

## Зарубежный опыт строительства мостов в сложных грунтах

Лучковский О.А., Семерня П.А.,  
студенты 3-его курса кафедры «Мосты и тоннели»  
(Научный руководитель – Ходяков В.А., старший преподаватель)  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

*Исследование местности и анализ грунтов занимает особое место в мостостроении во Франции и Швейцарии. Многолетняя история позволила разработать эффективные методы исследования и анализа структуры грунтов.*

### Швейцарский опыт

**Мост Унтерторбрюкке** (нем.: Мост Нижних ворот) — каменный арочный мост через реку Ааре в самой восточной точке полуострова Энге в городе Берн, Швейцария, соединяющий Маттек-квартал в Старом городе с районом ШосШальде. Построенный в своем нынешнем виде в 1461-89 годах, он является самым старым из бернских мостов Ааре и был единственным мостом города вплоть до середины 19 века. Это объект швейцарского наследия национального значения.

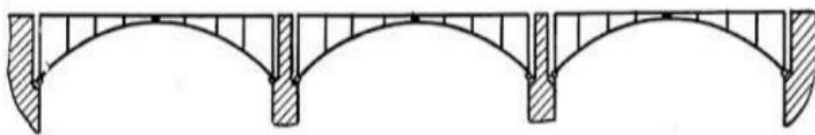


Рис. 1. Упрощенная схема моста

Многолетний мост был несколько раз перестроен и отремонтирован, в последний раз в 1982 году. Три арки с пролетами от 13 до 16 метров опираются на опоры и столбы из туфа и песчаника. Вода, проникающая через мост, все чаще приводила к повреждению сводов, которые были исправлены другим каменным материалом. Бетонная плита с гидроизоляцией защищает основание от проникно-

вения с 1980 года. Кроме того, эта плита распределяет концентрированные нагрузки.



Рис. 2. Внешний вид моста Унтерторбюкке

В качестве строительных материалов использовались юрский известняк и доломит, тогда как для украшения стен моста использовались миоценовые песчаники. Каменоломни Остермундиген, расположенные недалеко от Берна, действовали с 15 века. В настоящее время на стенках этих мостов образуются пятна минеральных осадков. Осадки имеют форму концентрических кругов вдоль первоначальных пластин песчаника. Грунт в основании моста состоит из 5 основных составляющих: подзолистые почвы, лесные почвы, лёсс, аллювий, рендзина.

Преимущественно мосты в Швейцарии построены в Средние века, поэтому появляется необходимость поддерживать их состояние, защищать от разрушающих действий окружающей среды и времени. В первую очередь в защите нуждаются несущие конструкции, в частности обработка грунтов и почвы. Нарботки европейских специалистов уже используются у нас.

Технология защиты представляет собой процесс замещения ионов в гидратированной оболочке на поверхности глиняных частиц грунтов. В большинстве случаев грунт представляет собой микроскопическую пленку, которая удерживается на поверхности силами химического (связная вода) и электростатического (поверхностного) взаимодействий. Таким образом, за счет сил электроста-

тического взаимодействия на поверхности частиц грунта регулярно образуется силой из отрицательно заряженных анионов, определяющих ее способность к смачиванию. Главной и заключительной операцией этой технологии стабилизации является уплотнение. При уплотнении обработанных частиц грунта происходит процесс сжатия и вытеснения связанной воды, при этом полифилизатор заполняет межзерновое пространство, прерывая таким образом капиллярный подъем воды. При правильном уплотнении грунт сжимается до состояния, когда начинают действовать силы межмолекулярного взаимодействия между частицами грунта. Как результат слой стабилизированного грунта приобретает дополнительную прочность и водонепроницаемость. Обработанный грунт становится гидрофобным и препятствует капиллярной миграции влаги, а так же гравитационному просачиванию воды через поры, а построенные из него слои имеют более высокие модули упругости и несущую способность, а так же грунт приобретает водостойкость и ненабухаемость.

**Мост Тейфельсбрюкке** — мост, расположенный в Альпах, в ущелье Шёлемен. Является одним из «мостов дьявола». Впервые был построен в 1230 году. После этого мост, проходящий над рекой Ройс, перестраивался много раз, но до сих пор его части функционируют в общей логистической системе региона и близлежащих территорий.

Строительство моста было затруднено из-за необычной местности. Она представляет собой Аарский массив с автохтонными отложениями. В карьере обнажаются отложения триасового и юрского периодов. Река Ройс входит в кристаллический массив Аар, а вся область представляет собой позднеальпийский речной водораздел. Из-за особенностей рельефа инженерам пришлось потратить большое количество времени на геодезические и геологические исследования местности.

### **Французский опыт**

**Виадук Мийо** - многопролетный вантовый мост, построенный в 2004 году через долину ущелья Тарн около Мийо на юге Франции. Команду проектировщиков возглавляли инженер Мишель Вирложе и английский архитектор Норман Фостер. Длина его дорожного полотна составляет 2460 метров. На момент строительства Виадук Мийо был самым высоким транспортным мостом в мире, одна из его опор имеет высоту 341 метр — немного выше, чем Эйфелева

башня, и всего на 40 метров ниже, чем Эмпайрстейт-билдинг в Нью-Йорке.



Рис. 3. Внешний вид моста Тейфельсбрюкке

Перед началом земляных работ проводили дополнительные инженерногеологические изыскания грунтов для поддержки фундаментов путем разрушающего бурения на глубину до 10 м ниже самого глубокого уровня стволов свай и 15 м ниже основания фундаментных плит для опор. Поскольку мост очень чувствителен к оседанию фундамента решили использовать метод наблюдения для контроля смещения и, при необходимости, стабилизации 329 фундамента. Измерения показывают, что перемещения остались небольшими и допустимыми, особенно с точки зрения поворотов. Осадки под нагрузкой происходили не непрерывно, а поэтапно.

Основная трудность механики горных пород — получение репрезентативных образцов. Лабораторные испытания, проведенные на небольших образцах, не являются репрезентативными для масштаба всех неоднородностей в массивах горных пород (особенно направления и размера разломов), что означает, что использование таких результатов совсем не надежно.

Таким образом, общие механические свойства скального блока, которые обычно считаются изотропными, все чаще определяются полуэмпирическими методами, которые сочетают геотехнические испытания с геологическим наблюдением за образцами скважин и

существующими обнажениями (классификация RMR – rock mass rating). RMR варьируется от 0 до 105. Средние значения, зарегистрированные на участке виадука Мийо, составляют 65 для известняка и 53 для мергеля. Вдоль виадука есть три разных типа каменных оснований.



Рис. 4. Упрощенный геотехнический разрез виадука



Рис. 5. Внешний вид виадука Мийо

Первый, байосский доломитовый известняк на северном устье (C0), представляет собой очень твердую породу, но с карстами, заполненными глиной. Известняк - карбонатная порода, состоящая, главным образом, из кальцита с примесями глины и песка. В верхней части платформы, на которой был установлен плот, было определено значение RMR 70–80.

Уплотненный мергель от пирса P7 до пирса P6 составляет второй тип породы. Доломит по химическому составу представляет собой двойную углекислую соль кальция и магния  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Оползни видны на поверхности почвы из-за слоя осыпи толщиной 2 м, под-

стилаемого мягкой глиной над мергелями. В этом месте RMR равен 45.

Геттангский известняк на обеих сторонах реки Тарн от пирса P4 до упора (C0) представляет собой третий тип породы. Его RMR = 65-70.

Можно сделать вывод, что мергели менее устойчивы, чем известняк. Мергель не только имеет более слабые механические свойства, чем известняк, но также показывает большее поверхностное скольжение, которое влияет на верхнюю часть. Это причина того, что сваи в мергелях увеличены в основании и длиннее, чем сваи в известняке.

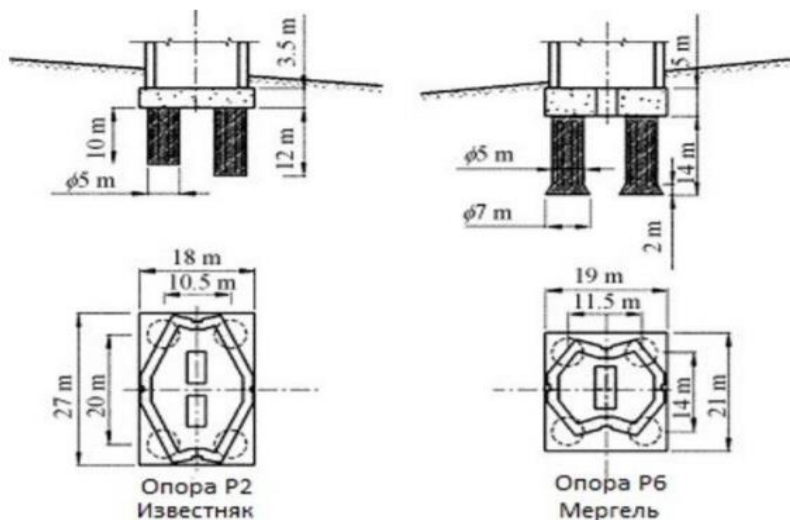


Рис. 6. Поперечные сечения опор в известняке и мергеле

**Мост Нормандии** является вантовым мостом, охватывающий устье Сены и присоединительный между Гавром и Онфлёром. Этот проект принадлежит Мишелю Вирлогу. Строительство моста в Нормандии было завершено 8 августа 1994 года. Длина сооружения составляет в целом 2350 м с центральным пролётом в 856 м, имеются два боковых путепровода: южный длиной 600 м и северный длиной 800 м, а ширина в 23 м достаточна для четырёхполосного движения транспорта. Мост стоит на 184 опорах. Пилоны, поддержи-

вающие проезжую часть, имеют высоту 215 м. Известняк, который может переносить нагрузку, встречается только на глубине 40 метров. Таким образом, все фундаменты опираются на бетонные сваи диаметром от 1,5 до 2,1 м и длиной до 55 м. Под северным подходом находится слой ила толщиной 4 м, что потребовало строительства временного строительного моста, с которого были выполнены все фундаментные работы.



Рис. 7. Внешний вид моста Нормандии

Разнообразие грунтов Франции и Швейцарии привело к необходимости разработки новых методов обработки и исследования грунтов. Важными аспектами строительства мостов в этих странах является анализ и подготовка грунтов, разработка и внедрение новых методов обработки грунтов.

### Литература

1. Andreja Neve Repe, Ales Polijanec, Borut Vrscaj “Soil management practices in the Alps”, 24 с.
2. Elisabeth Schaber, Clements Geitner “Available spatial soil information in the Alps”, 33 с.
3. Milosz Huber, Stan Halas “Geochemical study of precipitates in the architectural surfaces from Bern, Switzerland”, 19 с.
4. Gis Sol. 2013. The state of the soils in France. A synthesis / Groupement d'intérêt scientifique sur les sols, France, 24 с.

5. This synthesis is based on a document edited by the “Groupement d’intérêt scientifique sur les sols” (French Soils Scientific Interest Group): *Gis Sol. 2011. L’état des sols de France*. Groupement d’intérêt scientifique sur les sols, 188 c.

6. W. Kubiëna (1952) “The Soils of Europe”, 58 c.