УДК 691.421: 620.1 https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-124-138

EDN: ONGAWI

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КЛАДКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРУПНОФОРМАТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ НАГРУЗОК

0.И. ПОНОМАРЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук М.А. МУХИН<sup>1</sup> 0.С. ЧИГРИНА<sup>1</sup> А.Ю. ДОЗОРОВА<sup>1, $\bowtie$ </sup> А.В. ЛОГВИНОВ<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> 000 «ТД БРАЕР», ул. Нагорная, д. 18, к. 4, г. Москва, 117186, Российская Федерация

#### Аннотация

Введение. В СП 15.13330.2020 приведены специальные требования по расчету кладки стен зданий с применением крупноформатных керамических камней пустотностью до 57%, в том числе при действии сосредоточенных нагрузок (смятии). В частности, в таблице 7.5 указанного СП даны коэффициенты для определения расчетных значений кладки при смятии. Однако результаты отечественных и зарубежных исследований показывают, что при кладке из камня высокой пустотностью, более 50%, необходимо уточнение значений коэффициента для определения расчетных сопротивлений кладки смятию. В работе приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, по определению прочности кладки при смятии для уточнения расчетных коэффициентов, представленных в таблице СП 15.13330.2020.

*Цель.* На основании результатов отечественных и зарубежных экспериментальных исследований разработать методику и уточнить значения переходных коэффициентов для определения расчетных значений прочности кладки из крупноформатных керамических камней при смятии.

*Материалы и методы.* Проведены экспериментальные исследования по изучению напряженно-деформированного состояния крупноформатных керамических камней и кладки стен с их применением при действии сосредоточенных нагрузок, приложенных по схемам, которые наиболее точно могут быть реализованы в лабораторных условиях – схемы *а* и *д*, приведенные в п. 7.14 СП 15.13330.2020.

*Выводы.* Результаты проведенных исследований показали, что прочность кладки из крупноформатных керамических камней при смятии зависит от нескольких факторов, в т. ч. величины нормальных и касательных напряжений в вертикальных сечениях между сжатой зоной и незагруженным участком кладки. Кроме того, большое влияние оказывает эффект обоймы при наличии горизонтальных швов.

**Ключевые слова:** крупноформатный керамический камень, кладка, напряженное состояние, местное сжатие, смятие, сосредоточенные нагрузки, прочность, деформативность

**Для цитирования:** Пономарев О.И., Мухин М.А., Чигрина О.С., Дозорова А.Ю., Логвинов А.В. Напряженнодеформированное состояние кладки с применением крупноформатных керамических камней при действии сосредоточенных нагрузок. Вестник НИЦ «Строительство». 2024;42(3):124–138. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-124-138

#### Вклад авторов

Пономарев О.И., Логвинов А.В. – введение, анализ результатов исследований, выводы. Мухин М.А., Чигрина О.С., Дозорова А.Ю. – проведение экспериментальных исследований, корректировка статьи.

#### Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 26.06.2024 Поступила после рецензирования 08.07.2024 Принята к публикации 11.07.2024

# STRESS-STRAIN STATE OF MASONRY WITH LARGE CERAMIC BLOCKS UNDER CONCENTRATED LOADS

O.I. PONOMAREV<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

M.A. MUKHIN<sup>1</sup> O.S. CHIGRINA<sup>1</sup> A.Yu. DOZOROVA<sup>1,</sup>

### A.V. LOGVINOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC "Trade House BRAER", Nagornaya str., 18, bld. 4, Moscow, 117186, Russian Federation

#### Abstract

*Introduction.* Special requirements for the calculation of masonry walls using large ceramic blocks with the void content up to 57 %, including under the action of concentrated loads (buckling) are given in SP 15.13330.2020. In particular, Table 7.5 of this SP gives the coefficients for determining the calculated values of masonry under buckling. However, the results of Russian and foreign studies show that the masonry made of blocks with the void content more than 50 % requires clarification of the coefficient values for determining the calculated resistance of masonry buckling. The results of experimental studies conducted at Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko to determine the masonry strength under buckling for clarifying the calculated coefficients presented in SP 15.13330.2020 are given.

*Aim.* To develop a methodology and specify the transition coefficients for determining the calculated values of the strength of large ceramic block masonry under buckling on the basis of the results of Russian and foreign experimental studies.

*Materials and methods.* Experimental studies have been carried out to examine the stress-strain state of large ceramic blocks and masonry walls with their use under the action of concentrated loads applied according to the schemes that can be most accurately realized in laboratory conditions, particularly schemes *a* and *e* given in paragraph 7.14 of SP 15.13330.2020.

*Conclusions.* The results of these studies have shown that the buckling strength of large ceramic blocks masonry depends on several factors, including the magnitude of normal and tangential stresses in vertical

sections between the compressed zone and the unloaded section of the masonry. In addition, the shell effect in the presence of horizontal joints has a great influence.

**Keywords:** large ceramic block, masonry, stress state, local compression, buckling, concentrated loads, strength, deformability

**For citation:** Ponomarev O.I., Mukhin M.A., Chigrina O.S., Dorozova A.Yu., Logvinov A.V. Stress-strain state of masonry with large ceramic blocks under concentrated loads. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;42(3):124–138. (In Russian). https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-124-138

#### Authors contribution statement

Ponomarev O.I., Logvinov A.V. – introduction, analysis of research results, conclusions. Mukhin M.A., Chigrina O.S., Dorozova A.Yu. – conducting experimental studies, manuscript adjustment.

#### Funding

No funding support was obtained for the research.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

Received 26.06.2024 Revised 08.07.2024 Accepted 11.07.2024

### Введение

За последние 20–25 лет в практике строительства в Российской Федерации широкое применение находят крупноформатные керамические камни пустотностью до 57% при высоте ряда кладки более 200 мм. Эффективность их применения обусловливается снижением трудозатрат при возведении кладки стен зданий и высокими теплотехническими характеристиками.

В связи с этим в действующие нормы по проектированию конструкций, возводимых с применением кладки из кирпича, камня, блоков, СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» [1] включены специальные требования по расчету и проектированию кладки стен зданий с применением крупноформатных керамических камней с высокой пустотностью – до 57%.

В табл. 6.2 [1] приведены расчетные сопротивления сжатию кладки из крупноформатных керамических камней пустотностью до 57%. В табл. 7.5 [1] даны коэффициенты для определения расчетного сопротивления кладки при действии местных нагрузок в зависимости от материала кладки и места приложения нагрузок.

Коэффициенты, приведенные в табл. 7.5, для некоторых случаев опирания сосредоточенной нагрузки на кладку на 10–20 % повышают ее прочность за счет «эффекта обоймы». Поэтому, учитывая высокую пустотность крупноформатных керамических камней, в целях повышения надежности возводимых зданий и сооружений проведены теоретические и экспериментальные исследования по изучению напряженно-деформированного состояния крупноформатных керамических камней и кладки стен с их применением при действии сосредоточенных нагрузок.

### Экспериментальные исследования и методика испытаний прочности крупноформатных керамических камней при действии сосредоточенной нагрузки

Задача проведенных исследований состояла в получении экспериментальных данных прочности и деформативности кладки из высокопустотных крупноформатных (КФ) керамических камней (14,3NF и 12,4NF) при действии сосредоточенной нагрузки – местном сжатии (смятии).

Учитывая сравнительно большие размеры камня, позволяющие выполнять опирание конструкций на один камень, при проведении данных исследований сделано сравнение прочности при действии сосредоточенной нагрузки на камень с прочностью в кладке.

Для проведения экспериментальных исследований были отобраны КФ пустотелые керамические камни размеров  $510 \times 250 \times 219$  мм и  $440 \times 250 \times 219$  мм с вертикальными пустотами шириной 6–8 мм. Вид камней приведен на рис. 1.

# Исследование прочности крупноформатных керамических камней при действии сосредоточенных нагрузок

При выполнении данной работы проведены исследования прочности КФ керамических камней при действии сосредоточенных нагрузок.

КФ камни имеют достаточно большую площадь ложковой поверхности, на которую может опираться и балка, и колонна. Поэтому может возникнуть вопрос об испытании на смятие не кладки, а только камня.

В целях сравнения результатов мы провели испытания на смятие не только кладки, но и камня. Для получения более достоверных результатов испытания проведены по наиболее простым схемам – схемы *a* и *d*, приведенным на рис. 2.

Выравнивание опорных поверхностей проведено цементно-песчаным раствором M300.



Рис. 1. Образцы КФ керамического камня размерами 510 × 250 × 219 мм и 440 × 250 × 219 мм с вертикальными пустотами производства 000 «Винербергер Кирпич» (a) и 000 «Кирпичный Завод Браер» (6)
 Fig. 1. Samples of large ceramic blocks with dimensions 510 × 250 × 219 mm and 440 × 250 × 219 mm with vertical voids produced by Wienerberger Brick LLC (a) and Brick Factory Braer LLC (b)



**Рис. 2.** Различные случаи местного сжатия [1, рис. 7.6] **Fig. 2.** Different cases of local compression [1, Fig. 7.6]



Рис. 3. Схема испытаний керамического КФ камня пустотностью 48–57% с щелевидными пустотами Fig. 3. Testing scheme for large ceramic blocks with 48–57% void content with slit-shaped hollows В средней части сечения камня прикладывалась сосредоточенная нагрузка, которая передавалась через плиту размером 18 × 24,5 см.

Геометрические размеры КФ керамических камней 14,3NF и 12,4NF –  $510 \times 250 \times 219$  мм (рис. 3) и 440 ×  $250 \times 219$  мм.

Результаты испытания керамического КФ камня М100 размерами 510 × 250 × 219 мм и пустотностью 48–57% на местное сжатие (смятие) представлены в табл. 1. Характер разрушения данного керамического камня представлен на рис. 4.

### Экспериментальные исследования напряженнодеформированного состояния кладки из КФ керамических камней при действии сосредоточенных (местных) нагрузок

Основной целью проведенных исследований является получение достоверных экспериментальных данных о прочности и деформативности кладки из КФ керамических камней пустотностью 48–57% при действии сосредоточенных нагрузок (местном сжатии или смятии).

В действующих нормах по проектированию каменных и армокаменных конструкций указаны 9 случаев приложения нагрузок, представленных на рис. 2 [1, рис. 7.6].

При проведении данных исследований были рассмотрены два наиболее просто реализуемых случая передачи сосредоточенных нагрузок на стены, включающих опирание сосредоточенной нагрузки на часть длины и ширины сечения (например, опирание колонны на стену толщиной 50–70 мм) – схема *д*, а также опирание конструкций на кладку по схеме *а*.

Испытания на сосредоточенную нагрузку проведены на образцах кладки двух видов – Серия № 1 при приложении нагрузки

Таблица 1

# Результаты испытания керамического КФ камня М100 (510 × 250 × 219 мм) пустотностью 48–57 % с щелевидными пустотами на местное сжатие (смятие) (рис. 2*a*)

Table 1

# Test results of ceramic large ceramic blocks M100 (510 × 250 × 219 mm) with 48–57 % void content with slit-shaped hollows on local compression (buckling) (Fig. 2a)

Метка	Площадь смятия, <i>А<sub>см</sub>,</i> см <sup>2</sup>	Нагрузка, <i>N<sub>p</sub></i> , тс	Предел прочности камня при смятии (схема <i>a</i> ), <i>R</i> <sup>3</sup> <sub>сн</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Прочность камня, <i>R</i> <sub>1</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	$\xi^{p} = \sqrt[3]{\frac{A}{A_{\rm CM}}}$	$R^p_{ m cm} = \xi^p  imes R_1,$ кгс/см²	$\frac{R_{\rm CM}^3}{R_1} = \xi^3$
1		47,9	108,6				
2	441 47,1		106,8	105,0	1,42	149	1,04
3		49,7	112,7				
	Среднее		109,4				

A = 1275 см<sup>2</sup>; R<sub>1</sub> = 10,5 МПа



Рис. 4. Характер разрушения керамического камня пустотностью 48–57 % (510 × 250 × 219 мм) с щелевидными пустотами при местном сжатии (смятии) (нагрузка в середине камня). При испытании кладки аналогичное приложение нагрузки соответствует схеме *a* (рис. 2)

Fig. 4. Character of fracture of a ceramic block with 48-57% void content ( $510 \times 250 \times 219$  mm) with slit-shaped hollows under local compression (buckling) (load in the middle of the brick). When testing the masonry, a similar load application corresponds to scheme *a* of (Fig. 2)

по схеме ∂, Серия № 2 – при приложении нагрузки по схеме *а* – для сравнения прочности кладки с прочностью отдельного камня при сосредоточенной нагрузке.

Вид перевязки и расположение приборов приведены на рис. 5-7.

Еще раз отметим, что при проведении данных исследований проведено сравнение напряженного состояния КФ керамического камня при его испытаниях отдельно в прессе без обжатия и в кладке с обжатием по схеме *a*.



**Рис. 5.** Кладка на клеевом растворе. Система перевязки кладки образцов для испытания на местное смятие (при нагружении по схеме *д* рис. 2) и расположение приборов: вид перевязки на экспериментальном образце; раскладка камня в рядах

**Fig. 5.** Masonry on glue mortar. The masonry bond of samples for local buckling test (under loading according to the scheme *g* of Fig. 2 and arrangement of devices: type of masonry bond on the test sample; arrangement of blocks in rows



- **Рис. 6.** Кладка на цементно-песчаном растворе. Система перевязки кладки образцов для испытания на местное смятие (при нагружении по схеме *a* рис. 2) и расположение приборов: вид перевязки на экспериментальном образце; раскладка камня в рядах
- Fig. 6. Masonry on cement-sand mortar. The masonry bond of samples for local buckling test (under loading according to the scheme *a* of Fig. 2 and arrangement of devices: type of masonry bond on the test sample; arrangement of blocks in rows



Рис. 7. Общий вид образца Серии № 1 при испытании на местное смятие Fig. 7. General view of Series 1 sample in local buckling test

### Исследование напряженно-деформированного состояния кладки при действии сосредоточенной нагрузки по схеме *а*

Анализ деформированного состояния образцов при испытаниях показал, что в зоне под штампом и примыкающих к нему зонах преобладают сжимающие напряжения, а в остальной части образца – растягивающие. При этом максимальные значения деформаций сжатия наблюдаются в верхней части образца, непосредственно под штампом.

Результаты экспериментальных данных приведены в табл. 1, 2, 5 (по камню), а также на рис. 8 и в табл. 3–8 (по кладке).

Таблица 2

#### Результаты испытания керамического крупноформатного камня M100, 12,7NF (440 × 250 × 219 мм) пустотностью 48–57% с щелевидными пустотами на местное сжатие (смятие) по схеме *a* (рис. 2)

Table 2

Test results of ceramic large ceramic blocks M100, 12,7NF (440 × 250 × 219 mm) with 48–57 % void content with slit-shaped hollows on local compression (buckling) according to the scheme *a* (Fig. 2)

Метка	Площадь смятия, А <sub>см</sub> , см²	Нагрузка, <i>N<sub>p</sub></i> , тс	Предел прочности камня при смятии (схема <i>а</i> ), <i>R</i> <sub>1</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	Предел прочности камня при смятии (схема <i>a</i> ), <i>R</i> <sup>3</sup> <sub>си</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	$\xi^{p} = \sqrt[3]{\frac{A}{A_{\rm CM}}}$	$R^{p}_{\rm cm} = \xi^{p} \times R_{1}$	$\frac{R_{\rm cM}^3}{R_1} = \xi^3$
1		39,0		88,4			
2	441	37,0	87	84,0	1,36	118	1,01
3		41,0		93,1			
	Средне	е		88,1			

A = 1100 см²; R₁ = 8,7 МПа

Таблица З

# Результаты испытаний опытных образцов кладки из крупноформатных керамических камней (14,3NF) на центральное сжатие, Серия № 2, цементно-песчаный раствор

Table 3

# Test results of masonry test samples made of large ceramic blocks (14.3NF) in central compression, Series 2, cement-sand mortar

етка	Размеры	Площадь, <i>А</i> .	Прочность раствора.	Разруц нагру	јающая зка, тс	<u>Ν<sub>1τp</sub></u>	Временн кла	юе сопрот адки, кгс/	ивление см²
ž	образца, мм	CM <sup>2</sup>	R <sub>2</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	<b>Ν</b> <sub>1τρ</sub>	<b>N</b> <sub>разр</sub>	N <sub>pasp</sub>	<b>R</b> <sub>1τp</sub>	<b>R</b> <sub>pasp</sub>	R"
2–1	528 × 510 × 1220	2691	110	60	175	0,34	22,6	65,0	
2-2	529 × 511 × 1210	2703	117	75	171	0,44	28,3	63,3	63,0
2–3	528 × 511 × 1215	2698	114	75	167	0,45	28,3	61,9	
Среднее:		2697							

#### Таблица 4

# Результаты испытаний кладки из крупноформатного керамического пустотелого камня на местное сжатие (смятие) по схеме *a* (рис. 2)

Table 4

Results of local compression (buckling) tests of masonry with large ceramic hollow brick according to scheme *a* (Fig. 2)

Группа	Метка	Прочность раствора,	ра, Площадь, см <sup>2</sup>		${{}_{{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{$		іающее ие, тс	<u> </u>	<i>R</i> <sup>3</sup> <sub>см</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	<i>R</i> <sup>и</sup> <sub>кл</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	
		кгс/см²	сечения образца	штампа	$\sim \sqrt{A_{\rm CM}}$	<b>N</b> <sub>1тр</sub> <b>N</b> <sub>разр</sub>	N <sub>pasp</sub>	p KIC/CM-	KI C/ CM-	ĸ	
	10-2					20,0	67	0,29			
2	11–2	100	2697	954	1,41	22,1	65	0,34	70,1	63,0	1,12
	12–2					22,5	69	0,38			

Таблица 5

### Результаты испытаний на сжатие и смятие крупноформатных керамических камней и кладки с их применением (на цементно-песчаном растворе)

Table 5

Results of compression and buckling tests of large ceramic blocks and masonry with their use (on cement-sand mortar)

Марка камня	Прочность камня, МПа	Прочность камня при смятии, МПа	Прочность раствора, МПа	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при смятии, МПа	Ę
M100	40.5	5 10,55 ·	10,0	ср. предел прочности <u>камня</u> <i>R</i> <sub>1</sub> = 10,5	ср. предел прочности <u>камня</u> 10,55 (схема <i>а</i> )	$\frac{R_{\rm cm}^3}{R_{\rm kamhn}^{\rm u}} = 1,04$
	10,5		10,0	ср. предел прочности <u>кладки</u> R <sup>и</sup> <sub>кл</sub> = 6,3	R <sup>°</sup> <sub>см</sub> = 7,01 (схема <i>а</i> )	$\frac{R_{\rm cM}^{\rm o}}{R_{\kappa n}^{\rm u}} = 1,12$



Примечание: рисунки к табл. 5



**Рис. 8.** Образец 1–1. Относительные продольные деформации кладки из керамического крупноформатного камня пустотностью до 57 % при местном сжатии (смятии)

Fig. 8. Sample 1–1: Relative longitudinal deformations of masonry made of ceramic large blocks with hollows up to 57% under local compression (buckling)

Таблица 6

# Результаты испытаний опытных образцов кладки из крупноформатных керамических камней (12,4NF) на центральное сжатие, Серия № 1, клеевой состав (раствор)

Table 6

# Test results of masonry samples made of large ceramic masonry blocks (12.4NF) in central compression, Series 1, glue composition (mortar)

Метка	Размеры	Площадь, Δ	Прочность раствора,	Разруш нагру:	іающая зка, тс	<u></u>	Времен кл	ное сопрот адки, кгс/с	ивление :м <sup>2</sup>
	образца, мм	CM <sup>2</sup>	<i>R</i> <sub>2</sub> , кгс/см²	<b>Ν</b> <sub>1τρ</sub>	<b>N</b> <sub>pasp</sub>	<b>N</b> <sub>разр</sub>	<b>R</b> <sub>1тр</sub>	<b>R</b> <sub>pasp</sub>	R"
1–1	991 × 438 × 1115	4341	85	30	194	0,15	6,9	44,7	
1–2	997 × 440 × 1117	4387	79	40	197	0,20	9,1	44,9	/59
1–3	1001 × 439 × 1119	4394	87	43	211	0,20	9,8	48,0	43,7
Среднее:		4374							

#### Таблица 7

# Серия № 1. Результаты испытаний кладки из крупноформатного керамического пустотелого камня (М75) на местное сжатие (смятие) по схеме д рис. 2, клеевой состав (раствор)

Table 7

# Series 1. Results of tests of masonry made of large-format ceramic hollow blocks (M75) on local compression (buckling) according to the scheme $\mu$ Fig. 2, adhesive composition (mortar)

ы Ма	Метка	Прочность	Площа,	ць, см²	$p_3/A$	Разрушающая нагрузка, тс		N <sub>110</sub>	<i>R</i> <sup>°</sup> ,,	əəнt	R"",	<b>R</b> <sup>3</sup> <sub>см</sub>
Cep	образца	раствора, кгс/см²	сечения образца	штампа	$\zeta^{1} = \sqrt{A_{\rm CM}}$	<b>Ν</b> <sub>1τρ</sub>	<b>N</b> <sub>разр</sub>	<b>N</b> <sub>pa3p</sub>	кгс∕с́м²	Cpet	кгс/см²	R"
	1-1	87				10,0	25	0,4	56,7			
1	2–1	81	4356	441	1,33	13,5	27	0,5	61,2	57,4	45,9	1,25
	3–1	79				11,5	24	0,48	54,4			

Таблица 8

## Результаты испытаний на сжатие и смятие крупноформатных керамических камней и кладки с их применением (на клеевом растворе)

Table 8

## Results of compression and buckling tests of large ceramic blocks and masonry with their use (on glue mortar)

Марка камня	Прочность камня, МПа	Прочность камня при смятии, МПа	Прочность раствора, МПа	Прочность при сжатии, <i>R<sup>и</sup>кл,</i> МПа	Прочность при смятии, <i>R</i> <sup>э</sup> <sub>см</sub> , МПа	<u></u> <u></u> <u></u>
M75	8,7	8,81	8,37	ср. прочность <u>кладки</u> 4,5	5,74 (схема д)	1,25–1,27



$$\frac{R_{_{\rm CM}}^9}{R_{_{\rm KN}}^u} = 1,25-1,27$$

Примечание: рисунок к табл. 8

### Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены данные о прочностных и деформативных характеристиках кладки из крупноформатных керамических камней пустотностью 48–57% при действии сосредоточенных нагрузок.

1. Прочность кладки из крупноформатных керамических камней при местном сжатии зависит от нескольких факторов, включающих:

 величины нормальных и касательных напряжений в вертикальных сечениях между сжатой зоной и незагружаемыми участками кладки [2–4];

– деформативные характеристики кладки (в зависимости от вида раствора и кладочных изделий);

- эффект «обоймы» вокруг зоны смятия кладки.

В кладке из крупноформатных камней при большой высоте кладочного изделия (камней) и их высокой пустотности величина нормальных и касательных напряжений в тонких внутренних перегородках (5–8 мм) будет значительно выше, чем в полнотелых изделиях, что повышает вероятность их разрушения.

Этот фактор оказывает существенное влияние на прочность кладки из изделий высокой пустотности при местном смятии.

2. Проведенные экспериментальные исследования показали, что на прочностные характеристики кладки из крупноформатных керамических камней пустотностью 48–57% при действии сосредоточенных нагрузок так же, как и в случае кладки из изделий с меньшей пустотностью, большое влияние оказывает эффект «обоймы» [5].

3. Предел прочности кладки из крупноформатных керамических камней на цементно-песчаном растворе (временное сопротивление) при смятии по схеме *a* превышает соответствующий предел прочности кладки при осевом сжатии на ~ 12% (обжатие нагруженного участка с двух сторон).

4. Предел прочности кладки из крупноформатных керамических камней на клеевом составе при смятии по схеме *д* превышает соответствующую прочность кладки при сжатии на ~ 25–27% (обжатие нагруженного участка с четырех сторон).

5. В табл. 6–8 приведены сводные результаты испытаний на сжатие и смятие кладки из крупноформатных керамических камней на клеевом составе (растворе). Наиболее высокая прочность при смятии достигнута в кладке с приложением нагрузки по схеме  $\partial$  (обжатие с четырех сторон).

6. Сравнение результатов испытаний на смятие крупноформатных керамических камней и кладки стен с их применением показали, что эффект «обоймы» (эффект Баушингера) оказывает влияние на прочность кладки при смятии даже при использовании в кладке камней высокой пустотности (до 57%) при незаполненных раствором вертикальных швах с пазогребневым соединением и наличием горизонтальных швов, которые усиливают эффект «обоймы». Расчетное значение коэффициента Баушингера, ξ, при приложении сосредоточенной нагрузки по схеме *д*, вычисленное по СП 15.13330.2020 [1], отличается от экспериментальных значений на 5–7% (табл. 7).

### Список литературы

1. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Москва: Минстрой России; 2020.

2. Онищик Л.И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. Москва: ОНТИ, ЦНИПС; 1937.

**3.** *Худайнатов А.Э., Логвинов А.В., Иванова А.Ю., Павлова Е.А.* Особенности расчета конструкций из крупноформатных керамических камней на смятие по российским и европейским нормам. Строительная механика и расчет сооружений. 2022;(6):55–60.

**4.** Семенцов С.А. Местное краевое и внецентренное сжатие бетона и кладки. В: Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат; 1978, с. 98–106.

5. Пильдиш М.Я. Местные напряжения в каменной кладке. Москва; Ленинград: Стройиздат; 1945.

**6.** ГОСТ Р 58527-2019. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. Москва: Стандартинформ; 2019.

**7.** EN 1996-1-1-2010. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures [internet]. Available at: https://meganorms.ru/stb-din-en-1996-1-1-2010-12. html.

8. ГОСТ 32047-2012. Кладка каменная. Метод испытания на сжатие. Москва: Стандартинформ; 2019.

**9.** *Bauschinger J.* Versuche mit Quatdern aus Natursteinen. Mitteilurgen aus dem Mechanischtechhuischen Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Munich. 1879;(6):13–14.

### References

**1.** SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures. Moscow: Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation; 2020. (In Russian).

2. Onishchik L.I. Strength and stability of stone structures. Moscow: ONTI, TSNIPS; 1937. (In Russian).

**3.** *Khudaynatov A.E., Logvinov A.V., Ivanova A.Y., Pavlova E.A.* Specifics of calcular masonry large-format organic block structures crushing (concentrated load) according to Russian and European standards. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2022;(6):55–60. (In Russian). https://doi.org/10.37538/0039-2383.2022.6.55.60

**4.** Sementsov S.A. Local marginal and off-center compression of concrete and masonry. In: New in the design of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1978, pp. 98–106. (In Russian).

5. Pildish M.Ya. Local stresses in masonry. Moscow; Leningrad: Stroyizdat Publ.; 1945. (In Russian).

**6.** State Standard R 58527-2019. Wall materials. Methods for determination of ultimate compressive and bending strength. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

EN 1996-1-1-2010. Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures [internet]. Available at: https://meganorms.ru/stb-din-en-1996-1-1-2010-12.html
 State Standard 32047-2012. Masonry. Method of compressive test. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. [In Russian].

**9.** *Bauschinger J.* Versuche mit Quatdern aus Natursteinen. Mitteilurgen aus dem Mechanischtechhuischen Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Munich. 1879;(6):13–14.

### Информация об авторах / Information about the authors

Олег Иванович Пономарев, канд. техн. наук, заведующий лабораторией кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: 1701088@mail.ru тел.: +7 (499) 170-10-59

**Oleg I. Ponomarev,** Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: 1701088@mail.ru

tel.: +7 (499) 170-10-59

Михаил Александрович Мухин, заместитель заведующего лабораторией кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: mukhin@myrambler.ru тел.: +7 (499) 174-77-93 Mikhail A. Mukhin, Deputy Head of Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: mukhin@myrambler.ru tel.: +7 (499) 174-77-93

Ольга Сергеевна Чигрина, заведующий сектором лаборатории кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: schigrin@mail.ru тел.: +7 (903) 172-98-97 Olga S. Chigrina, Head of Sector of the Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: schigrin@mail.ru tel.: +7 (903) 172-98-97

Александра Юрьевна Дозорова<sup>™</sup>, инженер лаборатории кирпичных, блочных и панельных зданий (№ 7), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: alexderges@yandex.ru тел.: +7 (499) 170-10-88 Alexandra Yu. Dozorova<sup>™</sup>, Engineer of the Laboratory of Brick, Block and Panel Buildings (No. 7), Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: alexderges@yandex.ru tel.: +7 (499) 170-10-88

Александр Викторович Логвинов, технический директор, ООО «ТД БРАЕР», Москва

e-mail: logvinov@braer.ru тел.: +7 (915) 368-36-60 **Alexander V. Logvinov,** Technical Director, LLC "Trade House BRAER", Moscow e-mail: logvinov@braer.ru tel.: +7 (915) 368-36-60

⊠ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author