

УДК 692.232.2

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-88-103](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-88-103)

EDN: PJJMKK

# К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ТОНКОСЛОЙНОЙ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М.О. ПАВЛОВА, канд. техн. наук

В.А. ЗАХАРОВ✉

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

## Аннотация

*Введение.* Оценка работы конструкции на основе экспериментальных исследований образцов фасадных конструкций в натуральную величину имеет существенные преимущества перед расчетными моделями и позволяет визуализировать деформированную схему в реальных условиях с учетом недостатков монтажа, фактических характеристик применяемых материалов.

*Целью* проведения испытания является определение прочностных характеристик конструкций для последующего применения при расчетно-теоретическом обосновании проектных технических решений.

*Материалы и методы.* В статье приведены результаты лабораторных испытаний облицовочных конструкций из кирпича высокой прочности, устанавливаемых на фасадах зданий в построечных условиях с применением металлических подконструкций. Исследования облицовочных конструкций в натуральную величину на испытательных стендах в лабораторных условиях с применением прямых разрушающих методов позволили определить пределы прочности экспериментальных образцов при устройстве ниш, подтвердить требования о необходимости учета при проектировании борозд в тонкослойной кладке.

*Результаты.* В процессе обработки полученных данных построены характерные графические зависимости, позволяющие оценить работу конструкции под нагрузкой, определить применительно к экспериментальным образцам характер разрушения, предельные перемещения, при которых происходит потеря прочности сцепления кирпича и раствора в швах кладки.

*Выводы.* Актуальность проведения натурных экспериментальных исследований обусловлена отсутствием нормативно-технической документации по проектированию рассмотренных в статье конструкций облицовки фасадов зданий, а также необходимостью в получении исходных данных для проведения оценки несущей способности комбинированных облицовочных конструкций расчетным способом. Результаты испытаний будут применены при разработке инженерных методов оценки несущей способности тонкослойной кладки при совместной работе с металлическими направляющими в составе комбинированных конструкций фасадов зданий.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, кирпич, кладка, система крепления, фасадные конструкции, облицовочный слой, методы испытаний, расчет фасадов

**Для цитирования:** Павлова М.О., Захаров В.А. К вопросу оценки прочности тонкослойной кирпичной кладки в составе комбинированных конструкций. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;35(4):88–103. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-88-103](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-88-103)

## Вклад авторов

Павлова М.О. – общее руководство, постановка задачи.

Захаров В.А. – разработка экспериментальных образцов, методики проведения испытаний, проведение эксперимента, анализ и обработка результатов исследований.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 01.11.2022*

*Поступила после рецензирования 18.11.2022*

*Принята к публикации 22.12.2022*

## **ASSESSMENT OF STRENGTH OF THIN-LAYER BRICKWORK AS PART OF COMPOSITE STRUCTURES**

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

V.A. ZAKHAROV✉

*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*

#### **Abstract**

*Introduction.* The evaluation of structure performance on the basis of experimental studies of full-size facade samples exhibits significant advantages over computational models, allowing the deformation scheme in real conditions to be visualized, while taking into account the installation failures of the actual materials.

*Aim.* In this work, the strength characteristics of structures for subsequent use in the calculation and theoretical substantiation of design technical solutions were determined.

*Materials and methods.* The article presents the results of laboratory tests under construction conditions of high-strength brick facing installed on the facades of buildings using metal substructures. Studying life-size facing structures in laboratory conditions using direct destructive methods allowed the strength limits to be determined when constructing niches, along with confirming the necessity to account for chases in thin-layer brickwork.

*Results.* By using characteristic dependencies plotted while processing the obtained data, the structure performance under load was determined, along with the nature of sample destruction and the maximum displacements, at which a loss of the adhesion strength between bricks and mortar in the brickwork joint occurs.

*Conclusion.* Conducting full-scale experimental studies is essential due to the lack of regulatory and technical documents for the design of facing structures for facades considered in the article, as well as the necessity to obtain initial data for calculating the load-bearing capacity of combined facing structures. The test results will be used for assessing the load-bearing capacity of thin-layer brickwork under combined action with metal guides as a part of composite facade structures.

**Keywords:** experimental studies, brick, brickwork, mount system, facade systems, facing layer, test methods, calculation of facades

**For citation:** Pavlova M.O., Zakharov V.A. Assessment of strength of thin-layer brickwork as part of composite structures. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;35(4):88–103. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-88-103](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-88-103)

#### **Author contribution statements**

Pavlova M.O. – overall supervision, problem statement.

Zakharov V.A. – development of experimental samples, test methods, experimental work, data analysis.

### Funding

No funding support was obtained for the research.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.11.2022

Revised 18.11.2022

Accepted 22.12.2022

Развитие рынка фасадов характеризуется многообразием применяемых облицовочных материалов и конструкций. Появляются новые предложения, способные удовлетворить самые амбициозные архитектурные запросы. Параллельно с разработкой новых конструкций



Рис. 1. Облицовка из кирпича, Москва, 2022 г.

Fig. 1. Brick facing, Moscow, 2022

происходит переосмысление и доработка уже широко применяемых конструкторами решений. Одним из примеров такого развития является эволюция облицовки из кирпичной кладки. Современные конструктивные решения позволяют эффективно скрывать элементы крепления, температурные швы и применять нестандартные типы раскладки кирпича (рис. 1) [1].

Однако внесение изменений, направленных на улучшение эстетических и эксплуатационных свойств, усложняет конструкции.

С применением различных «пиксельных» поверхностей на фасадах зданий могут быть визуализированы картины, объемные виды предметов, объектов, так называемая 3D-визуализация (рис. 2). Возведение конструкций осуществляется непосредственно на строительной площадке.

Облицовка из кирпича опирается на опорные элементы, устойчивость облицовочного слоя обеспечивается за счет применения различных типов связей, устанавливаемых в растворные швы лицевого слоя с одной стороны и закрепляемые к вертикальным металлическим направляющим с другой стороны.

Выполнение подобных конструкций требует применения специальной раскладки кирпича, изменения геометрии конструкции. Нормативная база по проектированию

подобных элементов облицовки отсутствует, что создает при строительстве основу для споров о прочности, о технических решениях и производстве работ.

Указанное свидетельствует о необходимости проведения испытаний и разработки требований, регламентирующих критерии оценки прочности и деформативности тонкослойной кладки и металлических направляющих в составе комбинированных фасадных конструкций, что впоследствии позволит разработать отдельный нормативный документ.

Для определения прочностных характеристик становятся вновь актуальны натурные испытания фрагментов конструкций облицовки. Результаты таких исследований позволяют определить не только прочность конструкции конкретного типа, но и подтвердить или опровергнуть предполагаемые характер работы и характеристики конструкций. Оборудование лаборатории надежности фасадов и теплоизоляционных фасадных систем (лаборатории № 25) ЦНИИСК

им. В.А. Кучеренко позволяет проводить испытания крупноформатных образцов высотой, соответствующей междуэтажному пролету. Методика проведения испытаний комбинированных конструкций и обработки результатов испытаний разработана с учетом положений [2]. Некоторые результаты испытаний крупноформатных экспериментальных образцов в натуральную величину приведены в публикациях [1, 3–5].

В 2020–2022 гг. на базе лаборатории проведены комплексные испытания крупноформатных образцов комбинированной фасадной конструкции с облицовочным слоем из кирпича. Их отличительной особенностью была оценка влияния различных видов раскладок кирпича на прочностные характеристики экспериментальных образцов при идентичных конструктивных решениях металлической подконструкции. Можно сказать, что при прочих равных условиях выполнялась оценка влияния прочности сцепления на предел прочности конструкции.

При изготовлении образцов применялся один тип кирпича, раскладка – сплошная «тычкового типа», растворная смесь одного производителя. В конструкции выполнено чередование величины выноса кладочного элемента, что создает рельефный «пиксельный» рисунок на фасаде (рис. 1, 2). Перевязка вертикальных швов не выполнялась.

Проведенные испытания были направлены на исследование работы комбинированных конструкций с определением нагрузки, соответствующей появлению трещин в кладке защитно-декоративной конструкции. Эксперимент заключался в поэтапном приложении нагрузки на конструкцию в направлении «изнутри наружу», при котором моделировалась работа

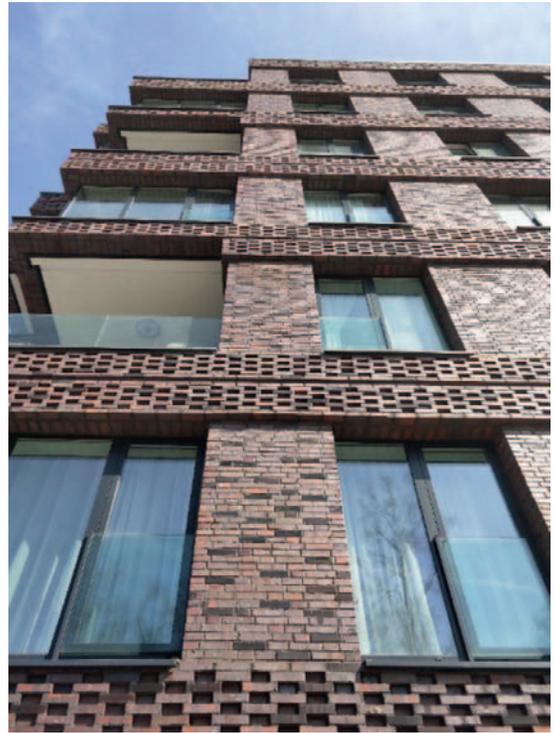


Рис. 2. Фасад здания современной застройки  
Fig. 2. Facade of a modern building

кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению – применительно к образцам по горизонтальному растворному шву. Контроль перемещений осуществлялся с применением индикаторов часового типа, которые располагались как на лицевой стороне кладки, так и с тыльной стороны – на направляющих. Дополнительно были установлены датчики контроля перемещений под опорными уголками первого ряда кладки облицовочного слоя.

Описанная выше проблема отсутствия нормативно-технической документации характерна для многих видов конструкций облицовки из кладочных элементов, при этом испытанные образцы, о которых будет идти речь ниже, имеют ряд отличий, поднимающих новые вопросы, затрагивающие задачу оценки надежности конструкций при разработке и обосновании технических решений. Попытка применить при проектировании облицовки правила расчета металлических конструкций [6] заведомо неверна, так как металлические элементы работают совместно с кладкой, и установленные нормами допустимые прогибы и деформации металла оказываются разрушительными для тонкой кладки переменной толщины. Также имеет место попытка применения существующей нормативной документации по проектированию каменных конструкций [7], однако работа кладки из кирпича на растяжение при изгибе, имеющая место в конструкции облицовки, освещена только для конструкций толщиной в кирпич и более, многократно превышающей современную однорядную облицовочную кладку. Вопросы необходимости ограничения прогибов поддерживающих кирпичную кладку конструкций поднимались основоположниками расчета каменных конструкций и ранее [8], но затрагивали конструкции промышленных объектов.

Необходимость проведения исследований обусловлена не только принимаемыми архитектурными решениями объектов строительства и необходимостью оценки прочности конструкции. При устройстве тонкослойной кладки строительные организации в некоторых случаях вынуждены выполнять с тыльной стороны вертикальные ниши, пазы, прорезы для последующего «утапливания» в них направляющих (рис. 3).

Дефекты строительного основания, к которому закрепляется конструкция фасада, также являются причиной внесения изменений в конструкции как при проектировании, так и строительстве. Кроме того, устройство, например, вертикальных ниш позволяет уменьшить толщину стены, что является соблазном для застройщика с точки зрения расширения полезных площадей помещений.

В качестве примера для последующего анализа ниже приведены данные о характерных экспериментальных образцах из проведенных серий испытаний, схемы устройства ниш с указанием геометрических размеров сечения кладки приведены на рис. 4, 5:

- образец № 1 (эталон) – с вертикальной штрабой в зоне направляющих; площадь заполненной растворной смесью штрабы в горизонтальном сечении –  $S_1$ ;
- образец № 2 – с вертикальной штрабой площадью  $S_2$  без заполнения раствором;
- образец № 3 – с вертикальной штрабой площадью  $S_2$ , заполненной растворной смесью;
- образец № 4 – с вертикальной штрабой площадью  $S_1$ , заполненной растворной смесью;
- образец № 5 – с вертикальной штрабой с площадью  $S_1/2$ , заполненной растворной смесью.

Образец № 1 – эталон, на основе которого был проведен анализ влияния устройства штраб на прочность конструкции облицовки. Отличие экспериментальных образцов № 2 и 3 от образца № 1 заключалось в размерах ниш ( $S_2 \approx 2S_1$ ), образца № 3 от № 2 – в наличии заполнения прорезей (штраб) по высоте кладки раствором. На рис. 6, 7 приведены общие



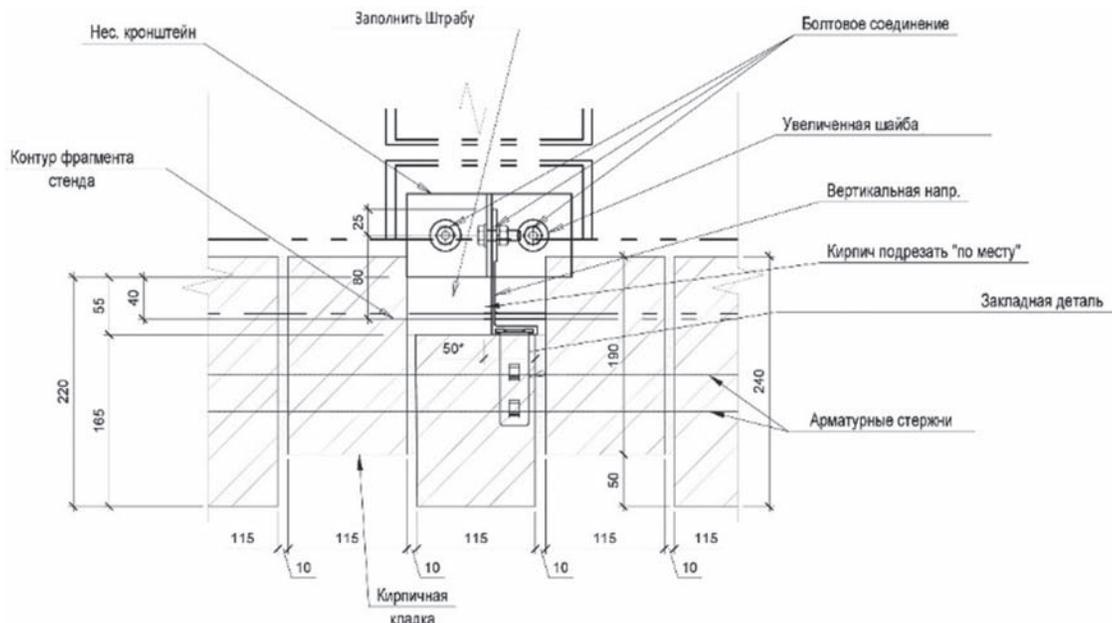


Рис. 5. Узел устройства пазов в зоне направляющей с заполнением раствором. Образец № 3  
Fig. 5. Joint assembly near guide, with mortar. Sample 3

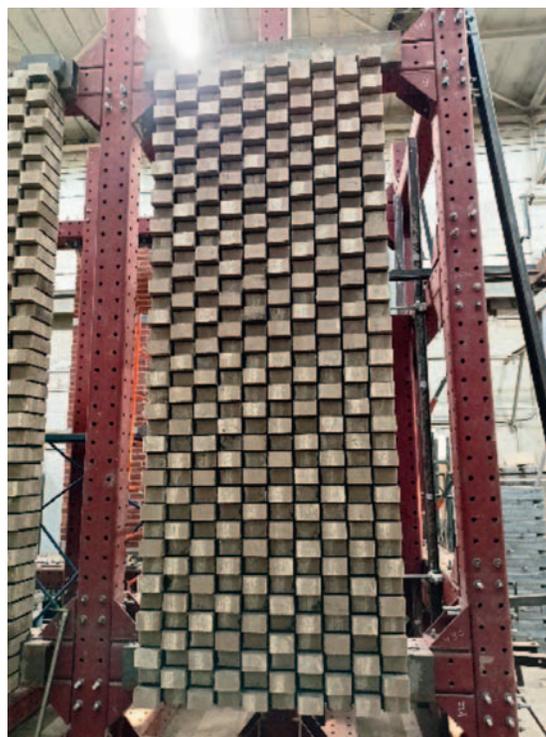


Рис. 6. Общий вид экспериментального образца № 3  
Fig. 6. General view of experimental Sample 3



Рис. 7. Фрагмент экспериментального образца № 5

Fig. 7. Fragment of experimental Sample 5

виды испытанных образцов. Образец № 4 представлял собой конструкцию, по габаритам аналогичную образцу № 1 с расположением кирпича на ребро. Образец № 5 – с тычковой раскладкой, аналогичной образцам № 1–3 с минимальной глубиной штрабы.

Экспериментальные образцы № 1–3 по габаритным размерам (3269 мм (H) × 1240 мм) были идентичны и состояли из 40 рядов кладки. Ширина постельного растворного шва составляла 190 мм. Толщина конструкции лицевого слоя – переменная 190 или 240 мм в зависимости от положения кирпича в ряду. Высота комбинированного сечения для образцов № 1–3 – 285 мм.

При изготовлении экспериментальных образцов кладка выполнялась из клинкерного кирпича Feldhaus M400. Для изготовления растворной смеси применялась сухая строительная смесь со специальными добавками Quick-Mix M150 в мешках. Первый ряд кладки опирался на опорный уголок и фиксировался от горизонтальных перемещений закладными элементами (связями), укладываемыми в кладочный шов с одной стороны и в продольный паз-замок в направляющей с другой.

Исследования проводились на испытательном стенде ИС-4 со специально разработанной и изготовленной оснасткой, позволяющей выполнять пошаговое нагружение и замеры перемещений. При проведении испытаний анализировался характер деформирования и разрушения экспериментальных образцов.

На основе анализа результатов экспериментальных исследований прочности и деформативности образцов при действии усилия, направленного перпендикулярно плоскости

Таблица 1

**Сравнительная таблица результатов испытаний на примере рассматриваемых экспериментальных образцов**

Table 1

**Test results for considered experimental samples**

Номер образца	Расчетная схема	Усилие, соответствующее пределу прочности образца $N$ , кН	Перемещения в середине образца, мм	Наличие штрабы	Наличие заполнения штрабы	Момент инерции сечения облицовки $J$ , см <sup>4</sup>	Ширина шва, мм
1 (эталон)	однопролетная	4,44	0,28	+	+	70 876	190
2	однопролетная	2,80	0,44	+	-	63 740	190
3	однопролетная	5,50	0,29	+	+	70 876	190
4	однопролетная	6,50	0,80	+	+	95 967	210
5	однопролетная	5,11	0,84	+	-/+	34 875	150

облицовочного слоя в направлении «от стены» (наружу), необходимо отметить следующее (табл. 1):

1. По результатам испытаний установлен характер работы тонкослойной кладки и металлических направляющих в составе комбинированных конструкций, величины прочности сцепления кирпича и раствора.

2. Работу конструкции экспериментальных образцов № 1–5 под нагрузкой следует считать идентичной, характеризующейся скачком деформаций и падением нагрузки в результате образования трещины в горизонтальном кладочном шве кладки с последующим интенсивным увеличением перемещений, образованием второй трещины и дальнейшим раскрытием горизонтальных трещин по кладочным швам. Графические зависимости по результатам испытаний образцов приведены на рис. 8.

3. Результаты испытаний показали значительную разницу в прочности образцов № 2 и 3. До появления первой зафиксированной трещины в кладке максимальная нагрузка на образец № 2 составила 2,80 кН (280 кгс), в образце № 3 первая зафиксированная трещина выявлена при нагрузке 5,50 кН (550 кгс), перемещения при нагрузках трещинообразования составили 0,44 и 0,29 мм соответственно.

Необходимо отметить, что предел прочности эталона (образца № 1) занимает промежуточное значение между пределами прочности образца № 2 и образца № 3, при этом в части деформативности образец практически был идентичен образцу № 3. По результатам замеров первая зафиксированная трещина появилась при нагрузке 4,44 кН (444 кгс) при перемещениях в середине образца 0,28 мм.

Зафиксированные перемещения в очередной раз доказывают невозможность применения при оценке деформативности металлических направляющих при совместной работе с кирпичной облицовкой по второй группе предельных состояний величин относительных прогибов, рекомендуемых в СП 20.13330 [9]. Согласно требованиям, при длине направляющей 3 030 мм допустимый прогиб составляет 15,15 мм, что в 40 раз превышает прогиб, при котором произошло трещинообразование в кладке экспериментальных образцов.

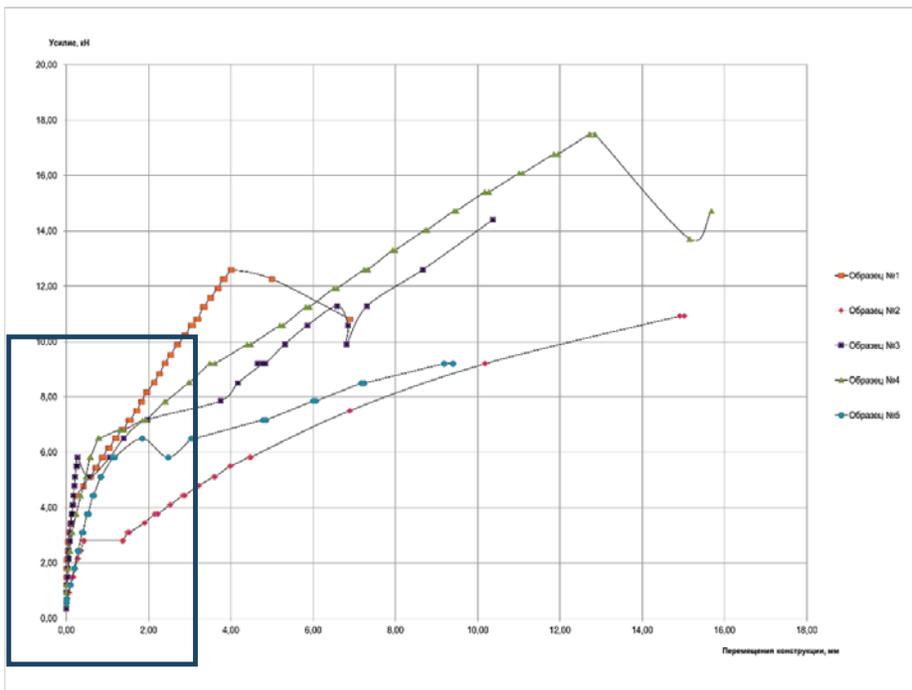
Показания датчиков, расположенных в одном уровне на направляющих и кладке, говорят о совместной работе облицовки и подсистемы. Тем не менее указанное справедливо только для принятых при изготовлении испытанных образцов кирпича, раствора, типа и количестве связей. Ранее при проведении испытаний связей «открытого» типа наблюдалось «опережение» перемещений кладки над направляющими, что сказывалось на величине предела прочности конструкции в целом, так как кладка работала совместно с металлическими направляющими лишь до определенного момента.

4. Все полученные графические зависимости имеют характерный излом на стадии образования трещины. Образование трещин зафиксировано между 20/21 и 22/23 ( $H = 1700$  мм) рядами кирпича примерно на одной и той же высоте для образцов № 1–3.

5. Угол наклона кривых «нагрузка/перемещение» до потери сцепления кирпича с раствором для образцов № 1, 3, 4 идентичен. Угол наклона экспериментальной кривой «нагрузка/перемещение» для образца № 2 и 5 более пологий. При этом величина нагрузки, соответствующая одинаковым перемещениям для образцов № 1 и 3, превышает значения для образца № 2 не менее чем в 2,4 раза (рис. 9).

6. Согласно разработанной методике оценки результатов испытаний, предельная нагрузка при принятой схеме нагружения, соответствующая образованию трещины (эквивалентная равномерно-распределенная нагрузка при работе конструкции на растяжении при изгибе по горизонтальному неперевазанному сечению), составила:

- для образца № 1 –  $105 \text{ кгс/м}^2$  ( $1,238 \text{ кПа}$ );



**Рис. 8.** Результаты замеров перемещений лицевого слоя экспериментальных образцов от прикладываемой нагрузки [середине образца в зоне максимальных перемещений]

**Fig. 8.** Displacement of a front layer of experimental samples due to applied load (in the middle of a sample, zone of maximum displacement)

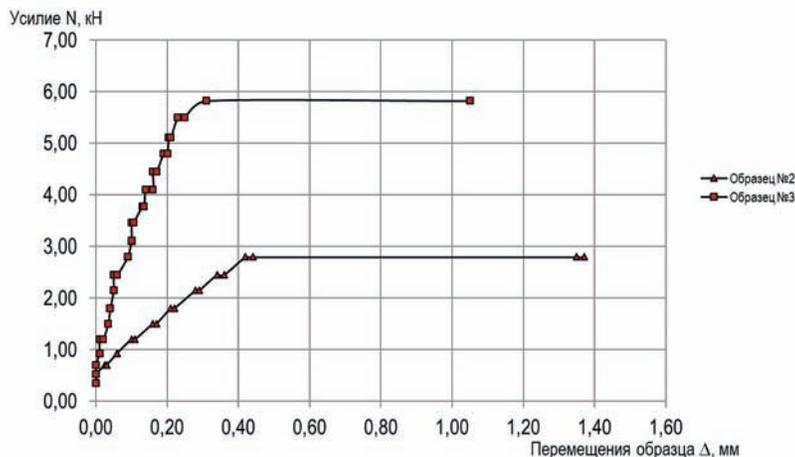


Рис. 9. Характер зависимости «нагрузка/перемещения» образцов № 2 и 3 до момента образования трещин в горизонтальном шве

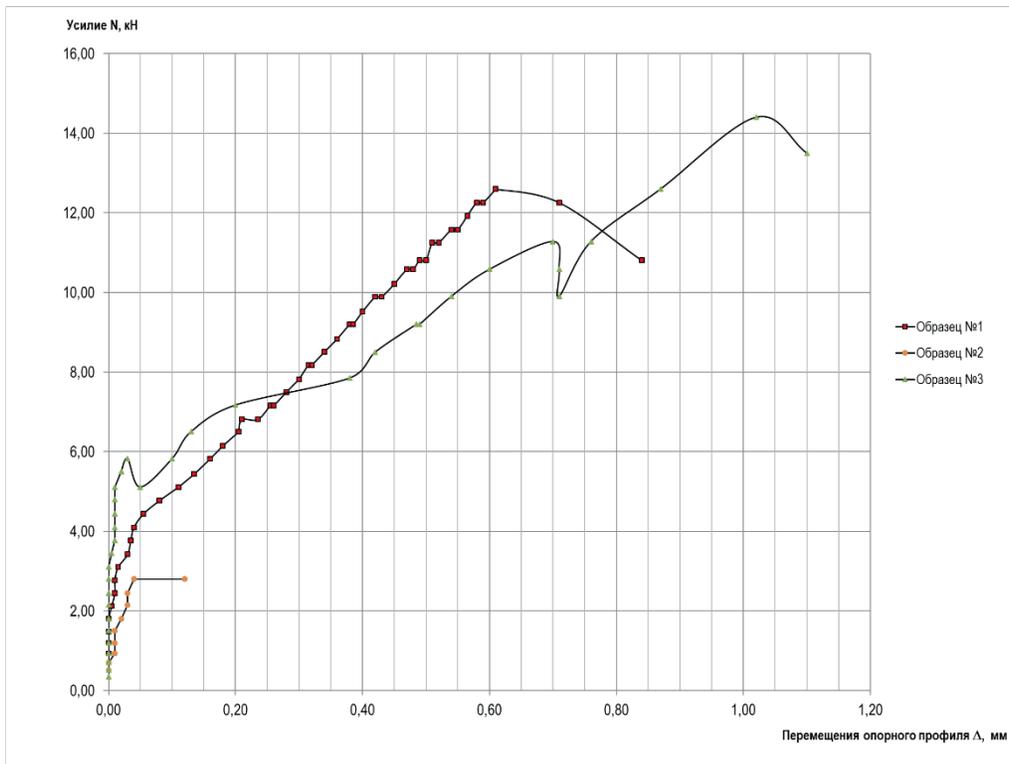
Fig. 9. Nature of “load/displacement” dependence of Samples 2 and 3 until crack formation in horizontal brickwork joint

- для образца № 2 – 67,8 кгс/м<sup>2</sup> (0,678 кПа);
- для образца № 3 – 123,8 кгс/м<sup>2</sup> (1,238 кПа).

7. При последующем нагружении происходило дальнейшее раскрытие горизонтального шва, характерное для разрушения кладки по неперевязанному сечению, смещение смежных рядов кладки в зоне трещины (рис. 10). Испытания завершались в момент потери прочности соединения связей с металлическими направляющими в «паз-замке».



Рис. 10. Характер деформирования комбинированной конструкции (повреждения кладки и направляющих)  
Fig. 10. Deformation behavior of composite structure (damage to masonry and guides)



**Рис. 11.** Результаты замеров вертикальных перемещений опорных уголков образцов № 1–3  
**Fig. 11.** Vertical displacements of base angles of samples 1–3

8. Необходимо отметить, что вертикальные перемещения опорного уголка оказались ничтожно малы и составляли до момента образования трещины не более 0,03 мм (рис. 11). Разрушения опорной зоны облицовочного слоя в зоне подрезки первого ряда также не зафиксированы.

9. Повышение прочности образцов при увеличении площади заполненной штрабы в два раза не превысило 25 % (с 4,44 кН для образца № 1 до 5,50 кН для образца № 3), при этом в случае выполнения штраб без заполнения прочность образца № 2 относительно «эталона» снизилась на 37 % (с 4,44 до 2,80 кН), а относительно образца № 5 – на 45 % (с 5,11 до 2,80 кН). Другими словами, при идентичных геометрических размерах штраб значение разрушающей нагрузки образца № 3, соответствующей образованию трещин в облицовочном слое, превышает значение нагрузки образца № 2 на 105 % (в два раза).

Указанное увеличение прочности образца № 3 по отношению к эталону (образцу № 1) может быть обусловлено заполнением штрабы с обеих сторон от стенки вертикальной направляющей, что для образца № 1 практически невозможно, так как стенка профиля при монтаже примыкала к стенке штрабы.

После образования трещин в кладке образцов происходило интенсивное увеличение перемещений на каждом шаге нагружения, что объясняется исключением облицовочного слоя из совместной работы с металлическими направляющими.

10. При увеличении перемещений и изгибе вертикальных направляющих образца № 2 происходит локальное деформирование стенки направляющих в результате потери

устойчивости (вблизи трещины по высоте образца), смещение стенки направляющих в поперечном направлении, скручивание сечения профиля и последующий вырыв связей замкового типа из профиля направляющих. Тем не менее вопрос о влиянии на прочность условий, при которых происходит потеря устойчивости стенки, подлежит дополнительной проверке ввиду незначительных нагрузок, при которых происходила потеря прочности сцепления кирпича с раствором в шве кладки.

11. Учитывая данные, приведенные в табл. 1, необходимо отметить, что снижение момента инерции сечения кладки образца № 1 с  $J_1 = 70\,876\text{ см}^4$  для «полного» сечения до  $J_2 = 63\,740\text{ см}^4$  для сечения со штрабами составляет менее 10 %, при этом предел прочности конструкции снижается практически в два раза. Увеличение высоты сечения кладки на 10 % (образец № 4) привело к повышению прочности по отношению к эталону на 46 % (при одинаковых габаритах заполненных штраб).

12. Очевидно, что при потере целостности конструкции лицевого слоя эксплуатационные характеристики конструкции не будут обеспечены, следовательно, «рабочая зона» конструкции должна быть ограничена величиной нагрузки, при которой происходит трещинообразование. Расчетное сопротивление тонкослойной кладки в составе комбинированной конструкции следует определять в пределах указанной зоны № 1 (рис. 8, 12).

13. Необходимо отметить и результаты определения прочности сцепления кирпича с раствором. По результатам испытания малых экспериментальных образцов прочность нормального сцепления составила 0,25 МПа (2,5 кгс/см<sup>2</sup>), что соответствует указанному

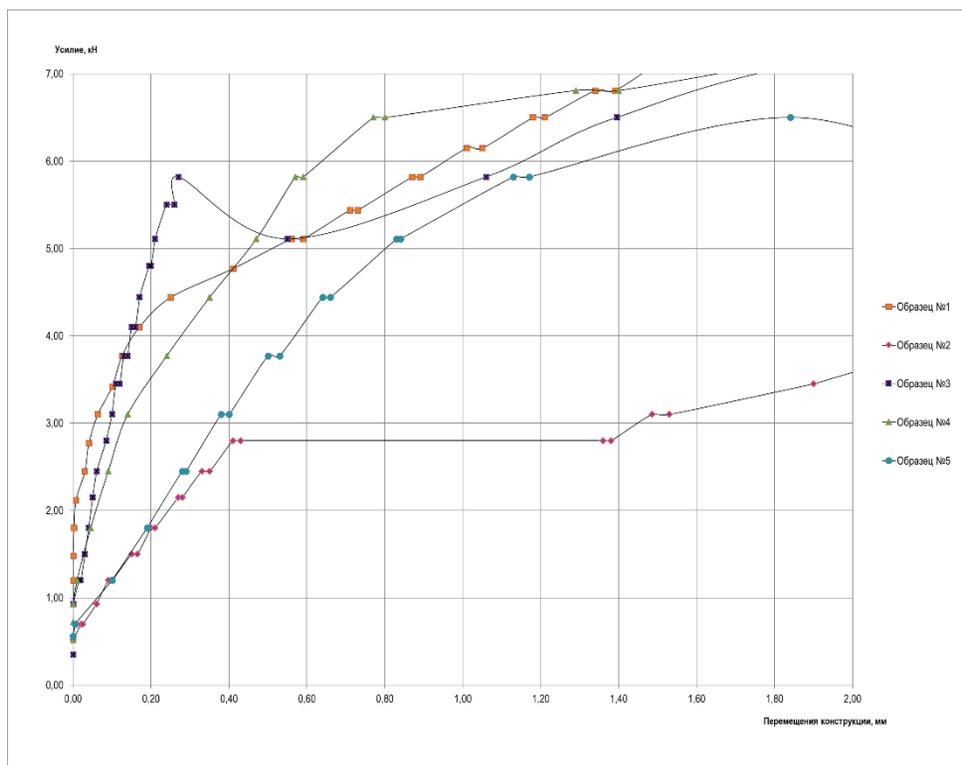
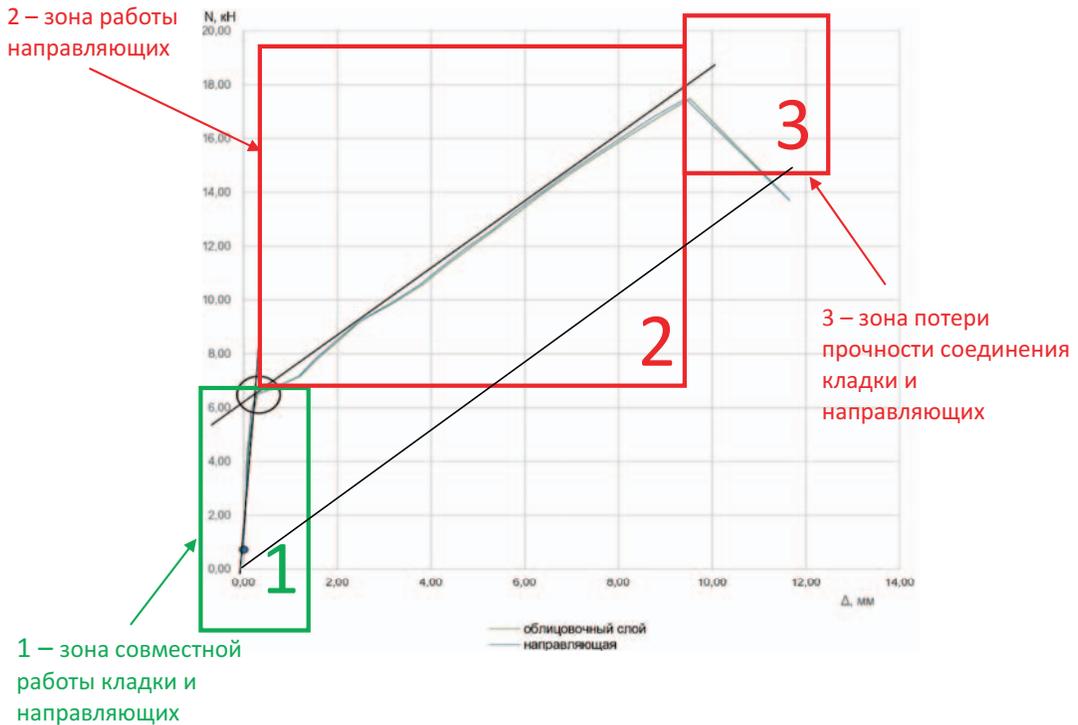


Рис. 12. «Рабочая зона» экспериментальных образцов  
Fig. 12. "Working area" of experimental samples



**Рис. 13.** Характерный график зависимости «нагрузка/перемещение» по результатам проведенных испытаний:

1 – зона совместной работы тонкослойной кладки и металлических направляющих; 2 – зона работы направляющих после образования трещины в шве тонкослойной кладки; 3 – зона потери целостности конструкции, разрушение связей

**Fig. 13.** Characteristic dependence of “load/displacement” based on test results:

1 – zone of combined action of thin-layer brickwork and metal guides; 2 – zone of guide work following crack formation in a seam of thin-layer brickwork; 3 – zone of loss of structural integrity, destruction of connections

в СП 15.13330 [7] значению расчетного сопротивления при работе кладки на осевое растяжение по неперевязанному сечению  $R = 0,08$  МПа при коэффициенте запаса  $k \approx 3$ .

14. Следует отметить, что потеря целостности металлической подконструкции, узловых и болтовых соединений, узлов крепления кладки до образования трещин не выявлена. На основе ранее проведенных испытаний [1, 5] установлено, что условия, при которых конструкция не соответствует эксплуатационной надежности, наступают до возникновения в элементах связей значительных усилий. Работа комбинированной конструкции под нагрузкой в момент образования трещины характеризуется раскрытием горизонтальных швов вследствие изгиба лицевого слоя.

15. Графическая зависимость «нагрузка/перемещения» с указанием характерных зон работы конструкций в процессе испытаний приведена на рис. 13.

## Основные выводы

1. По результатам испытаний установлена характерная графическая зависимость «нагрузка/перемещения» при работе тонкослойной кладки на растяжение при изгибе в составе комбинированной конструкции.

2. В пределах установленной по результатам испытаний «рабочей зоны» (зона № 1) конструкции максимальные перемещения не превышали 0,8 мм. При этом вертикальные перемещения опорных металлических элементов не превысили 0,03 мм.

3. Результатами испытаний подтверждено, что уменьшение момента инерции сечения кладки на 10 % за счет устройства штраб влечет за собой снижение прочности конструкции практически в два раза. Внесение изменений в конструкции кладки из кирпича при устройстве ниш и борозд в составе комбинированных конструкций требует дополнительного обоснования с проведением испытаний образцов.

4. Оценка проектных технических решений по устройству фасадов зданий с применением тонкослойной кладки, закрепленной на металлических вертикальных направляющих, для объекта строительства должна выполняться с учетом результатов испытаний экспериментальных образцов в натуральную величину. Несущую способность конструкции следует определять с учетом характеристик фактически применяемых материалов и архитектурных решений фасадов зданий (конфигурации стен здания).

5. На основе проведенных исследований в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработаны технические решения по усилению однопролетных конструкций из тонкослойной кладки в составе комбинированных конструкций.

## Список литературы

1. 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;31(4):30–42. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-30-42](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-30-42)
2. ГОСТ Р 57350-2016 / EN 1052-2:1999. Кладка каменная. Метод определения предела прочности при изгибе. Москва: Стандартинформ; 2019.
3. Павлова М.О., Захаров В.А., Кушнир С.В., Павленко М.Н. Вопросы обеспечения эксплуатационной надежности навесных конструкций с крупноразмерной штучной облицовкой. Вестник НИЦ «Строительство». 2018;(3):113–124.
4. Павлова М.О., Павленко М.Н., Забегин М.А., Махонина П.Е. Особенности совместной работы крупноформатных панелей из керамогранита и металлического каркаса фасадных конструкций. Строительная механика и расчет сооружений. 2021;(6):66–72. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2021.6.66.72>
5. Павлова М.О., Захаров В.А., Кушнир С.В. К вопросу определения эксплуатационной надежности защитно-декоративной облицовки из кирпича. Промышленное и гражданское строительство. 2016;(12):44–49.
6. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправкой, с Изменением № 1) [Интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456069588>
7. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\* (с Изменениями № 1, 2, 3) [Интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200092703>
8. Семенцов С.А. Расчет каменных и армокаменных конструкций по расчетным предельным состояниям. Пособие для освоения метода расчета строительных конструкций по предельным состояниям. Москва: ВНИТО строителей; 1955.
9. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями № 1, 2) [Интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>

## References

1. Pavlova O.M., Zakharov V.A., Kushnir S.V., Pavlenko M.N. Operational reliability of suspended facade structures with variable thickness of the cladding layer. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021;31(4):30–42 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4\(31\)-30-42](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-4(31)-30-42)
2. State Standard 57350-2016 / EN 1052-2: 1999. Masonry. Method for determination of flexural strength. Moscow: Standartinform; 2019 (in Russian).
3. Pavlova O.M., Zakharov V.A., Kushnir S.V., Pavlenko M.N. Questions of safety maintenance operation hinged facade structures covering with large-sized piece materials. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2018;(3):113–124 (in Russian).
4. Pavlova M.O., Pavlenko M.N., Zabegin M.A., Mahonina P.E. Features of joint work of large-format panels made of porcelain stoneware and metal frame of facade structures. Stroitel'naya mekhanika I raschet sooruzhenii = Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2021;(6): 66–72 (in Russian). <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2021.6.66.72>
5. Pavlova M.O., Zakharov V.A., Kushnir S.V. On the issue of determining the operational reliability of protective and decorative brick cladding. Promyshlennoe I Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and civil engineering. 2016;(12):44–49 (in Russian).
6. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated edition of SNiP II-23-81 \* (with Amendment, with Amendment No. 1) [Internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456069588> (in Russian).
7. SP 15.13330.2012. Masonry and reinforced masonry structures. Updated edition of SNiP II-22-81 \* (with Amendments No. 1, 2, 3) [Internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200092703> (in Russian).
8. Sementsov S.A. Calculation of stone and reinforced stone structures according to calculated limit states. Manual for mastering the method of calculating building structures by limiting conditions. Moscow: VNITO builders; 1955 (in Russian).
9. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated edition of SNiP 2.01.07-85\* (with Amendments No. 1, 2) [Internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (in Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Марина Олеговна Павлова**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией надежности фасадов и теплоизоляционных фасадных систем (№ 25), заместитель директора по научной работе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: 1747302@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-73-02; +7 (499) 170-70-20

**Marina O. Pavlova**, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Facade Safety and Thermal Insulation Facade Systems (No. 25), Deputy Director for Science of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747302@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-73-02; +7 (499) 170-70-20

**Владимир Андреевич Захаров**<sup>✉</sup>, заместитель заведующего лабораторией надежности фасадов и теплоизоляционных фасадных систем (№ 25) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: 1747302@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-73-02; +7 (499) 170-70-20

**Vladimir A. Zakharov**<sup>✉</sup>, deputy head of the Deputy Head of Laboratory of Facade Safety and Thermal Insulation Facade Systems (No. 25) of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747302@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-73-02; +7 (499) 170-70-20

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author