

Г.П. ТОНКИХ<sup>1,2</sup>, Д.А. ЧЕСНОКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России", г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет", г. Москва, Россия

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ СДВИГОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ СТАЛЕЖЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

*Аннотация.* Большинство работ отечественных ученых, посвященных проблеме огнестойкости сталежелезобетонных перекрытий посвящены совместной работе железобетонной плиты с внешним армированием из профилированного настила. Проблема огнестойкости комбинированных балок в России ранее не исследовалась должным образом: при повышении температуры конструкции в пределах диапазона, допускаемого отечественными нормами, наблюдается существенное снижение прочности конструкции объединения сталежелезобетонной балки независимо от ее конструкции. В статье дан обзор исследований, содержащих опытные данные по исследуемому вопросу и предложены методы, позволяющие учесть эффект снижения прочности сдвигового соединения при проектировании сталежелезобетонных перекрытий.

*Ключевые слова:* сталежелезобетонные перекрытия, комбинированные балки, анкерные упоры, огнестойкость сталежелезобетонной конструкции

G.P. TONKIN<sup>1,2</sup>, D.A. CHESNOKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FSBI "All-Russian research institute for civil defense and emergencies of the Ministry of Emergencies of Russia", Moscow, Russia

<sup>2</sup>FSBEI HE "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia

## FIRE RESISTANCE OF SHEAR CONNECTORS FOR COMPOSITE BEAMS

*Abstract.* Most of Russian research about composite structure fire resistance are dedicated to the composite slab behavior. The composite beams fire resistance had been never investigated in enough volume: the temperature evaluation within the scope of the actual Russian design codes leads to the significant reduction in the shear connection strength. Meanwhile, there no correlation between the strength decreasing and type of the shear connection. The article provides an overview of the relevant researches and offers some approaches which could take into account bearing capacity reduction of the shear connectors within composite structures design.

*Keywords:* Composite structures, composite beams, shear connectors, fire resistance of composite structure

### Введение.

При проектировании сталежелезобетонных перекрытий одним из наиболее острых вопросов, сдерживающих их массовое распространение в промышленном и гражданском строительстве, является проблема обеспечения огнестойкости комбинированной конструкции. Это особенно критично при устройстве комбинированных плит по несъемной опалубке в виде профилированного настила, который также играет роль внешнего армирования плиты [1-5]. При этом вопросы об огнестойкости сталежелезобетонных балок отечественной наукой ранее не прорабатывались должным образом.

Сечение сталежелезобетонной балки в общем виде имеет три компонента: стальную прокатную или сварную балку, железобетонную плиту и конструкцию объединения в виде

анкерных упоров, устанавливаемых вдоль балки для восприятия сдвигающих усилий между частями сечения при изгибе конструкции (рисунок 1). Несмотря на то, что влияние теплового воздействия пожара на железобетонные и стальные конструкции изучены достаточно полно [6], при проектировании сталежелезобетонных балок особое внимание следует обратить на обеспечение предела огнестойкости сдвигового соединения.

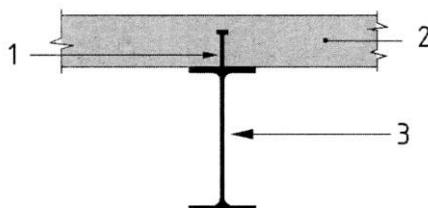


Рисунок 1 - Сечение сталежелезобетонной балки: 1 - анкерный упор; 2 - железобетонная плита; 3 - стальной профиль

Наиболее распространенным способом обеспечения сдвигового соединения сталежелезобетонных балок является приварка анкерных упоров в виде круглых стержней к верхней полке стальной балки. Различные исследования [7-9] устанавливают снижение сопротивления сдвигу приварных анкерных упоров пропорционально повышению температуры окружающей среды. При воздействии огня на комбинированные балки с плитами, устроенными по плоской съемной опалубке, температура на поверхности анкерных упоров повышается быстрее, чем температура окружающего его бетона. При достижении температуры 250-300°C в испытательной камере, наблюдается резкое снижение сопротивления сдвигового соединения, которое характеризуется срезом анкерных упоров в области сварного шва при нагрузке равной 30-60% от предельной при испытании аналогичного образца в нормальных условиях. В случае с плитами, устроенными по несъемной опалубке, величина сопротивления сдвигового соединения и характерный механизм разрушения зависят от геометрии профилированного настила. Так, например, в исследовании [8] рассматривались плиты по профилированному настилу с коэффициентом  $k_t=0,54$  (вычислено по [10] на основании эскиза, представленного в статье). При этих исходных данных было выявлено относительное снижение предельного сопротивления сдвигового соединения на 67%. Динамику снижения прочности образцов при относительной податливости упоров 4 мм представлены на рисунке 2.

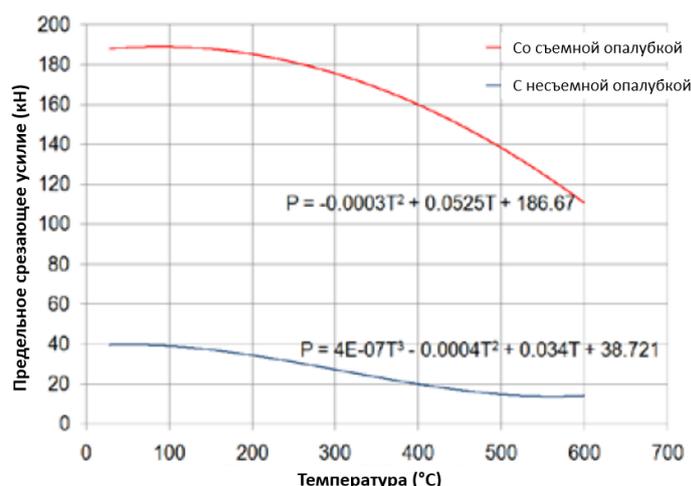
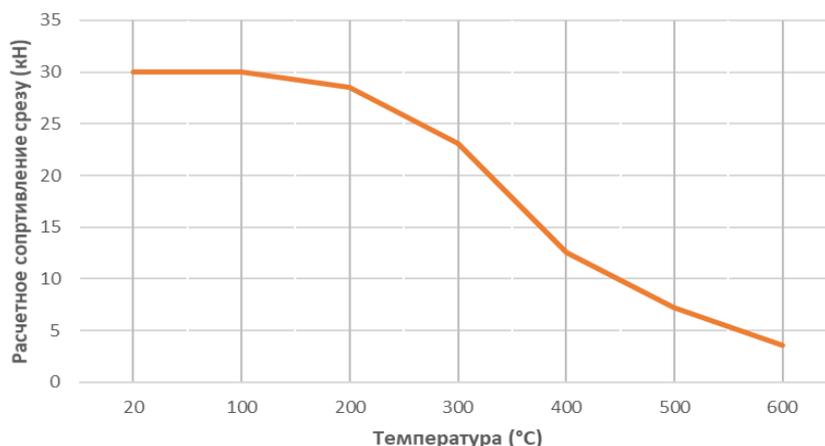


Рисунок 2 - Зависимость несущей способности приварных анкерных упоров при повышении температуры окружающей среды (в плитах со съемной и несъемной опалубкой)

В качестве альтернативы приварным анкерным упорам могут применяться упоры, закрепляемые с помощью дюбель-гвоздей, круглой (Techaria STF [11]), Z-образной (Hilti X-NVB [12]) или гребенчатой [13] формы. Согласно техническим данным компании Hilti [12], расчетное сопротивление анкерных упоров на дюбель-гвоздях также снижается при

воздействии огня на опорную стальную конструкцию (рисунок 3). При прогреве верхнего пояса стальной части сталежелезобетонного перекрытия до 500°C, что соответствует предельно допустимой температуре для данного типа конструкций [14], упоры сохраняют лишь 25% от расчетной несущей способности при нормальной температуре.



**Рисунок 3 - Зависимость расчетного сопротивления анкерного упора Hilti X-HVB 125 от температуры верхнего фланца опорной балки**

Согласно действующим нормам [10], огнезащита сталежелезобетонных перекрытий должна выполняться согласно требованиям [6], при этом ни в одном из стандартов нет конкретных указаний по учету особенностей работы сдвигового соединения конструкции. Поскольку критическая температура стальных конструкций, являющихся в данном случае наиболее уязвимой частью комбинированного сечения, ограничена 500°C, существует риск создания конструкции перекрытия, которая будет формально соответствовать требованиям существующих нормативных документов, однако не будет обладать запроектированной несущей способностью.

Анализируя указанные стандарты, можно сделать вывод о том, что проектирование сталежелезобетонного перекрытия, объединенного анкерными упорами, с заданным пределом огнестойкости может быть выполнено одним из трех способов:

1. Введение ограничения на прогрев стальной части сталежелезобетонного сечения температурой в 150-200°C при проектировании огнезащиты;
2. Введение в расчетную методику коэффициентов, учитывающих реальное напряженно-деформируемое состояние анкерного упора при критической температуре стального сечения;
3. Сертификация конкретных узлов сталежелезобетонного перекрытия на основании испытаний по [15].

Первый способ представляется наиболее простым и безопасным решением, поскольку он обеспечивает сохранение полного объединения сталежелезобетонной балки, требуемое по [10]. Однако, в этом случае для зданий I - III степени огнестойкости потребуется либо значительное наращивание площади поперечного сечения стальной балки для повышения приведенной площади сечения, либо удорожание огнезащитной конструкции, что нивелирует выгоду от применения анкерных упоров [16].

Второй способ позволяет наиболее гибко подойти к проектированию конструкции. Требования по огнестойкости сталежелезобетонного перекрытия могут быть выполнены, как со стороны увеличения количества применяемых анкерных упоров для резервирования дополнительного запаса прочности, так и со стороны применяемой огнезащиты. В качестве исходных данных может быть использованы протоколы различных испытаний огнезащитных решений, испытанных по [14]. Зная требуемый предел огнестойкости конструкции по протоколу испытания можно определить температуру на верхней полке

стальной балки, на которой смонтированы упоры, для каждого огнезащитного решения. Если температура окажется выше 150-200°C, расчетная несущая способность анкерного упора должна быть умножена на соответствующий понижающий коэффициент, определенный в испытании, аналогичном [7-9]. Еще одним источником данных для расчета сталежелезобетонной балки может служить тепловой расчет конструкции огнезащиты, выполненный по [17].

Третий способ выглядит достаточно очевидным решением и даже встречается в практике проектирования ответственных объектов, однако, является по сути тупиковым решением, учитывая многообразие прокатных сечений, конструктивных решений анкерных упоров и средств огнезащиты. В результате, из этих компонентов могут быть созданы сотни комбинаций компоновки сталежелезобетонного перекрытия и необходимость испытаний каждой будет тормозить развитие данного типа конструкций в России.

Поскольку второй способ, предложенный в данной статье, представляется наиболее перспективным с точки зрения проектирования надежных и относительно недорогих сталежелезобетонных перекрытий, далее предлагается для получения опытных данных использовать методику испытаний по [18], с модификациями, учитывающими специфику изучаемого вопроса. Программа испытаний должна включать в себя узел (или узлы) сталежелезобетонного перекрытия с определенным видом и типоразмером анкерных упоров, реализованный в виде стандартного образца для испытаний на сдвиг (рисунок 4.). Для испытания одного узла требуется провести минимум 4 серии тестов с тремя образцами в каждом:

1. Испытание на сдвиг при температуре упора 20°C. Позволит получить «эталонные» данные о работе конструкции сдвигового соединения при нормальной температуре
2. Испытание на сдвиг при температуре упора 200°C. Граница «нормальной» работы материалов сталежелезобетонной конструкции.
3. Испытание на сдвиг при температуре упора 350°C. Ожидаемое снижение несущей способности упоров на ~50% (на основе анализа работ, приведенных в списке литературы). Снижение модуля упругости бетона и конструкционной стали
4. Испытание на сдвиг при температуре упора 500°C. Запроектная работа стальной части сечения.

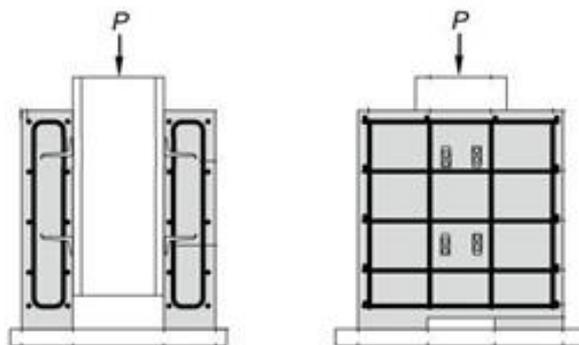


Рисунок 4 - Общий вид стандартного образца для испытаний анкерных упоров сдвиг по ГОСТ Р 58336.

По результатам испытания первой серии определяется расчетное сопротивление сдвигового соединения. Данная величина затем используется во второй-четвертой сериях в качестве рабочей нагрузки: образец нагружается при нормальной температуре, после чего происходит нагрев по стандартному температурному режиму, описанному в [19], до достижения образцом целевой температуры. После этого образец испытывается на срез, предельное сопротивление и перемещение плиты относительно поверхности стальной балки фиксируются. Таким образом, можно будет построить зависимость несущей способности

сдвигового соединения от температуры внешней среды и использовать эти данные при проектировании огнезащиты сталежелезобетонного перекрытия.

### **Выводы**

1. Действие высокой температуры при пожаре на сталежелезобетонное перекрытие снижает прочностные и деформативные характеристики анкерных упоров независимо от способа их соединения со стальным основанием. В плитах без профилированного настила анкерные упоры показывают большую сопротивляемость внешнему термическому воздействию. Как приварные, так и дюбельные упоры сохраняют расчетный уровень сопротивления срезу до температуры 150-200°C, после чего наблюдается резкое его снижение при дальнейшем повышении температуры.

2. Поскольку существующие нормы по проектированию сталежелезобетонных конструкций не учитывают влияния высокой температуры на прочностные характеристики сечения, существует риск разрушения комбинированного сечения при достижении стальной частью сечения температуры 250-300°C, которая находится в пределах допустимой для стальных конструкций.

3. Введение в нормы по проектированию сталежелезобетонных перекрытий требования, ограничивающего рабочую температуру стальной части не является оптимальным решением, поскольку его соблюдение приведет к минимизации выгоды от применения комбинированной конструкции при строительстве ответственных зданий и сооружений.

4. Наиболее рациональным решением является дополнение существующих норм расчетной методикой, позволяющей учитывать расчетную температуру стальной части сечения, благодаря чему можно будет достаточно просто определить прочностные характеристики конструкции объединения при пожаре и вычислить реальный предел огнестойкости перекрытия.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Добрянский Иван Михайлович. Огнестойкость сталебетонных балок с внешним полосовым армированием: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.01. Львов, 1991. 170 с.
2. Веревичева Марина Анатольевна. Исследование процесса разрушения бетонных и сталебетонных конструкций при интенсивных температурных воздействиях: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.23.01. Харьков, 1998. 20 с.
3. Чернышева Елена Владимировна. Несущая способность сталебетонных плит, опертых по полигональному контуру: диссертация кандидата технических наук: 05.23.01. Белгород, 2002. 131 с.
4. Пронин Д.Г., Конин Д.В., Проблемы применения стальных и железобетонных несущих конструкций высотных зданий с точки зрения их огнестойкости // Пожаровзрывоопасность. №1. 2018. С. 50-57
5. Кривцов Ю.В., Пивоваров В.В., Петров В.В. Расчет огнестойкости сталебетонных перекрытий с тонкослойной огнезащитой // Актуальные проблемы пожарной безопасности. материалы XXVIII международной научно-практической конференции. 2016. С. 395-404.
6. СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
7. Mirza O, Uy B. Behavior of headed stud shear connectors for composite steel–concrete beams at elevated temperatures. // Journal of Constructional Steel Research. № 65. 2009. С. 662–674.
8. Mirza O, Uy B, Krezo S. Experimental studies on the behavior of headed stud shear connectors for composite steel concrete beams under elevated temperatures. // Advances in Steel and Aluminum Structures. Malaysia. Research Publishing Services. 2011. С. 467–473.
9. Lingzhu C., Gianluca R., Shouchao J., Faham T., Guoqiang L.. An experimental study on the behavior and design of shear connectors embedded in solid slabs at elevated temperatures // Journal of Constructional Steel Research. №106. 2015. С. 57–66.
10. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования (с Изменением N 1, с Поправкой).
11. European Technical Assessment ETA-18/0447-2018. Tecnaria CTF Nailed Shear Connector.
12. European Technical Assessment ETA-15/0876 2016 «Nailed Shear Connector X-HVB» .

13. Fontana M., Bärtschi, R. New types of shear connectors with powder-actuated fasteners // Institute of Structural Engineering Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2002. 89 с.
14. ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности».
15. ГОСТ 30247.1-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
16. Многоэтажные коммерческие здания. Ассоциация развития стального строительства, М., 2018. 25 с.
17. СТО АРСС 11251254.001-016 «Проектирование огнезащиты несущих стальных конструкций многоквартирных жилых зданий».
18. ГОСТ Р 58336-2018 Упоры уголкового анкерные. Методы испытаний.
19. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75) Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.

## REFERENCES

1. Dobryanskiy Ivan Mikhaylovich. Ognestoykost' stalebetonnykh balok s vneshnim polosovym armirovaniyem: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk [Fire resistance of steel-concrete beams with external strip reinforcement: dissertation ... Candidate of technical sciences]: 05.23.01. L'vov, 1991. 170 p.
2. Verevicheva Marina Anatol'yevna. Issledovaniye protsessa razrusheniya betonnykh i stalebetonnykh konstruktсий pri intensivnykh temperaturnykh vozdeystviyakh: avtoreferat dis. kandidata tekhnicheskikh nauk [Investigation of the process of destruction of concrete and steel-concrete structures under intense temperature effects: abstract of dis. candidate of technical sciences]: 05.23.01. Khar'kov, 1998. 20 p.
3. Chernysheva Yelena Vladimirovna. Nesushchaya sposobnost' stalebetonnykh plit, opertykh po poligonal'nomu konturu: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Bearing capacity of steel-concrete slabs supported on a polygonal contour: dissertation of a candidate of technical sciences]: 05.23.01. Belgorod, 2002. 131 p.
4. Pronin D.G., Konin D.V., Problemy primeneniya stal'nykh i zhelezobetonnykh nesushchikh konstruktсий vysotnykh zdaniy s tochki zreniya ikh ognestoykosti [Problems of using steel and reinforced concrete bearing structures of high-rise buildings from the point of view of their fire resistance]. *Pozharovzryvoopasnost'*. 2018. No 1. P. 50-57
5. Kriyvtsov YU.V., Pivovarov V.V., Petrov V.V. Raschet ognestoykosti stalebetonnykh perekrytiy s tonkosloynoy ognezashchitoy [Calculation of fire resistance of steel-concrete floors with thin-layer fire protection]. Aktual'nyye problemy pozharnoy bezopasnosti. materialy XXVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Actual problems of fire safety. materials of the XXVIII international scientific and practical conference]. 2016. P. 395-404.
6. Building Code RF SP 2.13130.2012 Sistemy protivopozharnoy zashchity. Obespecheniye ognestoykosti ob'yektov zashchity [Fire protection systems. Ensuring fire resistance of objects of protection].
7. Mirza O, Uy B. Behavior of headed stud shear connectors for composite steel-concrete beams at elevated temperatures. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. No 65. P. 662-674.
8. Mirza O, Uy B, Krezo S. Experimental studies on the behavior of headed stud shear connectors for composite steel concrete beams under elevated temperatures. *Advances in Steel and Aluminum Structures*. Malaysia. Research Publishing Services. 2011. P. 467-473.
9. Lingzhu C., Gianluca R., Shouchao J., Faham T., Guoqiang L. An experimental study on the behavior and design of shear connectors embedded in solid slabs at elevated temperatures. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015. No 106. P. 57-66.
10. Building Code RF SP 266.1325800.2016 Konstruktsii stalezhelezobetonnyye. Pravila proyektirovaniya (s Izmeneniyem N 1, s Popravkoy). [Steel-reinforced concrete structures. Design Rules (with Amendment No. 1, with Amendment)]
11. European Technical Assessment ETA-18/0447-2018. Tecnarla CTF Nailed Shear Connector.
12. European Technical Assessment ETA-15/0876 2016 "Nailed Shear Connector X-HVB".
13. Fontana M., Bärtschi, R. New types of shear connectors with powder-actuated fasteners. Institute of Structural Engineering Swiss, Federal Institute of Technology Zurich, 2002. 89 p.
14. Stanard of RF GOST R 53295-2009 "Sredstva ognezashchity dlya stal'nykh konstruktсий. Obshchiye trebovaniya. Metod opredeleniya ognezashchitnoy effektivnosti". ["Fire protection means for steel structures. General requirements. Method for determining fire retardant efficiency"]
15. Stanard of RF GOST 30247.1-94 Konstruktsii stroitel'nyye. Metody ispytaniy na ognestoykost'. Nesushchiye i ograzhdayushchiye konstruktсии. [Building structures. Fire resistance test methods. Supporting and enclosing structures]
16. Mnogoetazhnyye kommercheskiye zdaniya. Assotsiatsiya razvitiya stal'nogo stroitel'stva [Multi-storey commercial buildings. Association for the Development of Steel Construction], Moscow, 2018. 25 p.

17. Stanard of RF STO ARSS 11251254.001-016 "Proyektirovaniye ogneshchity nesushchikh stal'nykh konstruktсий mnogokvartirnykh zhilykh zdaniy". ["Designing fire protection of load-bearing steel structures of multi-apartment residential buildings"].

18. Stanard of RF GOST R 58336-2018 Upory ugolkovyye ankernyye. Metody ispytaniy. [Angle anchor stops. Test methods].

19. GOST 30247.0-94 (ISO 834-75) Konstruktsii stroitel'nyye. Metody ispytaniy na ognestoykost'. Obshchiye trebovaniya. [Building structures. Fire resistance test methods. General requirements].

**Информация об авторах:**

**Тонких Геннадий Павлович**

ФГБУ "Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России", г. Москва, Россия,

главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), доктор технических наук, профессор НИУ МГСУ.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,

профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: [5059144@mail.ru](mailto:5059144@mail.ru)

**Чесноков Денис Александрович**

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,

аспирант.

E-mail: [chesnokovdenis23@gmail.com](mailto:chesnokovdenis23@gmail.com)

**Information about authors:**

**Tonkih Gennadij P.**

FSBI "All-Russian research institute for civil defense and emergencies of the Ministry of Emergencies of Russia", Moscow, Russia,

chief researcher of the Federal State Budgetary Institution VNIIGOS (FC), doctor of technical sciences, professor of the NRU MGSU.

FSBEI HE "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia, professor of the department of Reinforced concrete and masonry structures.

E-mail: [5059144@mail.ru](mailto:5059144@mail.ru)

**Chesnokov Denis A.**

FSBEI HE "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia, graduate student.

E-mail: [chesnokovdenis23@gmail.com](mailto:chesnokovdenis23@gmail.com)