

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.В. Грановский ¹

¹ канд. техн. наук, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» НИУ МГСУ, e-mail: granovskiyav@mgsu.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости каменных стен зданий, выполненных из керамического кирпича и ячеистобетонных блоков с учетом их усиления на основе использования композитных материалов из углеволокнистой ткани. Рассмотрены два варианта конструкций: двухэтажный фрагмент здания, выполненный из керамического кирпича, и фрагмент стеновой панели в натуральную величину с оконным проёмом, смонтированной из ячеистобетонных блоков. Испытания на сейсмические воздействия интенсивностью 6-10 баллов по шкале MSK-64 проводились на двухкомпонентной виброплатформе. В процессе испытаний амплитудно-частотный спектр воздействий изменялся в интервале от 1 до 15 см при частоте от 1 до 20 Гц. При воздействиях, соответствующих резонансным частотам, неусиленные композитным материалом конструкции получили повреждения, приведшие к разрушению образцов. Для случая испытания образцов, усиленных композитным материалом, были выявленные отдельные трещины в образцах, но прогрессирующего обрушения конструкций не произошло. Даны рекомендации по применению композитных материалов из углеволокна для усиления конструкций, эксплуатируемых в сейсмоопасных регионах.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время композитные материалы (далее – КМ) на основе угле-базальто- и стекловолокон находят все более широкое применение для повышения прочности каменных конструкций с целью восстановления их эксплуатационных характеристик после появления в них повреждений от внешних воздействий, в т.ч. при землетрясениях. Как отмечается в [1], «несмотря на достаточно большой опыт применения КМ для усиления конструкций из каменной кладки, довольно часто поднимается вопрос об эффективности использования КМ при сейсмоусилении». В настоящее время как в России, так и за рубежом [2-6] были проведены экспериментальные исследования по оценке влияния сейсмоусиления стен и одноэтажных фрагментов каменных зданий с учетом использования КМ из углеволокнистой ткани.

Цель настоящих экспериментальных исследований – анализ поведения кирпичной кладки, усиленной системой внешнего армирования на основе материалов из углеродной ткани, при действии динамических нагрузок, эквивалентных природному сейсмическому воздействию в диапазоне 6-10 баллов по шкале MSK-64, а также в области резонанса испытываемого изделия. Для испытаний был подготовлен 2-х этажный кирпичный фрагмент здания (рис.1а) и фрагмент стены в натуральную величину из ячеистобетонных блоков (рис.1б). Активация платформы осуществлялась установленной на ней вибромашиной ВИД-12М.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Сейсмоиспытания 2-х этажного фрагмента здания.

Программа испытаний включала в себя следующие этапы.

1. Динамические испытания неусиленного 2-х этажного фрагмента (рис.2а).
2. Динамические испытания усиленного образца, получившего повреждения (трещины) после завершения первого этапа испытаний (рис. 2б).

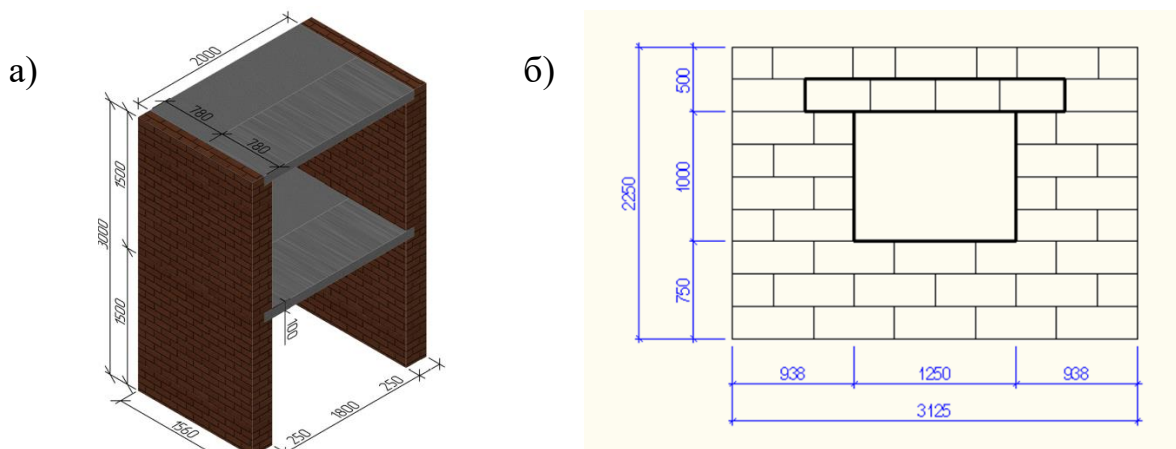


Рис. 1. Экспериментальные модели 2-х этажного фрагмента и панели

3. Динамические испытания усиленного образца фрагмента здания (рис. 2в), получившего повреждения на втором этапе испытаний в зоне опирания плит перекрытия на стены 1-го этажа.

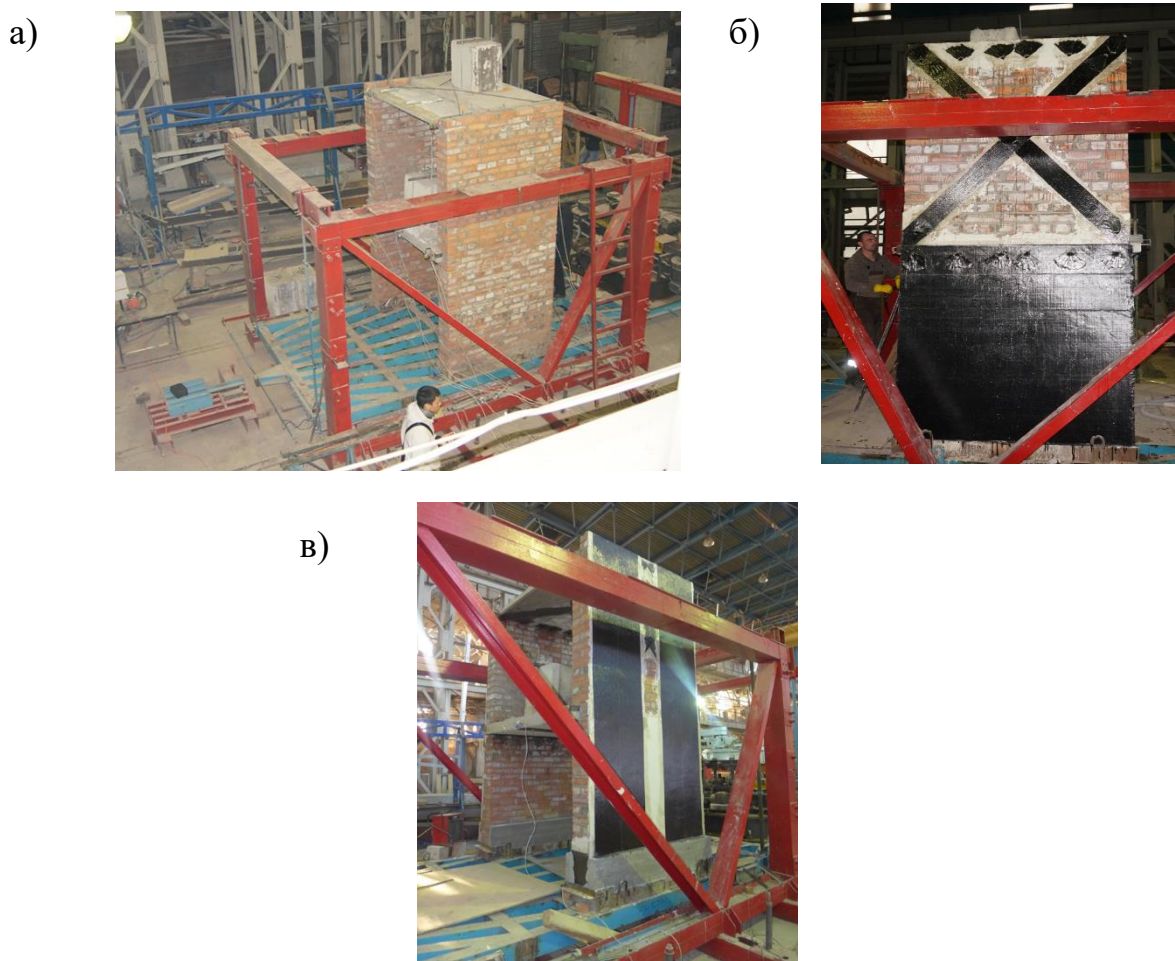


Рис. 2. Общий вид образцов на I (а), II (б) и III (в) этапах испытаний

При помощи специализированного измерительно-вычислительного комплекса МИС - 036 осуществлялся сбор, преобразование, регистрация, обработка, передача и представление информации, поступающей с датчиков.

По результатам испытаний 2-х этажного фрагмента установлено следующее:

- при испытании неусиленного 2-х этажного фрагмента здания (этап I) при ускорении $1,9 \text{ м/с}^2$ и частоте $5,0 \text{ Гц}$ имело место образования первых трещин в кладке стен 1-го и 2-го этажей;

- после проведения усиления по схеме на рисунке 2б развитие трещин в кладке стен прекратилось и появились горизонтальные трещины в зоне опирания плит перекрытий на стены 1-го этажа;

- при испытании усиленных КМ кирпичных стен 2-х этажного фрагмента здания (этап III) по схеме на рис. 2в повреждения кладки происходили при ускорениях $6,5 \text{ м/с}^2$ и частоте $3,4 \text{ Гц}$ (резонанс). При этом разрушения наступали на опорных участках кладки стен с максимальными зонами напряжения сжатия и растяжения.

Испытания 2-х этажного фрагмента показали, что применение углеродных тканей и сеток для усиления каменных конструкций в качестве внешнего армирования позволяет значительно повысить сейсмостойкость конструкций.

Сейсмоиспытания стены из ячеистобетонных блоков

В соответствии с Программой исследований были проведены исследования фрагментов стен в натуральную величину из ячеистобетонных блоков (рис. 1б) на динамические нагрузки, моделирующие сейсмические воздействия интенсивностью 7-9 баллов по шкале MSK-64 при землетрясениях. Испытания проводились на двух образцах. Первый – эталонный неусиленный образец в виде фрагмента стены (рис. 3а), второй образец – аналогичный фрагмент стены, усиленный с 2-х сторон холстами из углеволокнистой ткани (рис.3б).

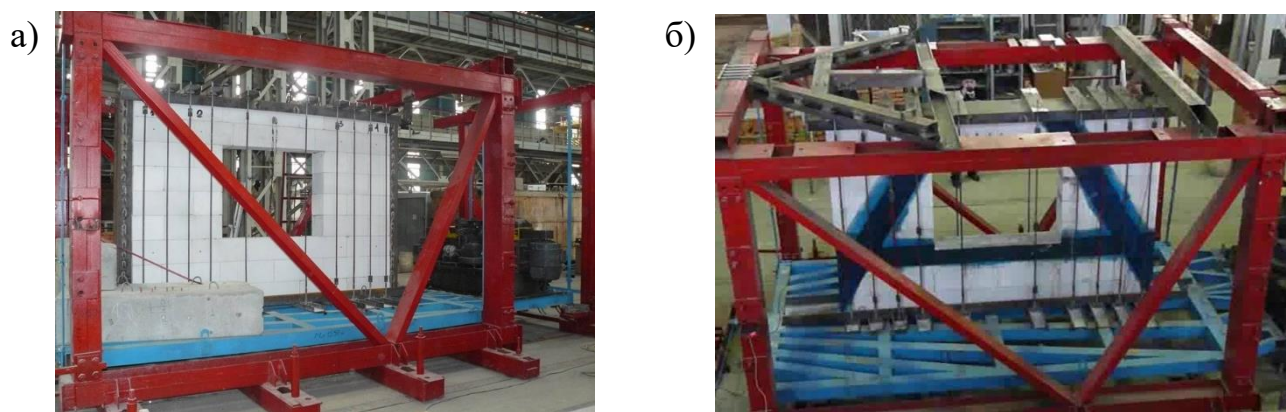


Рис. 3. Общий вид опытного образца панели до и после усиления

В процессе испытаний с помощью специальных силовых устройств (тяжей) регулировался уровень обжатия панелей, что позволило моделировать поведение кладки при сейсмических воздействиях для стен зданий, расположенных в различных уровнях по высоте сооружения.

По результатам испытаний стеновой панели можно отметить следующее.

1. Неусиленный образец панели разрушился при динамической нагрузке, соответствующей 7-балльному воздействию (рис. 4а).

2. Усиленный образец выдержал динамические нагрузки, соответствующие 7-9- баллам по шкале MSK-64. При этом в процессе испытаний имело место отслоение КМ в момент появления в отдельных зонах панелей сжимающих усилий. Это связано с тем, что КМ не работает на сжатие. Однако, следует отметить, что в усиленном образце отсутствовало прогрессирующее обрушение кладки.

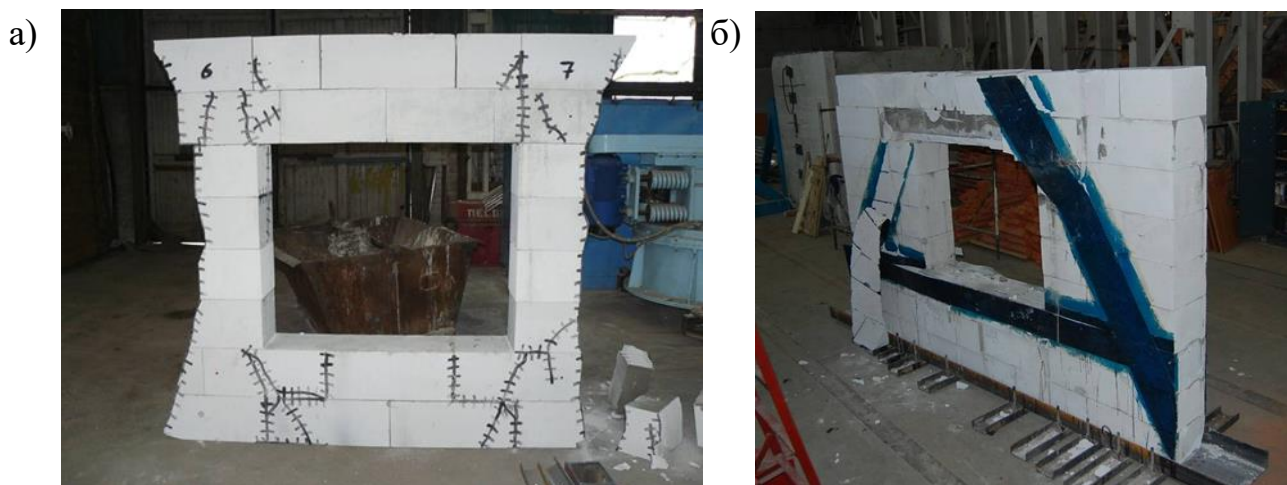


Рис. 4. Характер разрушения не усиленного (а) и усиленного (б) образцов

ВЫВОДЫ

Анализ результатов экспериментальных исследований сейсмостойкости каменных конструкций, усиленных внешним армированием на основе применения композитных углеродных материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Применение углеродных тканей и сеток для усиления каменных конструкций в качестве внешнего армирования позволяет значительно повысить сейсмостойкость конструкций.

2. Следует обратить внимание на то, что применение КМ допускается как на стадии проектирования зданий, так и в процессе усиления поврежденных каменных конструкций при землетрясениях. Это позволяет исключить разрушение каменных конструкций при динамических воздействиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тонких, Г. П., Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладкой системой внешнего армирования на основе углеволокна / Г. П. Тонких, О. В.Кабанцев, А. В.Грановский, О. А Симаков // Вестник ТГАСУ. – 2014. - № 6. – С. 57-69.

2. Master'stheses Md. Rashadul Islam. Inventory of FRP streng thening methods in masonry structures / Master's theses Md. Rashadul Islam // Erasmus Mundus Programme: advanced masters in structural analysis of monuments and historical constructions. – Spain, July 2008. – P. 131.

3. Mohamed, A. Aseismic retrofitting of unreinforced masonry walls using FRP / Mohamed A. El Gawady, Pierino Lestuzzi, Marc Badoux. – Composites: Part B 37 2006 – P. 148–162.

4. Hollaway, L.C. Strengthening and rehabilitation of civil infrastructures using fibre-reinforced polymer (FRP) composites / L.C. Hollaway, J.G. Teng // Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals &

Mining CRC. – Press Boca Raton Boston New York Washington, DC Cambridge England. – P. 235-264.

5. Full-scale shake table experiments and vibration tests for assessing the effectiveness of textile materials for retrofitting masonry buildings / Paul Michelis¹, Costas Papadimitriou, Grigoris K. Karaiskos, Dimitra-Christina P. Papadioti // III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, V. Plevris (eds.) – Corfu, Greece, 25–28 May 2011.