УДК 693.2:666.973.6:624.042.5 DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.25-30

Влияние композитной сетки на прочность кладки при действии нагрузок, моделирующих температурные воздействия

Аркадий Вульфович ГРАНОВСКИЙ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: GranovskiyAV@mgsu.ru

Научно-исследовательский институт экспериментальной механики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Булат Колсынович ДЖАМУЕВ, кандидат технических наук, e-mail: dbk-07@mail.ru

Камиль Зайнутдинович ХАЙРНАСОВ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: kamilh@mail.ru

Андрей Геннадьевич ИШНАЗАРОВ, магистр, e-mail: a.ishnazarov@gmail.com

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

***Аннотация**. Представлены результаты экспериментальных исследований прочности при растяжении по перевязанному шву кладки стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения. Дано описание установки для испытаний фрагментов стен на нагрузки, моделирующие температурные воздействия, которые возникают в зданиях из каменных материалов. Отмечено отсутствие исследований влияния температурных воздействий на кладку стен из ячеистобетонных блоков, армированных композитными сетками на основе базальтового волокна. Приведены результаты испытаний на нормальное сцепление ячеистобетонных блоков в случае использования клеевой смеси марки «AeroStone». По результатам испытаний фрагментов стен на нагрузку, моделирующую температурные воздействия, отмечен эффект применения композитной сетки на основе базальтового волокна марки «NOVAGRID» при осевом растяжении кладки по перевязанному шву. Представлены схемы разрушения кладок образцов с армированием композитной сеткой и без армирования, а также приведены значения разрушающих нагрузок для каждой из конструктивных схем. На примере анализа результатов экспериментальных исследований фрагментов стен из ячеистобетонных блоков показана эффективность применения композитной сетки марки «NOVAGRID» при ее использовании в качестве арматурной для восприятия возникающих в кладке горизонтальных растягивающих усилий.*

***Ключевые слова**: ячеистобетонные блоки, осевое растяжение кладки по перевязанному шву, нормальное сцепление, композитная сетка, базальтовое волокно, температурные воздействия.*

THE IMPACT OF COMPOSITE MESH ON THE STRENGTH OF MASONRY UNDER THE ACTION OF LOADS THAT SIMULATE TEMPERATURE EFFECTS

Arkadiy V. GRANOVSKY, e-mail: GranovskiyAV@mgsu.ru

Research Institute of Experimental Mechanics Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Bulat K. DZHAMUEV, e-mail: dbk-07@mail.ru

Kamil Z. KHAYRNASOV, e-mail: kamilh@mail.ru

Andrey G. ISHNAZAROV, e-mail: a.ishnazarov@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

***Abstract**. The results of experimental studies of the tensile strength of the bandaged seam of walls masonry made of autoclave-hardened cellular concrete blocks are presented. A description of the installation for testing wall fragments for loads that simulate temperature effects that occur in buildings made of stone materials is given. There is no research in the effect of temperature impacts on the masonry of the walls made of cellular concrete blocks reinforced with composite grids based on basalt fiber. The results of tests for normal adhesion of cellular concrete blocks in the case of using an "AeroStone" adhesive mixture are presented. According to the results of tests of wall fragments on the load that simulates temperature effects, the effect of using a composite mesh based on basalt fiber of the "NOVAGRID" brand during axial stretching of the masonry along the bandaged seam was noted. Schemes of destruction of samples of masonry with composite mesh reinforcement and without reinforcement are presented, as well as values of destructive loads for each of the structural schemes are given. On the example of the analysis of the results of experimental studies of fragments of walls made of cellular concrete blocks, the effectiveness of using the NOVAGRID composite mesh when it is used as a reinforcement for the perception of horizontal tensile forces arising in the masonry is shown.*

***Key words**: cellular concrete blocks, axial stretching of masonry along the bandaged seam, normal adhesion, composite mesh, basalt fiber, temperature effects.*

© ГРАНОВСКИЙ А. В., ДЖАМУЕВ Б. К., ХАЙРНАСОВ К. З., ИШНАЗАРОВ А. Г., 2020

Разработка методов расчета каменных конструкций из различных стеновых материалов на действие температуры — одна из актуальных проблем в теории каменной кладки. Действие температуры существенно влияет на характер работы как конструкции, так и здания в целом. При этом могут значительно изменяться и свойства кладки (снижение прочности, повышение пластичности и т. д.), и вид ее напряженного состояния: с учетом возможного появления трещин конструкция может перейти к одноосному, плоскому или объемному напряженным состояниям [1, 2]. На основе экспериментальных и теоретических исследований в работах [3, 4] даны рекомендации по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) кладки стен из керамического кирпича при температурных воздействиях. К сожалению, СП 15.13330.2012 «СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции» не содержит каких-либо указаний по оценке напряженного состояния кладки с учетом длительности и величины температурных воздействий, а также конструктивных рекомендаций по обеспечению прочности и трещиностойкости кладки в зависимости от характера распределения температуры в здании. Начиная с 1990-х гг. мы переписываем старые нормы по каменным конструкциям, совершенно не учитывая, что живем в другую эпоху: появились кладочные материалы и связующие в виде клеевых растворов и клеев, стальную арматуру во всем мире заменяют в кладке на композитную и т. д.

Следует отметить, что в настоящее время единственный нормативный документ, который позволяет проектировать каменные стеновые конструкции на основе ячеистобетонных блоков, армированные композитной сеткой, — СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования», разработанный коллективом НИИЖБ им. А. А. Гвоздева под руководством д-ра техн. наук В. Ф. Степановой.

Попытка установить параметры температурных воздействий на кладку лицевого слоя многослойной стены и оценить характер распределения напряжений в ней при температурных колебаниях наружного воздуха на основе отдельных экспериментальных и численных исследований впервые была сделана в работах [5, 6]. Для восприятия растягивающих напряжений, возникающих в кладке стен при температурных воздействиях, в проектной практике используются различные конструктивные решения: армирование кладки стальной арматурной сеткой или устройство температурных швов.

В последние годы в связи с широким применением композитных материалов в строительстве проводятся исследования по оценке прочностных характеристик кладки из различных материалов, армированной композитной сеткой, при разных видах ее напряженного состояния (сжатие, изгиб, растяжение и т. д.). Большой объем исследований непосредственно композитной арматуры на локальное тепловое воздействие или на различный уровень температурной нагрузки показал, что в интервале температур от −50 до 80 °С прочность на растяжение арматуры из базальтового волокна не изменяется [8—10]. Однако экспериментальных исследований поведения кладки стен, армированной композитной сеткой, при действии температуры или силовых воздействий, моделирующих температурные воздействия, не проводилось.

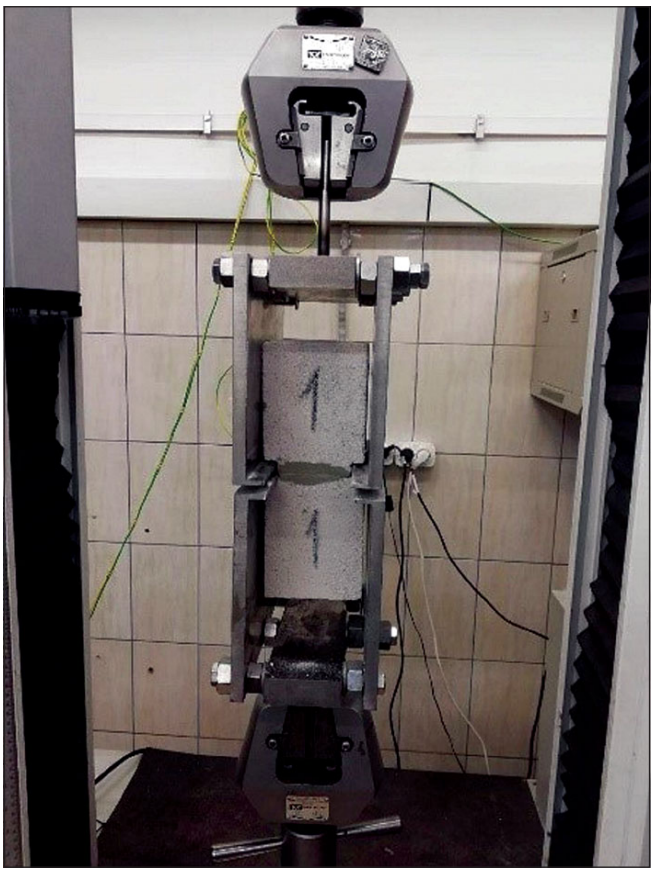

Рис. 1. *Испытание образцов на осевое растяжение*

В Научно-исследовательском институте экспериментальной механики НИУ МГСУ в соответствии с комплексной программой экспериментально-теоретических исследований железобетонных и каменных конструкций, армированных композитной арматурой, были проведены испытания фрагментов кладки стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения (далее — АЯБ) с использованием тонкошовной кладки на основе связующего из клеевой смеси, армированной композитной сеткой из базальтового волокна марки «NOVAGRID», на нагрузки, моделирующие температурные воздействия.

Рис. 2. ***Характер разрушения образцов при растяжении***

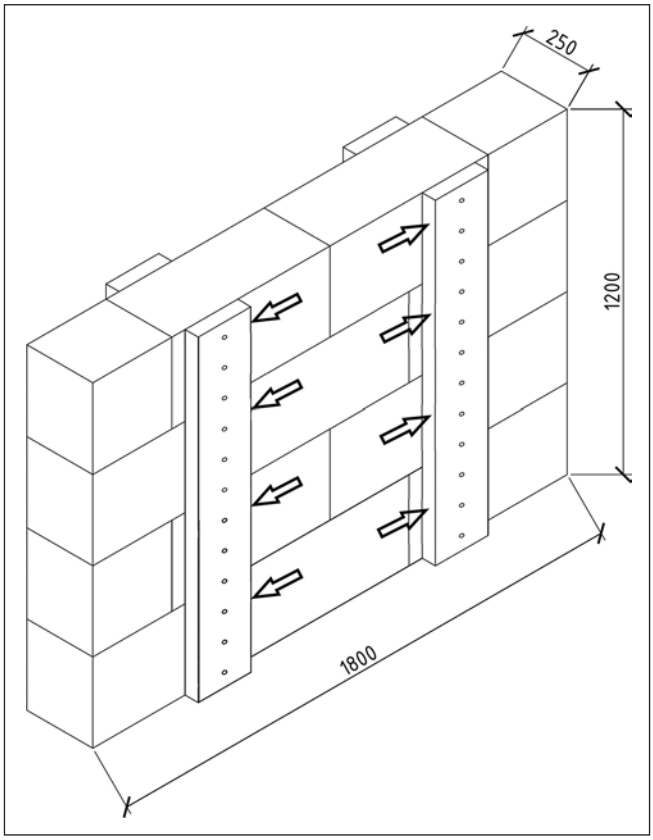

Рис. 3. ***Схема нагружения образцов горизонтальной силой***

Цель проведения исследований — определение прочности и монолитности кладки стен из АЯБ при использовании в качестве связующего клеевой смеси марки «AeroStone», а также оценка влияния композитной сетки из базальтового волокна марки «NOVAGRID» для армирования кладки стен на прочность при растяжении по перевязанному сечению.

Для испытаний изготовили опытные образцы на основе таких материалов, как:

- ***композитная базальтовая кладочная сетка:*** поверхностная плотность — 250 ± 20 г/м^2; модуль упругости — 50 000 МПа; разрывная нагрузка по основе и по утку на 1 м — 50 кН; размер ячейки — 25×25 мм ± 5 %; удлинение сетки при разрыве — не более 4 %;
- ***ячеистобетонные блоки из автоклавного газобетона фирмы «АэроСтоун»***, класс плотности — D600, класс бетона при сжатии — B2,5;
- ***клеевая смесь марки «AeroStone»***, обеспечивающая шов толщиной 1—3 мм и равномерное распределение нагрузки между газобетонными блоками, прочность при сжатии изготовленных из клеевой смеси кубов — от 9,9 до 11 МПа, в расчетах марку клеевой смеси по прочности при сжатии принимали М100.

Один из основных показателей, определяющих эксплуатационную надежность кладки стен, — ее монолитность, т. е. целостность, неразрывность и слитность элементов кладки — связующего и камня. А одним из прочностных параметров кладки, определяющих ее монолитность, является прочность кладки при осевом растяжении (нормальное сцепление) по неперевязанному шву. В работах [11, 12] исследовано влияние различных марок клеевых смесей на прочностные параметры кладки из АЯБ и крупноформатного камня.

Для проведения испытаний на осевое растяжение *(рис. 1)* были изготовлены образцы, выпиленные из ячеистобетонных блоков производства фирмы «АэроСтоун» и склеенные между собой с помощью клеевой смеси марки «AeroStone». Разрушение образцов при осевом растяжении произошло не по шву , а по телу ячеистого бетона *(рис. 2).* Это позволяет сделать вывод о равнопрочности зоны сцепления образцов и материала блоков при растяжении.

Анализ результатов испытаний позволяет отметить следующее. Напряжения в опытных образцах в момент их разрушения при осевом растяжении изменялись в интервале от 0,168 до 0,286 МПа при среднем значении $R_t^{ср}$ = 0,215 МПа. Нормальное сцепление при осевом растяжении по неперевязанному сечению ($R_t^{ср}$ = 0,215 МПа) превысило значение временного сопротивления кладки стен из АЯБ на цементном растворе (табл. 11 СП 15.13330.2012) при осевом растяжении в 1,22 раза.

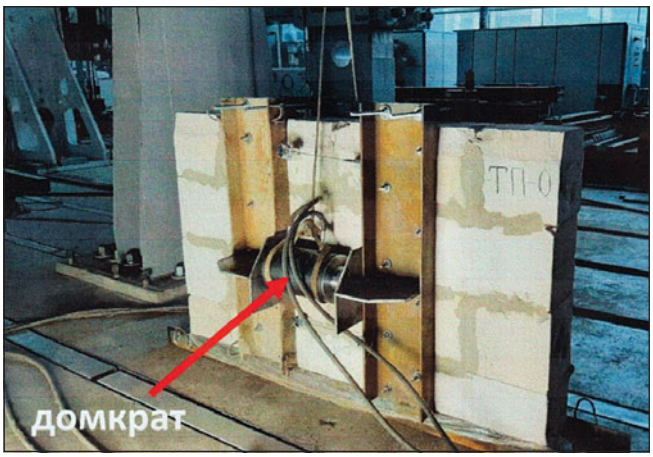

Рис. 4. ***Экспериментальный образец до начала испытаний***

Для оценки прочности кладки стен из АЯБ при растяжении по перевязанному сечению изготовили две серии образцов:

• ***серия I*** — эталонные (неармированные) фрагменты стен из ячеистобетонных блоков размером 250×1815 мм при высоте 1220 мм;

• ***серия II*** — аналогичные фрагменты, армированные композитной сеткой на основе базальтового волокна марки «NOVAGRID», которую устанавливали в каждом ряду по высоте кладки.

Методика и результаты испытаний

Образцы стен испытывали с использованием силовой установки, включающей в себя два домкрата мощностью по 1000 кН каждый, которые передавали нагрузку (растягивающие усилия) через распределительные балки из двух швеллеров № 27 непосредственно на экспериментальный образец. Испытания проводили по методике ГОСТ 8829 с пошаговым нагружением конструкций горизонтальной силой. Схема испытаний показана на *рис. 3*. Деформации кладки стен из АЯБ измеряли с помощью электронных индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм. С каждой продольной стороны опытных образцов устанавливали по два индикатора для замера горизонтальных деформаций. Один индикатор размещали по верхней горизонтальной грани образца. Фрагмент стены эталонного образца с установленными на нем силовыми домкратами до начала испытаний на растяжение приведен на *рис. 4*.

Анализ результатов испытаний эталонного образца на действие растягивающего усилия позволяет отметить следующее:

• разрушение образца произошло при суммарной растягивающей нагрузке от двух домкратов, равной 35 кН (3500 кгс);

• при этом образовалась вертикальная трещина по всей высоте опытного образца *(рис. 5а);*

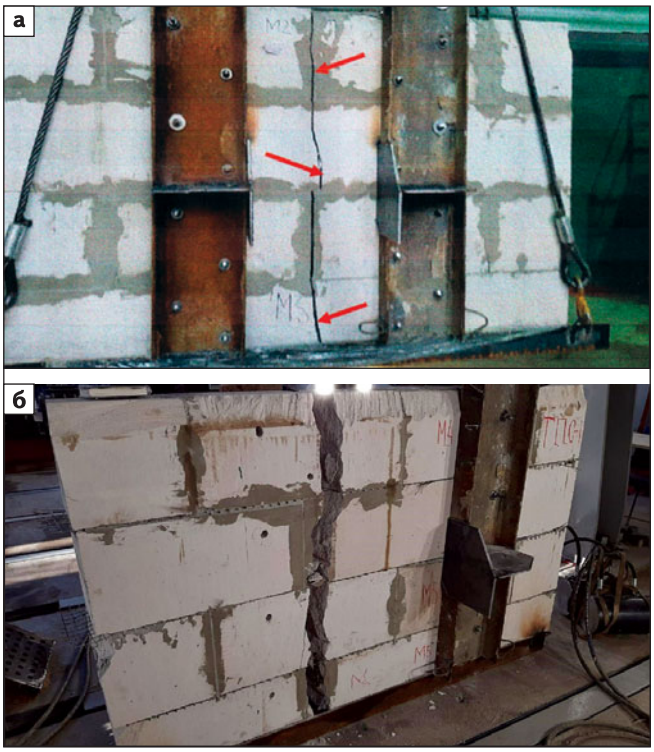

Рис. 5. ***Характер разрушения эталонного образца (а) и опытного образца, армированного композитной сеткой (б)***

• напряжение в кладке, соответствующее временному сопротивлению при осевом растяжении по перевязанному шву для ячеистого бетона с влажностью ~ 15 %, составило R_{tn} = 0,12 МПа.

Одновременно были проведены испытания экспериментального образца серии II, армированного композитной сеткой на основе базальтового волокна марки «NOVAGRID». Сетка располагалась в каждом ряду по высоте опытного образца. Испытания армированного образца на растяжение по перевязанному сечению показали, что:

• разрушение образца произошло при суммарной растягивающей нагрузке, равной 45 кН (4500 кгс);

• вертикальная трещина образовалась по всей высоте опытного образца *(рис. 5б),* а также имел место разрыв композитной сетки в горизонтальных швах по высоте образца *(рис. 6);*

• напряжение в кладке, соответствующее сопротивлению при временном осевом растяжении по перевязанному шву для ячеистого бетона с влажностью ~15 %, R_{tn} = 0,15 МПа.

Как видно из *рис. 6*, в момент разрушения образца произошел разрыв сетки с включением всех 11 стержней (ровингов). При этом усилие на каждый композитный стержень по сечению стены в момент разрушения составило: $N_i = 4500/(3 \cdot 11) = 1{,}3$ кН.

По данным технического паспорта на композит-

ную сетку из базальтового волокна с ячейкой 25×25 мм, разрушающая нагрузка на 1 м составляла $N = 50$ кН, усилие на каждый стержень $N_i = 5000/40 = 1{,}25$ Н. Таким образом, данные испытаний достаточно хорошо коррелируются с прочностными характеристиками сетки марки «NOVAGRID».

Сравнение результатов испытаний на растяжение эталонного образца и образца с армированием позволило установить, что композитная сетка марки «NOVAGRID» в швах кладки стен из АЯБ сдерживает деформации кладки при растяжении по перевязанному шву, препятствуя более раннему разрушению армированного образца.

Рис. 6. ***Фрагмент кладки в зоне трещины с разрывом арматуры***

Как показали исследования, наличие связующего в виде клеевой смеси марки «AeroStone» и композитной сетки марки «NOVAGRID» при армировании горизонтальных швов кладки увеличило уровень нагрузки при растяжении образца по перевязанному сечению на 28 % по сравнению с неармированной кладкой. При этом разрушение носило хрупкий характер с одновременным разрывом композитной сетки в каждом из трех горизонтальных швов.

Выводы

1. Применение клеевой смеси марки «AeroStone» для кладки стен из АЯБ позволило повысить монолитность кладки и увеличить ее прочность при осевом растяжении (нормальное сцепление).

2. Прочность кладки при растяжении по перевязанному шву из АЯБ класса В2,5 на клеевой смеси марки «AeroStone», армированной композитной сеткой марки «NOVAGRID», при действии нагрузки, моделирующей температурные воздействия, на 28 % выше прочности неармированной кладки.

3. Необходимость замены арматурной стальной сетки на композитную при проектировании несущих, самонесущих и ненесущих (перегородок) стен из АЯБ с использованием в качестве связующего компонента клеевой смеси марки «AeroStone» (вариант тонкошовной кладки при толщине шва до 3 мм) обусловлена тем, что при толщине шва до 3 мм не допускается применение стальной сетки из арматуры диаметром 2 мм и более. Использование стальной арматурной сетки может привести к более раннему разрушению материала кладки при сжатии вследствие продавливания бетона блоков и снижения уровня нормального (осевое растяжение) и касательного (сдвиг) сцепления блоков из-за отсутствия связи между клеевой смесью и АЯБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Изотова Д. Е.* Влияние высоких температур на прочность строительных материалов (бетон, железобетон, металл) // Международная студенческая конференция. Самара : СГАСУ, 2016. URL: https://scienceforum.ru/2016/article/2016028940 (дата обращения: 20.02.2020).
2. *Кричевский А. П.* Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия. М. : Стройиздат, 1984. 150 с.
3. *Емельянов А. А.* Температурные напряжения и раскрытие трещин в наружных стенах каменных зданий // Теоретические и экспериментальные исследования каменных конструкций. М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1978. С. 59–85.
4. *Емельянов А. А.* Работа армированной и неармированной кладок при действии температуры. Там же. С. 120–161.
5. *Ищук М. К., Зуева А. В.* Назначение расчетной температуры наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 4. С. 71–73.
6. *Ищук М. К., Зуева А. В.* Исследование напряженно-деформированного состояния лицевого слоя из кирпичной кладки при температурно-влажностных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 3. С. 40–43.
7. *Гороховых О. Г., Волосач А. В.* Исследования поверхностной твердости ячеистых бетонов, подвергшихся температурному воздействию // Судебная экспертиза Беларуси. 2019. № 1(8). С. 54–58.
8. *Субботин Е. В., Рыков А. А.* Расчет напряженно-деформированного состояния неизотропных материалов в условиях температурного воздействия // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 144–146.
9. *Ширко А. В., Камлюк А. Н., Семиглазов А. В., Дробыш А. С.* Определение механических свойств композитной арматуры с учетом температурного воздействия // Механика машин, механизмов и материалов. 2015. № 2(31). С. 59–65.
10. *Степанова В. Ф., Степанов А. Ю., Жирков Е. П.* Арматура композитная полимерная. М. : Бумажник, 2013. 198 с.
11. *Грановский А. В., Берестенко Е. И.* Оценка моно-

литности кладки стен из крупноформатных многопустотных керамических камней // Жилищное строительство. 2013. № 12. С. 31–33.

12. *Грановский А. В. Джамуев Б. К., Вишневский А. А., Гринфельд Г. И.* Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах // Строительные материалы. 2015. № 8. С. 22–25.

R E F E R E N C E S

1. Izotova D. E. Influence of high temperatures on the strength of building materials (concrete, reinforced concrete, metal). *Mezhdunarodnaya studencheskaya konferentsiya* [International student conference], Samara, SGASU Publ., 2016.
Available at: https://scienceforum.ru/2016/article/2016028940 (accessed 20.02.2020). (In Russian).
2. Krichevskiy A. P. *Raschet zhelezobetonnykh inzhenernykh sooruzheniy na temperaturnye vozdeystviya* [Calculation of reinforced concrete engineering structures for temperature effects]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 150 p. (In Russian).
3. Emelyanov A. A. Temperature stresses and crack opening in external walls of stone buildings. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya kamennykh konstruktsiy* [Theoretical and experimental studies of stone structures]. Moscow, TSNIISK im. V. A. Koucherenko, 1978, pp. 59–85. (In Russian).
4. Emelyanov A. A. Operation of reinforced and non-reinforced masonry under the influence of temperature. *Ibid*, pp. 120–161. (In Russian).
5. Ishchuk M. K., Zueva A. V. Setting the design temperature of external walls with a face layer of brickwork. *Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2007, no. 4, pp. 71–73. (In Russian).
6. Ishchuk M. K., Zueva A. V. Investigation of the stress and strain state of the facing layer of brickwork subjected to temperature and humidity effect. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*, 2007, no. 3, pp. 40–43. (In Russian).
7. Gorokhovykh O. G., Volosach A. V. Studies of the surface hardness of cellular concrete exposed to temperature. *Sudebnaya ekspertiza Belarusi*, 2019, no. 1(8), pp. 54–58. (In Russian).
8. Subbotin E. V., Rykov A. A. Calculation of the stress-strain state of anisotropic materials under temperature conditions. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya*, 2016, no. 3, pp. 144–146. (In Russian).
9. Shirko A. V., Kamlyuk A. N., Semiglazov A. V., Drobysh A. S. Determination of mechanical properties of composite reinforcement taking into account the temperature impact. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2015, no. 2(31), pp. 59–65. (In Russian).
10. Stepanova V. F., Stepanov A. Yu., Zhirkov E. P. *Armatura kompozitnaya polimernaya* [Composite polymer reinforcement]. Moscow, Bumazhnik Publ., 2013. 198 p. (In Russian).
11. Granovskiy A. V., Berestenko E. I. Assessment of solidity of laying walls from large-size multi-hollow ceramic stones. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, no. 12, pp. 31–33. (In Russian).
12. Granovskiy A. V. Dzhamuev B. K., Vishnevskiy A. A., Grinfel'd G. I. Experimental determination of normal and shear adhesion in the AAC-blocks masonry at various TLM adhesive compositions. *Stroitelnye materialy*, 2015, no. 8, pp. 22–25. (In Russian).

Для цитирования: *Грановский А. В., Джамуев Б. К., Хайрнасов К. З., Ишназаров А. Г.* Влияние композитной сетки на прочность кладки при действии нагрузок, моделирующих температурные воздействия // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 3. С. 25–30.
DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.25-30.

For citation: Granovsky A. V., Dzhamuev B. K., Khayrnasov K. Z., Ishnazarov A. G. The Impact of Composite Mesh on the Strength of Masonry under the Action of Loads that Simulate Temperature Effects. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 3, pp. 25–30. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.25-30.