

Навесные кирпичные фасадные системы для сейсмических регионов России

Аркадий Вульфович ГРАНОВСКИЙ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: GranovskiyAV@mgsu.ru

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Кристина Евгеньевна ДОБРИНА, магистр, e-mail: Krisdobryash21@gmail.com

Гор Самвелович ТАНГАМЯН, студент IV курса ИСА НИУ МГСУ, e-mail: gortangamyam@gmail.com

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости различных конструктивных решений навесных фасадных систем с облицовочным слоем из кирпичной кладки при действии на конструкции динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия при землетрясениях 7–9 баллов по шкале MSK-64. Динамические испытания проводились с использованием разработанной в НИУ МГСУ установки, которая включала в себя металлический стенд со специальными подвижными опорами, гидроцилиндры (Actuator) и современную измерительную аппаратуру. Это оборудование позволяло оценивать в процессе испытаний силовые воздействия на стенд, ускорения, перемещения и деформации в любом элементе стенда и навесной фасадной системы. Рассмотрены два конструктивных варианта навесной фасадной системы, в которых применены различные виды крепления кладки к несущим подконструкциям. Установлены факторы, влияющие на обеспечение сейсмостойкости облицовочного слоя при действии динамических нагрузок и исключающие ее разрушение и появление в ней трещин. В процессе испытаний получены ускорения и деформации конструкций навесной фасадной системы в заданных точках. На примере анализа результатов экспериментальных динамических исследований системы фирмы «U-kon» типа АТС-450 показана эффективность применения специальных мероприятий, обеспечивающих монолитность кладки и, соответственно, ее надежность при сейсмических воздействиях.

Ключевые слова: навесная фасадная система, динамические воздействия, сейсмостенд, гидроцилиндры Actuator, ускорение, кирпичная кладка.

HINGED BRICK FACADE SYSTEMS FOR SEISMIC REGIONS OF RUSSIA

Arkadiy V. GRANOVSKIY, e-mail: GranovskiyAV@mgsu.ru

Research Institute of Experimental Mechanics Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Kristina E. DOBRINA, e-mail: Krisdobryash21@gmail.com

Gor S. TANGAMYAN, e-mail: gortangamyam@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. The results of experimental studies on the assessment of seismic resistance of various structural solutions of hinged facade systems with a facing layer of brickwork under the action of dynamic loads on the structure, simulating seismic effects in earthquakes of 7-9 points on the scale of MSK-64 are presented. Dynamic tests were carried out with the use of an installation developed at Moscow State University of Civil Engineering, which included a metal stand with special movable supports, hydraulic cylinders (Actuator) and modern measuring equipment. This equipment made it possible to evaluate during testing the force effects on the stand, accelerations, displacements and deformations in any element of the stand and the hinged facade system. Two design variants of the hinged facade system, in which different types of masonry fastening to the supporting substructures are applied, are considered. The factors affecting the seismic stability of the facing layer under the action of dynamic loads and excluding its destruction and the appearance of cracks in it are established. During the tests, accelerations and deformations of the structures of the hinged facade system at the specified points were obtained. On the example of the analysis of the results of experimental dynamic studies of the system of the ATS-450 type of "U-kon" Company of, the effectiveness of the use of special measures that ensure the monolithic masonry and, accordingly, its reliability under seismic influences is shown.

Key words: hinged facade system, dynamic effects, seismic stand, hydraulic cylinders-Actuator, acceleration, brick masonry.

Обеспечение сейсмостойкости несущих конструкций и зданий в настоящее время регла-

ментируется СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах». Однако

вопросы эксплуатационной надежности навесных фасадных систем (НФС) зданий, возводимых в

сейсмических регионах РФ, остаются открытыми из-за недостаточного объема исследований, вследствие чего отсутствуют нормативные документы как в части проектирования НФС, так и в части их испытаний.

В соответствии с федеральным законом от 27.12.2002 г. № 184 «О техническом регулировании» любая новая строительная продукция (в том числе фасадные системы), разрабатываемая и передаваемая в массовое производство, подлежит обязательной оценке и подтверждению на соответствие требованиям безопасности. Приказом Минрегиона России от 30.12.2009 г. № 624 фасадные работы включены в перечень работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. Сейчас в фасадной отрасли происходит постепенное формирование давно ожидаемой нормативной базы, которая поможет определить необходимые методы испытаний и правила проектирования НФС. По данным маркетингового исследования Фасадной Академии [1], со ссылкой на работы Grand View Research, Inc, USA, в 2018 г. объем мирового рынка фасадов оценивался в 205,89 млрд дол. США. Ожидается, что среднегодовой темп роста применения НФС в строительстве составит 7,6 %, при этом объем фасадов с облицовкой из клинкерного кирпича в общей структуре рынка НФС достигнет 6–7 %. К сожалению, в предложенную классификацию НФС (пять основных классов) [2] облицовка в виде кирпичной кладки не вошла.

Важный этап оценки сейсмической надежности НФС — их испытания на виброплатформах или с использованием специальных вибровозбудителей (динамические гидроцилиндры Actuator). Необходимость проведения таких испытаний обу-

словлена тем, что сейсмическая реакция НФС при землетрясении существенно зависит от динамических характеристик (периодов и форм собственных колебаний, параметров затухания и т. д.) как здания, так и непосредственно НФС. На практике при лабораторных исследованиях НФС роль стены здания, к которой крепится система, выполняют, как правило, пространственный металлический или железобетонный стенды [3–6]. По такой схеме проводят испытания в Европе, где используются многокомпонентные виброплатформы, способные возбудить линейные и угловые колебания объекта испытаний, и у нас в стране. Возбуждение колебаний стенда может осуществляться различными способами (в том числе методами, которые использовали авторы данной статьи): с помощью вибромашины, установленной наверху стенда, либо виброплатформы, на которой размещен стенд с НФС, либо с использованием динамических гидроцилиндров Actuator.

Цель проведения динамических испытаний НФС с облицовкой в виде кирпичной кладки — совершенствование конструкций НФС в части исключения факторов, влияющих на снижение сейсмостойкости кирпичной кладки.

При сейсмических воздействиях (особенно при афтершоках) в кладке отсутствует запас несущей способности, поскольку, как отмечается в работах [7, 8], «хрупкие материалы, к которым относятся различные виды кладок, не обладают способностью к развитию пластических деформаций». В этой связи несущие конструкции НФС должны исключать (либо принимать на себя) любые перегрузки кладки, в том числе появление пиковых воздействий, в несколько раз превышающих

средние значения сейсмических сил, передавая их с кладки на конструкции НФС и далее — на конструкции здания.

Учитывая, что одним из важных параметров кладки является величина сцепления кирпича с раствором как при действии вертикальных (нормальное сцепление), так и горизонтальных (касательное сцепление) сил, конструкции НФС должны воспринимать эти сейсмические воздействия, снижая уровень их влияния на кладку.

Кроме того, на сейсмостойкость кладки оказывает влияние ее прочность при изгибе из плоскости. Данный вид напряженного состояния кладки возникает при действии сейсмических сил перпендикулярно плоскости облицовки. Низкое значение сцепления раствора с кирпичом и малая толщина облицовочного слоя (от 50 до 125 мм) — это факторы, снижающие надежность облицовочного слоя и НФС в целом при землетрясениях.

Приведенные факторы необходимо учитывать и при проектировании НФС с облицовкой из кирпичной кладки при проектировании зданий в обычных условиях с учетом действия пульсационной составляющей ветровой нагрузки в угловых зонах здания. При этом особое внимание следует обратить на надежность крепления НФС к несущему стеновому основанию зданий и сооружений [9, 10].

Влияние рассмотренных факторов на сейсмостойкость НФС с облицовкой кирпичной кладкой проанализировано в процессе выполнения динамических испытаний НФС с воздушным зазором, разработанных специалистами ООО «Метроспецстрой-Девелопер» (система НФС «Метроспецстрой-Д21 кп») и ООО «Юкон-Инжиниринг» (система НФС «U-кон» тип АТС-450).



Рис. 1. Стенд с закрепленной на нем НФС «Метроспецстрой-Д21 кп»

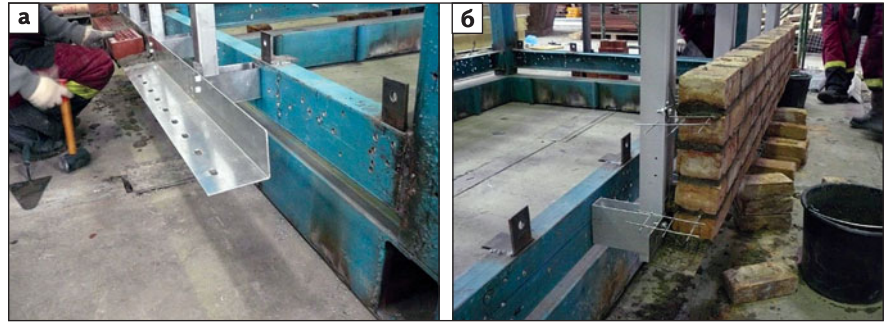


Рис. 2. Конструкция нижнего опорного уголка (а) и процесс укладки лицевого кирпичного слоя по опорному уголку (б)

Динамические испытания НФС «Метроспецстрой-Д21 кп»

На виброплатформе маятникового типа устанавливали стенд с закрепленной на нем НФС (рис. 1). Навесная система представляет собой конструкцию, элементы которой выполнены из алюминиевых сплавов и коррозионностойкой стали. Кронштейны с вылетом 175 мм располагали по полю стенда с шагом 700×1200(Н) мм. Для повышения жесткости системы кронштейны крайних рядов были усилены специальными жесткими вставками в виде треугольных металлических элементов. Облицовка из кирпичной кладки выкладывалась по горизонтальному профилю из уголков 120×100×3 мм, которые крепили к вертикальным направляющим. Каждый следующий по высоте кладки уголок устанавливали через восемь рядов кладки. Каждые три ряда кладки армировали сеткой с ячейкой 50×50 мм при диаметре стержней 3 мм (рис. 2а,б). Для облицовки использовали пустотелый кирпич 65×120×250 мм марки М175 и цементный раствор марки М100. В процессе испытаний параметры динамического нагружения виброплатформы изменялись:

- горизонтальное ускорение — от 0,31 до 5,61 м/с²;
- частотный спектр — от 1 до 4,8 Гц;

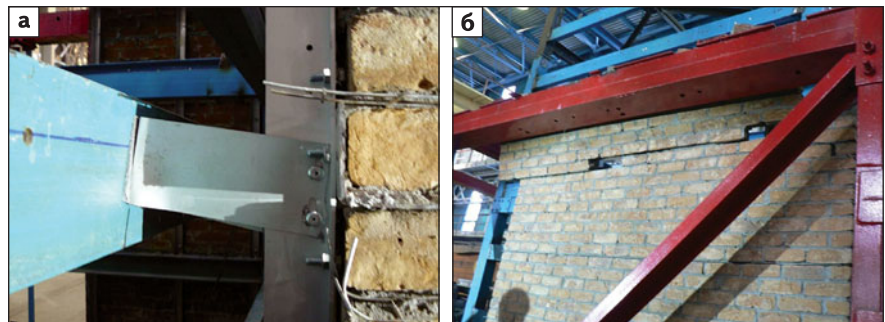


Рис. 3. Характер разрушения кронштейна (а) и облицовочного слоя кладки НФС (б)

- амплитуда горизонтальных колебаний — от 1,2 до 19,3 мм;
- горизонтальное ускорение в уровне верха НФС — от 0,01 до 12,6 м/с², вертикальное — от 0,01 до 10,4 м/с².

В момент испытаний при совпадении собственной частоты колебаний НФС (4,7 Гц) с вынужденной частотой колебаний виброплатформы система вошла в резонанс. При этом вследствие значительного веса кладки и низкой вертикальной жесткости при сдвиге узловых соединений кронштейнов с направляющими имело место их вертикальное смещение и разрушение (рис. 3а). Из-за недостаточной прочности сцепления кладки с раствором и отсутствия вертикальных упоров (ограничителей) по краям облицовки, а также отсутствия надежного крепления верхнего ряда кладки произошло сдвиг и разрушение кладки верхних рядов облицовки (рис. 3б). Разрушение НФС имело ме-

сто при ускорении в уровне низа платформы $a = 2 \text{ м/с}^2$ и частоте воздействия 4,7 Гц.

Динамические испытания НФС «U-коп» типа АТС-450

Стенд с закрепленной на нем НФС показан на рис. 4. Элементы подконструкции НФС «U-коп» включали в себя кронштейны, вертикальные направляющие и горизонтальные профили из алюминиевых сплавов и коррозионностойкой стали. Установку НФС «U-коп» осуществляли по периметру экспериментального стенда. Поскольку конструктивная схема не предполагала замкнутого контура, в зонах разрыва конструкции НФС для повышения жесткости кронштейнов при действии горизонтальных динамических нагрузок были смонтированы треугольные ребра жесткости. Такие ребра жесткости рекомендовано устанавливать в зонах дверных и оконных проемов по внешнему контуру НФС здания.



Рис. 4. Стенд с закрепленной НФС «U-коп» типа АТС-450

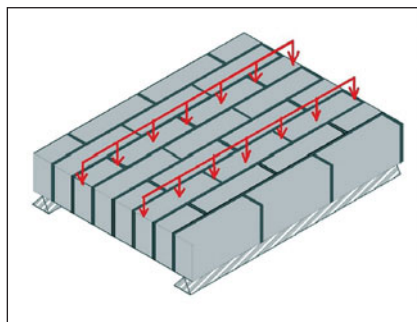


Рис. 5. Схема испытаний облицовочного слоя кладки на изгиб



Рис. 6. Конструкция опорных катков

Облицовочный слой НФС выполняли из керамических лицевых полнотелых кирпичей марки «TERCA» (21,5×6,5×6,5 см, М100) и марки ТМ «Донские зори» (21,5×10×6,5 см, М125) на растворах марки «РОКФОРМ» и фирмы «quick-mix» марки «VKPlus». Вес 1 м² облицовочных кирпичных слоев НФС составлял соответственно 1050 и 1275. До начала проведения динамических испытаний были выполнены статические испытания кирпичей (на сжатие и изгиб), образцов-двоек из указанных типов кирпичей и растворов (на осевое растяжение — нормальное сцепление) и фрагментов кладки стен из тех же материалов (на растяжение при изгибе), см. рис. 5. Статические испытания позволили определить прочностные параметры облицовочных кирпичных слоев, необходимые для оценки монолитности и сейсмостойкости кладки. Другими словами, проверить данные факторы, которые являются критериями надежной работы облицовочных слоев из кирпичной кладки, и разработать конструктивные решения НФС, исключающие ее разрушение при землетрясениях.

Экспериментальная установка для динамических испытаний включала в себя следующие элементы:

- опорные металлические пластины толщиной 30 мм, на которые устанавливали подкатные опоры марки CRA-1 грузоподъемностью 60 кН каждая;

- металлический стенд для НФС, прикрепленный с помощью жестких захватов к подкатным опорам (рис. 6);

- динамические гидроцилиндры (Actuator), предназначенные для создания динамического воздействия с ускорением от 0,2 до 4 м/с² при частотном спектре от 1 до 50 Гц (рис. 7). Амплитуда перемещений штока гидроцилиндров в зависимости от частоты динамического воздействия может изменяться от ±20 до ±250 мм, максимальное усилие от гидроцилиндра на стенд — до ±800 кН. Схема приложения динамических нагрузок от гидроцилиндров к стенду приведена на рис. 8;

- измерительную аппаратуру: одно- и трехосные акселерометры фирмы «PCB», позволяющие определять ускорения с частотой съема до 4000 Гц, тензорезисторы фирмы «TML» с базой 10–50 мм, комплекс оборудования NI PXLe-1082 с модулями NI PXLe-4496 (для регистрации данных акселерометров), NI PXLe-1330 (для регистрации данных с тензорезисторов).

Специалистами ООО «Юкон-Инжиниринг» совместно с Научно-исследовательским институтом экспериментальной механики НИУ МГСУ была разработана технология монтажа НФС с учетом устранения факторов, приводящих к снижению прочности и сейсмостойкости НФС с облицовкой кирпичной кладкой. Процесс монтажа включал в себя следующие этапы.

Согласно проектному решению на стенде были смонтированы НФС с алюминиевым и стальным каркасами. При этом для каждого вида каркаса использовали две схемы:

- стандартный крепежный блок, соответствующий поэтажной схеме крепления кронштейнов к стеновому основанию с шагом 600×600(Н) мм;

- универсальный крепежный блок (тип HIGH) для межэтажной схемы крепления кронштейнов к стеновому основанию с шагом 600×3000(Н) мм.

После установки кронштейнов осуществляли монтаж вертикальных направляющих, которые соединяли с кронштейнами с помощью заклепок марки «BRALO» из коррозионностойкой стали. К вертикальным направляющим крепили горизонтальные профили (уголки) из алюминиевых сплавов и коррозионностойкой стали в зависимости от размеров лицевого кирпича. При этом нижний горизонтальный уголок с помощью заклепок крепился к вертикальным направляющим, далее на уголок укладывали арматурную сетку из нержавеющей стали с ячейкой 25×25 мм с диаметром стержней 2 мм. По сетке укладывали растворную смесь и выполняли кладку облицовочного кирпичного слоя.

Через каждые два ряда кладки по высоте облицовочного слоя устанавливали арматурную сетку, которую с помощью спе-



Рис. 7. Общий вид гидроцилиндров (момент испытаний)

циальных фиксаторов крепили к вертикальным направляющим (рис. 9). Через каждые восемь рядов кладки укладывали однокомпонентный силиконовый герметик, на который устанавливали горизонтальный уголок и прикрепляли его с помощью заклепок к направляющим. Далее процесс возведения облицовочного кирпичного слоя повторяли в указанной последовательности.

Для исключения сдвига кладки по неперевязанному шву при действии динамической горизонтальной нагрузки по вертикальным торцам кладки лицевого слоя НФС устанавливали вертикальный уголок из коррозионно-стойкой стали (см. рис. 9).

Таким образом, на металлическом стенде было смонтировано и испытано четыре фрагмента НФС «U-коп»: 1-й и 3-й фрагменты НФС с использованием универсального крепежного блока с облицовочным кирпичом соответственно марки «Донские зори» и «TERCA», 2-й и 4-й фрагменты — стандартный крепежный блок с указанными марками кирпича.

Программа и результаты динамических испытаний

Эквивалентное сейсмическое воздействие моделировали горизонтальными синусоидальными колебаниями платформы с установленным фрагментом фасадной системы, которые возбуждались перемещением с заданной

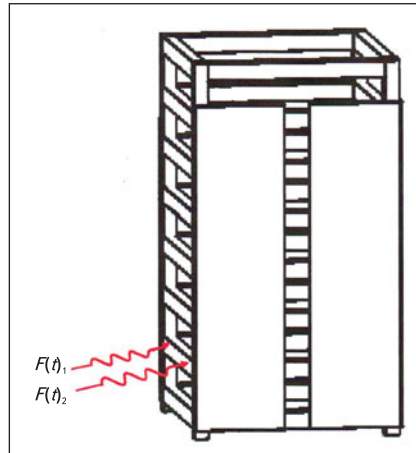


Рис. 8. Схема испытания НФС на динамические нагрузки

частотой и амплитудой штоков гидроцилиндров, жестко закрепленных к конструкции стенда. Управление гидроцилиндром осуществляли при помощи цифрового контроллера MTS Flex Test с возможностью контроля и изменения параметров работы в процессе проведения испытаний. Уровень динамического воздействия задавался в соответствии с программой испытаний и включал в себя следующие этапы с величинами ускорений: $a_1 = 0,5$ м/с²; $a_2 = 1,0$ м/с²; $a_3 = 2,0$ м/с²; $a_4 = 4,0$ м/с²; при частоте 5 Гц (близкой к собственной частоте стенда с НФС) ускорение изменялось в интервале 0–2 м/с².

Виброускорения с помощью программного комплекса пересчитывали в виброперемещения и полученную величину задавали гидроцилиндрам в качестве входного воздействия (сигнала). Контроль виброускорения осуществляли с использованием датчиков перемещений, являющихся контрольными элементами гидроцилиндров. В соответствии с требованиями ГОСТ 30630.0.0 и ГОСТ 30630.1.2 частоту внешнего гармонического воздействия задавали в диапазоне 1–30 Гц. Испытания проводили в режиме увеличения частоты внешнего воздействия ступенями по 1 Гц, при этом

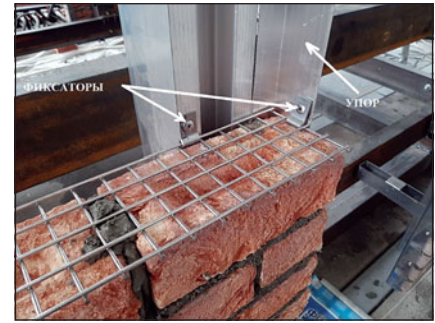


Рис. 9. Конструкция кирпичной облицовки к элементам НФС

на каждой частоте обрабатывалось не менее чем по 200 циклов колебаний. На элементах стенда и НФС устанавливали акселерометры для определения ускорений в ортогональных направлениях. Акселерометры размещали на элементах стенда и облицовки на высоте 800 и 3400 мм. Акселерометры крепили к элементам конструкции НФС в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 5348 с помощью жестких уголковых упоров и на специальный воск. При этом соединительные провода (во избежание трибоэлектрического эффекта) присоединяли к стенду клеевой лентой с шагом 500–800 мм. На кронштейны фрагментов НФС размещали тензорезисторы для определения возникающих в элементах деформаций. Нижний ряд тензорезисторов устанавливался на нижние кронштейны, а верхний — на верхние.

Графики изменения амплитуды ускорений элементов НФС при частоте 5 Гц показаны на рис. 10а, б. Как видно из графиков, при входном (заданном программным комплексом для гидроцилиндров) виброускорении 2 м/с² ускорения гибких кронштейнов в уровне низа и верха стенда изменялись от 3 до 30 м/с² в продольном и от 5 до 15 м/с² в поперечном направлениях относительно оси гидроцилиндров. На рис. 11 приведены максимальные величины деформаций в металле кронштейнов в уровне низа НФС, определенные

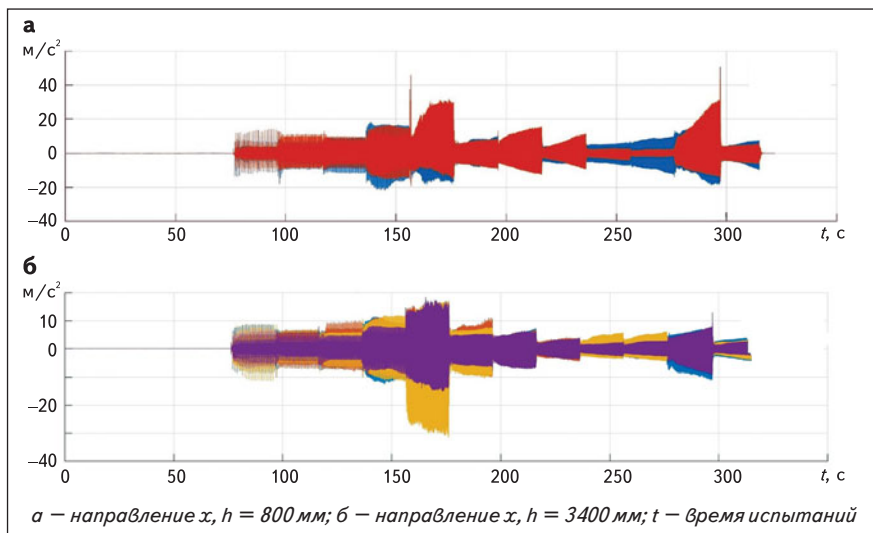


Рис. 10. Акселерограммы ускорений в нижнем (а) и верхнем (б) уровнях стенда

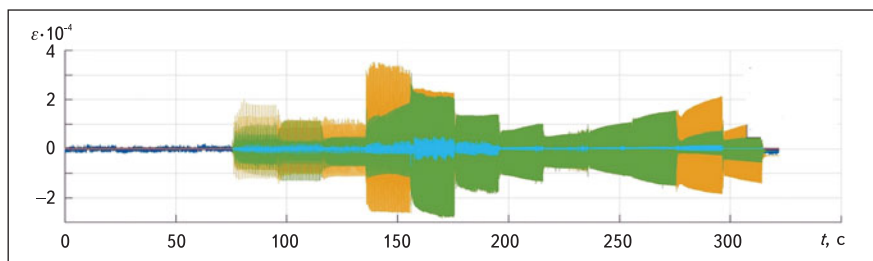


Рис. 11. Диаграммы деформаций ε металла несущих элементов НФС (направление x , $h = 800$ мм)

с помощью тензодатчиков в процессе изменения ускорения от 0,5 до 2 м/с² при частоте 5 Гц. В отдельных кронштейнах напряжения в металле достигали предельных значений. На рис. 12 показана гистерезисная кривая, построенная в момент достижения резонанса в системе. Как видно из графика, система в момент резонанса сохранила свои прочностные и деформативные характеристики (график имеет четкий контур, совпадающий при различных циклах нагружения). Тре-

щин и повреждений в кладке в момент резонанса не установлено. Максимальные горизонтальные усилия на стенд от гидроцилиндров достигали величины $N = 30$ кН, что соответствует распределенной нагрузке на стенд и соответственно на облицовку НФС $q \approx 2,4$ кПа.

Выводы

1. Испытания НФС «U-коп» типа АТС-450, запроектированной с учетом нормативных требований к кирпичной кладке зданий, воз-

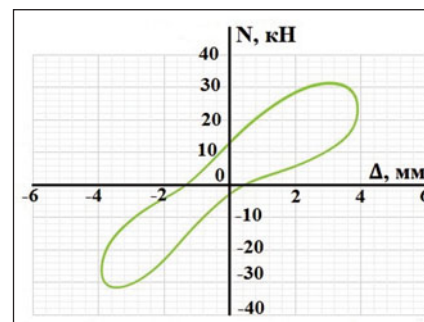


Рис. 12. Гистерезисная кривая изменения перемещений системы от уровня прикладываемой динамической нагрузки

водимых в сейсмоопасных регионах, в части обеспечения ее монолитности и жесткости соединения с несущим стеновым основанием, позволяют рекомендовать ее для применения в сейсмических регионах РФ в качестве облицовочного материала.

2. Исследования навесной фасадной системы «U-коп», несущие подконструкции которой выполнены из алюминиевых и коррозионностойких сталей с учетом комбинирования облицовочных типов каменных материалов и расположения под облицовочных конструкций (при шаге кронштейнов 600 и 3000 мм по высоте сооружения), показали высокую универсальность в части обеспечения ее сейсмостойкости.

3. После проведения испытаний специалистами ООО «Юкон-Инжиниринг» был разработан Альбом типовых технических решений системы НФС «U-коп» (тип АТС-450) для применения в сейсмоопасных регионах Российской Федерации [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Рынок навесных фасадных систем в России, 2019–2020 гг. Маркетинговое исследование. М.: Фасадная Академия, 2019, 78 с.
2. Спиридонов А. В., Шубин И. Л., Геращенко Р. В. Классификация фасадов нового поколения // Материалы 6-й Фасадного конгресса «Фасады России». М., 2019. С. 6–9.
3. Курзанов А. М., Грановский А. В., Доттуев З. И. Экспериментальные исследования сейсмостойкости вентилируемых фасадных систем // Технологии строительства. 2009. № 1. С. 48–50.
4. Туснина В. М., Грановский А. В., Емельянов А. А. Пути повышения сейсмостойкости вентилируемых фасадных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 11. С. 24–26.

5. Акбиев Р. Т., Чубаков М. Ж., Морозова Т. В. Комплексная оценка и сравнительный анализ динамической устойчивости и конструктивной безопасности навесных фасадных систем // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2012. № 1 С. 62–69.
6. Акбиев Р. Т., Чубаков М. Ж. Методология проведения комплексной оценки динамической устойчивости и сейсмобезопасности навесных фасадных систем // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С. 60–67.
7. Сейсмостойкое строительство зданий / под ред. И. Л. Корчинского. М. : Высшая школа, 1971. 320 с.
8. Проектирование сейсмостойких зданий / под ред. С. В. Полякова. М. : Стройиздат, 1971. 256 с.
9. Гагарин В. Г., Гувернюк С. В. Проблемы определения динамических нагрузок на облицовочный слой навесных фасадных систем при ветровых порывах // Строительные материалы. 2018. № 6. С. 8–12.
10. Грановский А. В., Киселев Д. А. Рекомендации по назначению методики испытаний анкеров на вырыв и определению расчетной нагрузки вырыва // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 3. С. 35–37.
11. Альбом типовых технических решений. Конструкции навесной фасадной системы с воздушным зазором «U-кон» типа АТС-450 для облицовки фасадов зданий и сооружений кирпичной кладкой для массового применения в строительстве. М. : ООО «Юкон-Инжиниринг», 2019.

R E F E R E N C E S

1. Rynok navesnykh fasadnykh sistem v Rossii, 2019–2020 gg. Marketingovoe issledovanie [Market of hinged facade systems in Russia, 2019-2020 Marketing research]. Moscow, Fasadnaya Akademiya Publ., 2019. 78 p. (In Russian).
2. Spiridonov A. V., Shubin I. L., Gerashchenko R. V. Classification of the facades of the new generation. *Materialy 6-y Fasadnogo kongressa "Fasady Rossii"* [Materials of the 6th Facade congress "Facades of Russia"]. Moscow, 2019, pp. 6–9. (In Russian).
3. Kurzanov A. M., Granovskiy A. V., Dottuev Z. I. Experimental studies of seismic resistance of ventilating facade systems. *Tekhnologii stroitel'stva*, 2009, no. 1, pp. 48–50. (In Russian).
4. Tushina V. M., Granovskiy A. V., Emelyanov A. A. Ways of improving the seismic stability of ventilated facade systems. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 11, pp. 24–26. (In Russian).
5. Akbiev R. T., Chubakov M. Zh., Morozova T. V. Integrated evaluation and comparative analysis of dynamic stability and structural safety of attached facade systems. *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2012, no. 1, pp. 62–69. (In Russian).
6. Akbiev R. T., Chubakov M. Zh. Methodology for conducting a comprehensive assessment of dynamic stability and seismic safety of hinged facade systems. *Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2011, no. 2, pp. 60–67. (In Russian).
7. *Seysmoustoykoe stroitel'stvo zdaniy* [Earthquake-resistant building construction]. Pod. red. I. L. Korchinskogo. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 320 p. (In Russian).
8. *Proektirovanie seysmoustoykikh zdaniy* [Design of earthquake-resistant buildings]. Pod. red. S. V. Polyakova. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971. 256 p. (In Russian).
9. Gagarin V. G., Guvernyuk S. V. Problems of dynamic load determination on a facing layer of hinged facade systems in wind runs. *Stroitel'nye materialy*, 2018, no. 6, pp. 8–12. (In Russian).
10. Granovskiy A. V., Kiselev D. A. Recommendations for assignment of methods of pull-out tests for anchors and determination of calculated load of pull-out. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012, no. 3, pp. 35–37. (In Russian).
11. *Albom tipovykh tekhnicheskikh resheniy. Konstruktsii navesnoy fasadnoy sistemy s vozdushnym zazorom «U-кон»- tipa ATS-450 dlya oblitovki fasadov zdaniy i sooruzheniy kirpichnoy kladkoj dlya massovogo primeneniya v stroitel'stve* [The album of standard technical solutions. Construction of a hinged facade system with an air gap "U-con" – type ATS-450 for facing the facades of buildings and structures with brickwork for mass use in construction]. Moscow, Yukon Inzhiniring Publ., 2019. (In Russian).

Для цитирования: Грановский А. В., Добрин К. Е., Тангамян Г. С. Навесные кирпичные фасадные системы для сейсмических регионов России // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 33–39. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.33-39.

For citation: Granovsky A. V., Dobrin K. E., Tangamyann G. S. Hinged Brick Facade Systems for Seismic Regions of Russia. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 1, pp. 33–39. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.33-39. ■

ЖУРНАЛ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК, В БАЗЫ ДАННЫХ ELIBRARY.RU,

RSCI НА ПЛАТФОРМЕ WEB OF SCIENCE И ДР.