**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ**

**Грановский А.В.,** канд. техн. наук, доц.

(ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко)

**Джамуев Б.К.,** канд. техн. наук

(ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко)

**Аннотация.** Выполнены экспериментальные исследования по оценке сейсмостойкости крупномасштабной модели двухэтажного фрагмента кирпичного здания из керамического кирпича на цементном растворе. Динамические испытания опытного образца проводились на двухкомпонентной виброплатформе, с помощью которой моделировались сейсмические воздействия интенсивностью 6-9 баллов по шкале MSK-64. В процессе испытаний с помощью бетонных блоков была смоделирована постоянная нагрузка на междуэтажные перекрытия 450 кгс/м2. Размеры двухэтажного фрагмента – 2,3 × 1,56 × 3,0 (Н)м. В процессе испытаний моделировались вертикальные и горизонтальные динамические воздействия на опытный образец. Рассмотрены различные варианты усиления несущих кирпичных стен с помощью композитных тканей, холстов и сеток производства ООО «НЦК». По характеру гистерезисных кривых установлены зоны упругой работы кладки стен в момент появления трещин и ее разрушения. Предложены оптимальные схемы усиления кирпичных стен зданий лентами, холстами и сетками из углеродной ткани, а также показана возможность повышения жесткости диска плит перекрытий с помощью композитных материалов.

**Ключевые слова:** крупномасштабная модель здания, кирпичная кладка, динамическая нагрузка, виброплатформа, гистерезисная кривая, композит, углеродная лента и сетка

Решение проблемы повышения сейсмостойкости кирпичных стен и устранения повреждений кладки, полученных во время воздействия сейсмических сил при землетрясениях, связано как с наращиванием монолитности кладки (повышением величины сцепления кирпича с раствором), так и с применением различных методов ее усиления более прочными материалами (штукатурными сетками, металлическими обоймами, железобетонным каркасом и т. д.). Однако применение указанных конструктивных решений по усилению ведет к увеличению массы конструкций и, как следствие этого, уровня сейсмической нагрузки на сооружение.

В настоящее время для усиления каменных конструкций во всем мире широкое применение находят композиционные материалы на основе стекло-, базальто- и углеродного волокон. Эффективность применения этих материалов для усиления каменных конструкций связана с тем, что при значительно меньшей массе их прочностные и деформативные характеристики (прочность при разрыве, модуль упругости и относительное удлинение при разрыве) либо близки, либо несущественно отличаются от аналогичных характеристик типовых материалов (металл, бетон, раствор), применяемых при усилении конструкций. Кроме этого композитные материалы невосприимчивы к агрессивным внешним факторам и их применение возможно для усиления конструкций практически любой формы поперечного сечения.

В России первые исследования сейсмостойкости каменной кладки, усиленной композитным материалом на действие статических и динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия интенсивностью 7 … 9 баллов по шкале MSK-64, выполнены проф. Тонких Г.П. Исследования проводились на крупномасштабных одноэтажных моделях зданий с размерами 5,82 × 4,8 × 2,2 м . Кроме этого к. т. н. Гасиевым А.А. (из керамического кирпича) и к. т. н. Джамуевым Б.К. (из ячеистобетонных блоков) были проведены динамические испытания на виброплатформе стен размерами 3.2×2.3 м, усиленных холстами из углеволокна.

За рубежом динамические исследования сейсмостойкости кирпичной кладки стен зданий на фрагментах стен и крупномасштабных моделях, усиленных композитными материалами, следует отметить работы Mohamed A. A., Hollaway L.C., Tinazzi D. и Galati N.

**Цель работы** ― оценка влияния различных схем усиления несущих кирпичных стен зданий с использованием композитных материалов на прочность и деформативность указанных зданий при действии динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия интенсивностью 7–9 баллов по шкале MSK-64.

В статье изложены результаты экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости 2- этажной модели кирпичного здания размером 1,56 × 2,30 × 3,0 м, стены и перекрытия которого были усилены лентами и сетками из углеродных волокон (рис.1).

**Описание опытного образца.** Для проведения исследований был смонтирован 2-этажный фрагмент здания. Кладка стен фрагмента была выполнена из керамического кирпича марки М250 на цементном растворе марки М150. По результатам испытаний на нормальное сцепление кладка соответствовала I категории по СП 14.13330.2014 с *Rt*≥0,18 МПа. Для усиления кладки стен использовались углеродные ленты марки FibArmTapeHS 530/300 и углеродные сетки марки FibArmGrid 600/1000 с пропиткой стирол-бутадиеновой композицией, а также углеродные двунаправленные и мультиаксиальные ткани, углеродные анкерные жгуты FibArmAnchor. Перекрытия 1 и 2-го этажей были выполнены из сборных железобетонных плит толщиной 100 мм при классе бетона на сжатие В20. Для обеспечения совместной работы плит и повышения жесткости диска перекрытий в своей плоскости плиты были объединены крестовыми связями из углеродных лент. В качестве нагрузки на плиты перекрытия 1 и 2-го этажей были смонтированы грузы массой 300 кг с распределенной нагрузкой на перекрытие в уровне каждого этажа 4 кН/м2. Для измерения динамических параметров воздействия на сооружения и непосредственно динамических характеристик самого фрагмента была использована измерительная аппаратура (акселерометры), установленная на конструкциях и виброплатформе.

**Программа испытаний.** Динамические испытания 2-этажного фрагмента проводились на двухкомпонентной виброплатформе маятникового типа. Активация виброплатформы осуществлялась вибромашиной ВИД-12М. Динамические испытания включали в себя следующие этапы.

1. Динамические испытания неусиленного 2-этажного фрагмента здания.
2. Динамические испытания усиленного экспериментального образца 2-этажного фрагмента здания, получившего повреждения после завершения первого этапа испытаний, с использованием однонаправленных углеродных лент, углеродных анкерных жгутов и двунаправленных (мультиаксиальных) тканей.
3. Динамические испытания усиленного экспериментального образца с заменой двунаправленных углеродных тканей на углеродные сетки.

**Результаты испытаний и их анализ.** Основной задачей обработки записей, кроме получения максимальных значений ускорения колебания в точках регистрации на конструкциях фрагмента и на виброплатформе (уровни 1-3) за время проведения испытаний, было выявление зависимостей максимальных значений колебаний конструкции фрагмента в указанных выше уровнях от частоты колебаний виброплатформы и построение графиков соответствующих амплитудно-частотных характеристик. Для получения значений параметров колебаний в частотных полосах применялись программные фильтры Баттерворта 6-го порядка. В процессе обработки записей значения граничных частот (нижняя и верхняя) указанных фильтров были приняты меньше на 0,2 Гц и, соответственно, больше на 0,2 Гц, чем основная частота колебаний виброплатформы в соответствующем режиме испытаний. Для определения характера колебаний точек на конструкциях фрагмента здания проводился как спектральный, так и визуальный анализ этих записей. Для получения осциллограмм горизонтальных колебаний в уровнях 1-3 по центральной оси фрагмента записи, полученные по четырем крайним в плане фрагмента точкам, в которых были установлены датчики, численно суммировались и усреднялись. Кроме повышения точности обработки результатов, такая процедура позволяет разделить горизонтальные и крутильные в плане фрагмента колебания его уровней. До начала появления трещин конструкция представляла собой монолитную систему, и график гистерезисных кривых имел вид, показанный на рис. 2а. При дальнейшем увеличении нагрузки имело место разрушение сжатой опорной зоны кладки одной из стен и появление горизонтальной трещины по шву (растяжение кладки). В момент появления трещины гистерезисная кривая имела вид, показанный на рис. 2б, т. е. дальнейшее увеличение динамической нагрузки привело бы к полному разрушению системы. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента динамичности для относительных колебаний верхнего перекрытия фрагмента от частоты колебаний платформы. Значения коэффициента на частотах 7,4 и 9,8 Гц получены в результате спектрального анализа указанных ранее колебаний.

В момент, близкий к разрушению, произошло раздавливание кирпича в угловых зонах стен в уровне опирания на виброплатформу, т. е. в зонах с максимальными напряжениями сжатия кладки. При этом из-за циклического изменения знака нагрузки процесс разрушения включал в себя расслоение кладки с последующим ее обмятием.

**Вывод.** Применение внешнего армирования на основе композитных материалов для усиления каменных конструкций зданий, возводимых в сейсмоопасных регионах, позволяет существенно снизить массу конструкций по сравнению с широко применяемыми в настоящее время методами, основанными на использовании типовых металлических и железобетонных конструкций, и тем самым снизить уровень сейсмической нагрузки на сооружение и повысить сейсмостойкость конструкций.

**THE USE OF COMPOSITE MATERIALS TO INCREASE THE SEISMIC STABILITY OF MASONRY STRUCTURES OF BUILDINGS DURING EARTHQUAKES**

**Bulat Dzhamuev** – Ph.D. in Engineering, Head of Sector of the Laboratory, Research Center of Seismic Stability of Constructions, TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow.

**Arkady Granovsky –** Ph.D. in Engineering, Head of the Laboratory, the Research Center of Seismic Stability of Constructions, TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow.

**Abstract.** The experimental study on evaluation of seismic resistance of the large-scale model of a two-storey fragment of brick building from ceramic bricks on cement mortar was conduct. The dynamic testing of the prototype was carried out on the two-component vibroplatform, where seismic impacts with the intensity of 6 to 9 according to MSK-64 scale were modelled. During the tests the constant load on floors – 450 kgf/m2 was simulated using concrete blocks. The dimensions of the two-storey fragment are 2,3x × 1,56 × 3,0 m. During the tests the horizontal and vertical dynamic forces to the prototype were simulated. Different options for strengthening of load-bearing brick walls with composite fabrics, scrims and nets, produced by JSC «NTSK» were consider. Upon the nature of the hysteresis curves the zones of elastic performance of masonry walls at the moment of cracks and destruction were determined. The optimal schemes of brick walls' strengthening were propos with the use of ribbons, scrims and nets from carbon cloth. The possibility to increase the stiffness of the slabs disk with composite materials was show.

**Keywords:** large-scale model of building, brick masonry, dynamic load, vibration platform, hysteresis curve, composite, carbon ribbon and net