

МОДУЛЬНЫЙ ФАСАД ИЗ БЛОКОВ, АРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВ ПОД ОТКОСНЫЕ СТЕНЫ МОСТА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЕРАМЗИТА КАК ЗАПОЛНИТЕЛЯ

C. Jenner

P. Wills

Tensar International Ltd, Blackburn, UK

S. Karri

P & S Consulting Engineers Ltd, Lytham St Annes, UK

L. Blundell

Maxit UK, Runcorn, UK

1 Введение

Канал Гранд Унион (Grand Union canal) был сооружен свыше 200 лет назад на юго-востоке Англии. Его главная линия, которая тянется от Бирмингема в центральном графстве Великобритании до столицы длиной в 137 миль была когда-то одной из самых нагруженных в стране. Сейчас канал проходит частично через новый город в Милтон Кейнес (Milton Keynes) в северном Бакингемпшере (Buckinghamshire). За последние сорок лет город активно развивался, поэтому определенные обновления также коснулись исторического водного пути, который проходит через город. Одним из самых последних изменений является постройка пешеходного моста через канал в р-не Вотер Итон (Water Eaton) в Милтон Кейнес. Этот пешеходный мост позволит жителям Вотер Итон прямой доступ к большому парку на другом берегу канала. Предыдущий переход находился далеко и использовался крайне редко.

Требованием местных проектировщиков было, чтобы готовая конструкция соответствовала исторической среде канала. Чтобы проект соответствовал требованиям проектировщиков, подрядчик принял решение соорудить арку, используя традиционную кирпичную конструкцию, а не более популярную бетонную, армированную кирпичом.

Участок под сооружение моста имел ряд проблем. Одной из первых проблем были слабые грунты основания по обе стороны канала, которые не обладали соответствующей несущей способностью под стандартный фундамент с опорами откосов. Инженеры-консультанты подрядчика предложили сразу несколько решений. Первым был вариант извлечь слабый грунт, заменив его более подходящим и лучшим по качеству заполнителем. Этот вариант отклонили сразу же, так как в доступе к парковой зоне было отказано. Тем более, вынутый грунт и новый заполнитель можно было доставить только с помощью самосвалов. Выполнение данной программы, а также стоимость ввоза и вывоза материалов не будут совпадать ни с интервалами времени, отведенными под застройку, ни с бюджетом, рассчитанным на этот проект. Как второй вариант рассматривали конструкцию свайного основания под опоры откосов. Расходы данного решения также превышали бюджет, поэтому оно было отклонено.



Рис. 1. Месторасположения на карте

Инженеры-консультанты ранее рассматривали варианты, которые бы оказывали меньшее давление на существующие грунты основания. Они предложили использовать легковесный заполнитель (керамзит), изготавливаемый Maxit Ltd. Керамзит изготавливают из природной морской глины путем нагревания и обжига в специальной вращательной печи для обжига и сушки при температуре 1150 °С. В процессе образуются керамические легковесные гранулы разных размеров, которые обладают крепкой керамической оболочкой и пористым ядром. Объемная плотность такого материала составляет 3,5 кН/м³. Это сократит объемную плотность засыпочного материала на 80 %. В результате сократится нагрузка на подпорные стенки. Чтобы достичь требуемую несущую способность для традиционной армированной бетонной стены, нужно использовать свайное основание.

Инженер-консультант рассмотрел альтернативу подпорных стенок вместе с засыпкой керамзитом. Одним из предложенных альтернативных решений было армирование грунта. Армирование грунта в сравнении с традиционными стенками сократит опорное давление. Большое опорное давление и гибкость армированной конструкции грунтов распределяет давление Мэйерхофа для перенесения нагрузки на грунт основания по сравнению с трапециoidalным распределением с большим давлением основания уступа (переднего нижнего ребра подпорной стенки), оказываемого более жесткой бетонной конструкцией.

Армирование грунта и керамзитовая засыпка позволят соорудить откосы стен на существующих грунтах без потребности в свайных сооружениях. Эта комбинация вошла в проект по цене меньшей, чем была установлена заказчиком.

Кроме того, легкий вес засыпочного материала, позволяет транспортировать его с помощью сжатого воздуха (пневматически), что решает проблему доступа к парковой зоне на другом конце моста.

2 Выбор практического решения

Рынок предлагает широкий выбор патентованных систем армирования грунтов. Но согласно проекту были определенные признаки, определяющие выбор системы армирования. Первое – внешний вид откосов стен должен совпадать с общей конструкцией моста. Для этого потребуется внешняя кирпичная облицовка стены на армированных грунтах. А также проект должен быть одобрен местным правительским учреждением, которое требует сооружение конструкции на армированных грунтах согласно UK Highways Agency Design Manual for Roads and Bridges, BD70/03. Этот стандарт требует наличия независимого подтверждения и сертификата на каждую традиционную стенку.

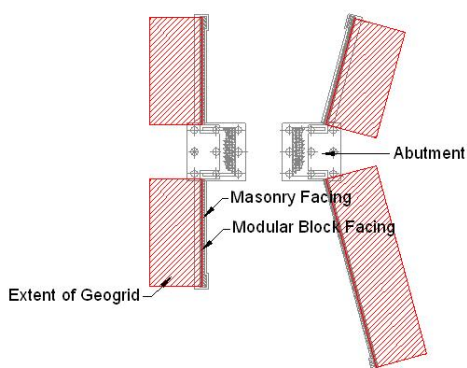


Рис. 2. План застройки с обозначением откосов стен

Инженеры-консультанты обратились к Tensar International Ltd – производителю георешеток в Великобритании и специалисту по проектированию армирования грунтов. В ходе обсуждений было решено использовать шарнирную систему соединения стен TW1. Это укрепление грунта на основе стандартных модульных бетонных фасадных блоков, которые можно соединять связками из нержавеющей стали. Такую стенку можно будет обложить камнем или кирпичом за счет соединения стальных связок в цементном растворе.

Выбранная система конструкции стены – это одноосные решетки из высокоплотного полиэтилена (HDPE), которые крепятся непосредственно к сухому бетонному блоку с помощью особого высокоэффективного полимерного соединителя.

Высокая прочность соединения является важной неотъемлимой частью проекта конструкции, что было подтверждено независимой оценкой и сертификатом ВВА. Одним из преимуществ модульных блоков подпорной конструкции грунтов было то, что составляющие части можно было легко перевозить на другую сторону и укладывать в требуемом положении. Это было крайне необходимо, так как доступ тяжелой подъемной техники был ограничен. Вдобавок, использование стандартных модульных бетонных облицовочных блоков не требует времени выдержки и опалубки, что существенно экономит драгоценное время.

Подобную систему подпорных стенок грунта используют уже на протяжении 25 лет, но с использованием стандартных заполнителей. В этом проекте как засыпочный материал впервые использовали керамзит. Тем не менее, проект данной конструкции должен был быть согласован.

3 Проект

Модульные стенные блоки для армирования грунтов проектировались и сооружались на международном уровне более 20 лет. Но все конструкции были спроектированы и сооружены на основе традиционных заполнителей, обычно гранулированных.

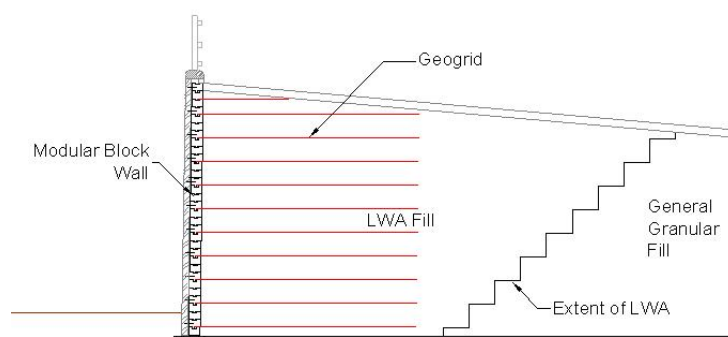


Рис. 3. Поперечное сечение конструкции

Главной концепцией армирования грунта конструкции является то, что укрепление позволит грунту выступать единым целым; в сущности, образуется масса, которая подпирает конструкцию. Для таких типов сооружения эффективность применения легковесных заполнителей и армирования георешетками были еще неизвестны. Такая методика расчета тщательно проверялась, чтобы сооружаемая конструкция была устойчивой.

В Великобритании проектирование армирования грунтов конструкций мостов должно соответствовать нормам BD70/03 и BS8006:1995. Конструкции стен проектируются согласно этим стандартам, включая георешетки, классифицируемые как «эластичные». Тем не менее, проектные стандарты основываются на опыте традиционных заполнителей.

Чтобы с точностью спроектировать эту гибридную систему, проект разделили на несколько частей, чтобы определить поведение легкого заполнителя в каждом отдельном случае.

3.1 Внешняя устойчивость

Сначала должны были быть продуманы общие аспекты. Вначале рассматривали такие аспекты как скольжение (сдвиг), опорное давление и опрокидывающий момент. Соответствующие факторы безопасности скольжения (сдвига), изначально были продуманы с использованием укрепленного заполнителя (керамзит) и засыпки (или накопившийся грунт), обычного привозного гранулированного засыпочного материала. Масса блока, армирующего грунт, оказывает силу сопротивления скольжению, а масса клина грунта уравнивается

сопротивлением грунта и боковым давлением. Так как керамзит является материалом низкой плотности, выяснилось, что длина армирующих решеток будет слишком большой, чтобы обеспечить соответствующий фактор безопасности скольжения (сдвига). Такая длина непрактична в строительных целях. Следовательно, было необходимо продумать контроль сопротивлению скольжению грунта.

Так как засыпочный материал армирующего грунт блока не мог быть заменен из-за несущей способности, то изменить силу сопротивления блока грунта было невозможно. Таким образом, можно было продумать лишь изменения сдвигающей силы. Сдвигающую силу на верхней поверхности армированного грунта стены обеспечивает активная призма накопившегося грунта. В этом и заключается функция массы оставшегося грунта, его угла обрушения (сопротивления сдвигу). При использовании засыпочного материала более высокого класса угол обрушения (сопротивления сдвигу) тоже увеличится. Увеличение угла естественного трения засыпки внесло желаемые изменения в длину блоков, армирующих грунт, но они оказались недостаточны для практичности данной конструкции. Единственным альтернативным решением было использовать засыпочный материал низкой плотности. Так как наклонная дорога к мосту должна была быть сооружена со стенкой, то использование керамзита как засыпочного материала было довольно выгодно. Проверив расчетом самое невыгодное положение поверхностей скольжения, получаем, что коэффициент устойчивости оказался подходящим, а длина армирования решетками – практичной.

После оценки скольжения (сдвига) нужно было продумать опорное давление. Так как опорное давление грунтов было слабым, нужно было тщательно обдумать все аспекты. Использование керамзита показало значительно больший фактор безопасности, чем требовался изначально. Осадка (фундамента) отдельно была рассчитана конструктором. Так как масса грунта по всей поверхности основания была незначительной, то и осадка была минимальной.

Общая стабильность была рассчитана стандартным методом Бишоп и циркулярного анализа. Общий коэффициент устойчивости составил 1,5, что является требуемой нормой для подпорных стенок.

3.2 Внутренняя устойчивость

Внешняя устойчивость легковесого заполнителя и система модульного блока стены соответствовали требованиям. Также требовалось проанализировать внутреннюю устойчивость системы, используя нормы BS8006.



Рис. 4. Легкий заполнитель и георешетка HDPE

Изначально это казалось довольно проблематично, так как взаимодействие георешетки HDPE и легкого глинистого материала засыпки было неизвестным. Чтобы оценить эффективность такого проекта, решили применить фактор взаимодействия на основе опыта и ранее проведенных тестирований других материалов. Фактор взаимодействия исходного проектного решения составил 0,75. Его нужно было утвердить раньше окончательного проекта конструкции.

Технические характеристики керамзита показали, что объемная плотность материала может колебаться в зависимости от уровня пропитки. Объемная плотность колеблется от $3,75 \text{ кН/м}^3$ до 6 кН/м^3 . Были рассмотрены различные комбинации объемной плотности армирующего заполнителя и засыпки. Расчеты показали, что увеличение объемной плотности заполнителя потребует от решеток большей прочности армирования.

Единственное, что было важно в расчетах – это определение наименьшей силы разрушения решеток при ползучести в поданном диапазоне.

Было установлено, что система может быть спроектирована, а проведение тестирования должно показать фактор взаимодействия георешеток и керамзита. Рекомендуемый размер гранул для строительства был от 10 мм до 20 мм, которые немного дробятся при смещении и уплотнении. Чтобы определить факторы взаимодействия, провели испытания на сдвиг с помощью двух штампов 305,5 мм x 305,5 мм. Тесты провели согласно BS1377:Часть 7:1990.

Первый тест провели, используя только керамзит (Таблица 1), а второй – с использованием керамзита совместно с соответствующим типом георешетки (Таблица 2). Фактор взаимодействия вычислили, разделив тангенс угла трения керамзита на тангенс угла трения керамзита и георешетки. Полученный в результате фактор взаимодействия 0.81 превысил изначально принятое проектное значение. Следует заметить, что результаты испытаний, указанные далее в таблице, уникальны и зависят от георешетки и сорта керамзита.

Таблица 1 – Результаты тестов на сдвиг, с использованием керамзита

	Тест 1	Тест 2	Тест 3
Бытовое давление, (кН/м ²)	51,5	100	200
Изначальное содержание влаги, (%)	39,6	39,5	40,1
Уплотнение (сжатие) в процентах (%)	92,3	92,3	91,3
Коэффициент деформации, (мм/мин)	1,04	1,04	1,04
Деформация при максимальном напряжении при сдвиге, (%)	1,8	3,5	4,8
Максимальное напряжение при сдвиге, (кН/м ²)	83	149	235
Результат – угол внутреннего трения без георешетки 44 ⁰			

Таблица 2 – Результаты тестов на сдвиг, с использованием керамзита и георешетки

	Тест 1	Тест 2	Тест 3
Бытовое давление, (кН/м ²)	51,5	100	200
Изначальное содержание влаги, (%)	39,1	39,6	40,0
Уплотнение (сжатие) в процентах, (%)	92,6	92,2	92,0
Коэффициент деформации, (мм/мин)	1,04	1,04	1,04
Деформация при максимальном напряжении при сдвиге, (%)	2,8	4,4	7,1
Максимальное напряжение при сдвиге, (кН/м ²)	79	114	195,0
Результат – угол внутреннего трения с георешеткой 38 ⁰			

Окончательный проект перенесли в конструкторскую документацию и представили на рассмотрение местным властям. Требования BD70/03 показали, что только грунты класса 6I или 6J можно использовать под укрепление блока. Более того, как часть подачи документов местным властям, также были включены отклонения от стандарта (использование керамзита и георешетки), результаты испытаний и рабочий план армирования грунтов данной конструкции. Местные власти и инженер-консультант заказчика одобрили отклонения от стандарта и рабочий план.

4 Возведение

Сооружение стен из модульных блоков – это относительно прямой процесс, и этот проект ничем не отличался. Тем не менее, природа керамзита вызвала у подрядчика некоторые проблемы с обращением, укладкой и уплотнением.



Рис. 5. Закрепление лицевой стороны решетки полимерными соединителями

Как только нулевая отметка была готова, соорудили бетонный ленточный фундамент для внешней облицовки участка. Основание намеренно сделали шире обычного, чтобы нагрузка лучше распределилась на слабом основании, так как окончательная кирпичная облицовка будет находиться на этом же фундаменте.

Чтобы удерживать керамзит во время сооружения, решили поднимать облицовку модульных блоков и общую гранулированную засыпку в задней стороне (части) конструкции более или менее одновременно. Это было продумано для того, чтобы керамзит не сдувался и не перемещался в сторону во время укладки и уплотнения. Это сработало. Керамзит поставляли на один берег канала автофургоном, а на другой берег, где находился парк, – пневматически, с помощью напорной трубы, прикрепленной к леске. Распределение керамзита пневматическим путем создавало удовлетворительный

уровень уплотнения, но все участки были уплотнены до желаемого уровня плотности с помощью виброплиты. Требуемую длину георешеток HDPE согласно проекту просто отрезали от поставленных рулонов. Вертикальные промежутки (интервалы) между слоями согласно проекту должны были быть 450мм (каждый 3 ход кладки стены). Метод крепления к облицовке заключался в том, что литой (рельефный) полимерный соединитель зацепляли за поперечные прутья георешетки, а потом фиксировали между блоками. Высокоэффективное соединение является одним из важных моментов в сооружении.



Рис. 6. Пневматическая подача керамзита перед уплотнением

Одним из ограничивающих факторов проектной прочности георешеток является эффективность соединения на поверхности, которая может быть низкой (25%), при использовании только фрикционного соединения. Это применяют достаточно редко, обычно, если вертикальное водоупорное давление низкое, например, если возводятся стены высотой до 8 м.

Закрепляя георешетку на поверхности, важно устранять все слабину в соединениях. Иначе эти провисы со временем приведут к сдвигу поверхности после завершения строительства. При использовании традиционного гранулированного засыпного материала – это не проблема, так как георешетку можно растянуть с помощью стальной балки и ее механизма.



Рис. 7. Общий вид конструкции моста



Рис. 8. Соединитель (затяжка) из нержавеющей стали вблизи

Плотная засыпка гранулами обеспечивает отличное воздействие на усилие растяжения. Несмотря на то, что керамзит не обладал таким воздействием, подрядчик уделил особое внимание именно этому растяжению, предпочитая продвигаться небольшими шагами, а не единым усилием.

Перроны из нержавеющей стали используют для сцепления окончательной кирпичной облицовки и модульного блока; они легко размещаются во время строительства. Их вставляют в вертикальные швы между блоками, а затем подгоняют на высоту растворной постели между кирпичами после их укладки.

По завершению кирпичной кладки фасад полностью совпал с аркой моста.

5 Итоги

Чтобы проект и сооружение по данному плану не превышали бюджетные расходы и временные рамки, бригада рабочих должна была быть технически прогрессивной. Керамзит, впервые примененный при армировании грунта конструкции георешетками, вызвал у проектировщиков определенные проблемы, и были неизвестны параметры, поэтому подрядчику пришлось находить новые пути поставки материалов на строительный участок.

Армирование грунтов подпорных стенок закончили через 3 недели в конце 2005 года. Проект благополучно завершили в начале 2006 года. По завершению моста и прилегающих конструкций все стороны были удовлетворены результатом.

Армирование грунта модульных блоков оказалось привлекательным и экономичным вариантом в сравнении с такими традиционными методами строительства, как применение железобетона.

Сочетание с керамзитом открыло новые возможности в сооружении подпорных конструкций грунтов на слабых основаниях.



Рис. 9. Завершенная конструкция

Благодарность

Благодарим за помощь и сотрудничество:

- Заказчик: English Partnerships, Central Milton Keynes, Buckinghamshire, UK
- Местные власти: Milton Keynes Council, Central Milton Keynes, Buckinghamshire, UK
- Инженеры-консультанты: Pell Frischmann Consultants Ltd, Milton Keynes, Buckinghamshire, UK
- Подрядчик: Jackson Civil Engineering Limited, Milton Keynes, Buckinghamshire, UK
- Тестирование материалов: CET Group Limited, Hinckley, Leicestershire, UK

Ссылки

1. ВВА Сертификат No. 00/R122, 2000, 'Tensar TW1 Система установки подпорных стенок и опор моста', British Board of Agrément, Watford, Великобритания
2. BS 8006: 1995 "Строительные нормы и правила укрепления армированных грунтов и других засыпок", Институт британских стандартов, Лондон, Великобритания.
3. BD70/03: Служба автомобильных дорог, эскизы проектов дорог и мостов – укрепленные/армированные грунты и другие заполнители для сооружения подпорных стенок и опор моста
4. BS1377: 1990 "Методы тестов для гражданского строительства" часть 7: "Тесты прочности на сдвиг (общая нагрузка)" пункт 5: "Большой прибор стандартного уплотнения", Институт британских стандартов, Лондон, Великобритания.