В качестве условной территории проектирования была выбрана гора Угловая на Северо-Западе от города Карпинск. Судя по карте гору, огибает дорога с деревянным покрытием, соединяющая населённые пункты Новая и Старая Княсьпа. Была поставлена задача по проектированию тоннеля через гору Угловая в замену существующей дороги. В Первую очередь была найдена карта территории масштабом 1:100000 (рис. 1). После чего, поместив карту в качестве подложки в программе AutoCAD, были восстановлены горизонтали и отметки горы Угловой и ближайших окрестностей. Получив поле горизонталей, мы в программе Rhinoceros+Grasshopper поднимаем их в объёме на соответствующие отметки. После чего генерируем на горизонталях облако точек, облако точек выводим и импортируем в Revit.

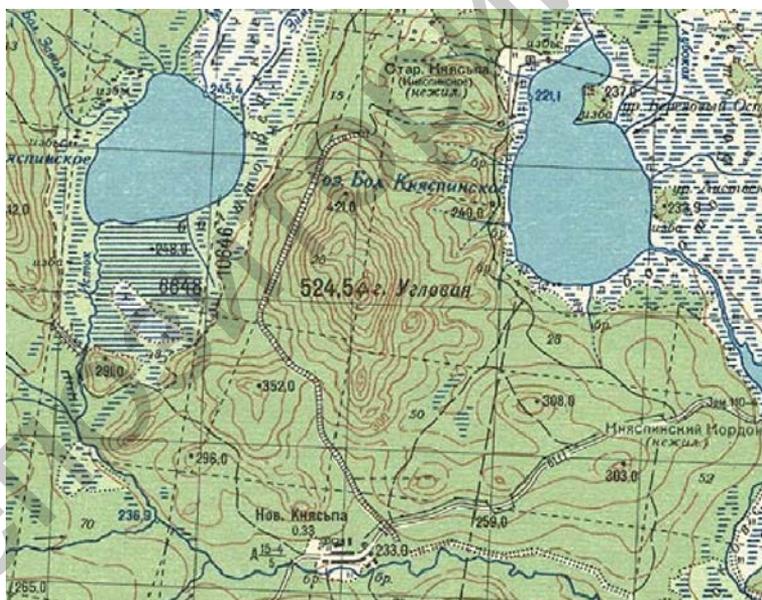


Рисунок 1 – Карта горы Угловая с окрестностями

В Revit полученные точки с помощью Dynamo создаем топологию горы. Далее в Revit создаем трассу для тоннеля. Строим пространственную ось тоннеля, заносим её в рабочую плоскость. От пространственной оси проводим линии на 90 градусов вверх, на высоту по которой будет проходить тоннель. Соединяем концы линий, проведённых вверх, получаем пространственную ось тоннеля на определенной высоте (рис. 2).

Создаем семейство сечения тоннеля (рис. 3), и по оси тоннеля строим объёмную модель тела тоннеля.

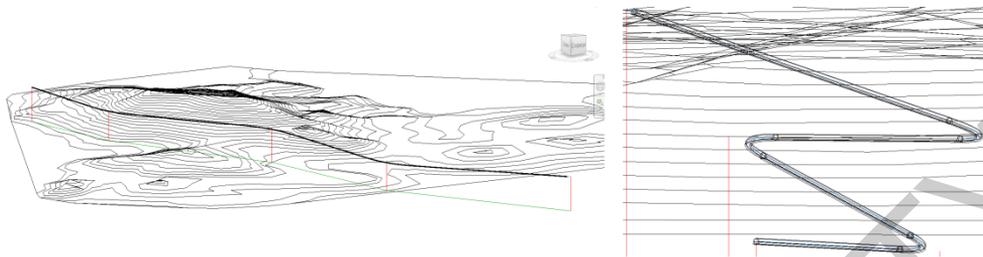


Рисунок 2 – Трасса тоннеля, построенная в теле горы

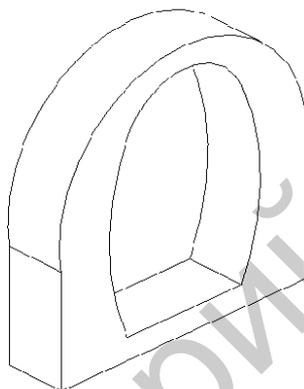


Рисунок 3 – Поперечное сечение проектируемого тоннеля

### Заключение

В результате проделанной работы с использованием компьютерных программ AutoCAD, Rhinoceros+Grasshopper и Revit (Dynamo) создана модель горы и проложена трасса тоннеля. При помощи программы Revit вдоль оси тоннеля за моделировано объёмное тело тоннеля.

### Литература

1. Петров, М.П. Переход на BIM-технологии в проектировании на примере Autodesk Revit // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – Т. 1. – С. 447-449.
2. Ботяновский А.А., Пастушков В.Г. «Применение BIM-технологий и новейшего оборудования при исследовании фактического технического состояния мостового сооружения» / «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе»: Материалы международной научно-практической конференции. – 2015. – Т.1. – С. 342-345.
3. Ходяков В.А., Пастушков В.Г., «Высокие технологии в проектировании и строительстве мостов» / «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе»: Материалы международной научно-практической конференции, г. Пермь: ПНИПУ, 2013г. – Том 3, С. 432 – 439.

## РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВ

Далидовская А.А.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

С ростом урбанизированных территорий и активным освоением подземного пространства в последние годы значительно возросло использование специализированного геотехнического программного обеспечения для расчета прочности и устойчивости грунтовых оснований. В современных геотехнических расчетах используются математические модели грунтов разной степени сложности. В более простых моделях меньшее количество входных параметров и определяющие уравнения простые и ясные. Однако результаты расчета могут не соответствовать реальной работе грунта в широком диапазоне. Усовершенствованные, сложные расчетные модели дают возможность описать поведение грунта более точно, но запрашивают большее количество различных характеристик грунта.

Модель местных упругих деформаций является линейно-упругой, то есть предполагает прямую пропорциональность между напряжением в точках поверхности и осадкой в этой точке. Данная модель обладает существенным недостатком – с ее помощью невозможно определение осадки за пределами загруженной площади, в связи с чем ее применение ограничено только расчетами собственной осадки новых сооружений.

Модель линейно деформируемого упругого полупространства является прямым следствием гипотезы о рассмотрении грунта как сплошного однородного изотропного тела. Параметрами данной модели являются модуль общей деформации и коэффициент относительной поперечной деформации. Основным недостатком модели является предположение линейной работы грунта, что требует определения модуля общей деформации в диапазоне напряжений, наиболее соответствующем фактическому диапазону напряжений в основании сооружения.

Кроме того, в случае разгрузки данная модель приводит к существенному завышению поднятий поверхности из-за использования в расчете неизменного модуля деформации.

Модель Jardine используется для описания нелинейного поведения глин при малых деформациях. Модель Jardine является нелинейно-упругой моделью, которая описывает поведение материала при малых деформациях, в отличие от модели Треска, которая используется в расчетах с учетом пластического поведения материала, когда напряжения в материале превышают заданную сдвиговую прочность материала.

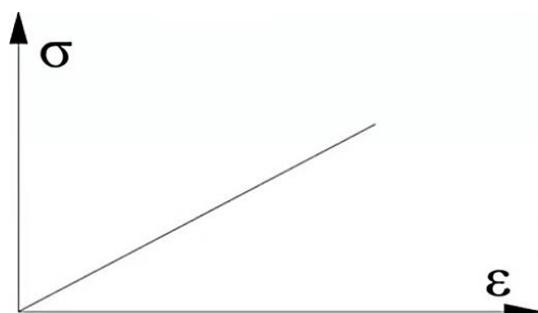


Рисунок 1 – График зависимости «напряжения-деформации»

Модель Jardine описывается нелинейным уравнением, основанным на соотношении между секущим модулем упругости и осевой деформацией, полученном при трехосных недренированных испытаниях на сжатие. При трехосных недренированных испытаниях на сжатие осуществляется пошаговое увеличение осевой нагрузки на цилиндрический образец, при этом поддерживаются постоянные напряжения на боковой поверхности цилиндрического образца. Секущий модуль упругости может быть вычислен с использованием величин, полученных при трехосных испытаниях на сжатие.

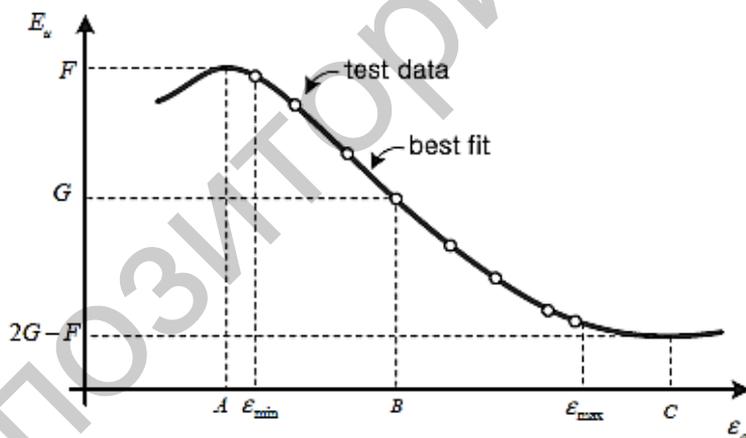


Рисунок 2 – Параметры модели Jardine

Модель D-min является секционной линейной моделью скальных грунтов (крепких и слабых пород). Такие модели характеризуются разными жесткостями на каждом этапе возведения, но при этом они нормализованы таким образом, что жесткость имеет фиксированное значение в пределах отдельного этапа возведения. Считается, что модуль упругости уменьшается, а коэффициент Пуассона возрастает по мере приближения круга Мора к кривой разрушения.

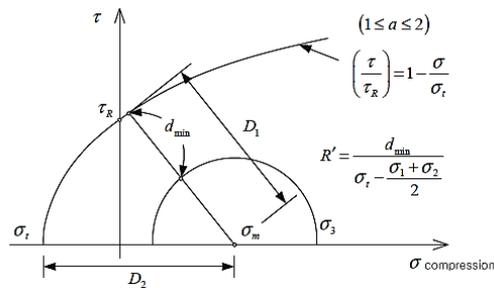


Рисунок 3 – Кривая разрушения и круг Мора для модели D-min

Таким образом, значения модуля упругости и коэффициента Пуассона в каждом сечении определяются величиной относительного расстояния между кругом Мора и кривой разрушения. Параметры свойств материала для данной модели остаются постоянными в пределах каждого этапа загрузки и, таким образом, повторный расчет на каждом этапе загрузки не требуется.

Соотношение напряжений и деформаций для грунтовых материалов становится нелинейным по мере приближения к кривой разрушения, и это может быть учтено путем корректировки модуля упругости основания. Функция гиперболической модели (Duncan-Chang) используется для определения модуля упругости основания. Кривая соотношения напряжений и деформаций является гиперболой, а модуль упругости основания является функцией касательного напряжения и напряжения, создаваемого горным давлением.

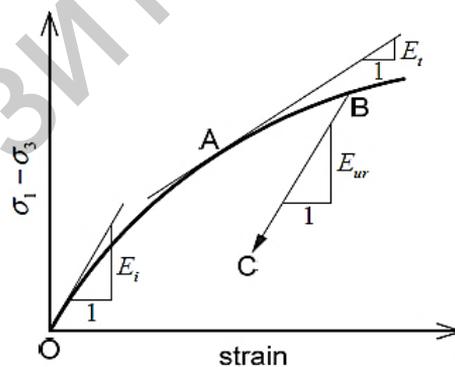


Рисунок 4 – Криволинейная зависимость между напряжениями и деформациями

Это очень удобная формулировка, так как для определения нелинейных моделей материалов требуется задать только такие свойства материала, которые могут быть легко получены по результатам трехосных испытаний или приняты по данным технической литературы. Криволинейная зависимость между напряжениями и деформациями в

модели Duncan-Chang имеет гиперболическую форму в пространстве осевых деформаций, созданных касательным напряжением  $\sigma_1 - \sigma_3$ . В зависимости от напряженного состояния и траектории нагружения может потребоваться три различных значения модуля упругости основания: начальный модуль  $E_i$ , касательный модуль  $E_t$ , и модуль разгрузки и повторного нагружения  $E_{ur}$ .

Для моделирования работы системы «сооружение – грунт» необходимо провести серию предварительных исследовательских расчетов по моделированию. Руководствуясь действующими нормативно-правовыми актами необходимо придерживаться принципа проектирования по предельно допускаемым деформациям. Его позволяют реализовать упругопластические модели грунта, такие как модель Мора-Кулона и модель упрочняющегося грунта (модифицированная модель Мора-Кулона).

Наиболее простая - модель Мора-Кулона. Она чаще всего используется для моделирования поведения грунтовых оснований, так как демонстрирует достаточно надежные результаты в общих нелинейных расчетах грунтов.

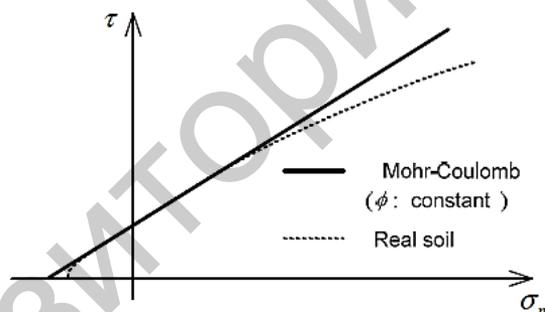


Рисунок 5 – Функция текучести для модели Мора-Кулона

Идеально-упругопластическая модель Мора-Кулона использует закон Гука для описания поля деформаций и условие прочности Кулона для предельного состояния. При возникновении в массиве точки предельного равновесия там развиваются пластические деформации. Параметрами модели являются: модуль общей деформации  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , а также прочностные характеристики: сцепление  $c$  и угол внутреннего трения  $\phi$ . Ограничения модели: определение сопротивления грунта сдвигу вблизи предельного состояния, избыточная дилатансия, неспособность описать явления гистерезиса и изменения тензора упругих модулей после наступления предельного состояния. Модель Мора – Кулона пригодна для определения несущей способности грунтов, расчета устойчивости склонов и подпорных стен.

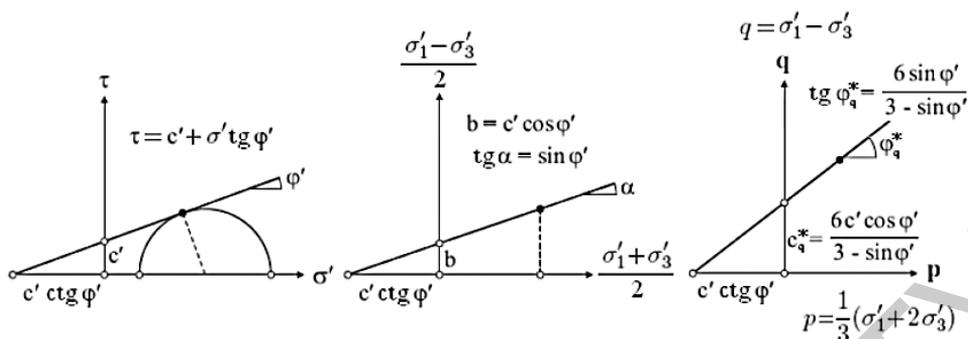


Рисунок 6 – Различные формы представления критерия Мора-Кулона

Модель Друкера-Прагера была разработана для решения численных проблем, которые возникают в углах поверхности текучести модели Мора-Кулона. Функция текучести для данной модели определена таким образом, что девиаторные напряжения могут возрастать или уменьшаться в зависимости от величины гидростатического давления.

Модифицированная модель Cam-Clay – модель глинистых материалов и основана на теории упругопластинчатости с упрочнением. Для формулировки модифицированной модели используются все компоненты эффективных напряжений, а так же нелинейно-упругий метод и неявный обратный метод Эйлера. Нелинейно упругое поведение представлено повышением объемного модуля упругости при заданном на материал давлении. Так же используется ассоциированный закон течения, а поверхность разрушения может увеличиваться или уменьшаться, в зависимости от упрочения или разуплотнения. Для использования модифицированная модель Cam-Clay требуются значения начального коэффициента пористости, естественных напряжений, а также давления предварительного уплотнения.

Обычно поверхность скального основания представлена трещиноватыми, вследствие выветривания, породами. Модель материала, которая учитывает данное свойство скального грунта, называется моделью трещиноватой скалы. Модели трещиноватой скалы представляют собой поперечно-изотропные идеально-пластические модели материалов. Материал может иметь поперечно-изотропные свойства в упругой области работы материала, зависящие от характеристик слоя скального грунта. Другими словами, слои скального грунта обладают изотропными свойствами в направлении простираня слоя, а в нормальном к поверхности слоя направлении – обладают анизотропными свойствами. Идеально-пластическое поведение таких материалов основано на функции Кулонова трения по главному направлению трещин. Таким образом, идеально-пластическое поведение материалов проявляется по главному направлению трещин по

достижению материалом максимальных касательных напряжений. В качестве главных направлений трещин может быть указано до трех различных направлений, при этом первое главное направление трещин соответствует направлению поперечной изотропии материала.

Модель упрочняющегося грунта (Hardening Soil, Modified Mohr-Coulomb) использует гиперболическую зависимость деформаций от девиаторных напряжений, что точнее соответствует реальному поведению грунта. Кроме того, в модель введен модуль деформации разгрузки при снижении напряжений в элементе.

Модель точно описывает поведение грунта при экскавации грунта, при устройстве подпорных стен и проходке тоннелей, сопровождающейся уменьшением среднего эффективного напряжения и одновременно мобилизацией сопротивления пород сдвигу. Основным преимуществом данной модели является получение параметров приближенных к условиям естественной работы грунта. При этом наблюдается увеличение жесткости и более достоверная реакция модели. Ограничения модели: неспособность учесть явления анизотропии прочности и жесткости, ползучести и длительной прочности, непригодность для моделирования динамических процессов.

Расчеты современных проектов сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических и стесненных условиях, невозможны без применения современных программных комплексов, которые могли бы учитывать реальную работу грунта. Процесс установления параметров грунта для последующего численного моделирования является важнейшей составляющей обеспечения качества оценки напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Поэтому необходимо уделить особое внимание выбору модели грунта и входных параметров.

#### Литература

1. Пастушков, В.Г. Некоторые особенности проектирования и строительства подземного общественно-торгового центра с паркингом в г. Минске / В.Г. Пастушков, Г.П. Пастушков // Наука та прогрес транспорту. 2010. № 32. С. 91-95.
2. Пастушков, Г.П., Основные требования к проектированию мостовых конструкций в соответствии с европейскими нормами / Г.П. Пастушков, В.Г. Пастушков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 368-375.
3. Строкова, Л.А. Научно-методические аспекты создания расчетных моделей грунтовых оснований // Известия ТПУ. 2010. №1.
4. ТКП EN 1990-2011(02250) Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций // МАиС, Минск, 2012, 70с.
5. Brinkgreve R.B.J. Selection of soil models and parameters for geotechnical engineering application // Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, and Calibration. Ed. J.A. Yamamuro, V.N. Kaliakin. – American Society of Civil Engineers, 2005. – V. 128. – P. 69–98.

## **РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ В ГОРОДЕ МИНСКЕ**

Далидовская А.А.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

На настоящий момент очевидно, что моделирование таких объектов, как транспортные развязки сложного уровня, должно производиться с применением специализированного геотехнического программного обеспечения. Использование общестроительных программ, работающих по методу конечных элементов, для моделирования работы грунта является самой популярной ошибкой. Обычно в таких программах используются упругие модели, которые не способны грамотно описать работу грунтов. Что касается напряженно-деформированного состояния грунта при приложении нагрузки, то оно вообще не может быть описано в стандартных строительных программах для расчета.

Правильное численное моделирование в основном выполняется с использованием специального геотехнического программного обеспечения. В качестве такого программного комплекса для создания расчетной модели транспортной развязки был выбран Midas GTS NX.

Расчетная модель должна создаваться с учетом основных факторов, которые определяют напряженно-деформированное состояние всех элементов сооружения. Нормами рекомендовано учитывать пространственную работу конструкций, геометрическую и физическую нелинейность, пластические свойства материалов и грунтов. Трехмерное моделирование должно учитывать последовательность и технологию проведения всех работ по возведению сооружения.

Этапы создания расчетной модели и выполнение расчета:

- сбор данных об объекте;
- задание свойств материала;
- геометрическое моделирование;
- создание сетки конечных элементов;
- задание граничных условий;
- анализ результатов выполненного расчета.

До начала работы выполнялся сбор необходимой информации для создания трехмерной расчетной модели развязки, выявлялись причинно-следственные связи между переменными, описывающими объект моделирования. Изучалось взаимодействие системы "сооружение – грунт". Необходимо помнить, что при создании модели важно учитывать и нагрузки от проектируемого сооружения, и возможное отрицательное влияние окружающей среды, которое может привести к изменению

физико-механических свойств грунтов. В связи с этим было принято решение задавать грунт моделью Мора-Кулона.

Если говорить в целом, то модель материала – это система математических уравнений, описывающих зависимость между напряжениями и деформациями. Модель мора-кулона, используемая в Midas GTS NX, основана на зависимости между скоростью изменения эффективных напряжений и скоростью деформаций. Модель представляет собой приближение «первого порядка» для поведения грунта или скальной породы.

При создании данной модели использовались традиционные параметры, содержащиеся практически в любом отчете по данным инженерно-геологических изысканий (модуль упругости грунта, удельное сцепление, угол внутреннего трения и коэффициент Пуассона).

Материал плиты и свай задавался как изотропные. Такие материалы имеют одинаковые физические свойства во всех направлениях.

Для правильного описания работы по контакту «бетон-грунт», «свая-плита» и «свая-грунт» в расчетную модель были введены специальные интерфейсные элементы.

Важный вопрос при моделировании состоял в адекватном задании геометрических и жесткостных параметров конструкции.

На следующем этапе задавались входные и выходные данные, принимались упрощающие предположения об определяющих соотношениях, о начальных и граничных условиях объекта, стадии производства работ и истории напряжений, то есть, осуществлялся переход от физической системы к трехмерной модели. Далее устанавливались окончательные параметры, необходимые для создания достоверной расчетной модели.

Предварительно геометрическая модель была создана в программе Autodesk AutoCad и далее импортирована непосредственно в Midas GTS NX. Каждому элементу модели задавались определенные свойства, в которых задавались материал, сечение или другие свойства. Вся модель представляет собой базу данных из 1D, 2D и 3D свойств.

После завершения построения геометрической модели можно переходить к разбиению на сетку конечных элементов. Процесс построения сетки основан на принципе триангуляции, с помощью которого находят оптимальные размеры треугольников и строится неструктурированная сетка конечных элементов.

Что касается граничных условий, то в Midas GTS NS они могут задаваться автоматически, что существенно облегчает задачу.

До начала расчета необходимо задать все необходимые варианты и стадии расчета. Все расчеты выполнялись с учетом последовательности производства работ.

В результате были получены усилия, деформации и напряжения во всех элементах.

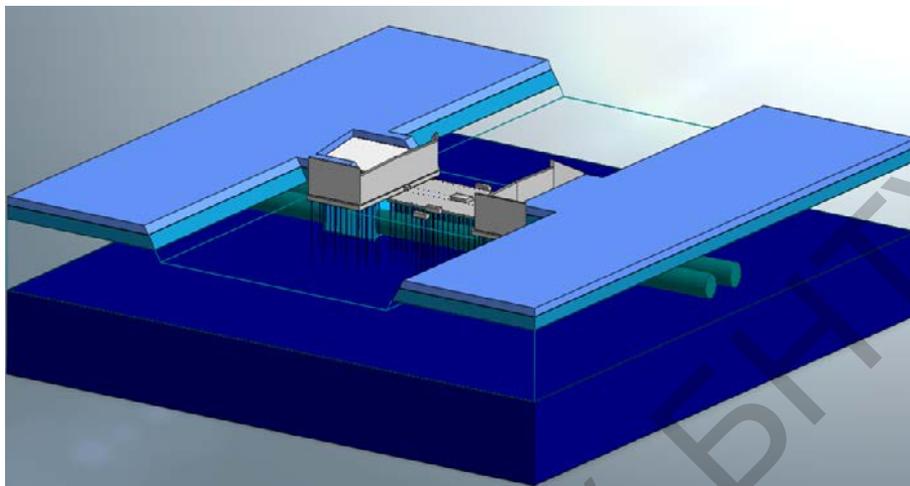


Рисунок 1 – Общий вид расчетной модели

К недостаткам данной модели (и других подобного рода) можно отнести необходимость использования системы упрощающих предпосылок о поведении грунтового массива, сложность в описании нелинейности и необратимости деформаций в поведении грунтов. Внедрение таких методов при проектировании различных транспортных сооружений помогло бы избежать огромного количества аварийных ситуаций.

#### Литература

1. Пастушков, В.Г. Некоторые особенности проектирования и строительства подземного общественно-торгового центра с паркингом в г. Минске / В.Г. Пастушков, Г.П. Пастушков // Наука та прогрес транспорту. 2010. № 32. С. 91-95.
2. Пастушков, Г.П., Основные требования к проектированию мостовых конструкций в соответствии с европейскими нормами / Г.П. Пастушков, В.Г. Пастушков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 368-375.
3. Строкова, Л.А. Научно-методические аспекты создания расчетных моделей грунтовых оснований // Известия ТПУ. 2010. №1.
4. ТКП EN 1990-2011(02250) Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций // МАиС, Минск, 2012, 70с.

## **ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ МАССИВОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ И ОПЕРЕЖАЮЩИХ КРЕПЕЙ**

Козловский Е.Я.

(Научный руководитель – Бойко И.Л.)

### Аннотация

Тезис доклада представляет собой обзор методов строительства подземных сооружений с применением различных видов опережающих крепей не зонтового типа с использованием труб и стальных перекрытий траншейного типа, которые были внедрены при строительстве тоннелей за последние несколько лет в Российской Федерации и Республике Корея. Дана краткая оценка влияния рассматриваемых методов на напряженно-деформированное-состояние окружающего массива.

Открытый способ широко используется при устройстве подземных сооружений, но вызывает ряд проблем, таких как заторы, неудобства жителей, высокий уровень шума и т.д. Кроме того, большие сложности могут вызывать существующие пути сообщения, которые слишком чувствительны к деформациям и их перенаправление либо смещение не представляется возможным. Ряд проблем могут вызвать и различные действующие инженерные коммуникации (трубопроводы, канализация, теплотрассы и т.д.) и захороненные или законсервированные каналы. Все это вызывает дополнительные расходы и продление срока строительства.



Рисунок 1 – Фрагмент свода опережающей крепи двупутного железнодорожного тоннеля, проходящего под существующей линией. Крепь из секущихся труб и поперечным армированием используется как постоянная. Намхэ, Республика Корея



Рисунок 2 – Перегонный тоннель метрополитена Сеула с перекрытием поперечными армированными трубами, выполненное опережением забоя из угловых труб. Сеул, Республика Корея [4]

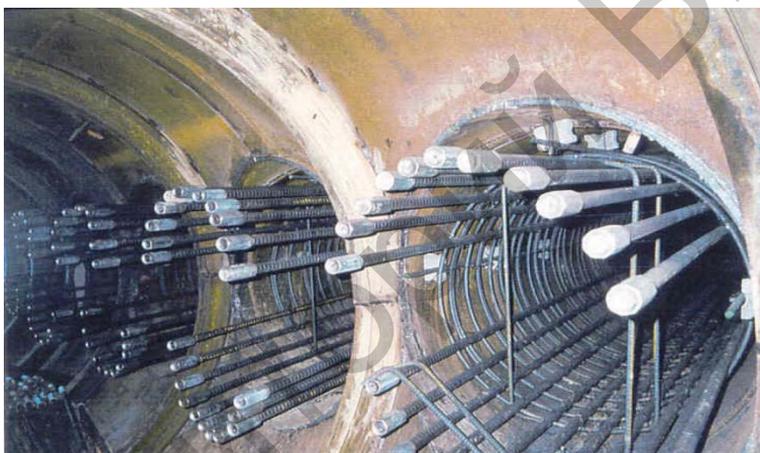


Рисунок 3 –Перекрытие поперечными армированными трубами, выполненное опережением забоя из угловых труб перегонного тоннеля метрополитена. Сеул, Республика Корея [3]

Снизить влияние на окружающий массив, а также инженерные коммуникации и сооружения в слабых неустойчивых породах (как и других неблагоприятных и сложных гидрогеологических условиях) можно путем использования опережающих крепей, которые условно можно разделить по расположению элементов относительно друг друга на линейные и зонтовые. Зонтовые крепи могут следовать криволинейным участкам трассы, выполняются непосредственно из забоя и технологически не требуют для себя создания промежуточных камер или котлованов для продления, но в сложных гидрогеологических условиях их использование не всегда бывает рациональным, нередко является затруднительным на практике. Линейные являются намного более надежными и используются даже в самых сложных условиях, но имеют ограничения по своей длине.

Можно выделить краткую классификацию опережающих крепей:

1. Зонтовые:
  - 1.1. Металлопрокат с опиранием на рамы.
  - 1.2. Инъекционные или основанные на струйном укреплении.
  - 1.3. Щелевые.
  - 1.4. Комбинированные.
2. Линейные:
  - 2.1. Использование стальных труб малого диаметра:
    - 2.1.1. Продольное однострубное перекрытие стальными трубами с шарнирным креплением или без него (прим. - также *pipe roof method*, имеющий самое большое распространение в ближайших странах [1]).
    - 2.1.2. Мультитрубный метод – перекрытие стальными секущимися трубами с поперечным армированием (прим. - также *upgraded pipe roof method*).
    - 2.1.3. Перекрытие стальной постнапряженной плитой с опиранием на трубы (прим. также *steel tubular slab*).
    - 2.1.4. Кассетный метод с использованием объединенных полутруб.
  - 2.2. Использование стальных труб большого диаметра:
    - 2.2.1. Однострубное перекрытие из стальных труб с срезкой нижних частей и объединением постоянной обделкой (прим. - также *new tubular roof method*).
    - 2.2.2. Однострубный метод с установкой поперечных межтрубных жестких связей (прим. - также *tubular roof and trench method*).
    - 2.2.3. Метод поперечного трубного перекрытия (прим. - также *tubular roof construction method*)
    - 2.2.4. Создание свода объединением труб поперечной несущей аркой (прим. – также *cellular arch method* [2])
  - 2.3. Основанные на принципе продавливания постоянной железобетонной обделки.
  - 2.4. Продавливание составных стальных плитных элементов на замках прямоугольными микрощитами.

Стоит отметить, что несмотря на давнюю практику использования защитных экранов на постсоветском пространстве, данные конструкции крепей носили в большинстве случаев отсечной и временный характер, за последние двадцать лет данное направление получило большое развитие. Бурный рост произошел не только в странах Азии (и особенно Корея), но и в Европе – именно конструкция, созданная по опережающему методу (см. п.2.2.4 классификации), является постоянной на станции метро «Венеция» в Милане [2].



Рисунок 4 – Армирование поперечной арки с врезкой в продольные трубы на станции метро «Венеция». Милан, Италия [www.rocksoil.com]

Известно, что старый однотрубный метод мог получать большие деформации, превышающие 15 см при некоторых условиях и размерах заходок [1], для снижения которых приходилось применять армирование забоя стеклопластиковыми анкерами, осуществлять проходку уступами. Современные жесткие крепи в комбинации с другими современными геотехнологиями позволяют свести влияние строительства до минимума, что и показывает практика тоннелестроителей Европы и Азии последние годы.

#### Заключение

Все перечисленные методы рационально использовать в ситуациях, когда какие-либо деформации недопустимы, либо в условиях слабых геомеханических свойствах слагающего массива. Современные методы строительства с линейными опережающими крепями позволяют избежать деформаций окружающего массива и не нуждаются в временных распорных конструкциях, могут быть использованы как постоянная крепь.

#### Литература

1. Щекудов Е.В. Взаимодействие защитных экранов из труб с грунтовым массивом при строительстве тоннелей мелкого заложения: Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 : Москва, 2003 - 204 с.
2. Lunardi P. Construction technologies for wide span tunnels. A comparison of methods // Geomechanik-Kolloquium. – 1996. - Nr.6, Felsbau 14 – P. 358-362.
3. Eun Chul Shin, Sung Hwan Kim. Metro Construction Work in Incheon, Korea // 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 23-27 May, 2011, Hong Kong, China.
4. Yooshin geotech and tunneling cases [Эл.ресурс] - www.yooshin.co.kr

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТНАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В ТОННЕЛЯХ МЕТРОПОЛИТЕНОВ С ИХ УСТРОЙСТВОМ В ОПЕРЕЖАЮЩИХ ПОСТОЯННЫХ КРЕПЯХ

Козловский Е.Я., Архипов В.А.  
(Научный руководитель – Бойко И.Л.)

### Аннотация

Тезис доклада представляет собой обзор метода строительства подземных сооружений с применением комбинации опережающей крепи с использованием стальных перекрытий траншейного типа или поперечных труб, постанапрягаемых канатами до начала проходки.

Открытый способ широко используется при устройстве подземных сооружений, но вызывает ряд проблем, таких как заторы, неудобства жителей, высокий уровень шума и т.д. Кроме того, большие сложности могут вызывать существующие пути сообщения, которые слишком чувствительны к деформациям и их перенаправление либо смещение не представляется возможным. Просадки и выдавленный грунт влияет не только на сооружения на поверхности, но и на другие сооружения, уже возведённые под землёй. Различные инженерные коммуникации – канализация, водопровод и теплотрассы. Но и электросети так же уязвимы. Пустоты под трубой и массив грунта над ней просто ломают конструкцию.

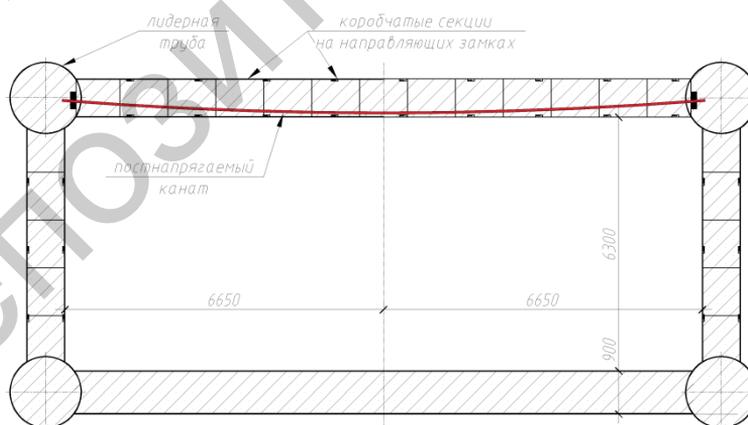


Рисунок 1 – Поперечное сечение плитного опережающего перекрытия с постнапряжением, устраиваемым из лидерных труб.

Снизить влияние на окружающий массив, а также инженерные коммуникации и сооружения в слабых неустойчивых породах (как и других неблагоприятных и сложных гидрогеологических условиях) можно

путем использования опережающих крепей, которые условно можно разделить по расположению элементов относительно друг друга на линейные и зонтовые. Зонтовые крепи могут следовать криволинейным участкам трассы, выполняются непосредственно из забоя и технологически не требуют для себя создания промежуточных камер или котлованов для продления, но в сложных гидрогеологических условиях их использование не всегда бывает рациональным, нередко является затруднительным на практике. Линейные являются намного более надежными и используются даже в самых сложных условиях, но имеют ограничения по своей длине. За рубежом получили большое распространение метод поперечного трубного перекрытия с возможным постнапряжением и перекрытие стальной постнапряженной плитой с опиранием на трубы.



Рисунок 2 – Перегонный тоннель метрополитена Сеула с перекрытием поперечными армированными трубами, выполненное опережением забоя из угловых труб. Сеул, Республика Корея [4]

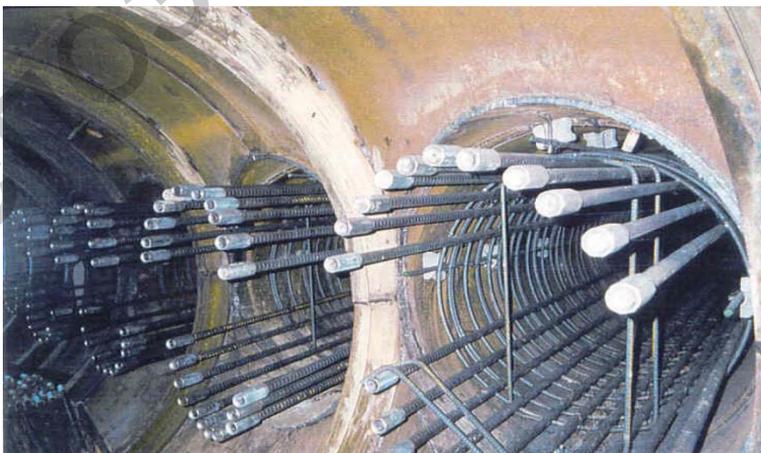


Рисунок 3 – Перекрытие поперечными ненапрягаемыми армированными трубами, выполненное опережением забоя из угловых труб перегонного тоннеля метрополитена. Сеул, Республика Корея [3]

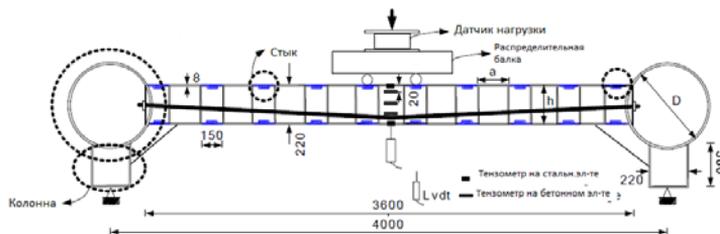


Рисунок 4 – Испытание постнатянутой коробчатой плиты, аналогичной создаваемой в методе опережающей крепи. Сеул, Республика Корея [3]

Аналогично другим напрягаемым железобетонным конструкциям (покрытий промышленных зданий, мостовые балки, кровельные балки и т.д.), в опережающих крепях можно сократить расход материалов и уменьшить габаритность конструкции.

#### Заключение

Опережающие крепи и защитные экраны рационально использовать в ситуациях, когда какие-либо деформации недопустимы, либо в условиях слабых геомеханических свойствах слагающего массива. Современные методы строительства с линейными опережающими крепями позволяют избежать деформаций окружающего массива и не нуждаются в временных распорных конструкциях, могут быть использованы как постоянная крепь. При использовании постнатяжения в элементах крепи можно добиться большей прочности, что влечет за собой меньшую габаритность и экономию за счет уменьшения требуемых материалов и сроков строительства.

#### Литература

1. S. Hong, H. Kim, D. Cho\*, and S. Park. Experimental Investigation on Flexural Behaviors in Framed Structure of PST Method // World Academy of Science, Engineering and Technology
2. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:5, No:3, 2011 – P. 623-628.
3. Eun Chul Shin, Sung Hwan Kim. Metro Construction Work in Incheon, Korea // 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering 23-27 May, 2011, Hong Kong, China.
4. Yooshin geotech and tunneling cases [Эл.ресурс] - www.yooshin.co.kr

## **ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МОСТА С ОРТОТРОПНЫМИ ПЛИТАМИ В AUTODESK REVIT**

Козюля А.А.

(Научный руководитель – Вайтович А.Н.)

Пролет состоит из трех главных балок, объединенных продольными и поперечными связями с помощью болтовых соединений. Несущая конструкция ездového полотна выполнена металлическим (ортотропным) настилом. Внутри пролетного строения выполнены два служебных прохода, которые дают доступ ко всем элементам и соединениям для дальнейшего обследования и ремонта.

Проезжая часть шириной 8 метров имеет две полосы движения, по одной в каждую сторону. Также имеет тротуары шириной по 3 метра. На тротуарах установлены скамейки.

Было принято архитектурное решение: закрыть боковые части пролетных строений элементами в виде пластин, прикрепленными к главным балкам болтовыми соединениями, а также трубами и стеклом. Также данное конструктивное решение является основным ограждением моста.



Рисунок 1 – Общий вид модели металлического моста

Курсовой проект был создан в программном комплексе Autodesk REVIT.

Были созданы семейства для каждого элемента конструкции, проработаны все соединения. Это позволило нам увидеть наглядно все болтовые соединения, снизить время выполнения работы, а также количество ошибок.

Главное преимущество данного программного комплекса состоит в том, что создав полную трехмерную модель сооружения, можно создать любой вид, разрез, чертеж.

#### Литература

1. Сайт кафедры «Мосты и тоннели» - <http://mit.na.by/>
2. Сайт компании Autodesk Россия - <http://www.autodesk.ru/>

Репозиторий БНТУ

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ДЕВИЦА

Коликов А.О., Дыдик А.И.

(Научный руководитель – Дыдик А.И.)

Современная транспортная система Республики Беларусь содержит большое количество мостов, нуждающихся в усилении конструкции до новой транспортной нагрузки. Также часто необходимо уширение до габарита, обеспечивающего большую пропускную способность.

Примером такого моста служит мост через реку Девица, расположенный на ПК1155+40,15 автомобильной дороги Минск-Микашевичи.

Мост однопролетный железобетонный балочный на свайных опорах. Схема моста 1x24 м, длина 24,94 м, габарит Г-11,44+2×1,13. Косина моста (по отношению к опорам) – 74°. Грузоподъемность по проекту – А-11, НК-80. Опоры моста железобетонные свайные двухрядные с монолитными насадками, шкафными, щелевыми стенками и обратными открылками. Пролетное строение выполнено из цельноперевозимых балок со смещенным армированием. В поперечном сечении установлено 6 балок длиной 24 м.

Задачи реконструкции:

1. Усиление до нагрузки А-14, НК-112;
2. Уширение до Г-(9,5+2,7+9,5)+2×0,75;
3. Максимально возможное сохранение существующих конструкций;
4. Пропуск автомобильного движения по мосту во время строительства.

Работы по реконструкции моста выполняются без закрытия движения с разделением на 2 пусковых комплекса. В период строительства правой полосы (1 пусковой комплекс) движение осуществляется по существующему мосту. По завершении строительства движение сбрасывается на правую полосу, существующий мост закрывается на реконструкцию (2 пусковой комплекс).

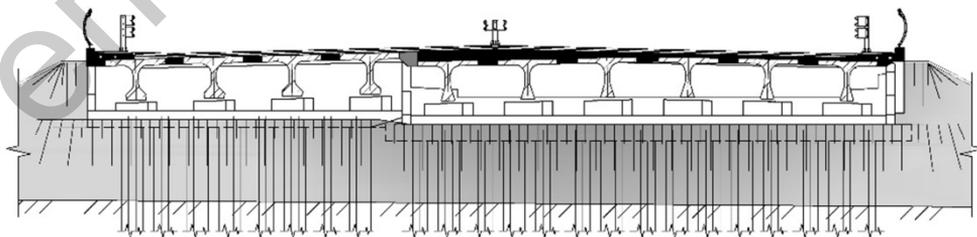


Рисунок 1 – Разрез моста после реконструкции

Следует отметить также теоретическую значимость проекта, в связи с применением инновационных решений при реконструкции, например, новое

закладное изделие для крепления перильного ограждения (заявка на полезную модель №u20160001 от 04.01.2016, авторы Дыдик А.И., Коликов А.О.).

Проектирование реконструкции моста через реку Девица выполнялось с применением концепции BIM в Autodesk Revit 2016.

Репозиторий БНТУ

## **ПЕРВЫЙ В ЕВРОПЕ ПЛАСТМАССОВЫЙ МОСТ. УМНЫЕ ДОРОГИ**

Колонович А.В.

(Научный руководитель – Ходяков В.А)

### Аннотация

Германия – это страна, в которой много автобанов. Так как строительство каркаса моста охватывает проезжую часть – необходимо сузить проезжую часть. Но, из-за значительного сужения проезжей части, растет вероятность образования пробок. Министерство транспорта земли Гессен поручило научно-исследовательскому институту Штутгарта создать макет моста, основным строительным материалом которого является пластмасса. Главным преимуществом данного моста является то, что данное инженерное сооружение может быть возведено в течение суток. Основная часть данного моста – это искусственное волокно.

Мост длиной 30 метров может быть установлен за 24 часа. Мост изготавливается как цельный элемент, без анкеров и гвоздей. Главные преимущества моста из искусственного волокна: плита проезжей части пластмассовой конструкции выполнена из полимера, который укреплен стекловолокном и склеен на двух стальных основаниях. Длина моста 28 метров, а вес составляет 85 тонн, но при всем этом данное инженерное сооружение можно использовать в качестве типового моста. Форма пластмассового моста точно такая же, как и у бетонного. Единственное отличие, которое видно невооруженным взглядом – это то, что несущие конструкции из стали покрашены в бордовый цвет и имеют выпуклую форму. Сцепленные друг с другом полые балки, в форме треугольника, выполняют такую же функцию, что и балки в деревянном сооружении. Но незначительный вес не единственное преимущество моста из искусственного химического волокна. Обычный железобетонный мост требует уйму времени на строительство, то мост из данного материала может быть установлен в кратчайшие сроки, а так же не сложен в процессе транспортировки на строительную площадку. Несущая способность пластмассового моста велика, а искусственное волокно водостойчиво, а следовательно не портится в результате действия воды и так же не нуждается в покраске. Начальная стоимость моста велика, но главной причиной установки сооружения является то, что мост из химического волокна не нуждается в частом ремонте, как в случае с железобетонным мостом, который требует ремонт каждые двадцать лет. Половина стоимости моста окупится в течении 35 лет. А если учесть то, сколько денег было бы утеряно из-за пробок, возникающих при долгой

стройке железобетонного моста либо его ремонте, то сроки, за которые мост из пластмассы окупится ,уменьшаются вдвое .Важно то, что мост из пластмассы может принять любую форму и длину ,которая необходимо заказчику ,что придает красивый вид. Так же одним из инновационных решений в транспортном строительстве является идея создания умных фото-люминесцентных дорог.

Умные дороги со встроенными экранами могут показать прогноз погоды либо зарядить ваш автомобиль, если это требуется. Идею по созданию таких дорог предложили передовые умы Нидерландов. Фото-люминесцентная разметка на дороге будет применяться в Голландии с 2016 года. Идею назвали «Лучшей концепцией будущего». Фото-люминесцентный порошок в течение дня впитывает солнечный свет, а в темное время суток освещает дорогу длительностью до 10 часов. Порошок реагирует на изменение температуры, что позволяет уменьшить количество ДТП в гололедицу. Идея «Умных дорог», представлена на Неделе дизайна в Голландии, предусматривает в себе использование новейших технологий в строительстве дорог. Создатели утверждают, что такие дороги – прорыв в строительстве транспортных сооружений, позволяющие комфортно путешествовать ,чувствовать себя безопасно на дороге, т.к дороги будут более устойчивыми. Компании, управляющие проектом, уверяют, что их целью является создание инновационного транспортного маршрута, в котором будет сосредоточено внимание на дороге, а не на транспортных средствах, которые ее используют. Значительным плюсом дорог является то, что специальные полосы могут зарядить автомобиль человека. Энергосбережение на умных дорогах на высоком уровне: если в на темном участке автомобильной дороге в темное время суток отсутствуют автомобили, то освещение на данном промежутке будет отключено, при этом освещение от порошка ,напитавшего солнечный свет, будет осуществляться. При появлении на темном участке автомобиля, освещение автоматически включится, что позволяет максимально экономить электроэнергию . Но к сожалению, до совершенства данная технология не доведена. Авторы идеи до сих пор не могут прийти к решению, как будут работать полосы для зарядки автомобилей.

«Цель этого проекта состоит в том, чтобы сделать дороги более устойчивыми, безопасными и интерактивными с помощью интерактивного освещения, дорожных знаков, которые адаптируются к конкретной ситуации на дорогах». В целом, в Голландии инновационные проекты, обеспечивающие экономию, комфорт и безопасность становятся приоритетными для внедрения в жизнь.

#### Литература

1. Deutsche Welle: Инновации в мостостроении . – июль 2011г. – <http://www.bridgeart.ru/article/innovation/1328-pervyj-v-evrope-most-iz-plastmassy-postroili-v-germanii.html>
2. Dw-world : Пластмассовый мост . – июль 2011г. – [http://www.polymery.ru/letter.php?n\\_id=2647](http://www.polymery.ru/letter.php?n_id=2647)
3. Studio Roosegaarde: Smart Highway – первая в мире «умная дорога» . – сентябрь 2014 г. – <http://econet.ru/articles/3152-umnye-dorogi-v-niderlandah>

Репозиторий БНТУ

## **СОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА AUTODESK REVIT**

Косяков А.Д.

(Научный руководитель – Вайтович А.Н.)

В качестве исходных данных выбран 2-х пролетный мост. Пролетное строение, длиной 51м, состоит из двух главных балок, объединенных продольными и поперечными связями с помощью болтовых соединений. Несущая конструкция ездового полотна выполнена металлическим (ортотропным) настилом. Внутри пролетного строения имеется служебный проход, который дает доступ ко всем элементам и соединениям для дальнейшего обслуживания и ремонта. Проезжая часть шириной 6,5м имеет две полосы движения, по одной в каждую сторону. Также имеет тротуары шириной по 2,5м. На тротуарах установлены скамейки и элементы декора в виде клумб. Было принято следующее архитектурное решение – проезжая часть ограждена от тротуаров защитным экраном. Это обеспечивает шумоизоляцию, защиту от выхлопных газов, что позволяет пешеходам находиться на мосту длительное время, и не ощущая дискомфорта, наслаждаться природой и архитектурой города. Заполнения ограждений выполнены из стекла. Также весь мост опоясывает спираль из листового металла между витками которого натянуты тросы. Курсовой проект был создан в программном комплексе Autodesk Revit. Были созданы семейства для каждого элемента конструкции, проработаны все соединения. Это позволило нам увидеть наглядно все болтовые соединения, а также создавать любые виды и чертежи автоматически. Так же создание курсового проекта в программном комплексе Autodesk Revit позволило нам создавать сложные архитектурные решения, получить визуализацию всего проекта или каждой его части в отдельности.

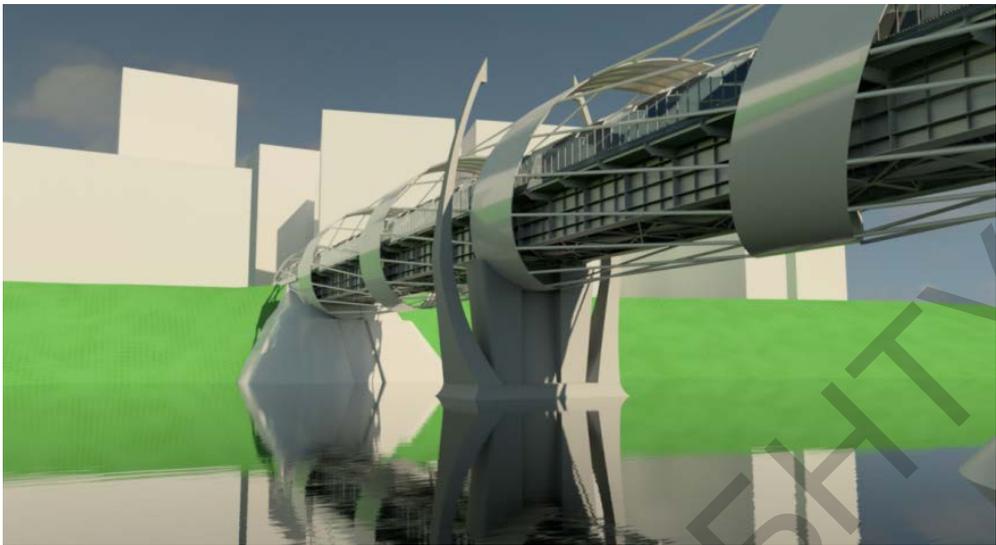


Рисунок 1 – Общий вид моста

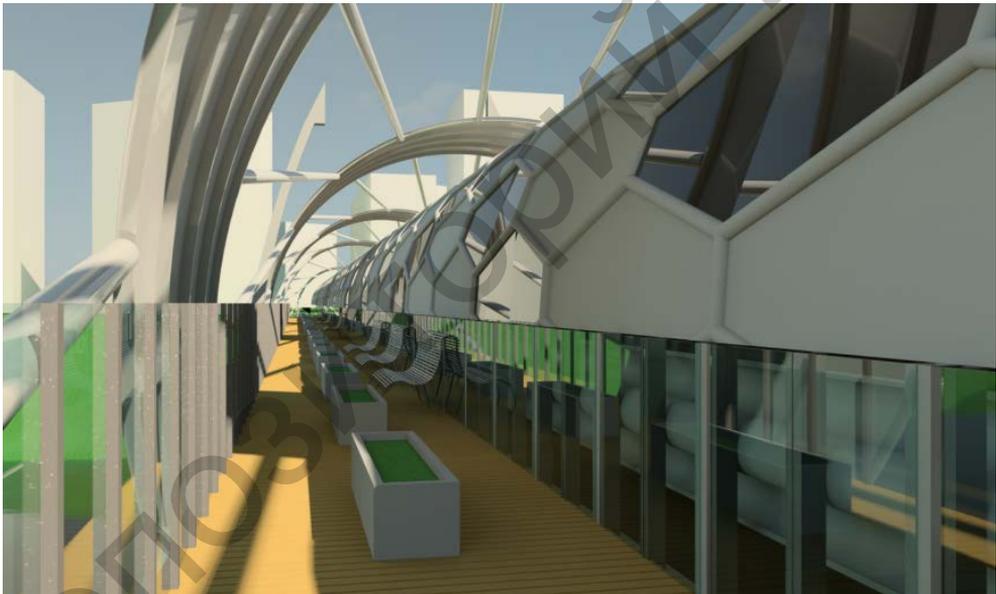


Рисунок 2 – Общий вид тротуаров моста

#### Литература

1. Сайт кафедры «Мосты и тоннели» - <http://mit.na.by/>
2. Сайт компании Autodesk Россия - <http://www.autodesk.ru/>

## **ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Кравченко К.С.

(Научный руководитель — Ходяков В.А.)

На сегодняшний день существует проблема обработки и очистки от различных загрязнений, в том числе от коррозии, металлических конструкций при строительстве подземных сооружений. В последние годы за рубежом активно внедряется в производство технология лазерной очистки поверхностей. Самыми распространенными способами удаления окалины и других загрязнений на сегодняшний день являются абразивные способы очистки с применением пескоструйных и дробеметных установок. Однако по очевидным причинам работа с пескоструйным аппаратом в замкнутых условиях подземного строительства не является хорошим решением.

При изготовлении крупногабаритных металлоконструкций, для повторной очистки которых требуются большие герметичные камеры, на производствах создаются участки с пескоструйными или дробеметными установками, потребляющими сотни киловатт электроэнергии и создающими экологические проблемы не только на предприятии, но и на прилегающих территориях. Кроме больших затрат на электроэнергию и приобретение расходных материалов – песка или дроби, предприятия вынуждены также решать и экологические проблемы, связанные с их утилизацией и на сегодняшний день появилась мощная альтернатива этим способам обработки - лазерная обработка, которая ничем не уступает и даже превосходит другие способы обработки.

Одним из важных преимуществ лазерной очистки перед традиционными способами является отсутствие излишнего абразивного износа поверхности изделий и отказ от применения химических реагентов. Длина волны излучения лежит в ультрафиолетовом диапазоне, что определяет малую глубину проникновения излучения в большинство металлов. Кроме того, при малой длине волны излучения фотон обладает достаточно высокой энергией, которая достаточна для разрыва межатомных связей в молекулах многих загрязнителей.

Процесс очистки с использованием лазера мало зависит от угла наклона луча к поверхности, не критичен к положению излучателя по отношению к обрабатываемой поверхности и осуществляется без нагрева изделия. Возможность настройки лазерного луча позволяет снять только тот слой, который уже «съела» коррозия и оставить нетронутым поверхность металла, на котором не будет и следа от механической очистки материала .

При строительстве тоннелей и метрополитенов такой способ очистки является более мобильным нежели "пескоструйка", а по производительности ничем не уступает и даже превосходит: производительность лазерной очистки поверхности от органических и неорганических загрязнений зависит от вида загрязнений (окисные пленки, ржавчина, окалина, масла, консерванты, краска, лаки и т.д.), а также от толщины удаляемого покрытия и средней мощности луча лазера. По данным, взятым из немецкого научного журнала «*Lasermarkt*» [1], производительность лазерно-плазменной очистки поверхности от ржавчины для лазера ( $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$ ) средней мощности 1,0 кВт составляет 6...8 м<sup>2</sup> /час. Производительность лазерной очистки поверхности от окисных пленок составляет 7,2 м<sup>2</sup> /час для лазера средней мощностью 120 Вт и 21...28 м<sup>2</sup> /час для лазера средней мощностью 500 Вт, с длиной волны  $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ . При обработке поверхностей в тоннелях и метрополитенах часто встречаются труднодоступные для обработки места, например, места с резьбовым соединением, которые необходимо обработать: после нарезания резьбы на металле остаются остатки смазочно-охлаждающей жидкости, органические и неорганические загрязнения, которые препятствуют получению высокого значения адгезии наносимых на металл защитных покрытий. Лазерная очистка резьб, труб и других элементов от органических и неорганических загрязнений позволяет получить энергетически активированную поверхность, близкую к ювенильной, что увеличивает адгезию наносимого защитного покрытия с поверхностью металла вокруг резьбы. Процесс лазерной очистки поверхности является высокопроизводительным, так, время очистки резьбы с условным диаметром 73 мм и длиной поверхности резьбы 110 мм составляет примерно 5 сек [2]. В таких условиях пескоструйная обработка будет слабо эффективна, т.к. она больше предназначена для обработки простых поверхностей. При этом лазер без проблем справится с этой задачей и способен обработать любую видимую поверхность любой сложности.

Важнейшим фактором является безопасность при использовании и экологичность оборудования. При пескоструйной обработке рабочим необходимо обезопасить себя при помощи спец одежды, при лазерной обработке таких мер не требуется, а следовательно появляется возможность работать оператору лазерного оборудования совместно группой рабочих не подвергая коллег опасности.

На сегодняшний день за рубежом разработан целый ряд лазерных установок для очистки поверхности, среди них можно выделить CL 20, CL 20QF, CL 1000 и др. [3]. Принципиальная схема работы лазерного луча по поверхности металла изображена на рисунке 1

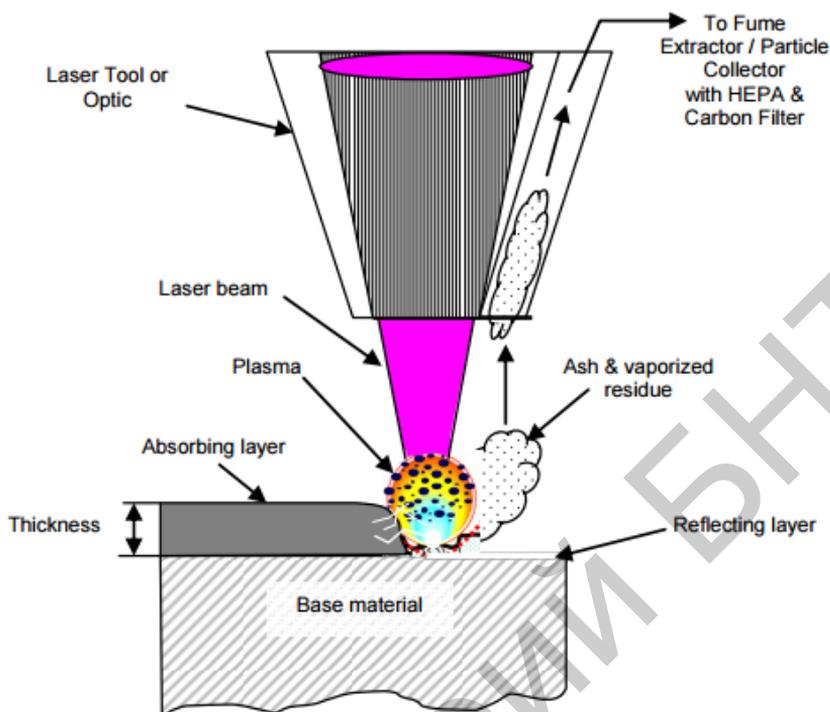


Рисунок 1 – Принципиальная схема работы лазерного луча по поверхности металла

Несмотря на многие преимущества лазерных технологий, их широкое внедрение в различных отраслях промышленности, в том числе в тоннелестроении до последнего времени ограничивалось рядом значительных технико-экономических трудностей:

- высокой стоимостью лазерных технологических комплексов при сравнительно высоких эксплуатационных затратах;

- сложностью обслуживания лазерного технологического оборудования;

- техническими трудностями интеграции лазерного технологического оборудования в технологические линии, особенно связанные с серийным выпуском продукции;

Очистка металлических и других поверхностей в процессе подземного строительства является вполне перспективным направлением. Применение устройств для лазерной очистки поверхности можно в перспективе назвать экономически эффективным. Отдельно стоит отметить высокую скорость производительности и экологичность процесса.

Лазерные методы очистки поверхности имеют высокую технологическую воспроизводимость процесса, так как «не тупятся», «не

засаливаются», и, к тому же, не загрязняют поверхность остатками химических реактивов.

Современные оптоволоконные лазеры имеют небольшие геометрические размеры, низкое энергопотребление, небольшой вес, не требуют создания специальных условий по климатике и загрязненности атмосферы, поэтому достаточно легко интегрируются в стеснённые условия технологических линий подземного строительства.

#### Литература

1. Laser reinigt präzise und umweltfreundlich // Lasermarkt. – 2000. – URL: <http://laser.com.ru/refinement.html>
2. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. – URL: <http://books.ifmo.ru/file/pdf/1001.pdf>.
3. Adapt laser systems. – URL: [http://www.dawsonmacdonald.com/pdf/DM\\_Adapt\\_Laser\\_Sys\\_Prod\\_Tech\\_Data.pdf](http://www.dawsonmacdonald.com/pdf/DM_Adapt_Laser_Sys_Prod_Tech_Data.pdf).

## **РАЗВИТИЕ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МОСТОСТРОЕНИИ**

Матыс В.О.

(Научный руководитель – Расинская Л.Г.)

### Аннотация

Клееные деревянные конструкции (КДК) начали применяться в нашей стране в 40-х годах прошлого столетия, однако в связи с перестройкой в 1996 году отрасль почти прекратила свое существования. Это было связано с активным внедрением железобетона. С течением времени накопленный опыт не развивался, а проектирование мостов, с использованием КДК становилось не востребовано. В результате разработанные серии типовых проектов устарели, а содержащиеся в СНиП 2.05.03.-84 нормы и правила ставили ограничение развития мостостроения в масштабных размерах. Тем не менее, в последнее время наблюдается положительный интерес к данной отрасли. Ведутся наблюдения и анализ опыта зарубежных стран, а также восстановление отечественных архивов знаний.

В период 1967-1981 годах были разработаны типовые проекты разрезных и неразрезных пролетных строений клееных балок заводского изготовления длиной 6, 9, 12, 15, и 18 м – разрезных и  $18+24n+18$  м и  $21+33n+21$  м - неразрезных. Изучались вопросы, связанные с разработкой конструкций из древесины, армированной другими материалами.

Исследование клееной древесины как материала для несущих пролетных строений в России посвящены работы Г.А. Кобикова, Г.В. Глинки, Н.Д. Поспелова и др. Их деятельность была связана с изучением и совершенствованием пролетных строений со сплошными балками. Впервые в мировой практике в 1975г. был построен клееный деревянный мост длиной 9м, армированный стеклопластиковой арматурой по проекту кафедры «Мосты и тоннели» Хабаровского политехнического института. Значительный объем теоретических и научных исследований выполнены в Союздорнии, НИСИ, в ЦНИИСК им. Кучеренко.

Новые деревянные мосты проектируются под современные нагрузки HS20 и HS25, обозначенные в AASHTO.

США является лидером в количестве построенных деревянных мостов, способных пропустить современную нагрузку. США, Скандинавские страны, а также и Канада возводят мосты на любых категориях дорог, что нельзя сказать о нас. Наши нормы (СниП 2.05.03-84) допускают применение деревянных мостов на дорогах IV категории, но не допускают - на автодорогах I, II, III категории; на автодорогах V

категории и на внутрихозяйственных дорогах II-с и III-с категорий допускается (рекомендуется) понижение класса нагрузки с А11 до А8.

Наибольший экономический эффект от применения клееных деревянных конструкций достигается при перекрытии ими пролетов длиной 18-36 метров. Массовому применению этого материала в качестве конструкционного материала способствует его высокая прочность, легкость собственной массы, технология изготовления любой длины и сечений, низкая энергозатрата на обработку сырья (8-10 раз ниже металлических и в 3-4 раза железобетонных), низкие экономические расходы на транспортировку и монтаж, высокая коррозионная стойкость, экологическая чистота и гигиеничность, возобновляемость сырьевой базы.



Рисунок 1 – Применение клееной древесины в мостостроении

На февраль 1998 г на дорогах США эксплуатировалось 582750 мостов, из которых 38298 мостов - деревянные, при этом 401 сооружение расположено на федеральных дорогах, а остальные — на вспомогательных. Как правило, это малые и средние мосты с пролетами от 6 до 27м, причем большинство из них из клееной древесины. Количество мостов в России и странах СНГ на то же время было в 10 раз меньше, 25% из них деревянные и не многим более 100 штук - с применением клееных балок[1].

Долговечность деревянных мостов из антисептированной клееной древесины в 50 и более лет доказана мировой практикой мостостроения. Более того классификация Еврокода предусматривает длительность периода эксплуатации мостов из деревянных клееных конструкций (ДКК) 100 лет. Создание современных производств КДК и технологий сборки сооружений на месте строительства явилось основой поступательного развития деревянного мостостроения в США, Канаде и странах Евросоюза.

Клееные конструкции балочной, арочной, рамной, висячей и вантовой систем чаще всего используются для пешеходных мостов. Такие мосты построены во многих европейских странах: Германии, Швейцарии, Северной Ирландии и др.



Рисунок 2 – Мост, выполненный из КДК

### Заключение

Мировой опыт показывает, что использование клееных деревянных конструкций несет в себе новые архитектурные и конструктивные решения. Использование высококачественной, прочной и долговечной древесины в индустриальных конструкциях мостов может принести высокий экономический эффект.

### Литература

1. Деревянные клееные конструкции в мостостроении. В.А. Уткин, П.Н. Кобзев. – Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия.
2. Уткин В.А. Совершенствование конструкций пролетных строений автомобильных мостов из клееной древесины. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.- Омск-2009. <http://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-konstruktsii-proletnykh-stroenii-avtodorozhnykh-mostov-iz-kleenoi-drevesi>
3. Соболев Ю.С. Древесина как конструкционный материал. М.: «Лесная промышленность», 1979. - 248 с
4. Мосты и тоннели ► Проектирование деревянных и железобетонных мостов ► Пролетные строения с клефанерными балками. – май 2016 г. - <http://vse-lekcii.ru/mosty-i-tonneli/proektirovanie-derevyan-i-zhbeton-mostov/proletn-str-s-kleefanernymi-balkami>
5. Клееные деревянные конструкции. – май 2016г. - <http://nbks.ru/stati/kleenie.aspx>
6. Клееные деревянные конструкции в сооружениях. – май 2016г. - <http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=122>
7. Деревянные мосты из клееного бруса. – май 2016г. - <http://zaotimber.ru/all/build/bridge/>

## ПОЕЗД БУДУЩЕГО

Матыс В.О.

(Научный руководитель – Ходяков В.А.)

### Аннотация

Hyperloop - транспортная сеть, которая в будущем сможет позволить перемещаться между континентами за незначительное время. Изучение опыта ведущих стран в этой отрасли может помочь решить вопрос в организации более быстрого транспорта для перевозок грузов и пассажиров.

С появлением новых технологий становится очевидно, что мир, как будто, начинает двигаться быстрее, требуя быстроты реакции, действия и перемещения. Развитие транспортной системы позволяет вмиг добраться до нужного пункта назначения. Жить в одном городе, работать в другом - это вполне естественно для современного человека. А что, если жить на одном континенте, а работать на другом? При этом трудиться на такой работе, которая требует непосредственного присутствия на ней, что бы быть более продуктивным! Время - ценный ресурс, который невозможно вернуть, купить, повернуть с ним бартер. А ведь уже ко взлету готовятся поезда на магнитных рельсах, воздушные такси и сверхзвуковые лайнеры.

Сверхскоростная транспортная сеть будущего Hyperloop – идея китайских профессионалов. Предполагается, что эта система трубопроводов-магистралей создаст единую транспортную сеть в Америке, а возможно в будущем и во всем мире. Над этим проектом уже работают специалисты компании ET3. Элон Макс, основатель известной космической компании SpaceX, говорит, что данная транспортная система представляет собой систему трубопроводов, поднятых над поверхностью земли. Оснащенная подвеской, работающей за счет эффекта магнитной левитации. Внутри трубы создается высокое разряжение воздуха, что позволяет транспортной капсуле двигаться на очень высокой скорости, практически не встречая сопротивления. Капсулы изготавливаются с использованием космических технологий, позволяющих выдерживать длительное пребывание в условиях разряженного воздуха при движении на скорости около 6,5 тыс. км/час.

Существуют факторы, изменив которые, существенно смогут повлиять на скорость поездов – это достаточность сопротивления воздуху и уменьшение влияния силы трения.

Так американец Дэрил Остер, вместо того, чтобы придумывать как реконструировать уже существующий корпус поездов и сами рельсы,

запатентовал технологию Evacuated Tube Transport Technologies (вакуумно-трубопроводные транспортные технологии-ЕТЗ).

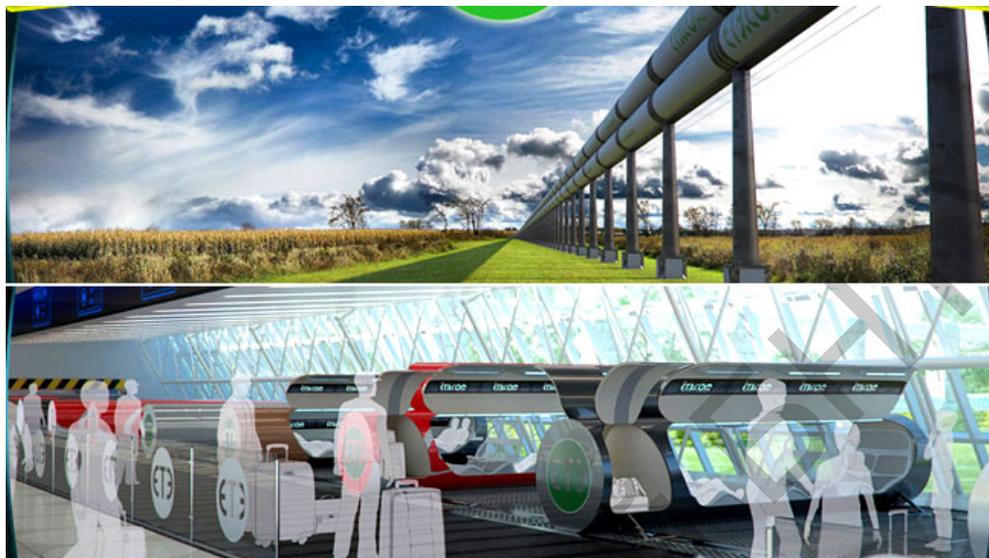


Рисунок 1 – Транспортная сеть будущего Hyperloop

Поезда, в том существующем виде, к которому мы привыкли, здесь нет. Эта структура представляет собой две трубы, диаметром 150 см, размещенных на высоких опорах. Внутри этих труб нет даже воздуха. А внутри них скользят безмоторные шестиместные капсулы. Отсутствие трения, эффективное использование линейного электродвигателя, возможность возвращать часть потраченной энергии на разгон капсулы(режим «генератор») обеспечат ЕТЗ экономичность в 50 раз больше, чем электромобили или рельсовые поезда. Скорость в начальных ЕТЗ системах 600 км/час для государственных поездок, а для международных будет представлять в 6500 км/ч. Для пассажирских и грузовых перевозок время перемещения из Нью-Йорка в Пекин составит около 2 часов!

В пределах конкурса SpaceX Hyperloop Pod Competition 115 инженерами были представлены с модели пассажирских капсул. Специалисты Массачусетского технологического института, победившие в конкурсе, уже летом собираются создавать полномасштабный прототип «гиперпетли», чтобы проверить его на практике.

А чтобы понять насколько мы отстали от современного мира в развитии сверхскоростной дороги стоит заглянуть в железнодорожный музей в Японии (рис. 2) зал посвященный 50-летию скоростного поезда. Сам факт того, что у них есть такой музей, достоин внимания.



Рисунок 2 – Японский железнодорожный музей

Россия же в вопросе о переходе на скоростные поезда без использования рельс находится весьма близко. Уже сейчас РЖД и «Росатом» подписали соглашение о совместной разработке системы высокоскоростного железнодорожного транспорта, работающего на принципе магнитной левитации. Экземпляры таких поездов уже существуют в Китае, Японии. Составы таких поездов могут разогнаться до 500 км/ч. Но для внедрения такого транспорта потребуется реконструировать существующую инфраструктуру путей.

Разработкой магнитных технологий занимается Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова. В научном заведении создаются магнитные системы установок, основанные на применении сверхпроводниковых материалов и постоянных магнитов. Развитие нового сверхскоростного транспорта сможет избавить от зависимости импорта и даст возможность конкурировать в разработках с ведущими компаниями американскими компаниями Jenkins Gales & Martinez.

#### Литература

1. Evacuated Tube Transport Technologies // Официальный сайт – URL: <http://www.et3.com/>
2. Сверхскоростная транспортная система Hyperloop позволит пересечь американский континент менее чем за час// – URL: <http://www.kv.by/content/326000-sverkhskorostnaya-transportnaya-sistema-hyperloop-pozvolit-peresech-amerikanskii-kont>
3. MIT Team Wins Hyperloop Pod Design Competition// – URL: <http://tech.co/mit-team-wins-hyperloop-pod-design-competition-2016-02>
4. <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/asia/japan/11551389/Japan-maglev-train-breaks-world-speed-record.html>
5. Поезда будущего// – URL:<http://nnm.me/blogs/kissaveli/poezda-budushego/>

## УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Москвин Ар.Ю., Москвин Ан.Ю.  
(научный руководитель — Ходяков В.А.)

### Аннотация

В современном обществе очень резко стала проблема, связанная с износом конструкций. Многие дома, мосты и сооружения уже сейчас нуждаются в усилении и увеличении несущей способности. Огромные деньги из бюджета страны выделяются на модернизацию существующих сооружений.

Обычно усилением конструкции пользуются тогда, когда несущая способность была уменьшена в результате повреждения. Причинами модернизации сооружения являются ошибки при проектировании, а также в случае перераспределения нагрузки из-за реконструкции здания, а также в целях мер по профилактике, укреплению сооружения и увеличения срока его службы.



Рисунок 1 – Усиление традиционным методом

Сейчас в строительстве способы усиления строительных конструкций принято делить на две большие группы: традиционные и современные. Традиционный метод основан на увеличении площади приложения сил и к возрастанию площади поперечного сечения арматуры (рабочей), современный же метод основан на использовании материалов высокой прочности, таких как углеродное волокно и фибро армированные пластики. Первый способ увеличения несущей способности конструкций

сооружения относится к методу «чем больше, тем лучше», второй же к методу качественного усиления.

Нетрадиционный метод увеличения несущей способности строительных конструкций и сооружений начали разрабатывать еще в конце XX века. Еще тогда он задумывался как замена традиционному методу. А появился он благодаря такому высокотехнологичному изобретению, как искусственное углеродное волокно или же просто углеволокно.

Это — материал, состоящий из тонких нитей диаметром от 5 до 15 мкм, образованных преимущественно атомами углерода. Атомы углерода объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу. Он применяется в виде холстов и лент, а также пластин и сеток. Нетрадиционный метод усиления углепластиком относят к внешнему армированию, так как материалы крепятся на конструкцию с помощью монтажных клеев (полимерцементного или эпоксидного). Они эффективно реагируют деформации конструкции и в них возникают большие приращения усилий.

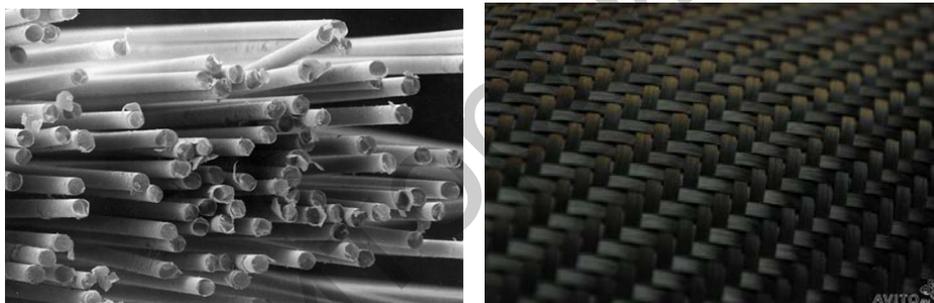


Рисунок 2 – Углеродное волокно

Из-за этого свойства нетрадиционный метод получил хорошее развитие в усилении железобетонных конструкций. Предельное значение этих материалов на растяжение на столько больше чем у бетона, что разрушение усиленной углеволокном конструкции происходит по контактному слою, где нанесен эпоксидный клей, между элементом армирования и волокном. За исключением работы поперечных углеволоконных бандажей для колонн.

Главным же плюсом нетрадиционного усиления является:

- Прочность материалов составляет около 3000 МПа на растяжение
- Легчайшие ФАП (плотность 1,8 г/см<sup>2</sup>) –не утяжеляют конструкцию
- Толщина ламината (около 1 мм) позволяет сохранить объемно-планировочные решения

- ФАП имеет небольшие трудозатраты на производство работ (они не требуют сварки, инъектирования, зачеканки, подъемных механизмов)
- Можно продолжать работу во время усиления
- Сокращает сроки производства работ минимум в два раза

При этом процесс усиления значительно упрощается.

Нетрадиционный способ повышения прочностных характеристик конструкций наиболее оправдан при необходимости усилить уникальные или дорогостоящие конструкции такие как: памятники архитектуры, различные транспортные сооружения, а также гидротехнические сооружения, реконструкция которых другими способами затруднительна или невозможна вообще. Технологии нетрадиционного усиления являются, на сегодняшний момент, наиболее перспективным и практичным способом увеличения эксплуатационных характеристик конструкций.



Рисунок 3 – Усиление железобетонной балки углеволоконным пластиком

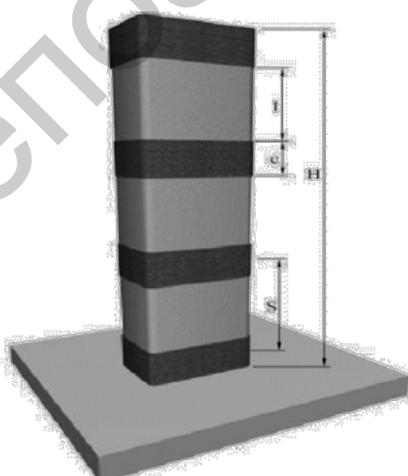


Рисунок 4 – Усиление колонны углеволоконными лентами

Частой причиной разрушения железобетонных конструкций является перегрузки отдельных элементов, коррозия, ошибки проектирования и производства, а также еще множество факторов. Особое внимание стоит обращать на те элементы, которые невозможно заменить, или на те, которые очень дорого приобретать. Это касается мостов, тоннелей, памятников архитектуры и гидротехнических сооружений. В таких случаях внешнее армирование углеволокном не заменимо. Так как материалы, применявшиеся в нетрадиционном методе, стоят дорого, то усиление рядовых конструкций таким способом не применяется.

С помощью внешнего армирования можно усиливать сжатые железобетонные элементы типа колонн, пилонов двумя способами. Первый: для усиления небольших (коротких) элементов применяют бандажи из углепластика, которые позволяют создать «обойму». Второй: установка холста из углеродного пластика вдоль сжатого элемента.

Также нестандартный способ армирования позволяет усиливать гибкие колонны. Для этого продольные элементы устанавливаются так, чтобы не изменилось расположение физической оси сечения.

#### Заключение

В заключении можно сказать, что усиление углеродным волокном является отличной заменой традиционного усиления. Углеволокно является очень легким и прочным материалом, способным выдерживать большие нагрузки. Хотя оно и имеет свои недостатки, такие как: цена и низкая огнестойкость. В будущем эти проблемы скорее всего разрешатся, а это значит, что стоит продолжать исследования и применение данной технологии.

#### Литература

1. Усиление конструкций зданий и сооружений. – 2010 г. – [http://rsustroy-servis.ru/uslugi/usilenie\\_konstrukcij\\_zdaniij\\_i\\_sooruzhenij/](http://rsustroy-servis.ru/uslugi/usilenie_konstrukcij_zdaniij_i_sooruzhenij/)
2. Усиление конструкций. – 2015 г. – <http://gidrobarrier.ru/strengthen.html>

## МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ, ТОННЕЛЕЙ

Москвин Ар.Ю., Москвин Ан.Ю.

(научный руководитель — Ходяков В.А.)

### Аннотация

В данной статье рассмотрены причины модернизации мостов и тоннелей, а также сложность эксплуатации и необходимость реконструкции.

На решение данной проблемы в станах с развитой городской структурой выделяется огромное количество денег, так как необходимость правильно поставить инфраструктуру и логистику в крупном мегаполисе является очень важной задачей.

Модернизация – обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества. Экономически целесообразная модернизация зачастую необходима при капитальном ремонте. В мостах модернизируется почти все, начиная от пролетного строения заканчивая болтами. Причиной модернизации может быть увеличение общего транспортных средств, проходящих мост. Из этого вытекает и следующая задача, поставленная перед инженерами и персоналом, обслуживающих это транспортное сооружение. Это эксплуатация. Правильная эксплуатация и своевременное обслуживание является одним из основных пунктов в долговечности сооружения. В эксплуатации главное не нарушать нормы и не доводить до предельного состояния несущие конструкции. Реконструкцией занимаются если надо переконструировать сооружение на другое предназначение. Реконструкция – это комплекс строительно-монтажных работ, направленных на использование по новому назначению и (или) на изменение основных технико-экономических характеристик зданий, сооружений, коммуникаций и их частей.

В тоннелях модернизации подвергается стенки тоннеля, так как вся несущая способность напрямую зависит от них. Эксплуатация таких тоннелей как метро сложная задача, так как надо следить не только за подземной частью, но и за наземной. Увеличение нагрузки на грунт или превышение нормативной нагрузки влечет за собой разрушение всего сооружения. Вентиляция и противопожарная безопасность в тоннелях, где есть люди важнейшие задачи, нарушение в которых приводят к трагическим катастрофам. Примером является Монбланский тоннель через альпы, где из-за нарушения эксплуатации произошел пожар,

погубивший 39 человек. Для увеличения поставок газа или нефти трубопроводы приходится расширять и модернизировать. Эксплуатировать такие сооружения сложнее из-за их протяженности на многие километры. Определить неисправность или повреждение тоже сложно, а при его содержимом любое повреждение очень опасно и для окружающей среды и для людей.

Если все эти задачи распределить по таймлайну, то получаем:

1. Строительство – возведение сооружения.

2. Эксплуатация – часть жизненного цикла системы сооружения, на протяжении которого оно используется по назначению.

3. Модернизация – совокупность хозяйственных и строительных операций, направленных на полное обновление сооружения, связанных с приведением его в соответствии с существующими техническими условиями, нормами, требованиями, показателями качества.

4. Реконструкция – это комплекс строительно-монтажных работ, направленных на использование по новому назначению и (или) на изменение основных технико-экономических характеристик зданий, сооружений, коммуникаций и их частей.

Модернизация, эксплуатация и реконструкция являются важнейшими задачами, стоящими перед инженерами. Своевременная работа над сооружениями поможет обеспечить надежность и безопасность для людей. Мы считаем, чтобы обеспечить надежность и безопасность требуется четкое соблюдение норм и правил.

#### Литература

1. Выставка метро, мосты, тоннели– 25-27 ноября 2015г. – <http://www.mmtexpo.com/#!about/c20ne>

2. Подземное строительство Тоннели 15 октября 2014 г - <https://www.youtube.com/watch?v=MfOsIATDzIs>

3. Ходяков В.А., Пастушков В.Г. Высокие технологии в проектировании и строительстве мостов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Том 3. – С. 432-439.

4. Пастушков, Г.П. О переходе европейские нормы проектирования мостовых конструкций в Республике Беларусь / Г.П. Пастушков, В.Г. Пастушков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2011. № 2. С. 113-121.

5. Вайтович, А.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния и усиление монолитных перекрытий транспортных сооружений с использованием стержневой системы преднапряжения / А.Н. Вайтович, В.Г. Пастушков, Л.В. Янковский // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2013. № 1. С. 26-34.

6. Дубинчик, Е.В. Особенности применения композитных материалов в строительстве / Е.В. Дубинчик, В.Г. Пастушков, Л.В. Янковский // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 175-181.

## **ВІМ-ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Наконешный А.С.

(научный руководитель — Ходяков В.А.)

### Аннотация

ВІМ – это технология комплексная и является новейшим подходом к проектированию, строительству, постоянным контролем и утилизации объекта. Повышение скорости выполнения работ и качества производимой проектно-сметной документации.

О ВІМ-технологии слышаны, наверное, все, кто имеет отношение к строительству и проектированию, но точное пояснение могут дать далеко не многие. ВІМ расшифровывается как (*Building Information Modeling или Building Information Model*) — информационное моделирование сооружения или информационная модель сооружения.

Все мы прекрасно понимаем, что для сохранения высокого уровня конкурентоспособности необходимо осваивать современные средства и технологии для проектирования и строительства, одной из таких технологий является информационное моделирование сооружений (ВІМ).

ВІМ – это технология комплексная и является новейшим подходом к проектированию, строительству, постоянным контролем и утилизации объекта. Информационная модель сооружения (ВІМ) представляет собой цифровое описание геометрии строительного объекта и его элементов, а также связанных с ними физических, технических, экономических параметров и процессов.

Одной из очевидных преимуществ применения ВІМ – уменьшение сроков и сокращения расходов, требующихся для составления смет. Программные средства для сметных расчетов и планирования производства работ взаимодействуют с информационной моделью сооружения, тем самым помогая уменьшить сроки и расходы.

Внедрение технологии информационного моделирования радикально меняет процессы проектирования, предоставляет целый ряд инновационных преимуществ: возможность параллельной работы над одной моделью большого числа проектировщиков, автоматизированной координации работы специалистов всех разделов проекта, существенно сокращает время на внесение и согласование изменений в реальном режиме, дает большую наглядность проектирования, позволяющую уменьшить количество ошибок.

Одним из основных преимуществ ВІМ технологии является коллективная работа. Основы коллективной работы – это многофайловая

структура проекта, в который чертежи всех участвующих в нем специалистов могут быть открыты одновременно и их можно видеть насквозь. Эта инновационная возможность во многом меняет подход к проектированию зданий и сооружений. Любые данные проекта могут быть использованы в сети с различными уровнями доступа и с различными правами пользователей, что позволяет контролировать правильность ведения строительных работ в BIM системе. Над любым реальным проектом могут одновременно работать не только архитекторы, но и инженеры различных специальностей; генерального плана, электротехники, водопровода, канализации и т.д. Модуль «инновационные системы сооружения» позволяют не только проложить инженерные сети, но и в режиме 3D увидеть, как они будут выглядеть в натуре, выявить узкие места, контролировать правильность пересечения всех узлов конструкции.

Принципиально то, что информационная модель объекта является параметрической и взаимосвязанной. Она позволяет осуществлять расчеты, вносить сложные изменения, и модель автоматически перестраивается, начиная с инфраструктуры и заканчивая внешним обликом объекта. Такая модель исключает возникновения коллизий и позволяет выпускать высококачественную документацию.

BIM – повышение скорости выполнения работ и качества производимой проектно-сметной документации, что является решающим фактором конкурентоспособности на рынке.

В настоящее время существует целый ряд мировых разработчиков программного обеспечения, реализующих в своих решениях BIM-технологии в проектировании и строительстве. Среди них можно выделить три основные компании программные продукты которых пользуются определенной известностью в странах СНГ, адаптированы к условиям рынка и внедряются в проектных организациях. Это Bentley Systems с программными продуктами MicroStation, Bentley Architecture, Bentley Structural Modeler, Bentley Bridge и множество других; компания Nemetschek с семейством программных продуктов AllPlan, системой архитектурного проектирования ArchiCAD и дизайнерским приложением Vectorworks; компания Autodesk, с программами AutoCAD, Revit, Product Design Suite и многими другими.

Именно за технологией BIM великое будущее. И тот, кто ее освоит раньше, безусловно, получит конкурентное преимущество. Ведь уже сегодня разрабатывается и постепенно внедряется огромное количество BIM-программ, которые оптимизируют и упрощают жизнь человеку.

#### Литература

1. Владимир Талапов. BIM: что под этим понимают.// 2010.- ISBN: 9764-5-9758-0229-1
2. Владимир Попов. BIM – информационная модель здания. [Электронная версия]// 2011.- URL: <http://scadsoft.com>
3. Статья [kachestvo.ru](http://kachestvo.ru)[Электронный ресурс]// URL: <https://www.bsc.by/story/innovacionnye-tehnologii-v-proektirovanii>
4. Статья [kachestvo.ru](http://kachestvo.ru)[Электронный ресурс]// URL <http://www.tekla.com/ru/>
5. Ходяков В.А., Пастушков В.Г. Высокие технологии в проектировании и строительстве мостов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Том 3. – С. 432-439.
6. Ходяков В.А., Пастушков В.Г. Проектирование ферм с использованием линий главных напряжений // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – № 1. – С. 131-147.
7. Ботяновский А.А., Пастушков В.Г. «Применение BIM-технологий и новейшего оборудования при исследовании фактического технического состояния мостового сооружения» / «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе»: Материалы международной научно-практической конференции. 2015. Т.1. С. 342-345.
8. Петров, М.П. Переход на BIM-технологии в проектировании на примере Autodesk Revit / М.П. Петров // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. Т. 1. С. 447-449.

## ЭКОДИЗАЙН

Наконешный А.С.

(научный руководитель — Ходяков В.А.)

### Аннотация

Экодизайн является направлением в дизайне, делающим большой акцент на сохранение окружающей среды. Это направление превратилось не просто в вид проектировочной деятельности, а в стиль, абсолютно новый для нашей жизни, более важный и ответственный по отношению ко всему живому. Экодизайн нуждается в распространении для сохранения природы в естественном ее обликии.

Человечество всегда стремилось преобразовать пространство, с которым постоянно приходится взаимодействовать, в более удобное и комфортное для себя, чтобы проживать, работать и отдыхать было легко и уютно. Так как люди являются неотъемлемой частью живой природы, то каждое негативное воздействие на нее больше сказывается на эмоциональном, моральном, физическом и психологическом здоровье человека. В связи с этим стремление человека создавать вокруг себя все новое и в тоже время не забывать про природу и не отворачиваться от нее создало такое направление в дизайне как экодизайн. Главной задачей этого направления является остановка истощения природных ресурсов и поддержание безопасности экологии и чистоты.

Экодизайн — направление в дизайне, которое особенно подходит к проектированию объекта, уделяя внимание продукту на всем протяжении его существования, начиная с изучения материалов, из которых будет сделан продукт, заканчивая его утилизацией.

Экодизайн нуждается в развитии и особом внимании, так как это направление делает большой акцент на свойствах материалов, задействованных при производстве и дальнейшем использовании, а главное- на утилизации объекта. Проектировщики со всего мира стараются внедрять в свои проекты как можно больше природных материалов, изобретают альтернативные виды, доступные для обычного потребителя, способы добычи энергии из неиссякаемых источников, таких как: ветряные генераторы, солнечные батареи и т.п. Экодизайн был создан на фоне ухудшения состояния окружающей среды, но затем эта тенденция переросла в более близкое для людей чувство сближения с природой и создание чистого мира вокруг себя.

Материалы, используемые в экодизайне, являются важным составляющим, они должны быть по максимуму натуральными и экологичными.

Наиболее распространёнными материалами экостиля являются: дерево, стекло, бамбук, пробка, камень, шелк, лен, хлопок, ротанг

Мебель, которая сделана в экостиле, считается долговечной и качественной, она служит на века и может передаваться по наследству. Примером такой мебели может послужить та, что сделана из натурального дерева. Такая мебель прочная и экологически чистая.

Предметы интерьера, сделанные в экостиле, универсальны и подходят как для городских квартир, так и для загородных домов. Сам стиль отличается простотой и строгостью, часто встречаются элементы экодизайна, которые подвластны трансформации, что помогает владельцу подстраивать ее под себя, не изменяя конструкции.

Сторонники экодизайна придерживаются идеи сохранения природы, поэтому в их домах нет большого количества техники. Они приобретают только необходимые электроприборы, предпочитают экономить расходы воды и электроэнергии. Зачастую такие люди используют энергию солнца и ветра, которая является неисчерпаемой. Чаще всего, они так же вносят свой вклад не только в сохранение окружающей среды, но и в её восполнение. Таким примером может послужить посадка деревьев.

Основные принципы присущие экодизайну:

- гарантия безопасности на протяжении всего времени использования изделия;
- отсутствие вреда для здоровья;
- снижение шумов, выбросов, излучения, вибраций;
- простота утилизации по истечении срока службы. Вторичное использование материала;
- сокращение ресурсов, затрачиваемых на проект;
- полное изучение используемых материалов;
- забота об окружающей среде.

Одним из ярких примеров, которые можно встретить во многих домах – это энергосберегающие лампы, очень хорошо себя зарекомендовавшие как продукт, экономящий большое количество электроэнергии.

Коэффициент полезного действия у энергосберегающей лампы очень высокий, и световая отдача примерно в 5 раз больше чем у традиционной лампочки накаливания. Например, энергосберегающая лампочка мощностью 20 Вт создает световой поток равный световому потоку обычной лампы накаливания 100 Вт. Благодаря такому соотношению энергосберегающие лампы позволяют экономить энергии на 80% при этом без потерь привычной освещенности комнаты. Причем, в процессе долгой эксплуатации от обычной лампочки накаливания световой поток со временем уменьшается из-за выгорания вольфрамовой

нити накаливания, и она хуже освещает комнату, а у энергосберегающих ламп такого недостатка нет.

Хотелось бы выделить 5 шагов создания экодизайна.

- 1) Используемые материалы
- 2) Логистика
- 3) Оптимизация рабочего процесса
- 4) Содержание
- 5) Утилизация

#### Используемые материалы

При создании проекта нужно использовать материалы, в которых будут минимизированы вещества, вредные для здоровья человека и экосистем, путем снижения уровня загрязненности, либо же использования альтернативного материала. Вредные вещества могут быть выведены на начальном этапе производства, например, при производстве на заводе можно избавиться либо минимизировать такие вещества как красители, химические добавки.

Пытаться использовать вторсырье, где это возможно. Вторсырье может состоять из 100% вторично переработанных материалов.

Стараться использовать возобновляемые материалы, которые в свою очередь уменьшают стоимость в связи со своей доступностью на рынке.

Минимизировать использование материалов, на которое затрачивается большое количество энергии во время его добычи.

#### Логистика

Оптимизация логистических планов должна осуществляться таким образом, чтобы транспортные расстояния были как можно более короткими, а доставка осуществляться наиболее экологически чистым видом транспорта, например, железнодорожным.

Уменьшить вес и объем продукта, что позволит уменьшить потребление топлива при транспортировке. Стараться создавать проект, который включает в себя демонтаж продукции по секциям, это позволит облегчить транспортировку и упростит процесс утилизации.

#### Оптимизация рабочего процесса

Выбор наиболее экономичной схемы производства, которая будет позволять эффективно использовать приобретенный материал, что приведет к уменьшению отходов производства. Производственные отходы следует отправлять на переработку.

## Содержание

Техническое обслуживание и ремонт должны проводиться вовремя согласно плану.

## Утилизация

Элементы конструкции, которые предназначены для вторичного использования, должны использоваться и в дальнейшем, остальные элементы должны быть отправлены на переработку.

Экодизайн превратился не в простой вид проектировочной деятельности, а в стиль, абсолютно новый для нашей жизни, более важный и ответственный по отношению к природе. Малейшая экологическая часть в дизайне приносит огромный вклад в сохранение естественного обличия нашей природы, не губя ее своими отходами производства, выбросами и многим другим, что может загрязнять природу. Хотелось бы, чтобы каждый человек осознавал свою значимость в сохранении природы, даже принося малейший вклад. Чем больше мы будем рассказывать про такое направление как экодизайн, тем больше людей будет заботиться о хрупкой и нуждающейся в нашей заботе окружающей среде.

## Литература

1. Джудит Уилсон. Экологичный дом. Стили, вдохновленные природой.// 2008.- ISBN: 978-5-9794-0229-1
2. Зверевич В.В. [Электронный ресурс]//2012 - Экодизайн и пространство современной библиотеки. Возможности организации пространства. – URL: <http://www.cultmanager.ru/magazine/archive/90/2195/>
3. Статья [kachestvo.ru](http://kachestvo.ru)[Электронный ресурс]// URL: <http://kachestvo.ru/promtovar/byt/nam-ne-do-lampochki.html>

## НЕВЕРОЯТНЫЕ МОСТЫ МИРА

Новиков П.И.

(Научный руководитель – Ходяков В.А.)

### Аннотация

Такое привычное для всех нас сооружение, как мост, может быть очень необычным и завораживающим. Большинство из них не очень примечательны, но некоторые представляют собой настоящие произведения архитектурного и инженерного искусства, пройти или проехать по которым — истинное удовольствие. Мосты занимают отдельное место в мировой архитектуре. В мире нет двух одинаковых мостов, каждый из них имеет свою особенную черту неповторимости. В работе представлены мосты, которые не только служат переправой для людей, но также демонстрируют всю красоту строительства.

На поверхности планеты Земля огромное количество водных преград, которые являются препятствием для людей. Инженерные сооружения, позволяющие преодолеть водную преграду, называются мостами. С древних времён люди строили мосты для переправ: сначала были сооружения из камня, после - из дерева, металла. Сегодня, благодаря современным технологиям и строительным материалам, создаются невероятные проекты, а инженеры воплощают их в жизнь. В данной работе акцент делается на мосты, которые служат не только переправой для людей, но и показывают всю мощь архитектуры и строительства.

Первый мост, с которого хочется начать – это мост Конфедерации, находящийся в Канаде и соединяющий остров Принца Эдуарда с Нью-Брансуик, расположенный в материковой части Канады (рис.1,2). Мост Конфедерации был открыт 31 мая 1997 года. Длина - 12900 метров. Это самый длинный мост в мире, построенный над покрывающейся льдом водой. Мост опирается на 62 опоры и имеет 44 основных пролёта, длина которых составляет 250 метров. Ширина моста 11 метров, высота над уровнем моря в проливе Нортамберленд равна 40 метрам, в центральной части, предназначенной для прохода морских судов, около 60 метров.



Рисунок 1 – Мост Конфедерации. Вид сверху

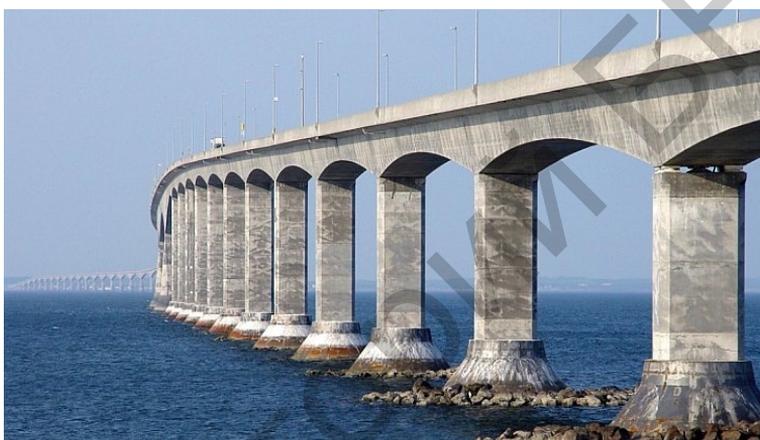


Рисунок 2 – Мост Конфедерации. Вид сбоку

Второе мостовое сооружение - Виадук Мийо вантовой системы, проходящий через долину реки Тарн вблизи города Мийо в южной Франции (рис.3,4). Мост был открыт 14 декабря 2004 года. Дорожное полотно весит 36 000 тонн, имеет длину 2460 метров, ширину 32 метра. Каждый из шести центральных пролётов имеет длину 342 метра, два крайних - по 204 метра длиной. Высота колонн варьируется от 77 до 244,96 метров, диаметр самой длинной колонны 24,5 метра у основания и 11 метров у дорожного полотна. Каждая из опор поддерживает пилоны высотой 97 метров. Одна из его опор имеет высоту 341 метр — это на 17 метров выше, чем Эйфелева башня.

Виадук имеет на своем счету три мировых рекорда:

- Самая высокая опора в мире: 244,96 метра.
- Мировой рекорд высоты опоры моста с пилоном: 343 метра.
- Самое высокое дорожное полотно в мире: 270 метров над землей в самой высокой точке.



Рисунок 3 – Виадук Мийо. Вид сверху



Рисунок 4 – Виадук Мийо. Вид сбоку

Следующее инженерное сооружение – мост Ройал-Гордж. Он пересекает ущелье высотой 291 метр над рекой Арканзас, Колорадо, США (рис.5,6). Главный пролет моста между башнями составляет 270 метров, общая длина - 384 метра, ширина 5,5 метра и башни 46 метров в высоту. Мост был построен в течение шести месяцев в период с июня по август 1929. Являлся самым высоким мостом в мире в период с 1929 года – по 2001 год. В 1960-х Ройал-Гордж получил печальную известность как «мост самоубийц»: сюда специально приезжали желающие гарантированно свести счеты с жизнью. В начале XXI века на смену им пришли туристы-экстремалы, которые совершают прыжки на страховке из резинового троса.

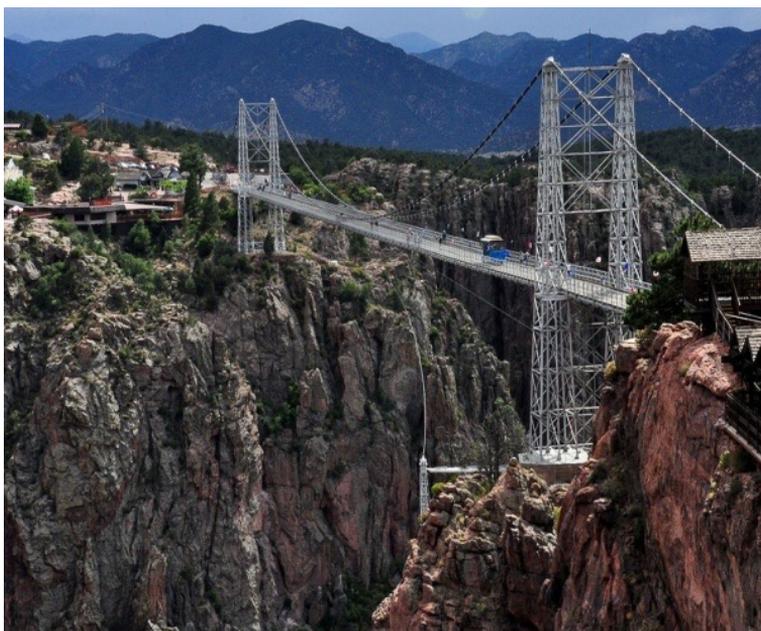


Рисунок 5 – Мост Ройал-Гордж



Рисунок 6 – Мост Ройал-Гордж. Вид сбоку

Ещё один висячий автомобильный мост - Акаси-Кайкё, соединяющий город Кобе на острове Хонсю с городом Авадзи на острове Авадзи, Япония (рис. 7,8). Он имеет титул, как самый длинный висячим мост в мире: его длина составляет 3911 метров, главный пролёт - 1991 метр, а боковые — по 960 метров. Высота пилонов - 298 метра. Изначально планировалось, что длина главного пролёта будет 1990 метра, но она увеличилась на один метр из-за землетрясения: пилоны выдержали землетрясение, но из-за изменения рельефа дна пролива Акаси один из них сдвинулся на 1 м в сторону. В конструкции моста имеется система

двухшарнирных балок жёсткости, которые позволяют выдерживать скорость ветра до 80 м/с и землетрясения магнитудой до 8,5 и противостоять сильным морским течениям. Мост Акаси-Кайкё дважды вошёл в книгу рекордов Гиннеса: как самый длинный подвесной мост (3911 метра) и, если вытянуть в длину все стальные нити (диаметром 5,23 мм) несущих тросов, то ими можно опоясать земной шар более семи раз.



Рисунок 7 – Мост Акаси-Кайкё. Вид сверху

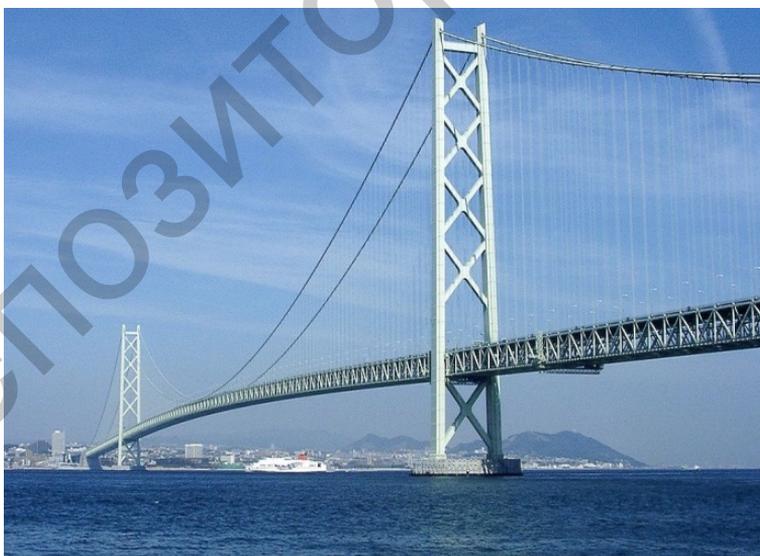


Рисунок 8 – Мост Акаси-Кайкё

Пятый мост – Сиду. Открытый в 2009 году, мост Сиду расположен на высоте 495 метров над землей (рис. 9). Это выше Статуи Свободы и Эйфелевой башни. Он является самым высокорасположенным мостом в

мире. Он возвышается над рекой в китайской провинции Хубэй, которая окружена горами и лесами. Строительство было проблемой из-за сложного местоположения. Не было возможности использовать подъемные краны, лодки или вертолеты. Инженеры придумали интересную идею - использовать ракеты. Более чем 1000 метров кабеля было привязано к ракетам, которые отправлялись по другую сторону ущелья (рис.10).



Рисунок 9 – Мост Сиду



Рисунок 10 – Натягивание троса с помощью ракет

## Заключение

В мире огромное количество мостов, путепроводов и виадуков. Большинство из них представляют собой однотипные серые сооружения. Хочется, чтобы строители, проектировщики и архитекторы задумывались не только о качестве, надёжности и дешевизне всех инженерных сооружений, но и об их внешнем виде. Каждый мост должен быть уникален и в каждом из них должна быть какая-то своя, особенная архитектурная изюминка.

## Литература

1. Loveopium: Самые необычные мосты. - 16 января 2012 г.- <http://loveopium.ru/neobychnoe/neobychnye-mosty.html>
2. Re-actor: Топ мостов-рекордсменов. – 19 февраля 2011 г.- <http://re-actor.net/architecture/3050-top-of-the-bridges.html>
3. Pulson: Строительство гигантских подвесных мостов в Китае. – 11 декабря 2015 г.- <http://pulson.ru/odo-vsem-na-svete/stroitelstvo-gigantskogo-podvesnogo-mosta-v-kitae-4-foto.html>

## МЕТРОМОСТ ЧЕРЕЗ Р. МОСКВА

Петрашко Е.П.

(Научный руководитель – Пастушков Г.П.)

### Аннотация

Статья посвящена концептуальному проекту метромоста пересекающему р. Москва.

Основной интерес в том, что проект является уникальным сооружением с точки зрения конструкции, так как на пролетном строении был сооружен станционный комплекс а в зоне сопряжения подземный пешеходный переход.

В условия города порой возникает ситуации, ввиду сложных геологических условий или ситуационных, когда экономически выгодней выполнить прокладку пути над препятствием а не под, в результате чего рождаются подобные проекты. В результате проектировочной деятельности была выбрана схема моста 45+110+45 с неразрезными пролетными строениями.



Рисунок 1 – Проект метромоста через р. Москва

Пролетное строение представляет из себя 6 неразрезных продольных балок объединенных поперечными связями. Продольные балки имеют коробчатое сечения высотой 3 м и шириной 1.5 м. На пролетном строении располагается станционный комплекс с необходимыми коммуникациями. Вход пассажиров на станцию осуществляется через подземные пешеходные переходы.

Проектирование объекта происходило в программе REVIT. Расчет конструкций и элементов производился с помощью программного комплекса Sofistik.

### Заключение

В результате проектирования был сделан вывод что проект имеет место на существование. С точки зрения экономики, это решение имеет ряд преимуществ на этапе возведения и эксплуатации, по сравнению с вариантом станции глубокого заложения.

### Литература

1. ТКП 45-3.03-232-2011(02250) «Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования».
2. СНБ 3.03.02-97 «Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов» с изменениями №№1-6.
3. [http://www.realmetro.ru/stantion/worobjovi\\_gori/](http://www.realmetro.ru/stantion/worobjovi_gori/)

**СОЗДАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ГОРОДСКОЙ  
ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЁННОГО  
МОНЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

Савицкий Р.П.

(Научный руководитель – Пастушков Г.П.)

**Аннотация**

Монолитные преднапряжённые мостовые конструкции довольно широко применяются в мировом мостостроении. В данной работе описана монолитная рамно-неразрезная схема мостового сооружения. Приведены основные геометрические типоразмеры элементов сооружения (опор, пролётных строений). Дано описание армирования пролётного строения.

Эстакады и путепроводы в большинстве случаев устраиваются балочной(разрезной и неразрезной) и рамных систем. Сооружения с неразрезными пролётными строениями наиболее удобны в эксплуатации и экономичны по расходу материалов. Зачастую неразрезные пролётные строения жёстко объединяют с верхом опор, образуя многопролётную рамную систему. Протяжённые рамы разбивают на независимо работающие секции. Монолитное строительство даёт возможность придать пролётному строению криволинейную форму с сохранением геометрических параметров трассы в плане и профиле (радиус, ширина, поперечный и продольный уклоны).

Пролётные строения эстакад и путепроводов можно подразделить на рёбристые, плитные и коробчатые.

Плитные пролётные строения постоянной высоты могут опираться по всей ширине на ригели рамных опор, на опору стенку или в отдельных точках на стоечные опоры. Пролёты монолитных эстакад сплошного сечения с постоянной высотой при неразрезной схеме назначаются порядка  $l=12-25$  м. Высоту  $h$  в неразрезных конструкциях принимают равной  $(1/20-1/30)l$ . Полная ширина пролётного строения  $B$  должна быть не более 15-20 м, чтобы не вызывать излишних поперечных температурных деформаций, ухудшающих условия работы опорных частей.

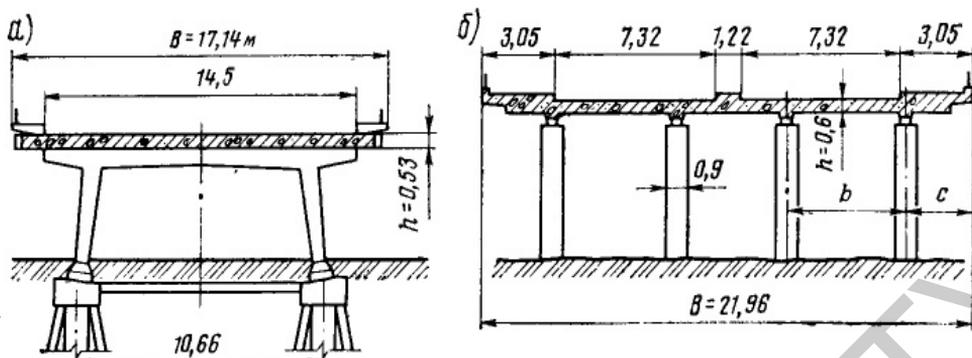


Рисунок 1 – Принципиальные схемы поперечных сечений плитных монолитных пролётных строений

При точечном опирании плиты в поперечном направлении расстояние  $b$  между стойками назначают в пределах  $(8-12)h$ , а вылет консольных свесов  $c$  –  $(4-8)h$ . Одновременно стараются соблюдать соотношение  $b/l=1/2-1/4$ .

Для облегчения веса в монолитных пролётных строениях устраиваются пустоты различного вида. Чаще всего пустоты делают круглыми, овальными или прямоугольными. Такие конструкции по характеру работы близки к коробчатым пролётным строениям. Условно можно принять что пролётное строение относится к плитным, если  $B/h > 8-10$  и общая площадь пустот составляет менее половины площади брутто поперечного сечения.

Армирование плитных неразрезных монолитных пролётных строений может осуществляться ненапрягаемой или предварительно напрягаемой арматурой. Применение предварительного обжатия бетона позволяет: снизить расход стали и бетона за счёт использования арматуры и бетона высокой прочности; значительно уменьшить собственный вес конструкций, особенно при больших пролётах; создать повышенную трещиностойкость и жёсткость конструкций. Для натяжения арматуры в условиях строительной площадки широкое применение получил натяжение арматуры на бетон механическим способом, при котором необходимое относительное удлинение арматуры, соответствующее заданному контролируемому напряжению в ней, получают вытяжкой арматурного элемента натяжными механизмами, с последующим нагнетанием цементного раствора в канал с напрягаемой арматурой.

При использовании предварительно напряжённой арматуры продольные элементы располагают на всей длине пролётного строения, постепенно переводя из нижней зоны в пролёте в верхнюю над опорами. В протяжённых конструкциях часть продольных элементов арматуры обрывают в пролёте, отгибая их к верхней или нижней грани.

### Заключение

Монолитные преднапряжённые конструкции являются востребованной темой для исследования, вследствие своих высоких технико-экономических показателей (сниженного расхода арматурной стали и бетона, повышенной трещиностойкости и жёсткости) и некоторых преимуществ, которые даёт монолитное строительство в городских условиях.

### Литература

1. Гибшман М.Е., Попов В.И. Проектирование транспортных сооружений: Учебник для вузов. –2-е изд., перераб. и доп. – М.:Транспорт, 1988. - 447с.
2. Дрозд Я.И., Пастушков Г.П. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. –208 с.
3. ТКП 45-3.03-232-2011 «Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования».

## **ВЗАИМОВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ НА СУЩЕСТВУЮЩУЮ ЛИНИЮ МЕТРОПОЛИТЕНА**

Сериков В.М.

(Научный руководитель – Бойко И.Л.)

С каждым годом регистрируется увеличение пассажиропотока, что дает дополнительную нагрузку на общественный транспорт. Наземный транспорт затрачивает больше времени и ресурсов, простаивая в заторах на улицах мегаполисов, в то время как метрополитен не подвержен данному негативному фактору. В настоящее время метрополитены активно развивается, стремясь охватить больше территорий города. В данной работе описан вопрос о строительстве новых подземных сооружений в условиях близости к уже существующим.

В крупных мегаполисах, таких как Москва, сеть метрополитена стремительно разрастается, стремясь охватить больше территорий города и ввиду этого, для создания безопасного проекта подземного инженерного сооружения, такого как станция метрополитена, уже недостаточно учитывать городскую застройку на поверхности земли. Также требуется учитывать взаимовлияние новых станций или линий метрополитена с уже существующими, при непосредственном расположении в одном сечении массива грунта. Для решения данного вопроса необходимо, найти зоны влияния строящейся станции на существующую линию метрополитена. Определив изменения в конструкции обделки тоннеля, а также возможные перемещения в массиве грунта и конструкций существующей линии метрополитена при различном расположении станции на местности.

Исследовать напряженно-деформированное состояние окружающего массива грунта и конструкций существующего подземного сооружения возможно используя метод конечных элементов (МКЭ), но ввиду того что для выполнения всех необходимых расчетов вручную используя МКЭ, затруднителен и требует значительных временных затрат, используя специальное программное обеспечение (САЕ-системы) для ЭВМ. К данной категории систем относится программный комплекс SOFiSTiK. (ПК SOFiSTiK)

SOFiSTiK – интегрированный комплекс, использующий метод конечно-элементного анализа (МКЭ) строительных конструкций, зданий мостов, тоннелей и решения задач техники. SOFiSTiK способен решать единую конструкторско-геотехническую задачу, в рамках которой он способен:

- оценивать величины напряжений в конструкциях зданий и сооружений с подбором рациональных сечений, классов материала по прочности, армирования;

- анализировать осадки сооружений и их неравномерности, крены, прогибы конструктивных элементов;

- оценивать взаимное влияние зданий и сооружений друг на друга с учетом последовательности возведения на грунтовом массиве;

- применять широкий спектр моделей, описывающих нелинейный характер поведения материалов конструкций и грунтового массива;

- учитывать возможные изменения нагрузок на различных этапах возведения и эксплуатации зданий и сооружений.

Используя ПК SOFiSTiK было проведено два расчета 2D модели будущей станции метрополитена над существующей линией, с учетом стадий строительства, при различных глубинах залегания проектируемой станции относительно существующей линии метрополитена, с целью выявления. Результаты (рис. 1) показывают, что при увеличении глубины залегания проектируемой станции, изгибающие моменты в конструкции обделки существующего тоннеля уменьшаются.

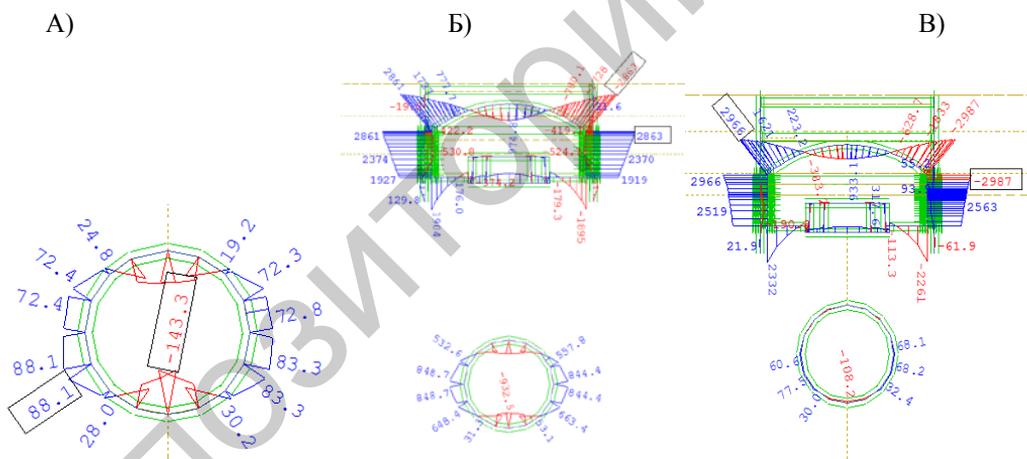


Рисунок 1 – Результаты расчета в программном комплексе SOFiSTiK (Изгибающий момент). А- изгибающий момент в конструкции обделки до начала строительства новой станции метрополитена. Б- Первый вариант расположения новой станции в грунтовом массиве. В- второй вариант расположения новой станции в грунтовом массиве.

## Заключение

Создав компьютерную модель будущего сооружения, можно заранее получить комплексные сведения о работе его конструкций, а также других объектов включенную модель (грунтовый массив, действующее инженерное сооружение и т.д.).

## Литература

1. SOFiSTiK AG. SOFiSTiK Finite element software: презентационный материал.- Nurnerg. SOFiSTiK AG Germany, 2013- 10 с.
2. SOFiSTiK AG. SOFiSTiK Statics of Plane Axissymmetric Geomechanical Structures - SOFiSTiK AG Germany, 2012- 91 с.
3. Проектирование тоннелей с помощью SOFiSTiK и WinTUBE; Материал конференции ПСС и SOFiSTiK AG "Мировой опыт использования SOFiSTiK для проектирования уникальных инженерных сооружений" – октябрь 2013 - <https://www.youtube.com/watch?v=BDPZLKfcKa8>

## ИНЪЕКЦИОННАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ

Аляшевич А.В. и Снопок М.Г.

(Научный руководитель Пастушков В.Г.)

В связи с развитием новых технологий появляются новые методы защиты инженерных сооружений от пагубного воздействия воды. Одним из современных и удобных способов является инъекционная гидроизоляция. В данной работе описаны способы инъекционной гидроизоляции.

Самое главное преимущество инъекционной гидроизоляции состоит в том, что мы можем без особых усилий произвести нужную нам работу.



Рисунок 1- Наглядный пример инъекционной гидроизоляции кирпичной стены

Объектом для инъекционной гидроизоляции может стать практически любое инженерное сооружение.

### Заключение

Инъекционная гидроизоляция позволяет облегчить и ускорить процесс гидроизоляции, а также позволяет произвести гидроизоляцию в тех местах, где это невозможно сделать способом наплавления (к примеру, большая глубина заложения фундамента, либо стена подземного паркинга).

### Литература

1. <http://canalizador-pro.ru/inekcionnaya-gidroizolyaciya-kak-i-gde-primenyaetsya.html>
2. <http://www.bpsip.by/stati/72-in-ektsionnaya-gidroizolyatsiya>
3. [http://informatik-m.ru/2013-03-30-11-06-49/inektsionnaya\\_gidroizolyatsiya\\_sooruzheniy.html](http://informatik-m.ru/2013-03-30-11-06-49/inektsionnaya_gidroizolyatsiya_sooruzheniy.html)

## ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВ В ПК SOFiSTiK

Сухаревский А.С.

(Научный руководитель – Петров М.П)

Современное проектирование, т.е. проектирование сложных, «масштабных», но и удачных с экономической и архитектурной точек зрения проектов, не может обойтись без помощи компьютерных программ. В проектировании мостов хорошим помощником служит ПК SOFiSTiK. Но для достижения высоких технико-экономических показателей при проектировании необходима вариантность. В современных компьютерных программах в этом помогает параметризация. В последних версиях SOFiSTiK такая возможность появилась благодаря технологии параметризации CABD.

Эта технология позволяет создать геометрические оси, как прямые, так и трехмерные кривые, либо импортировать их из другой базы данных SOFiSTiK. Эти оси могут быть «опорными» для конструктивных элементов, например, балок. На созданных осях в характерных точках могут быть заданы плоскости, что в-первых помогает при работе с сечениями, а во-вторых делит оси на сегменты нужной длины. Таким образом, при изменении геометрии оси (изменении длин сегментов, изменении радиуса искривления оси, формы оси и т.п.) будет меняться и закрепленный на этой оси объект.

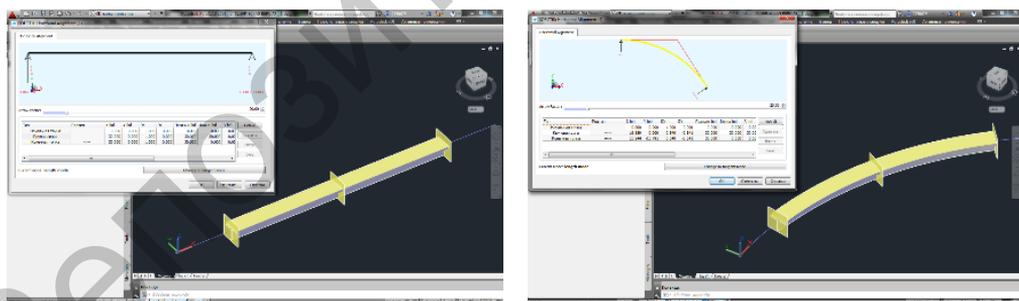


Рисунок 1. Изменение геометрии балки при изменении значения радиуса кривизны оси.

Также очень полезной возможностью является задание переменных относительно осей. В редакторе сечений любому размеру можно присвоить имя заданной переменной. В результате, созданное сечение будет изменять свою геометрию вдоль оси соответственно заданным значениям переменной.

#### Литература

1. <http://www.sofistik.com/ru/>
2. Интегрированное проектирование мостов с помощью SOFiSTiK CABD – октябрь 2013г. – [https://www.youtube.com/watch?v=\\_vShgOyRC\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=_vShgOyRC_c)
3. SOFinar: Bridge Design – май 2014г. – <https://www.youtube.com/watch?v=h1qhxs1zy2w>

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ДОБЫСНА

Таранкова Е.Н.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

### Аннотация

В статье рассмотрен анализ напряженно-деформированного состояния (далее НДС) при реконструкции моста через реку Добысна на а/д М-5, расположенный в направлении Минск-Гомель, км 187,960 – км 208,660. Анализ НДС при помощи метода конечных элементов в программном расчетном комплексе SoFiSTiK является способом удобного и поэтапного прослеживания работы конструкции, выявления предаварийных ситуаций (в том числе до появления дефектов) и предпринять меры для их устранения.

Искусственное сооружение представляет собой средний балочный железобетонный мост (рис. 1) на опорах стенках. Транспортный объект возведен в 1971 г., длина моста составляет 47,47 м. Формула сооружения 4х12,0м. Габариты: по ширине – Г – 11,57+2х1,04 м; по высоте – не ограничен. Проектная грузоподъемность – Н-30, НК-80. В итоге после реконструкции схема мостового сооружения 12х2+11,36+12, длина – 47,52, категория дороги – Iв, габарит – Г-24, расчетная нагрузка А14,НК112.



Рисунок 1 – Виды фасадов моста через реку Добысна

Напряженно-деформированное состояние конструкции (далее НДС) — совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на неё внешних нагрузок, температурных полей и других факторов.

SOFiSTiK - это программно-интегрированный комплекс для создания, расчета и моделирования различных по своему виду конструкций и сооружений. При создании расчетных моделей программный комплекс SOFiSTiK использует графические возможности CAD.

Программно-интегрированный комплекс включает набор модульных программ для проектирования, расчета и анализа конструируемой модели с учетом возможных влияний и факторов.

Основанный графический 3D препроцессор на AutoCAD позволяет интерактивно вводить данные, что позволяют контролировать процесс расчета и создания под требования необходимые модели для ее реализации.

Есть возможность анализа нелинейных условий работы, так и установка параметров линий влияния. Также SOFiSTiK дает возможность расчета учитывая стадий монтажа конструкции, определения величины строительного подъема, улучшения параметров усилий натяжения. Поддерживаются проектные задачи и расчеты с учетом требований установленных норм, начиная от автомобильных и железнодорожных нагрузок и завершая расчет по предельным состояниям. Используются интерактивные постпроцессоры графические и табличные, в дополнение к пакету программ открытый интерфейс для обработки данных, используемому многими инженерами по всему миру, облегчает и экономит время при расчете различного уровня сложности. Программный комплекс имеет сертификат соответствия нормам проектирования.

К достоинствам SOFiSTiK можно отнести следующие характеристики:

- визуализация графической части работы в программе;
- импорт расчетных схем из различных графических программ;
- комбинирование различных сочетаний нагрузок;
- наличие различных модулей для решения различных задач.

Структурная модель строиться посредством постпроцессора SOFiPLUS-X (рис. 2)

Результат, а также работу конструкции при соответствующем загрузении можно посмотреть в окне модуля «Animator» (рис. 3.).

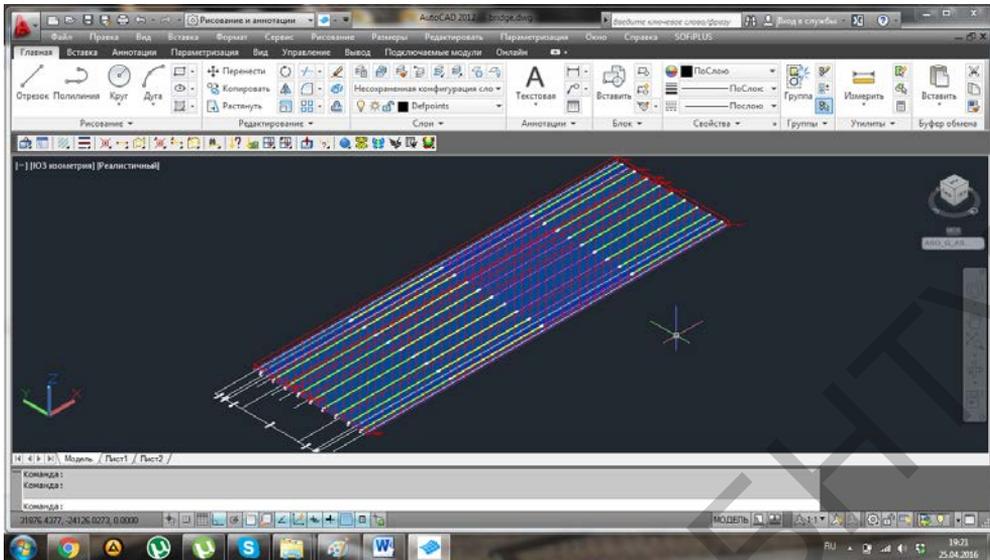


Рисунок 2 – Структурная модель моста

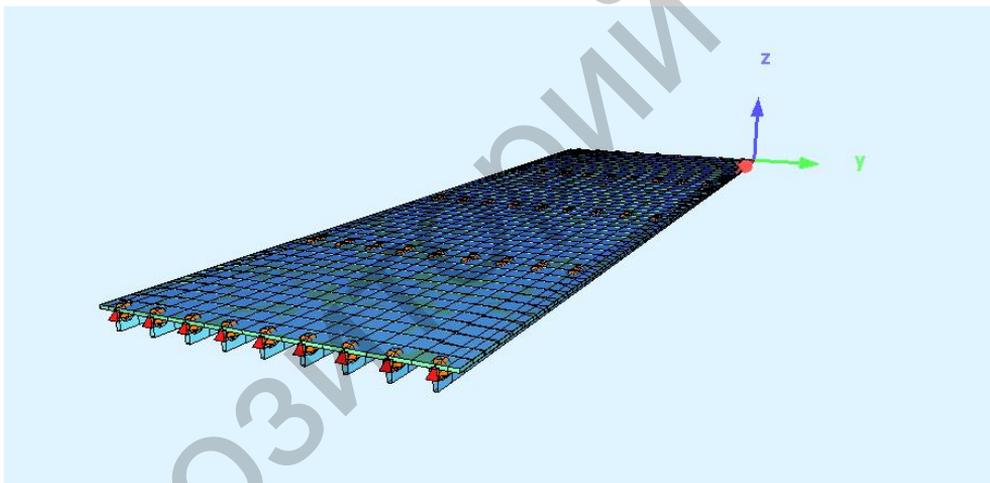


Рисунок 3 – Конечно-элементная модель пролетного строения моста (визуализация элементов в модуле Animator)

### Заключение

Данный вид проектирования и анализ работы балочного пролетного сооружения моста позволяет досконально изучить и проработать вопрос условий работы и режима эксплуатации, его индивидуальный характер устройства и совместность взаимодействия с иными конструкциями. В сочетании с различными модулями и редакторами программный комплекс SOFiSTiK максимально приближает работу модели к реальным условиям при использовании МКЭ, и последующее создание разных сочетаний факторов, которые влияют или могут повлиять на работу сооружения в период эксплуатации объекта.

#### Литература

1. ПСС: Инновационные технологии САПР, BIM и управления предприятием - [http://www.pss.spb.ru/products/SOFiSTiK-AG/SOFiSTiK\\_mostostroenie.html](http://www.pss.spb.ru/products/SOFiSTiK-AG/SOFiSTiK_mostostroenie.html) -
2. SOFiSTiK: Проектирование мостов - <http://www.sofistik.com/index.php?id=98&L=7> -
3. Строительный словарь: напряженно-деформированное состояние - <http://dic.academic.ru/dic.nsf/stroitel/7497> -
4. САПР и графика: применения комплекса SOFiSTiK - <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=20158> -

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СОРУЖЕНИЯХ**

Титко С. Г., Коваленко С.В.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

В связи с тем, что роль транспортных сооружений в нашей жизни все растет, то не будет лишним воспользоваться новыми технологиями для их защиты и поддержания их состояния. Так как есть транспортные сооружения такие как: мосты, путепроводы и эстакады, находящиеся в черте города, которые по своей конструкции не вписываются в архитектуру города, но несут большую значимость. И из-за этого возникает конфликт как спроектировать так, чтобы было гармонично, экономично и главное, чтобы ничего не разрушилось?

Основной задачей при эксплуатации строительных конструкций является защита их от агрессивных факторов внешней среды. Ведь влага может проникнуть в самые мельчайшие поры и потом при переходе температуры через «0» защищающий слой разрушается и далее идет разрушение армирования, которое крайне опасно! Еще одним нюансом при эксплуатации является то, что крайние элементы конструкции подвержены большему воздействию природы, чем элементы, которые расположены ближе к оси.

В данной работе мы предлагаем новый способ урегулировать этот конфликт с помощью вентилируемых фасадов, которые стали так популярны в наше время. Ведь за вентилируемыми фасадами можно укрыть:

- 1) крайние элементы от воздействия на них влаги, ветров и солнечного света
- 2) недостаточный уровень архитектуры, который при строительстве в специфических местах так важен.
- 3) Коммуникации, которые проходят через транспортное сооружение.
- 4) Размещение рекламы, так как вентилируемые фасады имеют ровные и гладкие плиты, на которых можно разместить коммерческую рекламу и деньги, полученные с этого использовать для эксплуатации самого сооружения.

### **Заключение**

Использование вентилируемых фасадов в транспортных сооружениях является перспективным направлением, так они помогают решить многие проблемы при эксплуатации и решении архитектурных задач и самое главное удешевить обслуживание и эксплуатацию сооружения.

## МОСТ ВДОЛЬ РУСЛА РЕКИ

Тихонов П.Г.

(Научный руководитель – Ходяков В.А.)

### Аннотация

В китайской провинции Хубэй (Hubei) в прошлом году построили любопытный мост. Отличительной чертой является то, что он построен в непривычном стиле – вдоль реки.

В самом начале проекта еще 3 года назад, когда власти Китая решили построить автомобильный мост, для того чтобы соединить небольшой округ с магистралью G42 Шанхай — Чэнду. Но проектировщики столкнулись в рядом проблем. Всего было разработано три проекта, но воплотить их в жизнь не удалось по ряду причин, первый проект заключался в обычном строительстве дороги на земле, но местные жители и простые фермеры постарались не допустить этого и отказывались отдавать свои земли, второй проект был более сложен и заключался в строительстве тоннеля под горой, для этого нужно было выполнить подкоп горы, но и этот проект был забракован, экологи и прочие люди которым очень важна экология были против этого, так как такой способ нарушил бы местную экологию, флору и фауну. Третий проект заключался в прокладывании тоннеля сквозь гору, но такой вариант оказался самым дорогостоящим и от него тоже пришлось отказаться. Из-за этих проблем весь проект остановился на несколько лет. Но спустя время решение нашел китайский архитектор Чен Ксингда. Его идея заключалась в том, чтобы построить мост вдоль русла реки, повторяя все изгибы долины, это решение подходила под все требования и было принято положительно. Такой мост уникальный в своем роде, до этого никто не решался построить такое сооружение. Этот проект помог сохранить нетронутыми леса, и теперь дорога которую преодолевали раньше сократилась практически в два раза. Плюс ко всему, автолюбители и другие участники движения могут лицезреть великолепные пейзажи проезжая по этому мосту.



Рисунок 1 – Надводное шоссе (Хубей)

Стоимость проекта составила 440 млн. юаней (примерно 70 млн.\$), что вдвое дешевле чем строительство тоннелей сквозь горы.

Для того чтобы сохранять чистоту реки и окружающую среду, было решено поставить большое количество камер наблюдения, ведь в Китае штраф за брошенный мусор равняется примерно 140 Евро.

#### Литература

1. Уникальная архитектура. — Август 2015 – <http://stroj.mos.ru/ekologicheskii-most-v-kitae>.
2. Строительство моста в Китае.—Июль 2015 – <http://avtomaniya.com/site/publication-full/10865>.
3. Интересное в мире. – Август 2015 – <http://guinnessrecord.ru/jeto-interesno/316-kitajcy-postroili-pervyj-v-mire-most-vdol-> .

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ. УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС**

Ходяков В.А.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

### Аннотация

В статье упоминается популярное сегодня среди архитекторов направление *computational design* или вычислительное проектирование. Вычислительное проектирование активно исследуется на кафедре Мосты и тоннели. Кроме того ведётся работа по внедрению изучаемого направления в учебный процесс и производство.

*Computational design* (вычислительное проектирование) является одним из актуальнейших направлений современной архитектуры. В России и Украине существуют лишь частные примеры вычислительного проектирования, применяемого небольшими группами проектировщиков. В Западной Европе ведущие архитектурные школы уже строят весь процесс обучения на понятии *Computational design*.

*Computational design* активно осваивается архитекторами последний десяток лет [1]. Однако методы вычислительного проектирования практически некогда не применялись для проектирования несущих конструкций с точки зрения инженера.

Последние четыре года направление *Computational design* активно исследуется на кафедре Мосты и тоннели с конструкторской и архитектурно-конструкторской точек зрения. Вычислительное проектирование позволяет создавать архитектурные формы методом создания алгоритмов формообразования, а не создания непосредственно форм. Другими словами конечная форма генерируется алгоритмом, исходя из каких либо входных параметров.

Такой подход также интересен и инженерам. Так как позволяет решать сложные комплексные проектные и конструкторские задачи. Обычно для принятия окончательного решения в сложной проектной ситуации пользуются опытом проектирования или упрощёнными аналитическими моделями. Таким образом, крайне сложно комплексно оценить ситуацию и принять действительно единственное наиболее эффективное окончательное решение. Используя методы вычислительного проектирования можно создавать точные математические модели, описывающие проектные ситуации. Это касается архитектурного и конструкторского проектирования.

Ранее подобные модели можно было создавать только при помощи текстового программирования. Однако сегодня имеется возможность

визуального объектно-ориентированного программирования более удобного для людей, не владеющих традиционным программированием.

Изучая вопросы решения комплексных параметрических проектных задач, неизбежно приходится обращаться к алгоритмам оптимизации. Сегодня эти алгоритмы набирают всё большую популярность. Существует множество общеизвестных алгоритмов, однако одним из самых удобно управляемых и эффективных можно считать генетический алгоритм [2]. Другим более простым, но не менее эффективным алгоритмом является алгоритм отжига.

Применяя эти алгоритмы путём внедрения в параметрические модели, удаётся находить оптимальные решения самых сложных проектных задач. При этом благодаря параметрическому подходу вычислительного проектирования все процессы внутри алгоритма легко управляются и корректируются.

В процессе исследования методов вычислительного проектирования удалось создать оптимальные модели некоторых видов несущих конструкций. Основной целью было сохранение несущей способности конструкции при уменьшении материалозатрат на её производство.

Также методами визуального программирования удалось создать алгоритмы, которые позволяли располагать элементы привычных несущих конструкций более логично с точки зрения строительной механики. Здесь стоит подчеркнуть что, помимо улучшения несущей способности, удалось достичь уникальной архитектурной привлекательности. При этом оригинальное архитектурное решение не являлось самой целью, а проявлялось как побочный эффект логичного расположения элементов с инженерной точки зрения.

При этом оказалось, что окончательное проектное решение в рамках конкретной ситуации с конкретными параметрами полученное таким образом имеет единственный и не оспоримый характер. Естественно подкорректировать такое конечное решение возможно, однако сделать это можно лишь ценой снижения его эффективности.

При традиционно проектировании критика окончательного решения зачастую не имеет конструктивного характера. В архитектуре этот вопрос может быть сведён к вопросу «нравится, не нравится; красиво, не красиво». В инженерной практике это проявляется в виде, если позволите, «конструкторского чутья», которое является производной от опыта проектирования. При этом в обоих случаях, критике подвергается результат проектирования.

Подход Computational design же позволяет находить единственное решение сложной проектной ситуации именно в рамках данных параметров и при использовании конкретного алгоритма. При этом любое решение получается абсолютно обоснованным. Таким образом, критике

может подвергаться лишь алгоритм, который, как правило, создаётся с учётом нормативных документов, либо входные параметры, их количество и качество. В результате окончательное решение перестаёт подвергаться смешной критике «мне не нравится», «как-то тут странно», «а я считаю по другому» и др. Решение которое обычно принималось одним человеком в сложной проектной ситуации устным аналитическим путём теперь можно перенести в компьютер, систематизировать и рассмотреть более комплексно. Это минимизирует популярные ошибки такие как «забыл что-то учесть».

Не смотря на то, что использование данных методов не требует знания текстового программирования, знание логики программирования, а также наличие понятия о теории систем желательно. Но если данными знаниями работник или студент не обладает, они могут быть изучены в процессе работы.

На сегодняшний день уже можно говорить о внедрении в образовательный процесс методов вычислительного проектирования в рамках дисциплины автоматизированное проектирование.

Сегодня уже организованы нерегулярные факультативные занятия для студентов кафедры Мосты и тоннели, на которых изучается инструментарий и логика системного вычислительного проектирования. Также поднимаются вопросы практического применения алгоритмов оптимизации. Навыки, полученные на факультативных занятиях, студенты по своему желанию применяют в процессе выполнения курсового и дипломного проектирования.

Кроме того для наиболее успешных и близких к практическому применению проектных решений ищутся возможности создания натуральных моделей и их тестирования, для подтверждения правильности работы математической модели, созданной в процессе проектирования, на практике.

#### Литература

1. Барчугов Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности. – 2013г. – <http://www.marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/barchugova/barchugova.pdf>
2. Лесовик, Р.В., Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование строительных конструкций на основе генетического алгоритма // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений – 2010. – № 2. – С. 20–24.

## **АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Шикуть К.К.

(Научный руководитель – Пастушков В.Г.)

Коррозия металлических элементов моста наносит огромный экологический, социальный экономический вред транспортному хозяйству нашей страны. Ежегодно в мире теряется около 10-30% черных металлов. В связи с этим предъявляются требования к мостовым конструкциям по повышению коррозионной стойкости и надежности.

Можно ли исключить это вредное явление? Коррозия является результатом взаимодействия металла с окружающей средой. Полностью ее невозможно исключить, но замедлить коррозию в наших силах.

Самым распространенным и верным способом являются *лакокрасочные покрытия*. Огромным плюсом этих покрытий – дешевизна, по сравнению с другими защищающими покрытиями. Также лакокрасочные покрытия легко восстанавливаемы после повреждения в период эксплуатации.

Мостовые сооружения, относятся к сложным и дорогим системам, срок службы которых должен достигать ста лет. Но при назначении такого продолжительного срока эксплуатации мостового сооружения следовало бы обеспечить и такую же долговечность используемых материалов и конструкций. К сожалению, по ряду причин это не делается и потому практика эксплуатации многих мостовых сооружений показывает, что фактический срок службы многих автодорожных мостов значительно ниже нормативного.

Исследования последних лет позволили установить, что проблемы эксплуатации мостовых сооружений гораздо сложнее проблем, которые приходится решать на стадиях проектирования и строительства, тем более, что последние уже длительное время разрабатываются, а разработке проблем эксплуатации только начинает уделяться усиленное внимание.

Необходимо правильно оценить значимость проблемы антикоррозионной защиты на стадии эксплуатации и содержания мостовых сооружений.

Как уже говорилось ранее, для защиты металлических мостовых конструкций применяются в основном лакокрасочные антикоррозионные материалы. Хотелось бы привести несколько основных дефектов стальных конструкций, окрашиваемых поверхностей и готовых лакокрасочных покрытий, возникающих при устройстве антикоррозионной защиты:

1. *Наличие труднодоступных мест для окрашивания, в которых возможно возникновение интенсивной коррозии (рис. 1А, 1Б).*



А)



Б)

Рисунок 1А – Узкий зазор между конструктивными элементами; 1Б – Открытый зазор между накладками, требующий герметизации

Для устранения этого типа дефектов рекомендуется выполнить герметизацию зазоров шпатлевкой, а затем нанести слой лакокрасочного покрытия требуемой толщины. Также нужно уделить внимание труднодоступному месту и выбрать наиболее рациональный метод окрашивания.

2. *Наличие мест застоя воды (рис. 2).*



Рисунок 2 - Локальные зоны застоя воды в зоне служебного прохода

В таких местах следует производить окрашивание только после полного высыхания, либо после искусственного удаления влаги и исключить ее попадание на свежеокрашенную поверхность.

3. *Сколы, язвы, кратеры, зазубренные прокатные полосы и пятна на поверхности металла (рис. 3А, 3Б).*

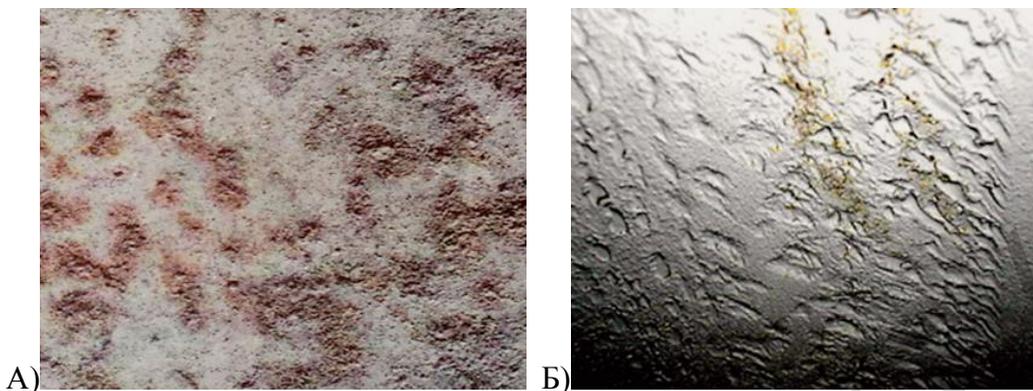


Рисунок 3А – Язвы (питтинг) и кратеры на стальной поверхности,  
3Б – Зазубренные прокатные полосы и пятна

Язвы (кратеры) должны быть открыты для проникновения краски и очистки. После очистки в них не должно быть остатков абразива, ржавчины, старой краски и т.п. Зазубренные полосы устраняются обработкой механическим инструментом. При невозможности полного устранения дефекта (например, при недопустимом снижении толщины металла после мехобработки), необходимо мехобработкой сгладить края зазубрин, удалить заусенцы и тщательно прокрасить указанный участок кистью.

4. Дефекты, возникшие при сварке металла (рис. 4А-4Г).

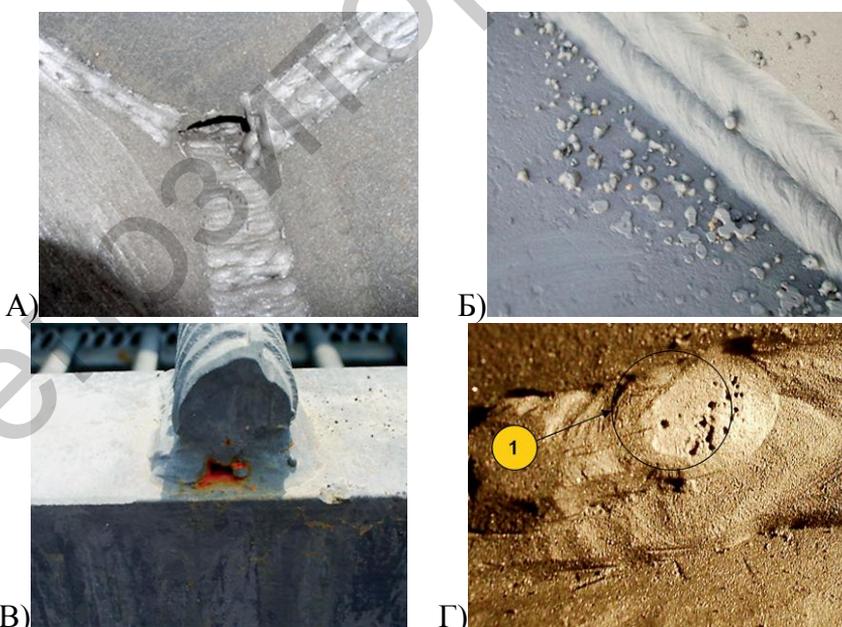


Рисунок 4А – Неровный профиль сварного шва, 4Б – Сварочные брызги,  
4В – Отсутствие закольцовки сварного шва, 4Г(1) – Наружные поры в сварном шве

Для устранения неровности профиля сварного шва и удаления сварочных брызг применяется механический инструмент перед выполнением операций по окрашиванию. Если отсутствует закольцовка сварного шва, то необходимо обеспечить герметизацию зазоров шпатлевкой. Для устранения подрезов, наружных пор и кратеров в сварном шве применяется подварка и обработка механическим инструментом.

5. Дефекты, возникшие после газовой резки и механической обработки металла (рис. 5А, 5Б).

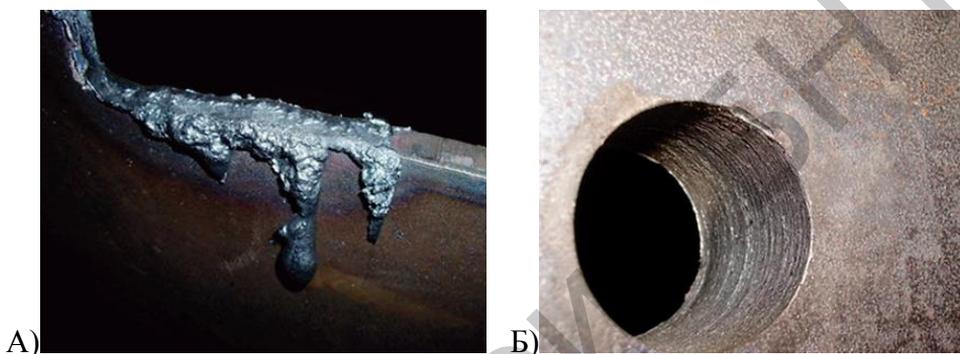


Рисунок 5А – Грот, окалина, капли металла от газовой резки, 5Б – Острые кромки отверстий после сверления

Для устранения грота, окалины, капель металла от газовой резки и устранения кромок с грубым профилем от газовой резки, распиловки, фрезеровки применяется механический инструмент перед выполнением операций по окрашиванию. Для устранения острых кромок необходимо скруглить отверстие на величину не менее 2 мм либо заглушить отверстие болтом, сваркой и. т.п.

6. Недостаточная степень абразивоструйной очистки (рис. 6А, 6Б).

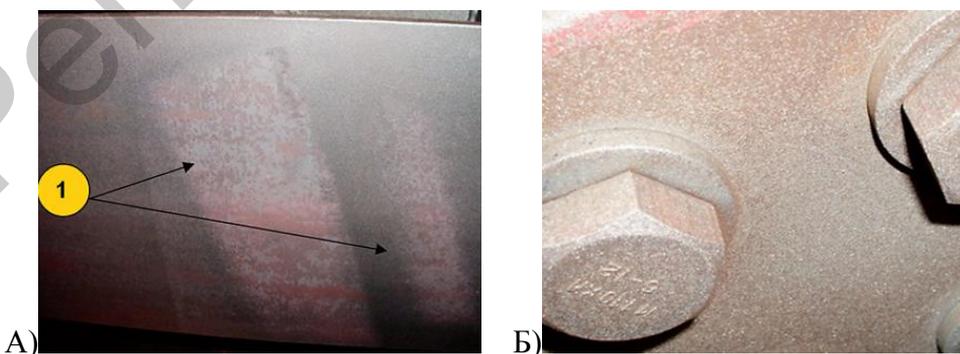


Рисунок 6А – Остатки прокатной окалины, 6Б – Остатки ржавчины

При подобных дефектах необходимо произвести повторную очистку поверхности. Металлическая поверхность перед нанесением грунтовки должна иметь степень очистки не ниже Sa2,5 по ISO 8501-1.

7. Значительное превышение толщины покрытия либо недостаточная его толщина. (рис. 7А, 7Б).



А)



Б)

Рисунок 7А – Недостаточная толщина покрытия (1- номинальная толщина грунтовки 80 мкм, фактическая 50,5 мкм), 7Б – Значительное превышение толщины покрытия (1 – номинальная толщина грунтовок 80 мкм, фактическая 781 мкм)

Максимально допустимый уровень снижения либо превышения на локальном участке  $\pm 10\%$ . При недостаточной толщине системы покрытий необходимо довести толщину каждого слоя до необходимого значения путем нанесения дополнительного слоя. Во избежание занижения толщины при нанесении покрытия использовать толщиномеры «мокрого» слоя – «гребенки». При превышении толщины покрытия не будет браковочным признаком превышение толщины покрытия на локальном участке до 2 раз при условии отсутствия дефектов, влияющих на защитные свойства. При недопустимых показателях превышения необходимо удалить дефектный участок механической обработкой и восстановить покрытие до требуемых показателей.

8. Неудовлетворительная адгезия ЛКМ (рис. 8А, 8Б).



А)



Б)

Рисунок 8 - Неудовлетворительная адгезия лакокрасочного покрытия: А – к металлической подложке, Б – к предыдущему слою покрытия

При таких типах дефектов необходимо изначально устранить причину дефекта (неправильный выбор системы ЛКМ, недостаточное обезжиривание и обеспыливание поверхности и т.п.). Затем удалить дефектный участок абразивоструйной обработкой и восстановить покрытие в соответствии с требованиями нормативных актов.

9. Пузыри, вспучивание и шелушение, кратеры, пустоты, пористость, растрескивание покрытия (рис. 9А, 9Б).

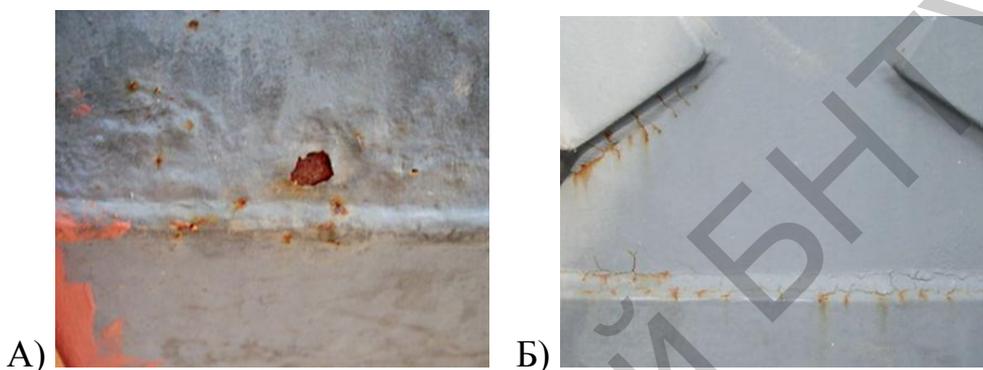


Рисунок 9А – Вспучивание и отшелушивание покрытия,  
9Б – Растрескивание покрытия

При таких типах дефектов необходимо изначально устранить причину дефекта (неправильный выбор системы ЛКМ, недостаточное обезжиривание и обеспыливание поверхности и т.п.). Затем удалить дефектный участок абразивоструйной обработкой и восстановить покрытие в соответствии с требованиями нормативных актов.

#### Заключение

Защита от коррозии всегда останется очень важным с экологической, эстетической, социальной, а прежде экономической стороны развития общества. В последние годы проводится масса работ по улучшению свойств применяемых компонентов покрытия, повышению их устойчивости к агрессивным воздействиям, увеличению адгезии к защищаемой поверхности.

Но тем не менее следует уделить внимание и перечню типовых дефектов представленных в моей работе. Прежде всего, на стадии проектирования, например, не допускать применения острых кромок, исключать труднодоступные для окрашивания места. На стадии строительства - уделить внимание качеству выполнения сварных швов, газовой резки и, несомненно, хорошей степени подготовки поверхности к нанесению защитного покрытия.

А самой трудоемкой и зачастую требующей приложения огромных умственных и физических усилий является стадия эксплуатации.

Необходимо незамедлительно устранять все дефекты и повреждения, допущенные на более ранних стадиях, следить за работоспособностью транспортного сооружения.

Также в своей работе хотелось бы отметить, что необходимо стимулировать научную деятельность в сфере антикоррозионной защиты транспортных сооружений, а также написанию учебных пособий по этой проблеме. Очень жаль, что в русскоговорящих странах существует не так много книг по проблемам антикоррозионной защиты, особенно об антикоррозионной защите транспортных сооружений.

#### Литература

1. Жарский И. М. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования: учебн. пособие / М. И. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидуневич. – Минск: Выш.шк., 2012. – 303 с.
2. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания/ И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров и др. – Саратов: Изд-во «Кубик», 2014 – 504 с.
3. ISO 12944-1988 (части 1-8) Международный стандарт. Лаки и краски. Защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий.
4. Инструкция по защите от коррозии металлических конструкций эксплуатируемых на автомобильных дорогах РСФСР мостов, ограждений и дорожных знаков / Минавтодор РСФСР. – М., 1988. – 89 с.
5. ISO 4628-1990 (части 1-6) Международный стандарт. Лаки и краски. Оценка нарушения лакокрасочного покрытия. Определение интенсивности, количества и размера общих типов дефекта.

## **ПОВЫШЕНИЕ АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТАХ**

Шикуть К.К.

(Научный руководитель – Яковлев А.А.)

### Аннотация

Изложены причины, способы и решения по повышению коррозионной устойчивости конструкционных материалов железнодорожного полотна, увеличению транспортных нагрузок.

Железнодорожный путь с подвижным составом работают в различных природных и климатических условиях. В процессе эксплуатации под влиянием факторов подвижного состава, температурно-влажностного режима в материалах конструкций происходит изнашивание, старение, накапливаются остаточные деформации.

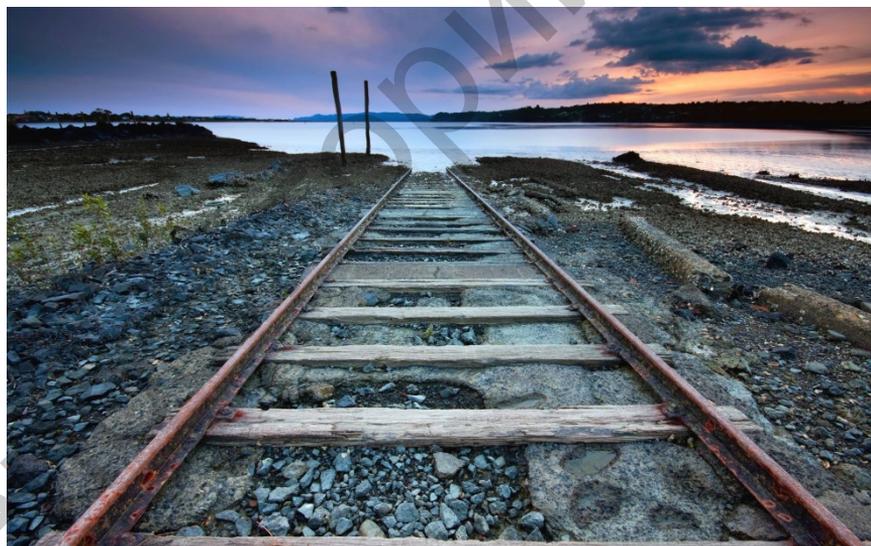


Рисунок 1 – Атмосферная коррозия рельсов

Повышение прочностных характеристик стальных рельсов обусловлено повышением требований к нагрузкам от поездов в результате интенсификации работы железнодорожного состава и достигается двумя способами.

Первый способ заключается в изменении химического состава рельсовой стали путем ее легирования. Группу износостойких составляют стали с повышенным содержанием кремния, дополнительно легированные

титаном, цирконием и ванадием (марки М76В, М76Ц, М76ВТ). Введение в рельсовую сталь около 1% хрома в сочетании с 0,5% кремния приводит к повышению минимального временного сопротивления до 1200 МПа. Рельсы из хромистой стали обладают высокой износостойкостью в тяжелых условиях эксплуатации.

Второй эффективный способ повышения прочностных свойств рельсов, их износостойкости и сопротивляемости контактно-усталостным повреждениям – термическое упрочнение.

Значительное улучшение чистоты рельсовой стали и повышение ее металлургического качества достигнуто в результате комплексного раскисления рельсовой стали ванадий-кремний-кальциевыми, кремний-магний-титановыми и кальций-циркониевыми лигатурами. Отсутствие неметаллических включений в головке рельсов, появляющихся при раскислении стали алюминием и являющихся очагами зарождения контактно-усталостных повреждений рельсов, приводит к повышению их эксплуатационной стойкости.

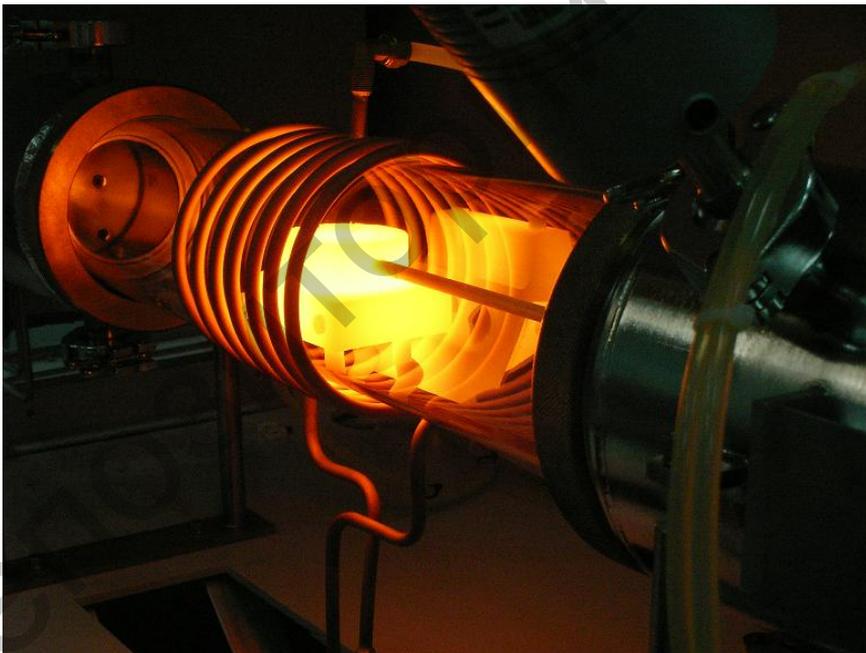


Рисунок 2 – Термическое упрочнение металла

Низкая устойчивость углеродистых сталей к развитию атмосферной коррозии объясняется легкостью восстановления кислорода воздуха через пленку влаги, плохими защитными свойствами ржавчины, слабой пассивируемостью железа в водных средах, особенно в присутствии галогенид-ионов, возникновением элементов

дифференциальной аэрации и усилением процесса коррозии в узких зазорах и щелях.

Для увеличения стойкости стали к атмосферной коррозии ее легируют медью или легкопассивирующими металлами – хром, алюминий, титан, никель. При использовании защитных лакокрасочных материалов и смазок необходимо в состав вводить пассивирующие пигменты, например цинк-хроматные.

Таким образом, для обеспечения удобного и безопасного движения железнодорожного транспорта необходимы: проведение противокоррозионных мероприятий, постоянный уход и наблюдение за состоянием конструкционных материалов, своевременное устранение возникающих повреждений и дефектов.

#### Литература

1. Жарский И. М. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования: учебн. пособие / М. И. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидунович. – Минск: Выш.шк., 2012. – 303 с.
2. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания/ И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров и др. – Саратов: Изд-во «Кубик», 2014 – 504 с.
3. Пастушков, Г.П. О переходе на европейские нормы проектирования мостовых конструкций в Республике Беларусь / Г.П. Пастушков, В.Г. Пастушков // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2011. №2 С.113-121.

## СОДЕРЖАНИЕ

Козюля А.А., Косяков А.Д., Аксёненко Р.А. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ МОСТОВ В AUTODESK REVIT.....	3
Артёменко Д.Н. КРИТЕРИИ ВЫБОРА МЕТОДА УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ.....	4
Бойко В. И. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНО АРМИРОВАННОГО ОСНОВАНИЯ.....	5
Бойко В. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА НА ПЛОЩАДИ БАНГАЛОР Г. МИНСКА.....	7
Ботяновский А.А. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА СОСТОЯНИЕМ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ В ГОРОДЕ МИНСКЕ.....	10
Ванагель В.В. НАДЕЖНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	13
Гракович А.Д. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОННЕЛЯ ЧЕРЕЗ ГОРУ УГЛОВАЯ.....	17
Далидовская А.А. РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ГРУНТОВ.....	19
Далидовская А.А. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ В ГОРОДЕ МИНСКЕ.....	25
Козловский Е.Я. ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ МАССИВОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ И ОПЕРЕЖАЮЩИХ КРЕПЕЙ.....	28

Козловский Е.Я., Архипов В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТНАПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В ТОННЕЛЯХ МЕТРОПОЛИТЕНОВ С ИХ УСТРОЙСТВОМ В ОПЕРЕЖАЮЩИХ ПОСТОЯННЫХ КРЕПЯХ.....	32
Козюля А.А. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МОСТА С ОРТОТРОПНЫМИ ПЛИТАМИ В AUTODESK REVIT.....	35
Коликов А.О., Дыдик А.И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ДЕВИЦА.....	37
Колонович А.В. ПЕРВЫЙ В ЕВРОПЕ ПЛАСТМАССОВЫЙ МОСТ. УМНЫЕ ДОРОГИ.....	39
Косяков А.Д. СОЗДАНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА AUTODESK REVIT.....	42
Кравченко К.С. ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	44
Матыс В.О. РАЗВИТИЕ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МОСТОСТРОЕНИИ.....	48
Матыс В.О. ПОЕЗД БУДУЩЕГО.....	51
Москвин Ар.Ю., Москвин Ан.Ю. УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ.....	54
Москвин Ар.Ю., Москвин Ан.Ю. МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ МОСТОВ, ТОННЕЛЕЙ.....	58

Наконешный А.С. BIM-ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	59
Наконешный А.С. ЭКОДИЗАЙН.....	63
Новиков П.И. НЕВЕРОЯТНЫЕ МОСТЫ МИРА.....	67
Петрашко Е.П. МЕТРОМОСТ ЧЕРЕЗ Р. МОСКВА.....	74
Савицкий Р.П. СОЗДАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЁННОГО МОНЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА.....	76
Сериков В.М. ВЗАИМОВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ НА СУЩЕСТВУЮЩУЮ ЛИНИЮ МЕТРОПОЛИТЕНА.....	79
Аляшевич А.В. и Снопок М.Г. ИНЪЕКЦИОННАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ.....	82
Сухаревский А.С. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВ В ПК SOFISTIK.....	83
Таранкова Е.Н. АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ДОБЫСНА.....	85
Титко С. Г., Коваленко С.В. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СОРУЖЕНИЯХ.....	89
Тихонов П.Г. МОСТ ВДОЛЬ РУСЛА РЕКИ.....	90

Ходяков В.А.  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ.  
УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС..... 92

Шикуть К.К.  
АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ТРАНСПОРТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ. ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ..... 95

Шикуть К.К.  
ПОВЫШЕНИЕ АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТНЫХ  
СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТАХ..... 102

Репозиторий БНТУ

Научное издание

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

МАТЕРИАЛЫ

72-й студенческой научно-технической конференции