

УДК 692.232.2

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-30-42](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-30-42)

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ

М.О. ПАВЛОВА✉, канд. техн. наук

В.А. ЗАХАРОВ

С.В. КУШНИР

М.Н. ПАВЛЕНКО

*Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация*

Приведены результаты лабораторных испытаний экспериментальных образцов на механическую безопасность, направленных на получение данных о характере работы фасадных защитно-декоративных конструкций из кирпича на металлических подконструкциях. Конструкции образцов – нетиповые, с различным расположением кирпича в лицевом слое, с наличием уступов, равномерно распределенных по полю образца. По результатам испытаний установлен характер работы конструкции под нагрузкой, абсолютные значения перемещений облицовочного слоя, величины прочности сцепления кирпича и раствора. В процессе испытаний зафиксированы перемещения защитно-декоративной конструкции в направлении прикладываемой нагрузки и величины усилий, соответствующие пределу прочности.

Основной проблемой, затрагиваемой в статье, является отсутствие в нормативно-технической документации Российской Федерации правил проектирования и испытаний навесных фасадных систем из кирпича на металлических подконструкциях.

Ключевые слова: методы испытаний, кирпич, кладка, система крепления, фасадные конструкции, защитно-декоративные конструкции

Для цитирования: Павлова М.О., Захаров В.А., Кушнир С.В., Павленко М.Н. Вопросы обеспечения эксплуатационной надежности навесных фасадных конструкций с переменной толщиной облицовочного слоя // Вестник НИЦ «Строительство». 2021. Т. 31. № 4. С. 30–42. doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-30-42](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-30-42)

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

OPERATIONAL RELIABILITY OF SUSPENDED FACADE STRUCTURES WITH VARIABLE THICKNESS OF THE CLADDING LAYER

M.O. PAVLOVA, ✉ Cand. Sci. (Engineering)

V.A. ZAKHAROV

S.V. KUSHNIR

M.N. PAVLENKO

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

The article presents the results of laboratory tests of experimental samples for mechanical safety, aimed at obtaining data pertaining to the performance of protective and decorative brick facade structures on metal substructures. The designs of the samples are atypical, with a different arrangement of bricks in the face layer and with ledges evenly distributed over the surface of the sample. Based on the test results, structure behavior under load, the absolute values of the displacement of the cladding layer, and the values of the bond strength between bricks and mortar were established. During the tests, the displacement of the protective and decorative structure in the direction of the applied load and the values of the forces, corresponding to the strength limit, were recorded.

The article addresses the issue of the lack of rules for the design and testing of suspended facade systems made of bricks on metal substructures in the regulatory and technical documentation of the Russian Federation.

Keywords: test methods, brick, brickwork, fastening system, facade structures, protective and decorative structures

For citation: Pavlova M.O., Zakharov V.A., Kushnir S.V., Pavlenko M.N. Operational reliability of suspended facade structures with variable thickness of the cladding layer. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021. Vol. 31. No. 4. P. 30–42 [In Russ.]. doi: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-30-42](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-30-42)

Author contribution statements

All authors have contributed equally to the work.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Современные здания жилой застройки и административных комплексов отличаются архитектурной выразительностью, достигаемой индивидуальным подходом к проектированию несущих и ограждающих конструкций инженерами, конструкторами и архитекторами.

Декоративная отделка фасадов зданий является основополагающей при визуальном восприятии фасадов зданий жилой квартальной застройки.

К современным тенденциям относится устройство фасадных конструкций с применением навесных фасадных систем (систем крепления) с облицовкой из кирпича, камня и штучных керамических изделий различных габаритов, выполненных в сочетании различных цветовых решений, форм и вариантах исполнения. Функции защиты и декора типовой отделки зданий объединены в единую конструкцию, выход из работоспособного состояния, т. е. отказ которой может привести к значительным негативным социально-экономическим последствиям.

Модным трендом в настоящее время является внедрение в практику строительства различных типов раскладок кирпича в конструкции облицовочного слоя.

К основным типам необходимо отнести (рис. 1):

- поверхности в виде «пикселей» (3D-эффект визуализации);
- устройство ступеней и выпуклостей фрагментов облицовки, создающих зрительный объем;
- расположение штучных элементов таким образом, что создается эффект «скалы» на облицовываемой поверхности;
- кладка с «перфорациями» (с пустотами) в виде шахматной доски;
- поверхность облицовки в виде волны и т.п.

Специалистами лаборатории надежности фасадов и теплоизоляционных фасадных систем ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (далее – ЛНФ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко) в 2020–2021 гг. проведен комплекс испытаний, направленных на исследование совместной работы кирпичной облицовки и металлических несущих подконструкций навесных фасадных систем. Работы по исследованной тематике начаты в 2009 г. Первые экспериментальные (лабораторные) исследования проведены в 2015 г.

Благодаря слаженной работе коллектива специалистов лаборатории, технического заказчика и подрядчика в лабораторном корпусе института смонтирован и запущен стенд



Рис. 1. Общий вид фасада здания с раскладкой кирпича в виде «пикселей» и выпуклостей фрагментов, создающих объем, 3D-визуализация (из открытых источников всемирной сети Интернет)

Fig. 1. General view of the facade of a building with the brick layout in the shape of “pixels” and protuberances that create a volume and 3D-visualization (Photo: open internet sources)

для испытаний крупноформатных образцов фасадных конструкций (рис. 2).

Стенд запроектирован сотрудниками ЛНФ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Разработка выполнена с учетом перспективы развития рынка, современных тенденций к методам испытаний крупногабаритных фасадных, ограждающих и светопрозрачных конструкций.

Конструкция стоек и ригелей позволяет обеспечивать подачу нагрузки в трех плоскостях, применять поворотные платформы, производить монтаж экспериментальных образцов высотой «на этаж» до 4,5 м, имеет необходимый конструктивный запас для модернизации. Стенд позволяет визуализировать деформации при испытаниях фасадных конструкций.

Необходимость проведения механических испытаний в лабораторных условиях обусловлена отсутствием в настоящее время правил проектирования конструкций облицовки из штучных кладочных элементов [1–6, 8], принятых в проекте устройства наружных стен на жилом комплексе в Москве.

Отличительной особенностью испытаний является возможность установки в лабораторных условиях дополнительных элементов, оснастки и измерительных приборов. Указанное актуально при современном многообразии и вариативности фасадных конструкций, применяемых на объекте, который запроектирован в составе восьми корпусов различной этажности (от 16 до 100 м), и сложном сочетании секций зданий различной конфигурации в плане.

Проектом предусмотрено использование двадцати двух типов облицовки из кирпича при устройстве наружных защитно-декоративных конструкций и более пятидесяти вариаций архитектурного расположения штучных элементов на фасадах, в конструкциях наружных стен жилого комплекса.

При постановке задачи для экспериментальных исследований специалистами лаборатории была выполнена унификация и типизация основных конструкций устройства облицовки из кирпича. Отобраны основные типы конструкций, с различным расположением кирпича в конструкциях, требующие проведения лабораторных испытаний.

Отобранные восемь типов фрагментов с различным расположением кирпича на фасадах, переменной толщиной и разным типом кирпича были изготовлены в лабораторных условиях:

- тип 1-й – ложковый, с раскладкой кирпича на постель и цепной перевязкой вертикальных растворяющих швов, с уступами и без уступов (рис. 3, а, б);



Рис. 2. Стенд ИС-4 по испытанию крупноформатных образцов фасадных конструкций со смонтированными образцами различных защитно-декоративных конструкций из кирпича

Fig. 2. Stand IS-4 for testing large facade elements with mounted samples of various protective and decorative structures made of brick

- тип 2-й – тычковый, с раскладкой кирпича на ложок, без перевязки вертикальных кладочных швов, с уступами и без уступов (рис. 3, в, з);
- тип 3-й – тычковый, с раскладкой кирпича на постель, без перевязки вертикальных кладочных швов, с уступами и без уступов (рис. 3, д, е);
- тип 4-й – ложковый, с раскладкой кирпича на тычок, без перевязки вертикальных кладочных швов, без уступов (рис. 3, ж);
- тип 5-й – ложковый, с раскладкой кирпича на постель и цепной перевязкой вертикальных кладочных швов («перфорированная») (рис. 3, з).

Толщина лицевого слоя в зависимости от типа раскладки находилась в пределах от 70 до 250 мм. Вид кирпича – клинкерный, пустотелый и полнотелый. Марка раствора по прочности на сжатие устанавливалась по результатам испытаний растворных кубов и соответствовала М150, марка кирпича – М400.

Работы выполнялись поэтапно, монтаж образцов высотой 3,3 м осуществлялся по проекту разработчика при контроле заказчика в лабораторном корпусе института. В процессе монтажа образцов решены вопросы, связанные с технологией ведения кладки, установлена предельная высота ярусов, обеспечивающая максимально эффективное ведение работ. Даны рекомендации по доработке технологической карты.

Широкая номенклатура кирпича, раствора, раскладок и металлических подконструкций, а также выявленные проблемы технологии свидетельствуют о необходимости разработки дополнительных требований при подборе и разработке проектов экспериментальных образцов, ведении кладочных работ на объекте.

При выборе типов защитно-декоративных конструкций для проведения испытаний учитывалась возможность обоснования безопасности конструкции согласно требованиям действующих стандартов, сводов правил и № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Однако в действующей нормативной документации отсутствуют указанные требования соответствия проектных значений и характеристик здания требованиям безопасности. Согласно главе 3, статье 15 п. 6 № 384-ФЗ «...проектируемые мероприятия по обеспечению его безопасности должны быть обоснованы одним или несколькими способами из следующих способов:

- 1) результаты исследований;
- 2) расчеты и (или) испытания, выполненные по сертифицированным или апробированным иным способом методикам...»

Программой лабораторных испытаний предусматривалось исследование работы конструкции экспериментального образца при изгибе из плоскости стены, т. е. из плоскости облицовочного слоя. Примеры схем экспериментальных образцов приведены на рис. 4.

Целью проведения испытаний являлся анализ совместной работы конструкции навесной фасадной системы с облицовочным слоем с определением:

- особенности работы конструкции под нагрузкой, характера разрушения образцов;
- нагрузки, соответствующей появлению трещин в кладке защитно-декоративной конструкции;
- нагрузки, соответствующей потере целостности металлической конструкции или узлов;
- характера влияния металлической несущей подконструкции системы крепления, т. е. эффективной области применения;

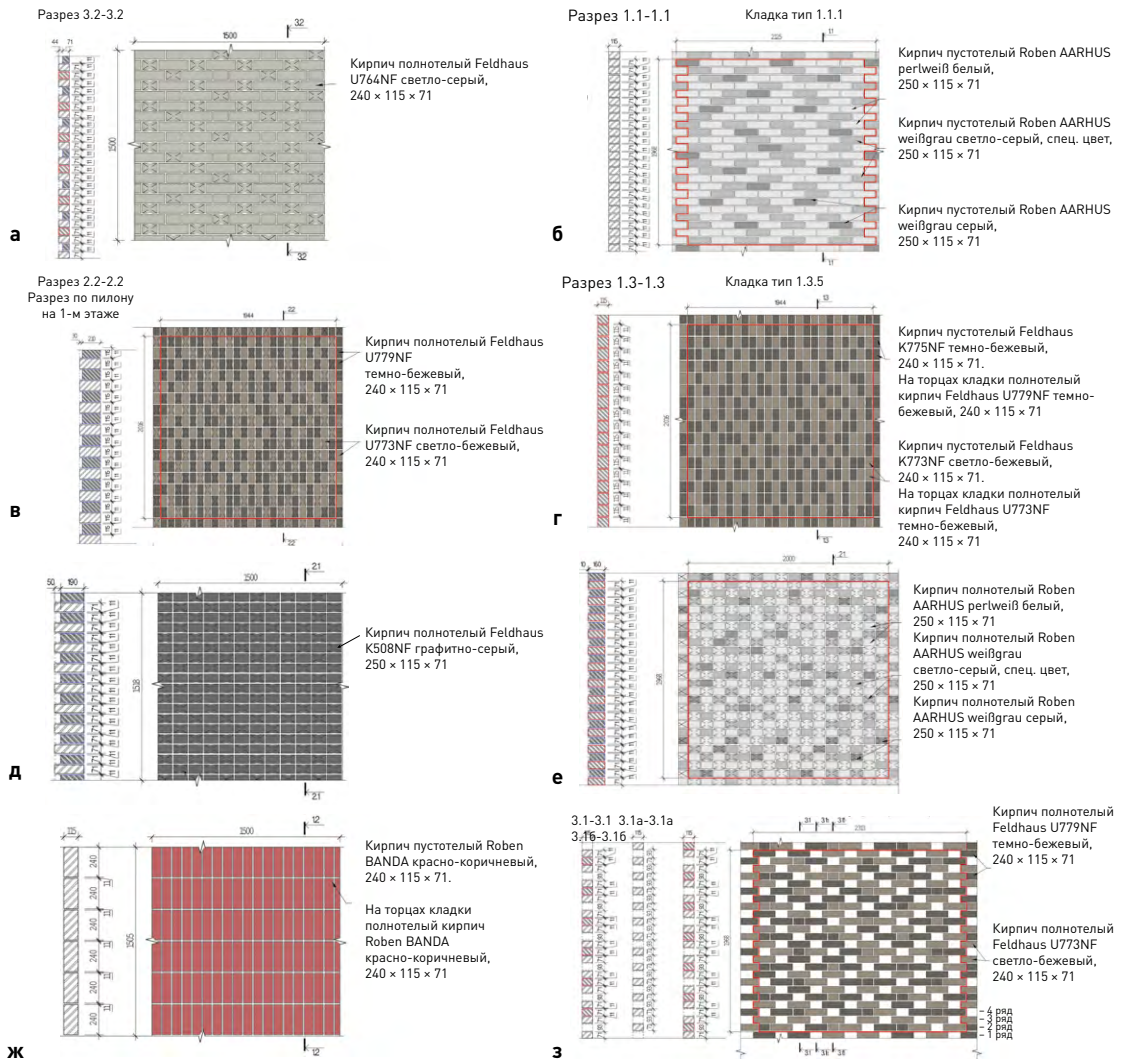


Рис. 3. Основные типы фасадных защитно-декоративных конструкций: а) тип 1-й – ложковая, раскладкой кирпича на постель с цепной перевязкой вертикальных растворных швов, с уступами; б) тип 1-й – ложковая, раскладкой кирпича на постель с цепной перевязкой вертикальных растворных швов, без уступов; в) тип 2-й – тычковая, раскладкой кирпича на ложок без перевязки вертикальных кладочных швов, с уступами; г) тип 2-й – тычковая, раскладкой кирпича на ложок без перевязки вертикальных кладочных швов, без уступов; д) тип 3-й – тычковая, раскладкой кирпича на постель без перевязки вертикальных кладочных швов, с уступами; е) тип 3-й – тычковая, раскладкой кирпича на постель без перевязки вертикальных кладочных швов, без уступов; ж) тип 4-й – ложковая, раскладкой кирпича на тычок без перевязки вертикальных кладочных швов, без уступов; з) тип 5-й – ложковая, раскладкой кирпича на постель с цепной перевязкой вертикальных кладочных швов («перфорированная»)

Fig. 3. The main types of facade protective and decorative structures:

- а) Type 1 – stretcher bond, bricks laid on the bed with the chain bonding of vertical mortar joints, with ledges;
- б) Type 1 – stretcher bond, bricks laid on the bed with the chain bonding of vertical mortar joints, without ledges;
- в) Type 2 – header bond, bricks laid on a row of stretchers without bonding of vertical mortar joints, with ledges;
- г) Type 2 – header bond, bricks laid on a row of stretchers without bonding of vertical mortar joints, without ledges;
- д) Type 3 – header bond, bricks laid on the bed without bonding of vertical mortar joints, with ledges;
- е) Type 3 – header bond, bricks laid on the bed without bonding of vertical mortar joints, without ledges;
- ж) Type 4 – stretcher bond, bricks laid on a row of headers without bonding of vertical mortar joints, without ledges;
- з) Type 5 – stretcher bond, bricks laid on the bed with the chain bonding of vertical mortar joints ("perforated")

- влияния схемы расположения растворных швов при раскладке кладочных элементов облицовочного слоя;
- влияния толщины защитно-декоративной конструкции и величины опорной зоны.

Общий вид экспериментального образца перед испытаниями приведен на рис. 5. Особенности экспериментального образца: высота – двадцать шесть рядов кладки, т. е. 3,3 м, ширина – 1,3 м, толщина конструкции лицевого слоя – переменная (от 70 до 240 мм).

Испытания проводились по специально разработанной в ЛНФ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко методике [7], которая апробирована, успешно себя зарекомендовала при проведении исследований на образцах меньшей высоты (до 2 м).

По результатам испытаний определен коэффициент эффективности применения опорной металлической подконструкции фасадной системы при различной толщине облицовочного слоя и переменной величине опорной зоны.

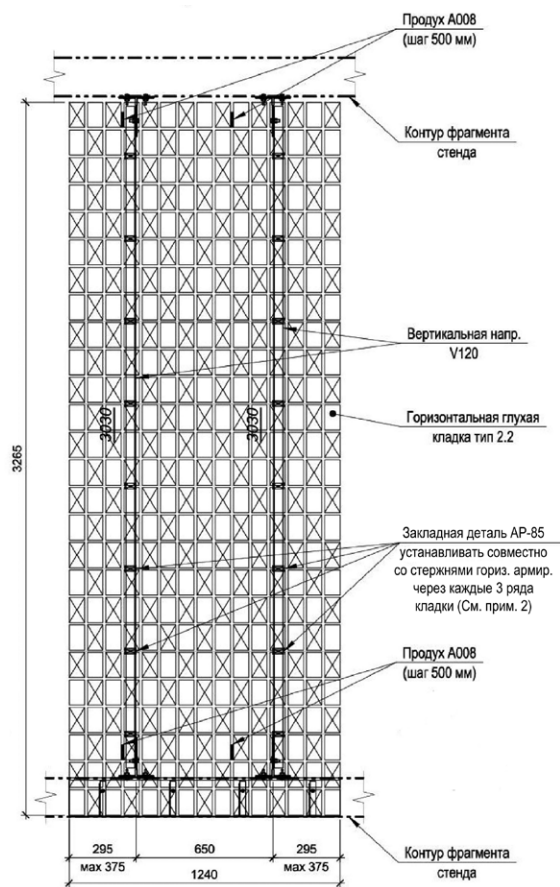


Рис. 4. Монтажная схема экспериментального образца (вид «на фасад»)

Fig. 4. Assembly drawing of an experimental sample (view of the “facade”)



Рис. 5. Общий вид экспериментального образца, смонтированного в лабораторном корпусе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко перед испытаниями

Fig. 5. General view of an experimental sample mounted in a laboratory of the Kucherenko Central Research Institute before running the tests



Рис. 7. Общий вид экспериментального образца на металлических подконструкциях после проведения испытаний

Fig. 7. General view of the experimental sample on metal substructures after the tests

На первом начальном этапе испытаний после предварительного нагружения образца до величины 0,5 % от предполагаемой разрушающей нагрузки для исключения погрешности при снятии показаний на приборах выполнялась корректировка расстановки приборов.

На втором этапе нагружение испытуемой конструкции осуществлялось пошагово до нагрузки N_{max} , при достижении которой фиксировалась потеря несущей способности конструкции.

Шаг нагружения составлял 2–5 % от предполагаемой максимальной нагрузки. В процессе испытаний контроль целостности металлической подконструкции выполнялся визуально. На рис. 7 приведен общий вид экспериментального образца на металлических подконструкциях после проведения испытаний.

За разрушающую нагрузку N_{max} принята величина усилия на шток прибора, при котором выполняется одно из условий: раскрытие шва кладки – N_{cr} ; разрушение связи, соединения связи в замке направляющей, узла заделки в растворном шве – N_s .

Разрушения образцов сопровождалось ростом деформаций – падением давления в гидравлической системе, контролируемым по показаниям манометра, и скачком перемещений на индикаторах (рис. 8).

На рис. 9 приведены графики, построенные по теоретическим расчетам (кривая 1) и по результатам испытаний (кривая 2) оценки эффективности применения металлического каркаса исследуемой системы крепления при толщине облицовочного слоя от 50 до 250 мм.

Установлено, что коэффициент эффективности (k_s) снижается при увеличении толщины защитно-декоративной конструкции (кладки). Для исследуемой конструкции k_s находится в интервале от 2,4 до 1. Изменение коэффициента обусловлено конструктивными особенностями систем крепления и величиной опорной зоны облицовочного слоя. Эффект применения металлической опорной конструкции наблюдается при расположении центра тяжести лицевого слоя в пределах опорной зоны, что для исследуемой конструкции составляет 180 мм.

При увеличении толщины облицовочного слоя эффективность применения металлической конструкции в составе фасадной системы снижается и, как следствие, металлический каркас не участвует в работе фасадной конструкции. Полученная зависимость основана на результатах испытаний, получена впервые и будет доработана после завершения эксперимента.

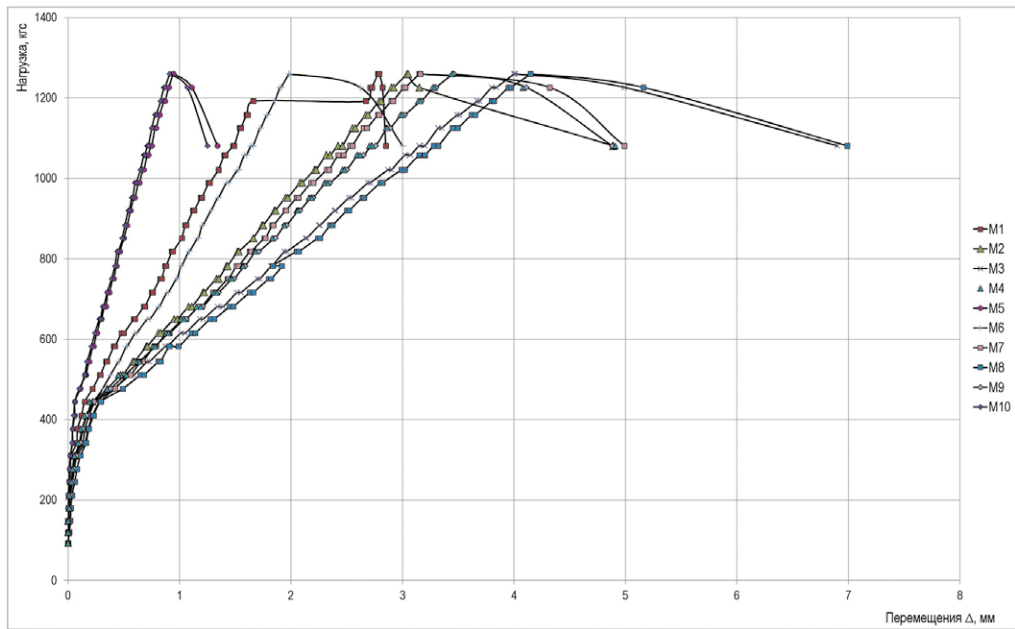


Рис. 8. График зависимости перемещений от прикладываемой нагрузки (вид сбоку) – индикаторы M1–M10
Fig. 8. Dependence of displacements on the applied load (side view) – indicators M1–M10

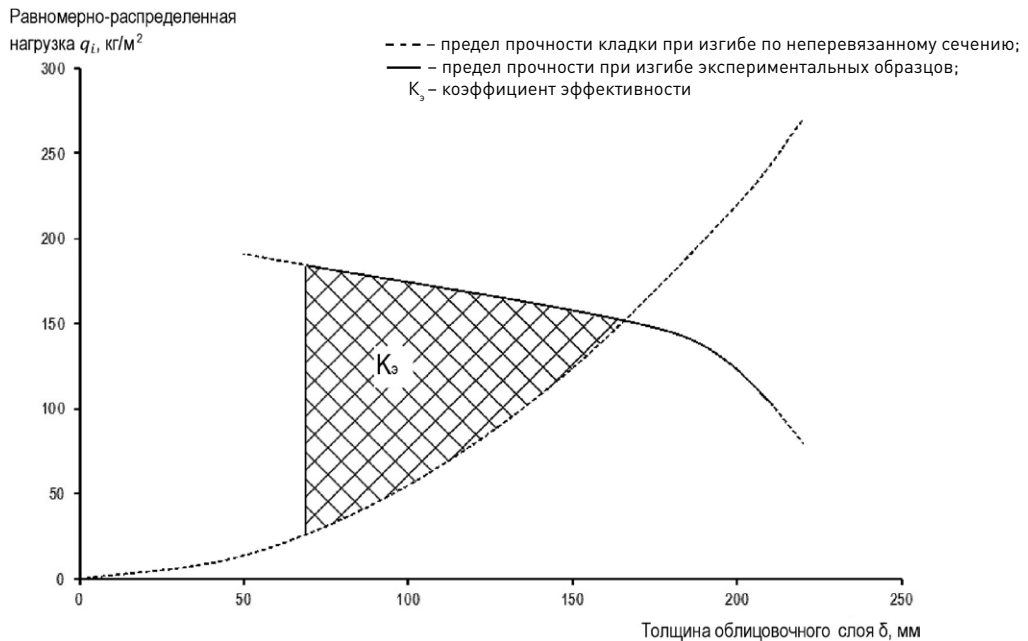


Рис. 9. Форма графика зависимости несущей способности экспериментальных образцов при изгибе в зависимости от толщины лицевого слоя
Fig. 9. Dependence of bearing capacity of experimental samples in bending on the thickness of the face layer

В настоящее время в лаборатории продолжается комплекс исследований, в рамках НИОКР проводится работа по исследованию серии образцов с оценкой влияния прочности раствора на несущую способность конструкций облицовки.

Необходимо отметить, что испытания крупноформатных экспериментальных образцов фасадных конструкций являются наиболее эффективным методом оценки работы конструкций под нагрузкой.

Заключение

1. Проведенные в рамках научно-технического сопровождения испытания позволили определить эффективную область применения проектной системы крепления на натуральных образцах и подтвердить возможность применения различных типов раскладок защитно-декоративной конструкции на объекте строительства. Исследования позволили оценить характер работы, определить предел прочности конструкции, соответствующие им перемещения при изгибе из плоскости. Результаты исследований подтверждают необходимость ограничения прогибов вертикальных направляющих.

2. В связи с отсутствием нормативной базы на новые типы защитно-декоративных конструкций из штучных кладочных изделий на металлическом каркасе, широким разнообразием систем креплений, внедрение в практику строительства должно базироваться на результатах исследований крупноформатных экспериментальных образцов в лабораторных условиях и результатах расчетов до получения достаточного опыта и данных для включения в нормативно-техническую документацию.

3. Механические испытания новых типов фасадных конструкций должны проводиться в обязательном порядке с целью обоснования проектных технических решений и быть направлены на оценку характера работы конструкций под нагрузкой для последующего анализа накопленного опыта, разработки методов расчета, конструктивных требований.

4. Проведенные исследования подтвердили эффективность применения систем крепления при устройстве тонких защитно-декоративных конструкций из кирпича, позволяющих реализовывать архитектурные замыслы разработчиков проектов, в том числе сложных архитектурных форм.

5. Применение различных типов раскладки кирпича в составе навесных фасадных систем позволит расширить область применения кирпича, штучных кладочных изделий российских и зарубежных производителей на отечественном строительном рынке.

6. В настоящее время в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко проводятся комплексные исследования прочности сцепления кирпича и раствора, различных видов защитно-декоративных конструкций с учетом величин опорных зон, типа закрепления, ширины кирпича и типа раскладки (различного положения кирпича в «теле» конструкции).

7. Исследования позволяют установить необходимые зависимости для последующей разработки предложений в развитие действующей нормативно-технической документации.

Список литературы

1. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний: Межгосударственный стандарт: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 11.12.85 № 214: Дата введения 1986-07-01 / разработан и внесен Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций (ЦНИИСК им. Кучеренко) Госстроя СССР. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 19 с.
2. ГОСТ Р 57350-2016/EN 1052-2:1999. Кладка каменная. Метод определения предела прочности при изгибе: национальный стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2016 г. № 2020-ст: дата введения 2017-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 7 с.
3. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции: свод правил. Актуализированная редакция СНиП II-22-81* (с Изменениями № 1, 2, 3): утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635/5 и введен в действие с 01 января 2013 г. – Москва, 2012. – 86 с.
4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции: свод правил. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Поправкой, с Изменением № 1): утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г. – Москва, 2017. – 148 с.
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия: свод правил: Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2): утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 891/пр и введен в действие с 4 июня 2017 г. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 95 с.
6. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции: свод правил. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с Изменениями № 1, 3): утвержден приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой) от 25 декабря 2012 г. № 109/ГС и введен в действие с 1 июля 2013 г. – Москва, 2013. – 205 с.
7. Методические рекомендации по проведению испытаний крупноформатных фрагментов защитно-декоративных конструкций из кирпича и штучных облицовочных изделий на металлических подконструкциях, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – Москва, 2020.
8. СТО 44416204-012-2013. Элементы облицовочные навесных фасадных систем с воздушным зазором и детали их крепления. Метод определения несущей способности по результатам лабораторных испытаний / ФАУ «ФЦС», ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова. – Москва, 2013. – 30 с.

Информация об авторах / Information about the authors

Марина Олеговна Павлова*, канд. техн. наук, заведующий лабораторией надежности фасадов и теплоизоляционных фасадных систем ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: pavlova@tsniisk.ru

Marina O. Pavlova,* Cand. Sci. (Technical), Head of the Laboratory for Reliability of Facades and Thermal Insulation Facade Systems, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: pavlova@tsniisk.ru

Владимир Андреевич Захаров, заместитель заведующего лабораторией надежности фасадов и теплоизоляционных фасадных систем ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: zaharov@cstroy.ru

Vladimir A. Zakharov, Deputy head of the Laboratory for Reliability of Facades and Thermal Insulation Facade Systems, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: zaharov@cstroy.ru

Сергей Викторович Кушнир, заведующий сектором облицовочных изделий и материалов ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: kushnir@cstroy.ru

Sergei V. Kushnir, Head of the department of facing products and materials, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: kushnir@cstroy.ru

Максим Николаевич Павленко, заведующий сектором фасадных конструкций и креплений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: pavlenko@cstroy.ru

Maksim N. Pavlenko, Head of the department of facade structures and fastenings, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: pavlenko@cstroy.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author