

## СВЕРХВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЕТОН

*Арийчук Денис Владимирович, студент 5-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

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

Сверхвысокопрочный бетон (Ultra-High Performance Concrete) - это цементный бетонный материал с минимальной заданной прочностью на сжатие 120 000 кН/м<sup>2</sup> (120 МПа) с указанными требованиями к долговечности, пластичности при растяжении и вязкости; волокна обычно включаются в смесь для достижения указанных требований. (Рис.1).



Рисунок 1 – Сверхвысокопрочный бетон

Бетон сверхвысокой производительности (UHPC), также известный как реактивный порошковый бетон (Reactive Powder Concrete). Материал обычно составляется путем сочетания портландцемента, дополнительных цементирующих материалов, реакционноспособных порошков, известняковой или кварцевой муки, мелкого песка, редукторов для воды с высокой дальностью действия и воды. Материал может быть составлен так, чтобы обеспечить прочность на сжатие, превышающую 200 000 кН/м<sup>2</sup> (200МПа). Использование тонких материалов для матрицы также обеспечивает плотную, гладкую поверхность, которая ценится за ее эстетику и способность близко переносить детали формы на закаленную поверхность. В сочетании с

металлическими, синтетическими или органическими волокнами он может достигать прочности на изгиб до 48 000 кН/м<sup>2</sup> (48 МПа) или более.

Типы волокон, часто используемые в УНРС, включают высокоуглеродистую сталь, стекло, углерод или комбинацию этих типов или другие. Пластичное поведение этого материала является первым для бетона, способного деформироваться и выдерживать изгибные и растягивающие нагрузки даже после первоначального растрескивания. Высокие сжимающие и растягивающие свойства УНРС также способствуют высокой прочности сцепления, позволяя сократить длину заделки арматуры в таких применениях, как заливка затвора между сборными элементами.

Конструкция УНРС упрощается за счет исключения необходимости армирования стали в некоторых случаях и материалов с высокими характеристиками текучести, которые делают ее самоуплотняющейся. Матрица УНРС очень плотная и имеет минимальную несвязанную структуру пор, что приводит к низкой проницаемости. Низкая проницаемость материала предотвращает проникновение вредных материалов, таких как хлориды, что обеспечивает превосходные характеристики долговечности.

Ниже приведен пример диапазона характеристик материала для УНРС:

**Прочность:**

Сжатие: 120 000-200 000 кН/м<sup>2</sup> (от 120 до 150 МПа)

Изгиб: 15 000-25 000 кН/м<sup>2</sup> (от 15 до 25 МПа)

Модуль упругости: от 45 до 50 ГПа

**Долговечность:**

Замораживание / оттаивание (после 300 циклов): 100%

В целом, этот материал предлагает решения с такими преимуществами, как скорость строительства, улучшенные эстетические характеристики, превосходная долговечность и непроницаемость для коррозии, истирания и ударов, что приводит к сокращению технического обслуживания и увеличению срока службы конструкции.

Литература:

1. Новые материалы и технологии в мостостроении  
URL:[https://stroi.mos.ru/uploads/user\\_files/files/proekt\\_dok/protokoly/Sapojnikov.pdf](https://stroi.mos.ru/uploads/user_files/files/proekt_dok/protokoly/Sapojnikov.pdf)
2. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций – 2016г: URL: [https://interactive-plus.ru/ru/article/114251/discussion\\_platform](https://interactive-plus.ru/ru/article/114251/discussion_platform)
3. Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: URL: <http://stroyprofile.com/files/pdf/8-08-32.pdf>

## РАСЧЕТ ТОННЕЛЕЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Бабонова Татьяна Андреевна, студент 4-го курса  
кафедры «Мосты и тоннели»*

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

Для оптимизации движения был разработан тоннель в стране Австралия, город Сидней. (Рис.1) Население составляет 5 131 326 человек. Под архитектуру города была создана модель портала будущего тоннеля (Рис.2,3)

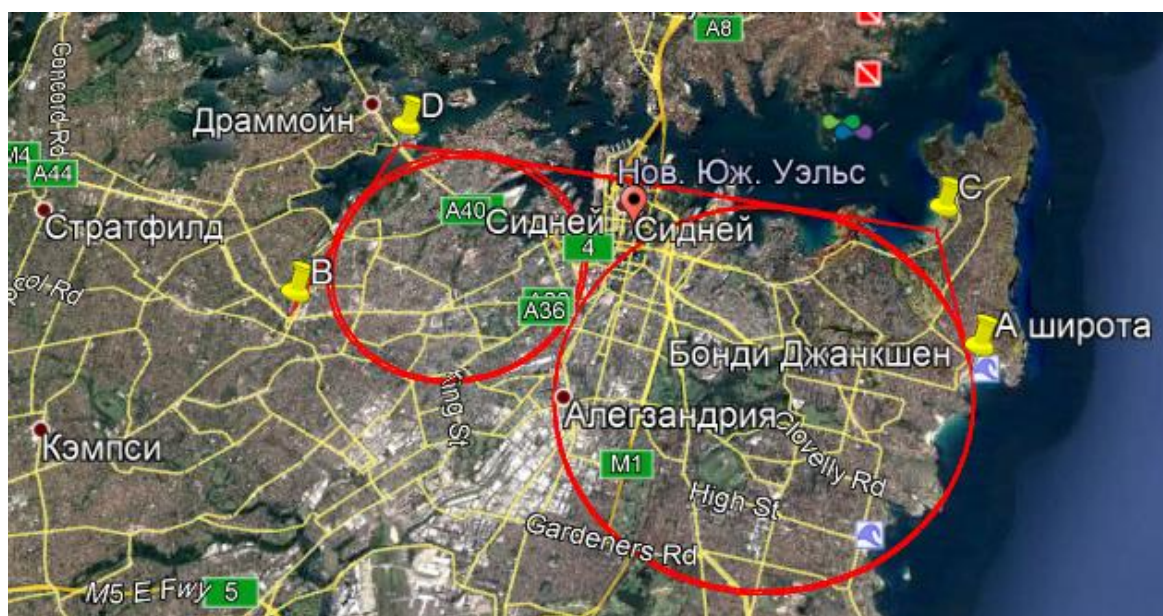


Рисунок 1 – Трасса тоннеля

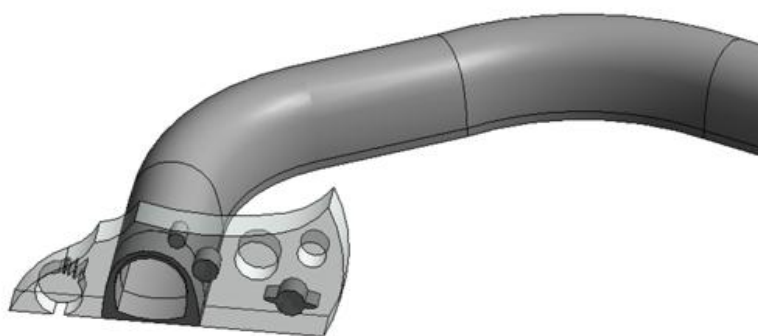


Рисунок 2 – Общий вид портала

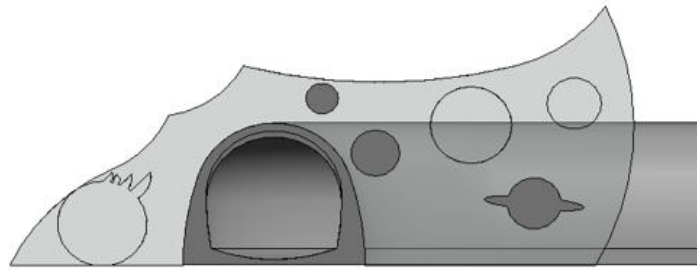


Рисунок 3 – Главный фасад

Данный железнодорожный тоннель будет сооружаться через горный массив, для сокращения пути и для значительного уменьшения времени в дороге. Портал при этом тоннеле будет снабжен LED экранами с качественной графической или видеоинформацией. Этот медиафасад может также использоваться для размещения рекламной информации.

В некоторых странах одной из главных проблем для строительства тоннелей является землетрясения. Землетрясения это колебания, которые распространяются в виде волн напряжений, такие волны называются сейсмическими. Последствиями такого стихийного бедствия являются повреждение подземных конструкций. Тоннели могут испытывать три вида деформации при сейсмических воздействиях:

- 1) Деформации сжатия и растяжения
- 2) Деформации изгиба
- 3) Деформации сдвига

Далее я приведу примеры повреждений тоннелей:

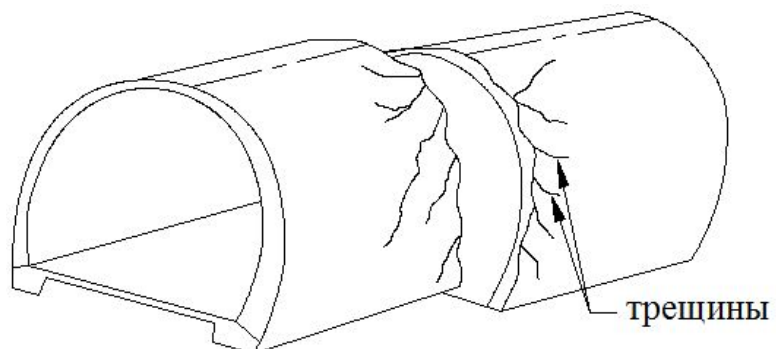


Рисунок 4 – Разрушение тоннеля при сдвиге грунта в зоне разлома

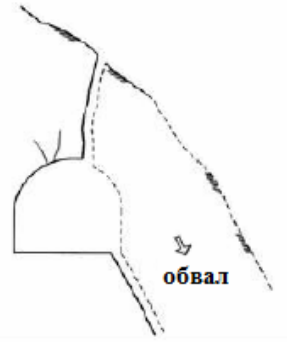
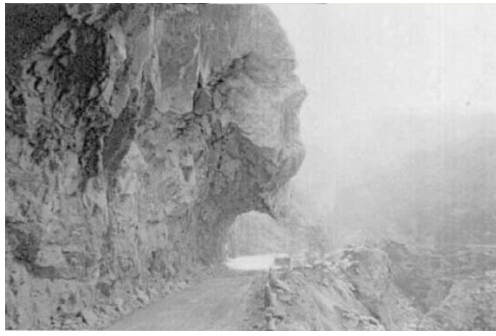


Рисунок 5 – Обрушение откоса вызвало разрушение тоннеля

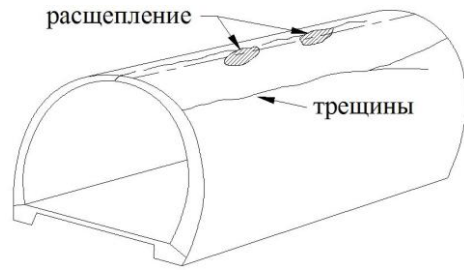
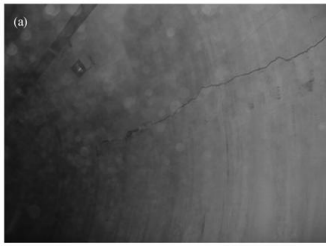


Рисунок 6 – Продольные трещины

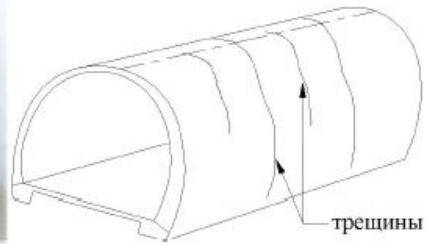
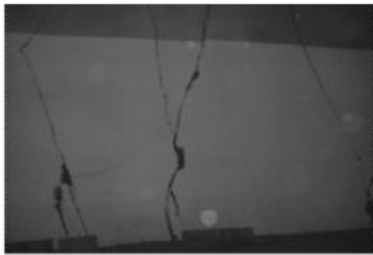


Рисунок 7 – Поперечные трещины

Профессором Е.Н. Курбацким было проведено решение задачи с использованием комплекса **MATLAB**.

**Расчёт конструкций тоннеля при подвижке в зоне разлома, перпендикулярного его оси.**

Для расчетов он использовал данные, которые соответствуют геологическим условиям Ханоя. Территорию, которую занимает город Ханой, пересекают несколько тектонических разломов, которые оказывают сильное влияние на сейсмическую активность. Характеристик грунта:

$$E_0 = 276,6 \cdot 10^3 \text{ КН/м}^2, \rho = 17,8 \text{ КН/м}^3, C = 13 \text{ КН/м}^2, \varphi = 130, \sigma = 0,44.$$

Для определения коэффициентов постели использовался программный комплекс PLAXIS. Схема модели и результат расчёта при нагрузке, равной 1 КН, представлена на рисунке 8. Значение коэффициента постели на первом участке загрузки  $k_1 = 2,08 \cdot 10^4 \text{ КН/м}^3$ . При превышении напряжений на

контакте обделки и грунта величины  $300 \text{ КН/м}$  значение коэффициента постели принимается в 8 раз меньше, чем величина  $k_1$  [9, 10], т.е.  $k_{01} = 2,6 \cdot 10^3 \text{ КН/м}^3$ .

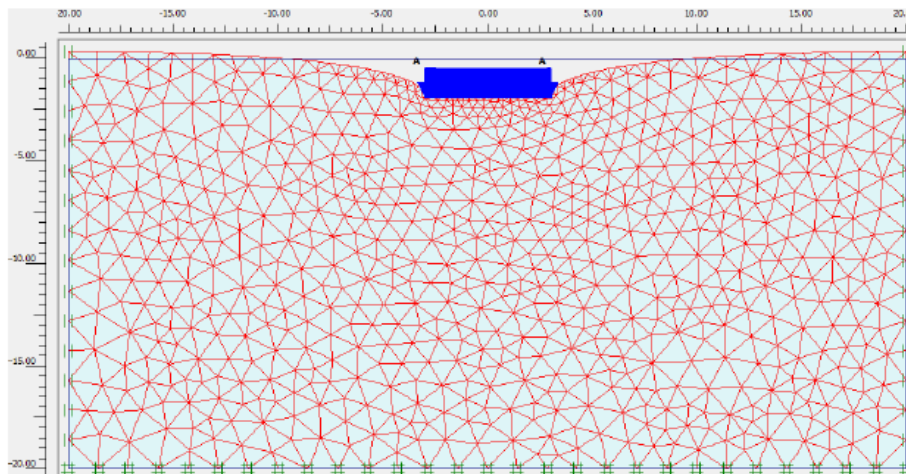


Рисунок 8 – Моделирование эксперимента, определяющего значение коэффициента постели с помощью программного комплекса

Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Название таблицы

№	Параметр	Значения	Меры
1	Длина левой части тоннеля от разлома ( $L_{ле}$ )	50	м
2	Длина правой части тоннеля от разлома	50	м
3	Наружный диаметр тоннельной обделки (D)	6,2	м
4	Толщина тоннельной обделки (t)	0,35	м
5	Модуль упругости бетона (E)	$2,4e+7$	$\text{кН м}^2$
6	Первый коэффициент постели основания левого тоннеля ( $k_1$ )	$2,08e+4$	$\text{кН м}^3$
7	Второй коэффициент постели основания левого тоннеля ( $k_1$ )	$2,6e+3$	$\text{кН м}^3$
8	Первый коэффициент постели основания правого тоннеля ( $k_2$ )	$2,08e+4$	$\text{кН м}^3$
9	Второй коэффициент постели основания правого тоннеля ( $k_{02}$ )	$2,6e+3$	$\text{кН м}^3$
10	Смещение границ разлома ( $\Delta U$ )	0,1	м
11	Пределы упругости на сжатие грунтов левой зоны ( $[\sigma_1]$ )	312	$\text{кН м}^2$
12	Пределы упругости на сжатие грунтов правой зоны ( $[\sigma_2]$ )	312	$\text{кН м}^2$

Результаты расчёта:

- Длина левого тоннеля, попадающего в зону пластического поведения грунта:  $L2 = 9,48\text{м}$
- Длина правого тоннеля, попадающего в зону пластического поведения грунта:  $L3 = 9,48\text{м}$ .

Эпюры перемещений, внутренних усилий в тоннельной обделке и реакции отпора грунта представлены на рисунке 9.

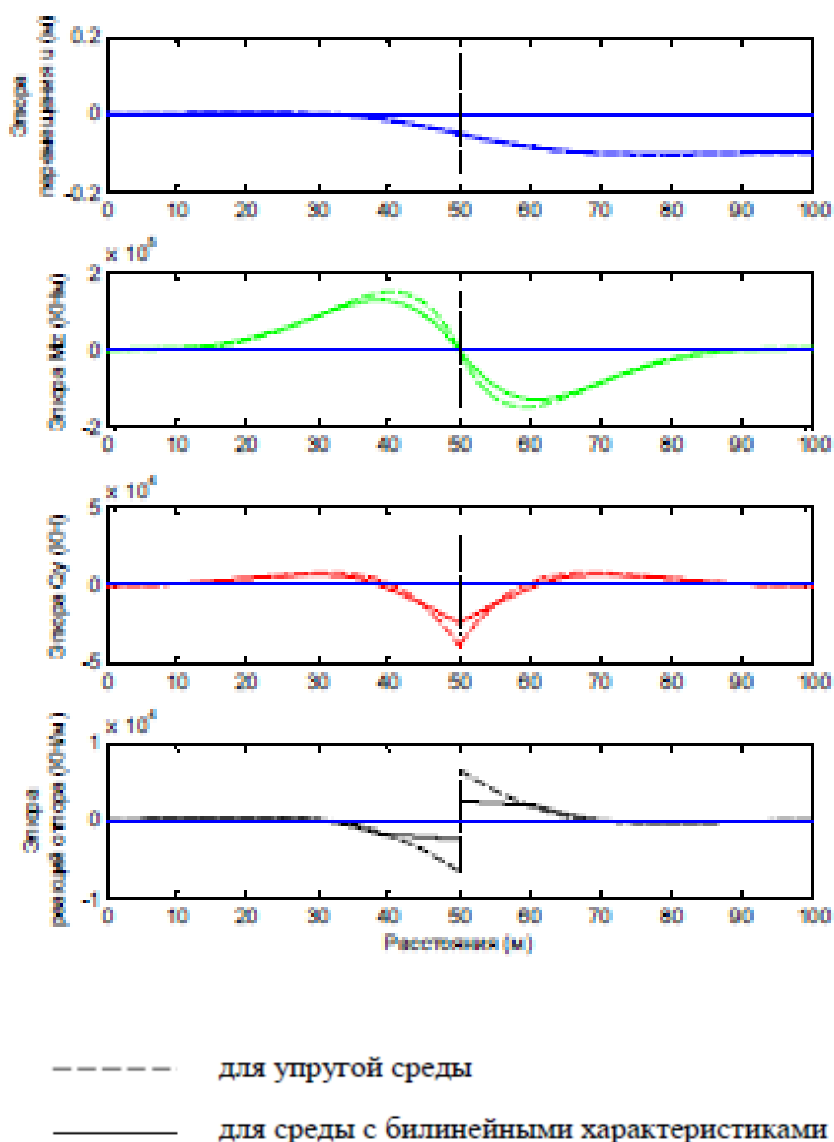


Рисунок 9 – График перемещений, внутренних усилий в тоннельной обделке и реакции отпора грунта

### Расчёт тоннеля при воздействии разлома, направленного вдоль его оси.

В качестве примера он воспользовался характеристиками тоннеля, представленного ранее. Также учёл, что компонент разлома  $\Delta W$  направлен вдоль оси тоннеля, длина тоннеля 200м. и добавил следующие данные:

Таблица 2 – Дополнительные данные задачи

№	Названия характеристик	Значения	Меры
1	Коэффициент реакции отпора для напряжений сдвига первого основания ( $k_{s1}$ )	1400	кН м <sup>3</sup>
2	Максимальное напряжение сдвига на поверхности тоннеля на первом основании ( $f_{01}$ )	20	кН м <sup>2</sup>
3	Коэффициент реакции отпора для напряжения сдвига второго основания ( $k_{s2}$ )	1400	кН м <sup>3</sup>
4	Максимальное напряжение сдвига на поверхности тоннеля на втором основании ( $f_{02}$ )	20	кН м <sup>2</sup>
5	Относительное продольное смещение оснований в зоне разлома ( $\Delta W$ )	0,05	м

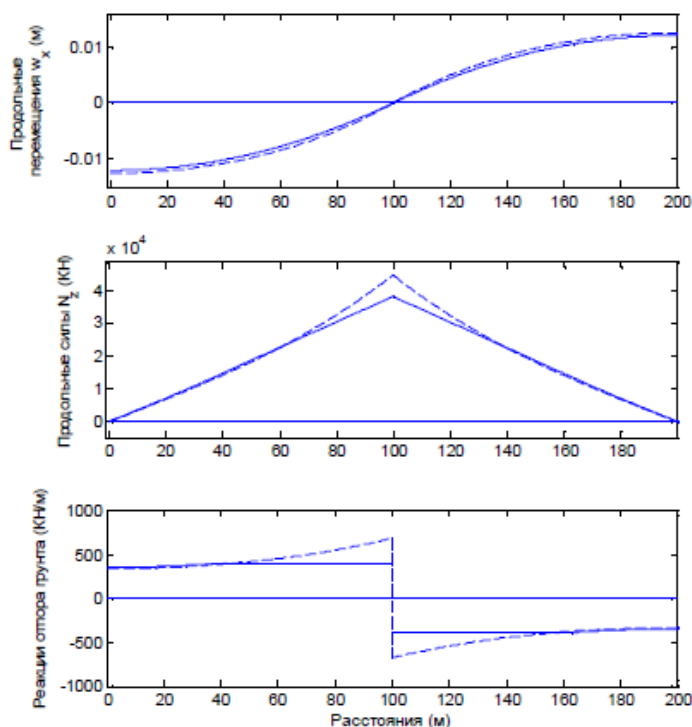


Рисунок 10 - График перемещений, продольных усилий в тоннельной обделке и реакции отпора грунта



В данной работе представлен метод решения и приведен пример расчёта тоннелей, пересекающих зоны активных разломов с использованием комплекса MATLAB и PLAXIS. Разработанные методики и результаты расчётов можно использовать при проектировании линий метро в Ханое.

#### Литература:

1. Бирбраер, А.Н. Расчёт конструкций на сейсмостойкость / А.Н.Бирбраер. – СПб.: Наука, 1998, – 255 с.
2. Зайнагабдинов Д. А., Май Дык Минь. Модели для расчета тоннелей, пересекающих активные разломы / Д. А. Зайнагабдинов, Май Дык Минь // Институт Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ). – Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2013. - №3 (16).
3. Курбацкий, Е.Н. Метод решения задач строительной механики и теории упругости, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.23.17 / Курбацкий Евгений Николаевич. – МИИТ, Москва, 1995. – 205 с.
4. Курбацкий Е. Н., Май Дык Минь. Эквивалентная жесткость сборной обделки при изгибе перпендикулярной оси тоннеля / Е. Н. Курбацкий, Май Дык Минь// Перспективы развития строительного комплекса: Материалы VI Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. 28-31 октября 2013 г. / под общ. Ред. В. А. Гутмана, А. Л. Хареньяна. – Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ». – 2013. – Т. 2. – с.3-6.