



Рис. 6. Мост Акаси в Японии

Литература

1. Dubai-экспо-2020. Официальный сайт выставки Экспо-2020 в России – URL: <https://dubai-экспо-2020.ru/daty-provedeniya/>
2. Habr. Крупнейший в Европе ресурс для IT-специалистов – URL: <https://habr.com/ru/company/microsoft/blog/458240/>
3. My world. Путеводитель по миру. – URL: <https://omyworld.ru/7588>
4. Wikiway. Путеводитель по миру. – URL: <https://wikiway.com/japan/most-akashi-kaikyue/>
5. Stroyone.com. Строительный HUB. Проектирование и продажи инновационных и инженерных решений, товаров и услуг. – URL: <https://stroyone.com/bridge/suspension-bridge/akashi-kaikyo-bridge.html>
6. Bridgeart.ru. Информационно-познавательный-развлекательный портал для мостовиков. – URL: <http://www.bridgeart.ru/article/innovation.html>

УДК 624.21

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВ В СЛОЖНЫХ ГРУНТАХ

студент П.А. Семерня, студент О.А. Лучковский
(Научный руководитель В.А. Ходяков)
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь, xva609@gmail.com

Объектами исследования являются состав грунта, исследование особенностей грунта и методы работы с грунтами при мостостроении. Целью работы является апробация ранее исследуемых авторами работ. Результатом научно-исследовательской работы является структурирование знаний о возможностях строительства и обслуживания мостов и мостовых конструкций. В основу положены ранее полученные исследования,

описываемые в предыдущих работах авторов «Особенности грунта под мостами Франции» и «Особенности грунта под мостами Швейцарии». Эти работы были представлены на конкурс в предыдущие годы. В результате исследования были выявлены особенности подбора места для строительства мостов и мостовых конструкций. Область применения полученных данных с мостостроение в Республики Беларусь обширна. Она включает в себя методы укрепления грунтов под уже имеющимися мостами, а также использование технологий при строительстве новых сооружений. На данном этапе полученная информация обрабатывается и готовится к применению в мостостроении в Республике Беларусь.

Ключевые слова: оптимизация; мост; мостостроение; грунты; особенности грунтов; внедрение технологий; инновации.

Мосты очень важны в нашей жизни, их строительство началось с незапамятных времен, их основная цель - обеспечить безопасный и быстрый переход людей, скота, а позже и транспортных средств с одной стороны на другую. Мосты позволяют безопасно проходить там, где раньше это было невозможно или было намного сложнее. Мосты позволяют ходить в школу, обращаться за медицинской помощью и работать, не преодолевая загруженную дорогу, опасную железнодорожную ветку или быстро протекающую реку.

Мосты также позволяют людям и сообществам соединяться друг с другом, что позволяет лучше понять верования и культуры разных людей. Это помогло сделать нас более восприимчивыми, и из-за этого в мире стало меньше предрассудков, насилия и войн.

Мосты обычно строят над реками и каналами, но есть также мосты, которые пересекают каньоны и другие препятствия, которые могут быть созданы руками человека, например, железнодорожные пути и другие дороги... что угодно.

Возможно, однажды мы будем парить над зданиями на хOVERбордах или телепортироваться в пространстве и времени, но до тех пор мосты имеют большое значение.

Именно поэтому так важно укреплять наши знания и накапливать новые в сфере мостостроительства. Для этого мы подготовили эту работу. В ней можно ознакомиться с опытом наших соседей по земному шару для улучшения этой отрасли в нашей стране.

Швейцарский опыт строительства мостов

На территории Швейцарии находится большое количество интересных, с точки инженерной точки зрения, мостов. Однако опыт швейцарских мостостроителей уходит далеко за пределы Швейцарии. Швейцарский инженер Отмар Амман (Othmar Ammann) спроектировал и построил сразу несколько наиболее значительных мостов Нью-Йорка, заново сформулировав основы искусства мостостроения в целом.

Мост Унтерторбрюкке

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.

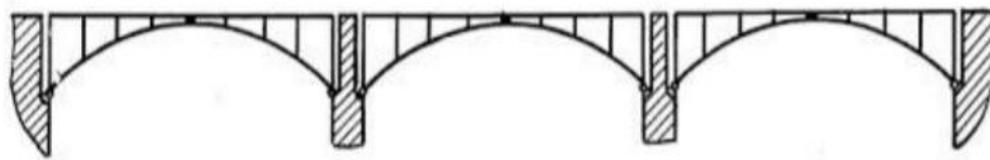


Рис. 1. Упрощенная схема моста

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

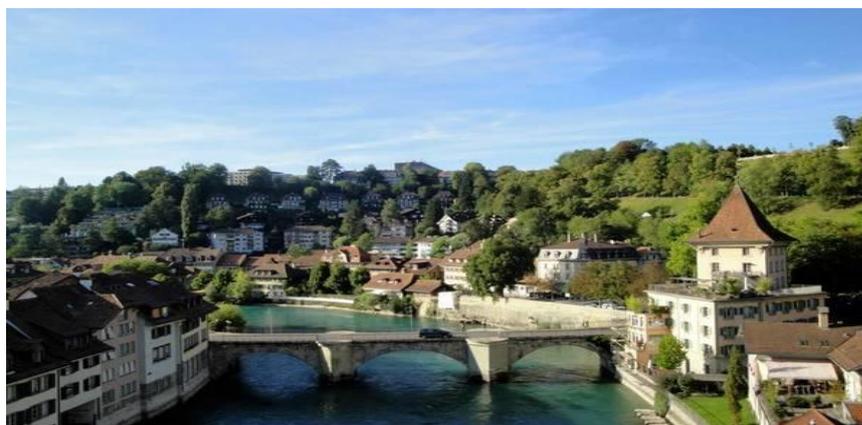


Рис. 2. Внешний вид моста Унтерторбрюкке

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 электростатического 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 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.

Войдя в Капельбрюкке, вы сразу проникнетесь величию этого сооружения: 200-метровая длина моста по сегодняшним меркам считается довольно большой. Из арочных проемов Chapelbrücke открывается великолепный вид на Рейс, озеро Люцерн и кварталы Старого города. Обязательно стоит обратить внимание на массивные каменные столбы моста - это единственная его «недревесная» часть. Но самое главное в Капельбрюкке находится наверху: под потолком крыши 111 картин, через которые можно изучить настоящую и легендарную историю страны, кантона и города. В центре моста находится Водонапорная башня, его неотъемлемая часть (хотя она зародилась раньше, чем сама Капельбрюкке).



Рис. 3. Внешний вид моста Тейфельсбрюкке

Французкий опыт строительства мостов

Франция – страна которая имеет бошатый опыт в сфере строительства в общем и мостостроении в частности. В этой стране родились знаменитые на весь мир инженеры и архитекторы, идеи которых используются до сих пор. Среди таких людей был Перроне, Жан Родольф - создатель нового направления мостостроения, самой известной работой является мост Согласия, Александр Гюстав Эйфель - прородитель современных ферменных мостов, и другие известные деятели инженерного дела.

Виадук Мийо

Виадук Мийо - многопролетный вантовый мост, построенный в 2004 году через долину ущелья Тарн около Мийо на юге Франции. Команду проектировщиков возглавляли инженер Мишель Вирложо 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.

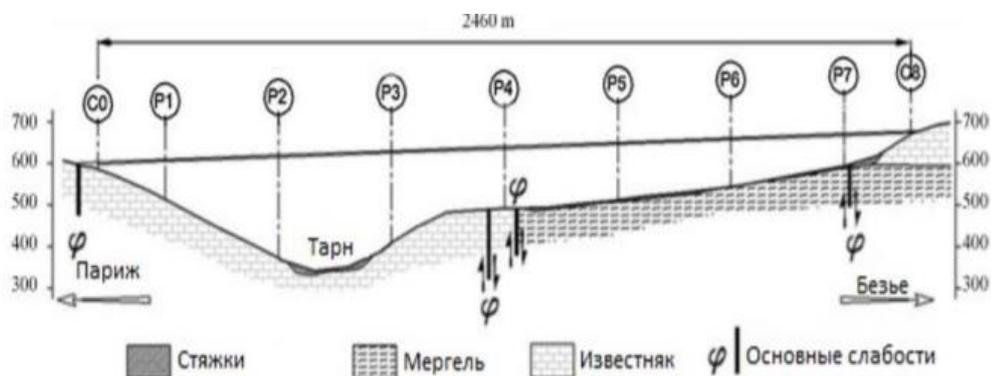


Рис. 4. Упрощенный геотехнический разрез виадука

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.



Рис. 5. Внешний вид виадука Мийо

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 полумпирическими 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.

Первый, байосский доломитовый известняк на северном устье (С0), 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 Р7 до пирса Р6 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, подстилаемого мягкой глиной над мергелями. В этом месте RMR равен 45.

Геттангский известняк на обеих сторонах реки Тарн от пирса Р4 до упора (С0) 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.

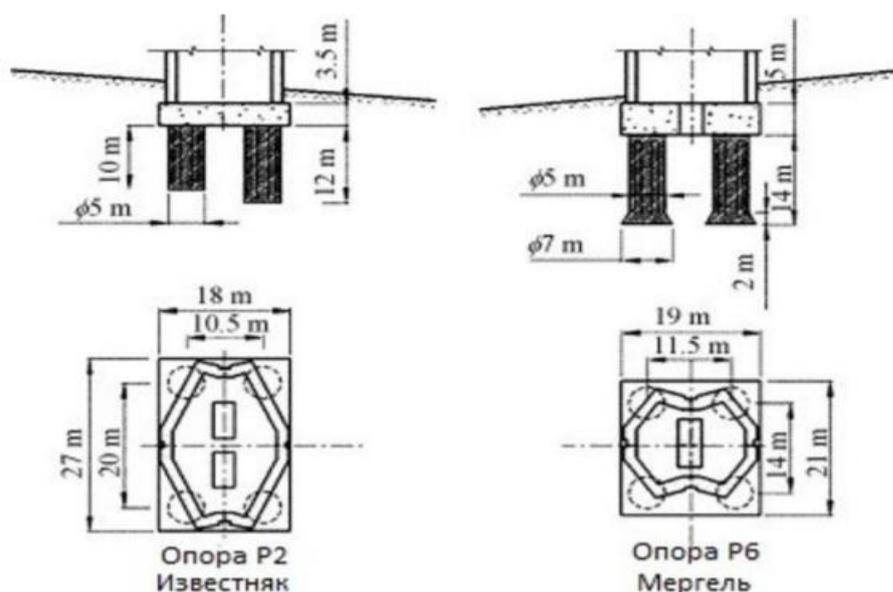


Рис. 6. Поперечные сечения опор в известняке и мергеле

Мост Нормандии

Мост Нормандии является вантовым мостом, охватывающий устье Сены и присоединительный между Гавром и Онфлёром. Этот проект принадлежит Мишелю Вирлого. 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, поддерживающие 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.

В этой научной работе были рассмотрены особенности строительства, особенности местоположения, особенности погодных условий, грунт и другие. Все это рассматривалось для следующих мостов: Мост Унтерторбрюкке, Мост Тейфельсбрюкке, Виадук Мийо, Мост Нормандии.

При разработке проекта успешно использованы собственные разработки автора, которые являются результатом научно-исследовательской деятельности на протяжении последних трёх лет. Используются экономичные конструктивные решения и технологии проектирования. Учтены современные тенденции развития архитектуры и способов изготовления строительных конструкций.

Все сооружения отличаются высоким конструктивным смыслом, оригинальностью исполнения и обладает большой архитектурной ценностью по сравнению с классическими конструкциями. Сооружения эргономичны и привлекательны с архитектурной точки зрения.

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