

УДК 69.001.5

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-74-84](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-74-84)

# ВЛИЯНИЕ ШЛИФОВАНИЯ НАГРУЖАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ КЛАДОЧНЫХ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ СЖАТИИ

## THE EFFECT OF GRINDING THE LOADED SURFACE ON THE STRENGTH OF MASONRY WALL CERAMIC PRODUCTS IN COMPRESSION

О. И. ПОНОМАРЕВ, канд. техн. наук

М. А. МУХИН

А. С. ВЕТКОВ

А. Ю. ИВАНОВА

*Целью исследования является определение наиболее эффективных методов испытаний керамических кладочных изделий на сжатие. Необходимо уточнение методики испытаний пустотных керамических кладочных изделий, изготовленных методом пластического формования, имеющих на нагружаемой (опорной) поверхности каверны, наплывы, пустоты. Требуется сопоставить полученные результаты с данными зарубежных стандартов и рекомендовать использовать полученные результаты в отечественных стандартах в целях их гармонизации с европейскими стандартами.*

*Исследуются методы испытания на сжатие керамического кирпича пластического формирования при трех типах подготовки нагружаемых поверхностей, используемых в действующем стандарте ГОСТ 8462.*

*Получены статистические данные о прочности кирпича, при испытаниях с использованием прокладок между прессом и поверхностью*

*Determination of the most effective compression test methods for ceramic masonry products was the aim of investigation. It is necessary to clarify the testing methodology for hollow ceramic masonry products made by plastic molding, having cavities, saggings, voids on the loaded (supporting) surface. It is required to compare the results obtained with the data of foreign standards and recommend using the obtained results in domestic standards to harmonize them with European ones.*

*The methods of testing for compression of ceramic bricks of plastic formation with three types of preparation of loaded surfaces, used in the current standard GOST 8462, investigated.*

*Statistical data on the strength of bricks obtained during tests using gaskets between the press and the brick surface made of technical felt, with preliminary grinding of the supporting surfaces, as well as using cement mortar. Based on the results obtained,*

кирпича из технического войлока, с предварительным шлифованием опорных поверхностей, а также с использованием подливки цементным раствором. На основании полученных результатов даются рекомендации по испытаниям с учетом международного опыта.

*recommendations for testing given, taking into account international experience.*

### Ключевые слова:

*Испытания, кладка, методы подготовки нагружаемой поверхности, пластическое формование, статистическая обработка*

### Key words:

*Laying, methods of preparation of the loaded surface, plastic formation, statistical processing, tests*

### Введение

Возведение современных зданий непрерывно совершенствуется как в результате применения новых технологий возведения стен, так и вследствие появления новых кладочных материалов, методов их изготовления и контроля качества. Показатели прочности керамических изделий, изготавливаемых методом пластического формования, полученные при испытаниях на сжатие, во многом зависят от состояния нагружаемых опорных поверхностей (примыкающих к пластинам пресса), влияния сил трения, возникающих между пластинами пресса и нагружаемыми поверхностями образца. Эта зависимость была изучена в 1935 г. А. Н. Молявко – Высоцким и дополнена в 1939 г. Л. И. Онищиком. Тогда было обращено внимание на изменение картины разрушения кубиков и кирпичей. Если обеспечено свободное «скольжение» образца при сжатии вдоль опорной плиты пресса, т. е. поперечные («пуассоновские») деформации не сдерживаются трением, то разрушающие нагрузки оказываются меньшими, чем в случае примыкания горизонтальных поверхностей «насухо». При этом изменяется даже картина разрушения образца. Различные способы испытаний были проанализированы С. В. Поляковым [3] в 1959 г. при изучении длительной прочности кладки. Испытания бетонных кубиков, также подтверждают большое влияние сил трения на опорных поверхностях на величину разрушающей нагрузки.

Методика определения прочности керамических изделий пластического формования по российским стандартам предусматривала выравнивание опорных поверхностей изделий раствором, прокладками или шлифованием. Отклонение от плоскости нагружаемых поверхностей испытываемого образца не должно превышать 0,1 мм на каждые 100 мм, а отклонение от прямолинейности верхней поверхности – 1 мм на каждые 100 мм длины.

При этом в качестве основных для подготовки нагружаемых поверхностей были приняты следующие методы:

- для керамических изделий пластического формирования – подливка цементным раствором;
- для керамических изделий полусухого прессования и силикатных изделий – «насухо» без выравнивания поверхностей;
- для бетонных стеновых камней – выравнивание цементным раствором, если их отклонение от плоскости превышает 0,3 мм;

– для камней из горных пород и блоков из природного камня – шлифование или выравнивание цементным раствором.

В целях ускорения и упрощения проведения испытаний ГОСТ 8462 допускал для керамических изделий пластического формования использование прокладок из технического войлока, резиноканевых пластин, картона для выравнивания нагружаемой поверхности вместо выравнивания поверхности раствором или шлифованием.

Сравнение результатов экспериментальных исследований, проведенных в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко и в других организациях, показывает, что методика испытаний керамических стеновых кладочных изделий, изготовленных методом пластического формования, на войлоке, резиноканевых пластинах и других аналогичных материалах приводит к более низким показателям прочности изделий при сжатии (примерно на 30-45%) по сравнению с результатами испытаний с выравниванием поверхности цементным раствором или шлифованием приведены в таблице.

### **Анализ результатов испытаний кладочных изделий, выпускаемых на современных технологических линиях, и предложения по корректировке ГОСТ 8462**

Специалистами ООО «ВНИИСтром-НВ» и ООО «Винербергер Кирпич» для сравнения проведены испытания кирпича и крупноформатных камней POROTHERM-12, выпускаемых ООО «Винербергер кирпич» [4, 5].

Для лабораторных исследований применялись керамические пустотелые кирпичи пластического формования. Были выполнены три серии испытаний кирпича с различными методиками подготовки опорных поверхностей: подливка из раствора, войлочные прокладки и шлифование опорных поверхностей.

При отборе образцов уделяли внимание однородности структуры, отсутствию трещин. Образцы были отшлифованы в лабораторных условиях с использованием специализированной шлифовальной машины, обеспечивающей параллельность нагружаемых поверхностей образца.

Учитывая, что в европейских стандартах в качестве основного метода подготовки нагружаемой поверхности для проведения испытаний керамических изделий пластического формования принят метод шлифования, в целях гармонизации российских и европейских норм в российских стандартах целесообразно также предусмотреть возможность использования при таких испытаниях метод шлифования нагружаемой поверхности.

В проекте национального стандарта РФ ГОСТ Р 58527-2019 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе» в пп. 4.3.5, 4.3.6 предложена следующая редакция:

«Образцы из керамического кирпича и камня пластического или другого вида формования подготавливают к испытаниям, выравнивая их опорные поверхности шлифованием.

Шлифованные образцы испытывают без использования раствора или прокладок из иных материалов.

Предел прочности при сжатии шлифованного изделия определяют по результатам испытаний в соответствии с разделом 4.6 настоящего стандарта.

Предел прочности при сжатии нешлифованного изделия принимается по результатам испытания шлифованного изделия с «коэффициентом перехода» K1, который определяется по результатам испытаний в соответствии с приложениями В и Г ГОСТа 8462.

Предел прочности силикатного кирпича и камня и керамического кирпича полусухого прессования определяется по результатам испытаний насухо, не производя выравнивания их поверхностей».

Принятие метода шлифования нагружаемой поверхности в качестве основного метода, без введения переходного коэффициента на данном этапе необоснованно, так как в нашей стране с 30-х годов прошлого столетия при проведении испытаний кладочных керамических стеновых изделий пластического формования используется метод подливки опорных поверхностей цементным раствором. Указанный фактор может вносить искажения при сравнении прочности кладочных керамических изделий, которые выполнены в разные периоды времени.

Система нормативных документов и стандартов, действующая в нашей стране, взаимосвязана и учитывает указанный метод испытаний.

Новая редакция ГОСТ 8462 предусматривает возможность использования метода шлифования при подготовке нагружаемой поверхности для проведения испытаний керамического кирпича и камней на сжатие. При этом прочность нешлифованных изделий должна определяться по результатам контрольных испытаний в соответствии с приложениями В и Г ГОСТ для каждого завода (оборудования) и учитываться затем при назначении расчетных сопротивлений.

*Следует отметить, что с повышением уровня культуры подготовки и проведения испытаний методом шлифования опорных поверхностей, результаты лабораторного контроля прочности будут более достоверны.*

Результаты испытаний показали, что средняя прочность испытанных шести пар образцов составила 11,2 и 14,7 МПа соответственно при испытании на войлоке и со шлифованием нагружаемой поверхности образцов, т. е. марка по прочности в случае испытаний на войлоке составила М100, а при шлифовке поверхности – М150.

Снижение показателей прочности керамического кирпича при испытании на войлоке составило 22%.

Результаты испытаний керамического пустотелого кирпича, выполненные в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, приведены в табл. 1.

Испытания проведены на образцах керамического кирпича для определения показателей прочности при использовании различных методик испытаний. Первая серия выполнялась на образцах из двух половинок керамического кирпича с подливкой раствором, вторая – из керамического кирпича со шлифовкой нагружаемых поверхностей и третья серия – из двух половинок керамического кирпича с использованием войлочных прокладок.

Анализ результатов испытаний показал, что наибольшие значения среднего предела прочности кирпича при сжатии получены при подготовке нагружаемой поверхности методом шлифования (вторая серия испытаний) 22,25 МПа. Это обусловлено более высокими силами трения, возникающими на опорных поверхностях изделия (образец-плита пресса).

При использовании для выравнивания опорной поверхности цементного раствора средний предел прочности составил 18,43 МПа.

Самые низкие показатели были получены при испытаниях образцов с применением прокладок из войлока, которые максимально снижают трение между поверхностями образца и пресса. Средний предел прочности составил 11,86 МПа, т. е. на 40% ниже, чем при испытаниях с подготовкой нагружаемой поверхности методом шлифования.

Исследования прочности и напряженно-деформированного состояния кирпича и камня при различных способах испытаний проводились специалистами ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко в разные годы.

Ранее уже было отмечено, что наиболее детальный анализ был проведен С. В. Поляковым в работе [3].

Полученное при экспериментах снижение прочности изделий при испытании на войлоке по сравнению с испытаниями шлифованных керамических изделий можно объяснить при анализе напряженно-деформативного состояния образца в опорной зоне. Как известно, продольным деформациям материалов всегда сопутствуют поперечные деформации, которые оказывают большое влияние на прочность испытываемых изделий.

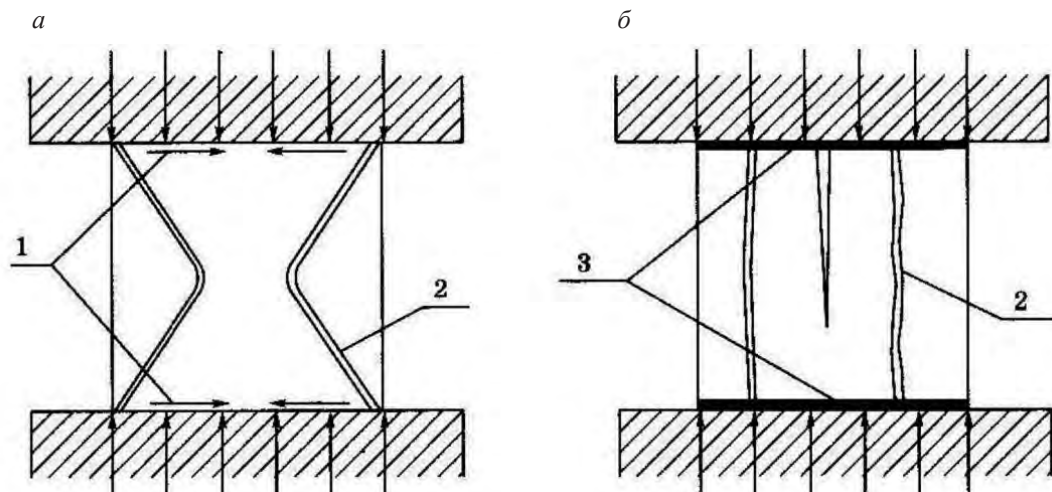
При испытании образцов на сжатие в контактной зоне между прессом и изделиями возникают силы трения, которые препятствуют поперечным деформациям испытываемых образцов и увеличивают разрушающую нагрузку.

При испытаниях с использованием войлочных прокладок возникающие горизонтальные растягивающие напряжения в образцах значительно выше, чем при испытаниях на растворе или при шлифовке изделий, что снижает разрушающую нагрузку.

Этот фактор детально изучен при анализе напряженного состояния бетонных кубиков при испытании на сжатие.

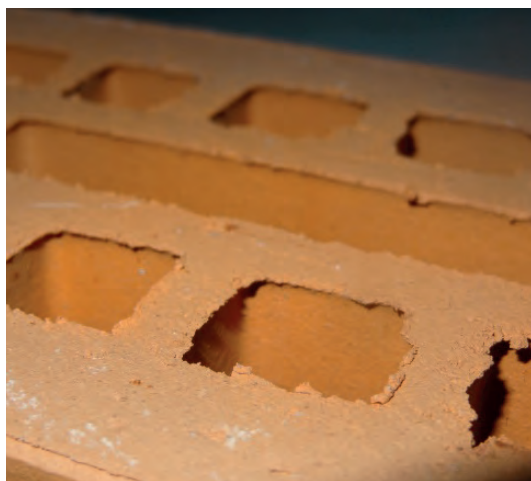
На рис. 1, *а* приведена схема разрушения бетонных кубиков при определении прочности на сжатие (при наличии сил трения и при снижении сил трения за счет смазки).

Возникающие при сжатии образца силы трения в контактной зоне между поверхностью пресса и кубика снижают поперечные деформации испытываемого образца. Поэтому прочность на сжатие образца при выравнивании опорной поверхности шлифованием повышается на 20-40% по сравнению с иными рассматриваемыми в статье методами, когда силы сцепления между поверхностями испытываемых образцов и прессом снижены за счет смазки или прокладок (рис. 1, *б*).



**Рис. 1.** Характер разрушения бетонных кубов при испытаниях на сжатие при различных коэффициентах трения по опорным поверхностям: а – при наличии трения по опорным поверхностям; б – при отсутствии трения по опорным поверхностям; 1 – силы трения; 2 – характер разрушения; 3 – смазка

Анализ деформаций и напряженного состояния керамических кладочных изделий, изготовленных методом пластического формования, при испытании на сжатие показывает, что разрушение в зоне контакта поверхности прессы с изделием начинается с разрушения наплывов, заусенцев, каверн, имеющих на поверхности керамических изделий пластического формования (рис. 2 и 3). В результате появления ослабленного слоя между поверхностями изделий и прессы и снижения сил трения происходит уменьшение «регистрируемых» значений прочности испытываемого изделия [1, 2].



**Рис. 2.** Типовой образец керамического кирпича до шлифования



**Рис. 3.** Поверхность керамического кирпича после шлифования

Показатели прочности при испытании шлифованных изделий – вторая серия испытаний (насухо) – более стабильны по сравнению с первой (подливка раствором) и третьей (войлочные прокладки) сериями испытаний.

Анализ методики подготовки нагружаемой поверхности при испытании кладочных керамических изделий пластического формования на сжатие показывает, что метод шлифования изделий приводит не только к повышению прочности, но и снижает разброс прочности отдельных образцов (увеличивается достоверность результатов испытаний).

Этот фактор установлен в исследованиях А. П. Молявко-Высоцкого и Л. И. Онищика [6, 7].

### **Обработка экспериментальных результатов по испытаниям кирпича на сжатие**

Испытания проводились в соответствии с положениями методики испытаний, приведенной в ГОСТ 8462; сводные данные по результатам испытаний образцов из одинарного 1,0 НФ (нормальный формат) пустотелого керамического кирпича по ГОСТ 530 [9] приведены в таблице.

Выполнены следующие серии испытаний:

- 1-я – из двух половинок кирпича (1,0 НФ) на цементном растворе;
- 2-я – из двух половинок кирпича (1,0 НФ) со шлифованными опорными поверхностями (насухо);
- 3-я – из двух половинок кирпича (1,0 НФ) с войлочными прокладками.

Таблица

## Результаты испытаний керамического пустотелого кирпича на сжатие

1-я серия испытаний			2-я серия испытаний			3-я серия испытаний									
Образец из двух половинок кирпича (1,0 НФ)			Образец из двух половинок кирпича (1,0 НФ)			Образец из двух половинок кирпича (1,0 НФ)									
Половинки кирпича (на цементном растворе)			шлифованный (насухо)			Половинки кирпича с прокладкой войлока									
№ пп	Размеры образца, см	Предел прочности, МПа	Отклонение от сред., %	№ пп	Размеры образца, см	Предел прочности, МПа	Отклонение от сред., %	№ пп	Размеры образца, см	Предел прочности, кгс/см <sup>2</sup>	Отклонение от сред., %				
												R <sub>l</sub>	R <sub>sp</sub>	R <sub>l</sub>	R <sub>sp</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	15
1.1	12,2×11,9	20,5	<b>18,3</b>	11,57	2.1	12,2×12,1	26,08	<b>22,5</b>	-28,26		3.1	12×12,2	8,8	<b>11,8</b>	-25,82
1.2	12,2×11,8	18,7		1,78	2.2	12,3×12,2	22,31		26,30		3.2	12,2×12,1	10,9		-8,11
1.3	12,1×12,2	19,7		7,22	2.3	12,3×12,1	19,19		-23,31		3.3	12,3×12,1	14,3		20,55
1.4	12,1×12,1	17,5		-4,75	2.4	12,4×12,1	20,67		-7,78		3.4	12,3×12,0	11,1		-6,43
1.5	12,2×12	12,3		-16,73	2.5	12,2×12,1	16,39		-26,88		3.5	11,5×12,1	10,9		-8,11
1.6	12,2×12	17,7		-3,66	2.6	12,2×12,2	22,15		25,59		3.6	11,5×12,0	13,4		12,96
1.7	12,2×11,8	18,6		1,23	2.7	12,3×12,1	24,27		8,28		3.7	11,7×12,1	12,1		2,0
1.8	12×12,3	17,1		-6,93	2.8	12,4×12,1	22,05		-46,24		3.8	11,7×12,1	13,4		12,96
1.9	12,2×12,2	19,4		5,59	2.9	12,5×12,1	24,79		10,60						
1.10	12,2×12	19,6		6,68	2.10	12,3×12,1	26,34		26,44						
1.11	12,2×11,8	20,2		9,94	2.11	12,3×12,1	19,43		-22,24						
1.12	12,2×11,8	18,7		1,78	2.12	12,3×12,1	19,55		-21,70						
1.13	12,1×11,8	17,5		-4,75	2.13	12,3×12,1	22,92		2,26						
1.14	12,2×12,8	18,6		1,23	2.14	12,3×12,0	27,19		21,31						
1.15	12,2×11,8	16,5		-10,2	2.15	12,2×12,1	24,88		55,62						

### Первая серия испытаний

Наиболее характерные значения результатов испытаний первой серии (с подливкой на растворе) отдельных образцов находились в пределах 17,1 до 20,5 МПа.

Количество образцов обозначалось  $n$ , значения предела прочности из таблицы –  $x$  (графа 4), сумма значений –  $\sum x$ , сумма квадратов значений –  $\sum x^2$ , среднее арифметическое  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$ , стандартные эмпирическое отклонение по выборке  $S_k$ .

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Определяются  $n$  от начальных значений данных:

$$n = 15;$$

$$\sum x^2 = 5009,94;$$

$$\sum x = 272,6;$$

$$\bar{x} = 18,3.$$

Среднее арифметическое  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 18,3$ .

$S_k = 2,0$  – стандартное эмпирическое отклонение по выборке;

Коэффициент вариации в выборке

$$\bar{V} = \frac{S_k}{\bar{x}} 100\% = \frac{2,0}{18,3} 100\% = 10,93\%.$$

### Вторая серия испытаний

При рассмотрении второй серии образцов (шлифованные половинки кирпича 1,0 НФ насухо) определяются  $n$  от начальных значений данных:

$$n = 15;$$

$$\sum x^2 = 7117,32;$$

$$\sum x = 322,9;$$

$$\bar{x} = 22,54;$$

$$S_k = 3,09.$$

Коэффициент вариации в выборке

$$\bar{V} = \frac{S_k}{\bar{x}} 100\% = \frac{3,09}{22,54} 100\% = 13,71\%.$$

### Третья серия испытаний

При рассмотрении третьей серии образцов (с прокладками из технического войлока) определяются  $n$ , от начальных значений данных:

$$n = 8;$$

$$\sum x^2 = 1148,29;$$

$$\sum x = 94,9;$$

$$\bar{x} = 11,86;$$

$$S_k = 1,79.$$

Коэффициент вариации в выборке

$$\bar{V} = \frac{S_k}{\bar{x}} 100\% = \frac{1,79}{11,86} 100\% = 15,09\%.$$



**Анализ экспериментальных данных**Среднее арифметическое значения  $\bar{x}$  для трех испытаний:

Серия №1	Серия №2	Серия №3
18,8	22,25	11,86
разброс $S_k$ :		
2,0	3,09	1,79

Максимальные значения предела прочности получены по результатам второй серии испытаний. По сравнению с результатами испытаний первой серии:

$$\frac{22,25}{18,8} \times 100 = 118,35\%;$$

по сравнению с результатами третьей испытаний серии

$$\frac{22,25}{11,86} \times 100 = 187,60\%.$$

Результаты испытаний:

$$1\text{-я серия} - S_k = 2,0;$$

$$2\text{-я серия} - S_k = 3,09;$$

$$3\text{-я серия} - S_k = 1,79.$$

**Выводы**

1. Применение методики шлифования нагружаемой опорной поверхности при испытании кладочных керамических изделий пластического формования дает более высокие значения прочности на сжатие по сравнению с методами выравнивания опорной поверхности образцов цементным раствором или с применением прокладок.

2. При испытании шлифованных кладочных стеновых изделий выявлена бóльшая стабильность результатов, по сравнению с испытаниями, в которых используются другие способы подготовки опорных поверхностей.

3. До введения в ГОСТ 58527-19 [10], где в качестве основного метода выравнивания опорных поверхностей принят метод шлифования, в СП 15.13330 [8] должен быть уточнен метод определения прочности кладки из шлифованных и нешлифованных керамических изделий.

4. В настоящее время для каждого завода (оборудование) прочность нешлифованных керамических изделий (кирпича, камня), изготавливаемых методом пластического формования, должна определяться по результатам испытаний шлифованных изделий с учетом коэффициента перехода, определяемого по ГОСТ 58527 приложения В и Г.

## Библиографический список

1. *Пятикрестовский К.П., Мухин М.А.* Применение современных критериев прочности стеновых тонкошовных клеевых каменных кладок // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году.* 2019. С. 458-468.
2. *Пономарев О.И., Пятикрестовский К.П., Мухин М.А.* Расчет новых каменных конструкций в плоском напряженном состоянии // *Вестник НИЦ Строительство.* 2019. №. 2. С. 136-146.
3. *Поляков С.В.* Длительное сжатие кирпичной кладки. М.: Госстройиздат. – 1959. 183 с.
4. *Сапелин Н.А., Ким Д.И.* Методы определения прочности керамических камней // *Технологии бетонов.* 2010. №. 3-4. С. 10-11.
5. *Сапелин Н.А., Ким Д.И.* Определение прочности при сжатии крупноформатных керамических камней: анализ российских и европейских методик испытаний // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.* 2012. №. 12. – С. 46-48
6. *Моляко-Высоцкий А.П.* Роль раствора и различных факторов в прочности кладки. // Ростов н/Д : Азово-Черноморск. краев. кн. изд-во, 1935. 58 с.
7. *Онищик Л.И.* Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий. М.: Госстройиздат, 1939. 208 с.
8. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\* (с Изменениями N 1, 2, 3).
9. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
10. ГОСТ Р 58527-2019 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
11. ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

### Авторы:

Олег Иванович ПОНОМАРЕВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией блочных, кирпичных и панельных зданий ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Oleg PONOMAREV, Ph. D. (Engineering), head of the Laboratory of block, brick and panel buildings TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: 1701088@mail.ru  
тел.: +7 (499) 170-10-59

Михаил Александрович МУХИН, заведующий сектором ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail MUKHIN, Head of the Laboratory sector, TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: mukhin@myrambler.ru  
тел.: +7 (499) 174-77-93

Антон Сергеевич ВЕТКОВ, научный сотрудник ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Anton VETKOV, Researcher of TSNIISK named after V. A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: [vetkov.anton@yandex.ru](mailto:vetkov.anton@yandex.ru)

тел.: +7 (499) 174-77-93

Александра Юрьевна ИВАНОВА, инж., студентка НИУ МГСУ, Москва

Aleksandra IVANOVA, engineer, student of MGSU, Moscow