

Б.К. ДЖАМУЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ПРИ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ КЛАДКИ ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРАХ И КЛЕЕВЫХ СОСТАВАХ

*Аннотация.* В статье представлены результаты сравнительного анализа прочности при осевом растяжении кладки, выполненной из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на цементных растворах различных марок и пенополиуретановых клеевых составах различных производителей. Испытания проведены на опытных образцах, выполненных из склеенных между собой двух кубов размерами 150x150x150 мм. В качестве ячеистого бетона применены блоки автоклавного твердения класса по прочности на сжатие В1.5, В2.5, В3.5, в качестве связующего использованы цементный раствор марок М200 и М300, пенополиуретановые клеи марок «Tytan Professional», «Технонисколь», «Bonolit», «KUDO». Эксперимент проведен на базе Лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ». На основе проведенного эксперимента получены значения увеличения прочности кладки при осевом растяжении в зависимости от применяемого связующего в качестве кладочного раствора.

*Ключевые слова:* ячеистобетонный блок автоклавного твердения, прочность кладки при осевом растяжении, цементный раствор, пенополиуретановый клеевой состав, испытание, кладка.

В.К. DZHAMUEV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

## ANALYSIS OF THE AXIAL TENSILE STRENGTH OF MASONRY MADE OF AUTOCLAVE-HARDENED CELLULAR CONCRETE BLOCKS ON VARIOUS MORTARS AND ADHESIVE COMPOSITIONS

*Abstract.* The article presents the results of a comparative analysis of the axial tensile strength of masonry made of autoclaved cellular concrete blocks with cement mortars of various grades and polyurethane adhesive compositions of various manufacturers. The tests were carried out on prototypes made of two cubes of 150x150x150 mm glued together. As cellular concrete, blocks of autoclaved hardening of the compressive strength class B1.5, B2.5, B3.5 were used. M200 and M300 cement mortars, "Tytan Professional", "Technonicol", "Bonolit" and "KUDO" foamed polyurethane glues were used as a binder. The experiment was performed in the Laboratory of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures of the Moscow State University of Civil Engineering. On the basis of the experiment, the values of the increase in the strength of the masonry under axial tension were obtained depending on the binder.

*Keywords:* autoclave-hardened cellular concrete block, masonry strength under axial tension, cement mortar, polyurethane foam adhesive composition, testing, masonry.

### Введение

Производство мелкоштучных кладочных элементов из ячеистого бетона автоклавного твердения одна из динамично развивающихся отраслей промышленности строительных материалов. И это не удивительно, т.к. ячеистый бетон производится из местного,  
© Джамуев Б.К., 2022

экологически чистого материала, а дешевизна его производства создает еще для конечного потребителя возможность реализации мечты о комфортном и недорогом жилье. Всё вышесказанное в совокупности создает повышенный спрос на данный материал как в частном домостроении, так и в крупном, индустриальном.

В настоящее время для возведения стен зданий на территории РФ широкое распространение получила кладка, выполненная с использованием ячеистобетонных блоков автоклавного твердения и цементного или полимерцементного кладочного раствора. Недостатки кладки на цементном растворе уже давно всем известны: это и значительная толщина шва, и долгий период подготовительных работ, и наличие мостиков холода в месте швов кладки, и т.п., в итоге приводящие к тому, что блоки при вертикальных нагрузках на кладку помимо сжатия испытывают еще и растяжение при изгибе, тем самым снижая прочность кладки.

Как показали исследования Деркача В.Н., Горшкова А.С., Ватина Н.И., Мишина В.Е. [1-3] часть недостатков кладки на цементном растворе можно устранить при замене толстошовного ( $\delta=15\div 20$  мм) цементного раствора на клеевой: полимерцементный ( $\delta=1\div 3$  мм) или пенополиуретановый ( $\delta\approx 1,5$  мм).

Исследованиями монолитности кладки, выполненной из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на различных кладочных растворах, занимались в разное время Вишневецкий А.А., Грановский А.В., Гринфельд Г.И., Деркач В. Н. и др. [4-11]. В статьях [12-14] представлены результаты экспериментальных исследований прочности при осевом растяжении кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения, выполненной на различных цементных и полимерцементных растворах. В дополнение к уже опубликованным исследованиям в Лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» были проведены ряд испытаний с определением прочности при осевом растяжении кладки, выполненной из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на различных цементных и пенополиуретановых клеевых составах.

### Модели и методы

Нормальное сцепление в кладке определялось на опытных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 24992-2014 [15] путем испытания их на осевое растяжение. Сущность метода заключается в определении характеристики удельной работы для разделения блока и раствора при действии осевого растягивающего усилия, направленного перпендикулярно плоскости их контакта (по неперевязанным швам). Для испытаний опытных образцов была применена соответствующая требованиям ГОСТ 28840-90 [16] электромеханическая универсальная испытательная машина WDW-300E с максимальной нагрузкой 300кН и захватные приспособления. Схема испытания образцов на осевое растяжение представлена на рисунке 1,а.

Опытные образцы всех серий выполнены из склеенных между собой двух кубов размерами 150х150х150 мм, которые в свою очередь выпилены из ячеистобетонных блоков (см. рисунок 1,б). На каждом блоке были выпилены пазы размерами 20х20 мм под захватное устройство. Перед нанесением связующих растворов все образцы были тщательно обеспылены. Склеенные опытные в течении 28 суток выдерживались в нормальных тепловлажностных условиях под небольшим давлением (порядка 9-10 кг) для обеспечения лучшего сцепления связующего раствора с поверхностью ячеистого бетона.

В испытаниях были применены блоки различной прочности, соответствовавшей классам бетона по прочности на сжатие: В1.5, В2.5, В3.5. До испытаний на осевое растяжение опытных образцов были проведены испытания на сжатие кубов из ячеистого бетона размерами 150х150х150 мм с целью определения класса бетона по прочности на сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 [17], а также испытания кубов из цементных растворов размерами 70,7х70,7х70,7 мм по методике ГОСТ 5802-86 [18] для определения их прочности. Эти испытания гарантировали применение в опытных образцах

для испытаний на осевое растяжение кубов необходимого класса бетона (В1.5, В2.5, В3.5) и кладочного цементного раствора с известным значением прочности при сжатии.

В качестве связующего в образцах использовались следующие составы: цементный раствор М200 (серия №1), цементный раствор М300 (серия №2), пенополиуретановый клей «Тytan Professional» (серия №3), пенополиуретановый клей «Технониколь» (серия №4), пенополиуретановый клей «Bonolit» (серия №5), пенополиуретановый клей «KUDO» (серия №6).

Таким образом, в каждой серии было изготовлено по девять опытных образца: три на кубах из бетона В1.5, три на кубах из бетона В2.5, три на кубах из бетона В3.5. В общей сложности, в сравнительном анализе были использованы данные по результатам испытаний 54-х образцов (рисунок 2).

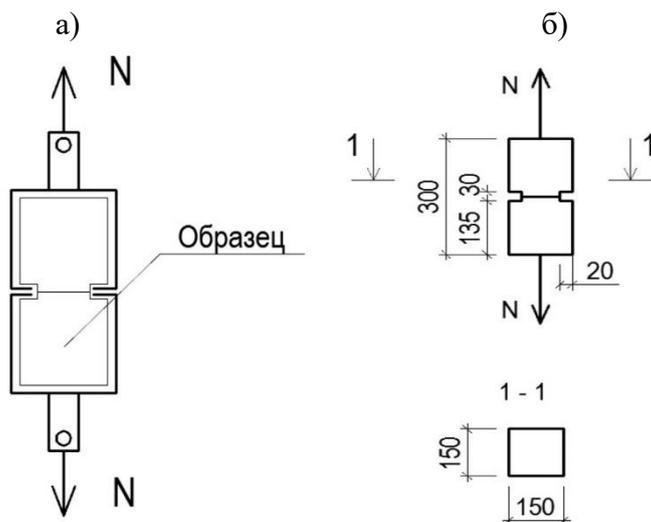


Рисунок 1 – Схема испытания (а) и размеры (б) опытных образцов.



Рисунок 2 – Общий вид образцов 1-й и 6-й серий

В эксперименте применялась схема жесткого захвата с использованием опорных частей испытательной разрывной машины, установленных так, чтобы соосно передавать растягивающие усилия между половинками образца. Для обеспечения соосности передачи усилия между захватами они были соединены с опорными устройствами испытательной машины через шарнир Гука. Концевой элемент устанавливался в опорном устройстве испытательной машины. Перед каждой установкой нового образца в разрывную машину, остатки предыдущего образца, прошедшего испытания удалялись из захватных устройств.

**Результаты исследования и их анализ**

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку, а предел прочности нормального сцепления кладки  $R_t^u$  (временное сопротивление осевому растяжению) определялся по формуле (1) ГОСТ 24992-2014 [15]:

$$R_t^u = \frac{F}{A}$$

где,  $F$  – разрушающая нагрузка (Н);

$A$  – общая площадь отрыва ( $\text{мм}^2$ ).

Предел прочности нормального сцепления (при осевом растяжении) в кладке в каждой серии опытных образцов  $R_{t(ср)}^u$  (среднее значение временного сопротивления осевому растяжению) определялся как среднее арифметическое значение всех испытанных образцов серии для одного вида бетона по прочности на сжатие, т.е. как среднее арифметическое результатов испытаний 3-х образцов.

Переход от среднего значения временного сопротивления осевому растяжению к среднему значению расчетного сопротивления осевому растяжению производился в соответствии с требованиями СП 15.13330.2020 [19] путем использования коэффициента  $k = 2.2$ :

$$R_t = \frac{R_t^u}{k}$$

Таблица 1 – Результаты испытаний опытных образцов на осевое растяжение (нормальное сцепление)

| Серия кладочного раствора                                      | Ср. значение временного сопротивления осевому растяжению, $R_{t(ср)}^u$ (кПа) | Ср. значение расчетного сопротивления осевому растяжению, $R_{t(ср)}$ (кПа) | Повышение прочности относительно серии №1, (%) |
|--|---|---|--|
| <b>Ячеистобетонный блок класса по прочности на сжатие В1.5</b> |   |   |  |
| Серия №1   | 102,7   | 46,7  | -  |
| Серия №2   | 104,3   | 47,4  | 1  |
| Серия №3   | 117,9   | 53,6  | 15   |
| Серия №4   | 114,3   | 52,0  | 11   |
| Серия №5   | 116,0   | 52,7  | 13   |
| Серия №6   | 112,0   | 50,9  | 9  |
| <b>Ячеистобетонный блок класса по прочности на сжатие В2.5</b> |   |   |  |
| Серия №1   | 142,5   | 64,8  | -  |
| Серия №2   | 146,4   | 66,5  | 3  |
| Серия №3   | 185,8   | 84,5  | 30   |
| Серия №4   | 172,3   | 78,3  | 21   |
| Серия №5   | 178,6   | 81,2  | 25   |
| Серия №6   | 156,5   | 71,1  | 10   |
| <b>Ячеистобетонный блок класса по прочности на сжатие В3.5</b> |   |   |  |
| Серия №1   | 159,7   | 72,6  | -  |
| Серия №2   | 164,3   | 74,7  | 3  |
| Серия №3   | 187,1   | 85,0  | 17   |
| Серия №4   | 199,5   | 90,7  | 25   |
| Серия №5   | 187,9   | 85,4  | 18   |
| Серия №6   | 174,5   | 79,3  | 9  |

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований определения прочности при осевом растяжении кладки, выполненной из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на различных цементных растворах и пенополиуретановых клеях (см. таблицу 1) позволяет сделать следующие выводы:

1. Характер разрушения образцов 1-й и 2-й серий, выполненных на цементном растворе марок М200 и М300 соответственно, указывает на недостаточное сцепление по контакту «шов-камень» и, как следствие этого, на низкую монолитность кладки, выполненной на таких растворах (рисунок 3,а).

2. Характер разрушения образцов 3÷6-й серий, выполненных на пенополиуретановых клеях, указывает на высокое сцепление по контакту «шов-камень», т.к. все без исключения образцы разрушались по «телу» бетона (рисунок 3,б).

3. Применение в качестве кладочного цементного раствора М300 вместо М200 приводит к увеличению прочности кладки осевому растяжению по неперевязанному сечению на  $1\div 3\%$ , что незначительно и находится в рамках погрешности измерений. Таким образом, использование растворов повышенных марок с целью увеличения прочности кладки осевому растяжению безрезультативно и нецелесообразно с экономической точки зрения.

4. При использовании в кладке из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения классов по прочности на сжатие В1.5, В2.5 и В3.5 различных пенополиуретановых клеевых составов вместо цементных растворов марки М200, расчетное сопротивление осевому растяжению по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки повышается соответственно на  $9\div 15\%$  (В1.5),  $10\div 30\%$  (В2.5) и  $9\div 25\%$  (В3.5).

5. Прочность при осевом растяжении по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения класса В1.5, выполненной на цементных и клеевых составах ниже нормируемого значения, представленного в табл.6.11 СП 15.13330.2020 [19]. Таким образом, использование в кладке из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения класса по прочности на сжатие В1.5 пенополиуретанового клея нецелесообразно.

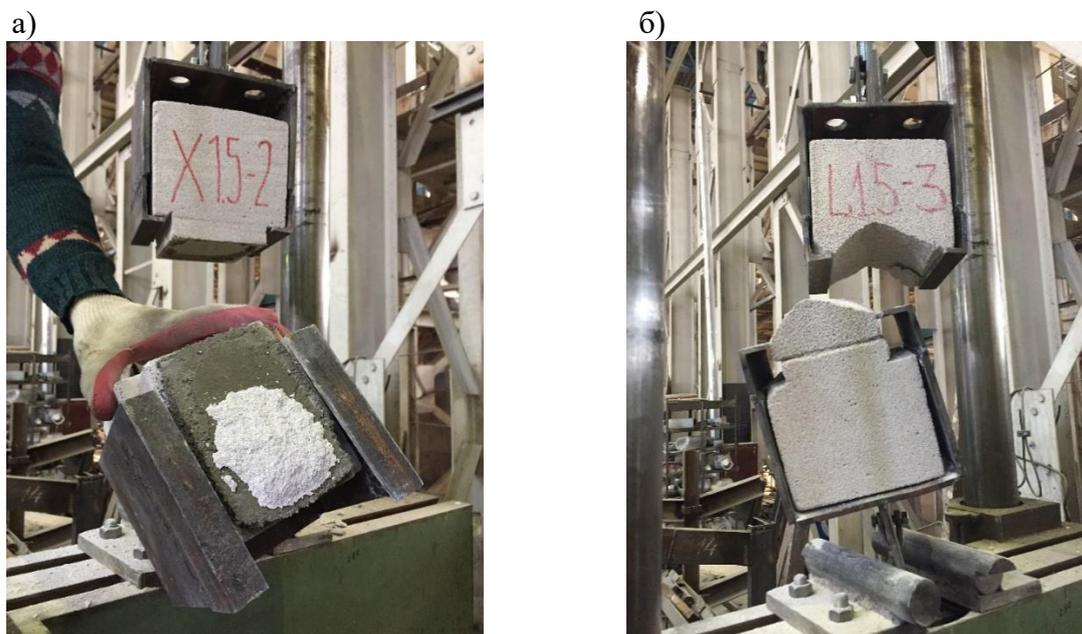


Рисунок 3 – Характер разрушения образцов 1-й и 6-й серий

### Вывод

Характер разрушения образцов и анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод, что сопротивление осевому растяжению по неперевязанному сечению (нормальное сцепление) кладки зависит от прочности осевому растяжению материала из которого изготовлен блок, а не от прочности на сжатие используемого кладочного (связующего) раствора, как указано в таблице 6.11 СП 15.13330.2020 [19]. Это фактор необходимо учитывать при расчетах кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на пенополиуретановых составах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.С., Ватин Н.И. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клее // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 5. С.5-18.
2. Горшков А.С., Мишин В.Е., Ватин Н.И. Повышение теплотехнической однородности стен из ячеистобетонных изделий за счет использования в кладке полиуретанового клея // Строительные материалы. 2014. №5. С. 57-64.
3. Глумов А. Кладка на полиуретановых составах: как устранить мостики холода // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. №4. С. 30-31.
4. Грановский А.В., Джамуев Б.К. Испытания стеновых конструкций из ячеистобетонных блоков на сейсмические воздействия. Современное производство автоклавного газобетона: Сборник докладов научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2011. С. 104-108.
5. Грановский А.В., Джамуев Б.К., Вишневский А.А., Гринфельд Г.И. Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах. // Строительные материалы. 2015. №8. С.22-25
6. Гринфельд Г.И., Харченко А.П. Сравнительные испытания фрагментов кладки из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва // Жилищное строительство. 2013. №11. С. 30-34.
7. Деркач В. Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 1. Прочность и деформативность при сжатии // Строительные материалы. 2017. №5. С. 29-32.
8. Деркач В. Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 2. Прочность на растяжение при изгибе // Строительные материалы. 2017. №7. С. 30-33.
9. Деркач В. Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 3. Прочность и деформативность при сдвиге // Строительные материалы. 2017. №8. С. 32-35.
10. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesive. 8th International Masonry Conference 2010. Dresden, 2010.
11. Graubohm M, Brameshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. 8th International Masonry Conference 2010. Dresden, 2010
12. Лазэр И.И., Джамуев Б.К. Повышение монолитности кладки стен из ячеистобетонных блоков при использовании в швах полимерцементных растворов. Сборник материалов семинара молодых учёных XXII Международной научной конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Ташкент. 2019. С. 333-335.
13. Джамуев Б.К. Полимерцементные растворы в кладке из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения как один из методов повышения нормального сцепления // Жилищное строительство. 2019. №11. С.46-50.
14. Dzhamuev B.K. Comparative analysis of the strength of normal adhesion of a masonry from aerated concrete blocks of autoclave hardening, performed on various cement and polymer-cement mortars. International Conference "Modelling and Methods of Structural Analysis" (MMSA 2019). Vol. 12. P. 1425.
15. ГОСТ 24992-2014 «Конструкции каменные. Методы определения прочности сцепления в каменной кладке».
16. ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования».
17. ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
18. ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний».
19. СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\*».

REFERENCES

1. Gorshkov A.S., Vatin N.I. Properties of wall constructions from cellular concrete products of autoclave hardening on polyurethane glue. *J. Engineering and Construction Journal*. 2013. No. 5. Pp: 5-18. (rus)
2. Gorshkov A.S., Mishin V.E., Vatin N.I. Increasing the thermal uniformity of walls made of cellular concrete products by using polyurethane glue in masonry. *J. Building Materials*. 2014. No. 5. Pp: 57-64. (rus)
3. Glumov A. Laying on polyurethane structures: how to eliminate cold bridges. *J. Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2014. No. 4. Pp: 30-31. (rus)
4. Granovsky A.V., Dzhamuev B.K. Tests of wall structures made of cellular concrete blocks for seismic effects. Modern production of autoclaved aerated concrete: Collection of reports of a scientific and practical conference. St. Petersburg, 2011. Pp: 104-108.

5. Granovsky A.V., Dzhamuev B.K., Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I. Experimental determination of normal and tangential adhesion of masonry from aerated concrete blocks of autoclave hardening on various adhesive compositions. *J. Building Materials*. 2015. No. 8. Pp: 22-25. (rus)
6. Greenfeld G.I., Kharchenko A.P. Comparative tests of masonry fragments from autoclaved aerated concrete with various designs of masonry seam. *J. Housing construction*. 2013. No. 11. Pp: 30-34. (rus)
7. Derkach V.N. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclave hardening with polyurethane joints. Part 1. Strength and deformability under compression. *J. Building Materials*. 2017. No. 5. Pp: 29-32. (rus)
8. Derkach V.N. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclave hardening with polyurethane joints. Part 2. Bending tensile strength. *J. Building Materials*. 2017. No. 7. Pp: 30-33. (rus)
9. Derkach V.N. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclave hardening with polyurethane joints. Part 3. Strength and deformability at shear. *J. Building Materials*. 2017. No. 8. Pp: 32-35. (rus)
10. Lu S., Kasa M., Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesive. 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010. Pp: 224-228.
11. Graubohm M., Bramshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. 8th International Masonry Conference. Dresden, 2010. Pp: 371-376.
12. Lazar I.I., Dzhamuev B.K. The increase in the monolithicity of masonry walls made of cellular concrete blocks when using polymer-cement mortars in joints. The collection of materials of the seminar for young scientists of the XXII International scientific conference «Construction - the formation of the living environment». Tashkent, 2019. Pp: 333-335.
13. Dzhamuev B.K. Polymer cement mortars in masonry of cellular concrete blocks of autoclave hardening as one of the methods of increasing the normal adhesion. *J. Housing construction*. 2019. No. 11. Pp: 46-50. (rus)
14. Dzhamuev B.K. Comparative analysis of the strength of normal adhesion of a masonry from aerated concrete blocks of autoclave hardening, performed on various cement and polymer-cement mortars. International Conference «Modelling and Methods of Structural Analysis». Moscow, 2019. Vol. 12. P: 1425.
15. GOST 24992-2014 «Stone structures. Methods for determining the strength of adhesion in masonry».
16. GOST 28840-90 «Machines for testing materials for tension, compression and bending. General technical requirements».
17. GOST 10180-2012 «Concrete. Methods for determining strength from control samples».
18. GOST 5802-86 «Construction solutions. Test methods».
19. SP 15.13330.2020 «Stone and reinforced stone structures».

**Информация об авторе:**

**Джамуев Булат Калсынович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: [dbk-07@mail.ru](mailto:dbk-07@mail.ru)

**Information about author:**

**Dzhamuev Bulat K.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical science, associated professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: [dbk-07@mail.ru](mailto:dbk-07@mail.ru)