УДК 624.012.4 https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-28-38

EDN: HHAFTY

ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕТЛЕВЫМИ СТЫКАМИ АРМАТУРЫ. ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С.А. ЗЕНИН^{1,⊠}, канд. техн. наук О.В. КУДИНОВ¹ К.Л. КУДЯКОВ^{1,2}, канд. техн. наук Е.Ю. ЮРИН¹ С.К. ХЛЕБНИКОВ^{1,2}

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Актуальная нормативная документация РФ содержит только общие указания по конструктивным требованиям петлевых соединений (стыков) арматуры в железобетонных конструкциях, а их влияние на несущую способность нормальных сечений, в частности внецентренно сжатых элементов, не учитывается. Эти обстоятельства ограничивают проектировщиков и могут оказывать негативное влияние на надежность принимаемых конструктивных решений. В связи с этим представляется необходимым исследовать различные возможные конструктивные решения петлевых стыков и экспериментально проверить их влияние на прочность нормальных сечений внецентренно сжатых элементов при действии статических нагрузок.

Целью работы является проведение экспериментальных исследований несущей способности нормальных сечений железобетонных внецентренно сжатых элементов с различными вариантами петлевых стыков арматуры.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились путем испытания железобетонных элементов с внецентренным приложением статической сжимающей нагрузки. Исследования проводились с учетом требований действующих норм.

Результаты. Получены экспериментальные данные о прочности нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов с различными вариантами петлевых соединений арматуры, а также данные по их жесткости и трещиностойкости.

Выводы. По результатам экспериментальных исследований были определены разрушающие нагрузки, установлены схемы трещинообразования, определены прогибы опытных образцов. Для всех образцов с петлевыми стыками прочность нормальных сечений при внецентренном сжатии ниже на 3–12% прочности контрольных образцов без соединений арматуры. При этом наблюдается тенденция к увеличению несущей способности по мере увеличения длины прямой вставки в стыке, а также по мере увеличения площади поперечной арматуры в зоне стыка. В дальнейшем предполагается более детальная публикация результатов анализа полученных опытных данных.

Ключевые слова: железобетон, конструкции, прочность, соединения арматуры, петлевой стык арматуры, внецентренно сжатый элемент, экспериментальные исследования

Для цитирования: Зенин С.А., Кудинов О.В., Кудяков К.Л., Юрин Е.Ю., Хлебников С.К. Прочность нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. Подготовка и проведение экспериментальных исследований. *Вестник НИЦ «Строительство».* 2023;39(4):28–38. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-28-38

Вклад авторов

Зенин С.А., Кудинов О.В. – анализ нормативно-технической базы, подготовка программы испытаний, анализ результатов исследований.

Кудяков К.Л., Юрин Е.Ю., Хлебников С.К. – подготовка и проведение экспериментальных исследований.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.09.2023 Поступила после рецензирования 27.10.2023 Принята к публикации 02.11.2023

NORMAL SECTION STRENGTH OF ECCENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH LOOP REINFORCEMENT JOINTS. EXPERIMENTAL STUDIES

S.A. ZENIN^{1,⊠}, Cand. Sci. (Engineering) O.V. KUDINOV¹ K.L. KUDYAKOV^{1,2}, Cand. Sci. (Engineering) E.Yu. YURIN¹ S.K. KHLEBNIKOV^{1,2}

¹ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

Abstract

Introduction. The current RF regulatory documentation contains only general instructions on the structural requirements for loop reinforcement joints in reinforced concrete structures without accounting their influence on the bearing capacity of normal sections, in particular, eccentrically compressed elements. These circumstances limit designers and may have a negative effect on the reliability of design solutions. In this regard, it seems necessary to investigate various possible structural options of loop joints and experimentally check their effect on the normal section strength of eccentrically compressed elements under static loads.

Aim. To conduct experimental studies of the bearing capacity for normal sections of eccentrically compressed reinforced concrete elements with various options of loop reinforcement joints.

Materials and methods. Experimental studies were carried out by testing reinforced concrete elements under an eccentrically applied static compressive load, taken into account the requirements of the current regulations.

Results. The result of the studies involve experimental data on the normal section strength of eccentrically compressed reinforced concrete elements with various options of loop reinforcement joints, as well as data on their stiffness and crack resistance.

Conclusion. According to the results of experimental studies, destructive loads, cracking patterns, and deflections of test samples were determined. For all eccentrically compressed samples with loop joints, the strength of normal sections is lower by 3–12 % than the strength of control samples without reinforcement joints. This reveals a tendency of a bearing capacity to increase as the length of the straight insert at the joint, as well as the area of the transverse reinforcement in the joint area, increases. Further, a more detailed publication of the obtained experimental data is planned.

Keywords: reinforced concrete, structures, strength, reinforcement joints, loop reinforcement joint, eccentrically compressed element, experimental studies

For citation: Zenin S.A., Kudinov O.V., Kudyakov K.L., Yurin E.Yu., Khlebnikov S.K. Normal section strength of eccentrically compressed reinforced concrete structures with loop reinforcement joints. Experimental studies. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2023;39(4):28–38. (In Russian). https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-28-38

Author contribution statements

Zenin S.A., Kudinov O.V. – analysis of regulatory and technical documentation, test procedure preparation, analysis of research results.

Kudyakov K.L., Yurin E.Yu., Khlebnikov S.K. – preparation and conduct of experimental studies.

Funding

The study was carried out within the framework of contractual works of JSC Research Center of Construction and Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.09.2023 Revised 27.10.2023 Accepted 02.11.2023

Введение

В действующих нормативно-технических документах, как отечественных (СП 63.13330.2018 [1]), так и зарубежных (EN 1992-1-1 Eurocode 2 [2] и DIN 1045 [3]), вопросы особенностей расчета и конструирования рассмотрены недостаточно. В российских, европейских и немецких нормативных документах приведены только конструктивные требования, предусматривающие возможность устройства петлевых соединений арматуры в железобетонных конструкциях и снижение за счет этого требуемой длины нахлеста. Влияние устройства петли на концах арматурных стержней в нахлесточных соединениях во всех указанных нормах основано на едином принципе анкеровки стержней и снижает требуемую длину нахлеста до 30%. При этом подход к конструктивным требованиям петлевых нахлесточных соединений, отраженный в [4], несколько отличается от отечественного СП 63.13330.2018 [1] и европейских норм [2] и [3]. Согласно [4] прочность петлевого соединения определяется в первую очередь прочностью сжатой полосы между петлями, а минимальная длина соединения петлевого стыка зависит только от диаметра соединяемой продольной арматуры и составляет 20*d*.

Анализ американского нормативного документа ACI 318 [5] показал, что его положения по конструкциям арматурных стержней с крюками и петлями на концах основаны преимущественно на опытах и исследованиях стандартных крюков, загнутых под углом 90 градусов. В связи с этим в [5] прослеживается рекомендация, что крюки с углом 90 градусов предпочтительнее, чем крюки или петли на 180 градусов, за исключением необходимых случаев.

Отдельные отечественные нормы – СП 35.13330.2011 [6] – содержат положения по расчету петлевых анкеров, объединяющих конструкционную сталь и железобетон. Согласно этим нормам, петлевое соединение арматуры допускается и в стыках сборных элементов.

Следует отдельно отметить новый отечественный нормативный документ ГОСТ Р 70447 [7], касающийся проектирования железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. Данный стандарт содержит достаточно детальные указания по расчету и конструированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. В основу данного стандарта легли результаты исследований, отраженные в [8] и основанные преимущественно на результатах испытаний изгибаемых элементов. Также в стандарте были учтены результаты новых исследований [9], касающиеся изгибаемых и растянутых элементов балочных конструкций.

Анализ отечественной и зарубежной литературы не позволил выявить опытные исследования для петлевых соединений сжатой арматуры. Отсутствие экспериментальных исследований в целом служит ограничением в нормативной базе и препятствием для более широкого применения таких стыков в строительной практике.

Между тем в настоящее время в железобетонных конструкциях находят применение петлевые нахлесточные соединения арматурных стержней. Наиболее широко такие типы соединений рабочей арматуры применяют в сооружениях АЭС при устройстве конструкций плит и стен из монолитного железобетона. Петлевые стыки в данных конструкциях применяют для соединения смежных объемных армоблоков, собираемых заранее и устанавливаемых в проектное положение перед бетонированием. Данный вид соединений приводит к повышению технологичности строительно-монтажных работ, т. к. значительно сокращает трудозатраты на строительной площадке при устройстве арматурных каркасов.

Положительный опыт применения таких стыков в промышленном строительстве, в частности при строительстве объектов использования атомной энергии, позволяет распространить петлевые стыки в область гражданского строительства. Учитывая такую перспективу применения конструкций петлевых стыков арматуры в массовых вертикальных железобетонных конструкциях, в т. ч. гражданских и общественных зданий, представляется целесообразным выполнить ряд экспериментальных исследований для внецентренно сжатых железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. Наряду со снижением трудозатрат на устройство арматурного каркаса это также позволит обеспечить необходимую надежность и механическую безопасность конструкций, включая достоверность теоретической методики расчета. Дополнительно это позволит оценить вклад различных факторов в несущую способность железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры, таких как общая длина петлевого соединения, а также наличие поперечной арматуры в соединении.

Исходя из этого, представляется необходимым исследовать различные конструктивные решения петлевых стыков и их влияние на прочность нормальных сечений внецентренно сжатых элементов при действии статических нагрузок.

Целью является проведение экспериментальных исследований с оценкой несущей способности (прочности) нормальных сечений для серий железобетонных внецентренно сжатых элементов с различными вариантами петлевых стыков и выявление предпосылок для совершенствования системы градостроительной деятельности в части уточнения и дополнения действующих нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций.

Материалы и методы

В 2023 году сотрудниками НИИЖБ им. А. А. Гвоздева была выполнена работа по исследованию влияния различных конструктивных решений петлевых стыков на прочность нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов.

Для экспериментальных исследований были изготовлены и испытаны 7 серий опытных образцов (по 3 шт. в каждой серии), условно разделенных в зависимости от конструктивных решений петлевых стыков арматуры. При этом первая серия образцов К.1 является базовой (без петлевых стыков). Образцы с петлевыми соединениями предусмотрены нескольких типов: серия К.2 с перехлестом петлевых стыков без прямой вставки (бетонное ядро круглого очертания), серия К.3 с длиной прямой вставки в петлевом стыке, равной 5d (d – диаметр продольной арматуры), а также серия К.4 с длиной прямой вставки в петлевом стыке, равной 10d. Также предусмотрены аналогичные опытные образцы с установкой поперечной арматуры в зоне петлевого стыка (серии К.5, К.6 и К.7). Петлевые стыки арматуры располагались в средней части опытных образцов.

Конструктивные решения опытных образцов приведены на рис. 1.

Маркировка опытных образцов и их характеристики по разработанной программе испытаний представлены в табл. 1. Дополнительно были изготовлены и испытаны контрольные образцы бетона и арматуры.

Таблица 1

Характеристики образцов для испытаний

Table 1

Шифр серии по программе	Диаметр петлевого стыка, D, мм	Длина прямой вставки в стыке, с _ь	Площадь поперечной арматуры
испытаний	(в зависимости от диаметра продольной арматуры d)		в зоне стыка, А _{sw} , мм (при наличии)
K.1	нет	нет	нет
K.2	10 <i>d</i>	0	нет
K.3		5 <i>d</i>	нет
K.4		10 <i>d</i>	нет
K.5		0	57
K.6		5 <i>d</i>	113
K.7		10 <i>d</i>	113

Test sample specification

Примечания:

1. Номинальные размеры образцов (*l* × *b* × *h*), мм: 1000 × 170 × 170 мм.

2. Класс бетона составил не менее В25 (по минимально допустимой границе), все образцы изготовлены из одной партии бетона.

 Продольное армирование из 4 стержней Ø 10 мм (d) класса А500С с общей площадью арматуры в сечении A_{stot} = 314 мм².

4. Поперечное армирование в зоне петлевого стыка в виде замкнутых хомутов из стержня Ø 6 мм класса A240.





Испытания опытных образцов проводились на гидравлическом прессе Instron 1000 HDX. Опытный образец помещали и фиксировали в специально сконструированных оголовках. Затем их устанавливали и центрировали на упорных пластинах, закрепленных на опорах пресса. Задание эксцентриситета приложения продольной сжимающей силы производилось при помощи установки стального стержня круглого сечения, помещаемого между упорными пластинами и оголовками в соответствующие задаваемому эксцентриситету желоба. Таким образом обеспечивалась возможность свободного поворота образца в плоскости изгиба (шарнирное закрепление) на каждом опорном участке при заданной постоянной величине эксцентриситета. Общий вид и схема испытаний образцов приведены на рис. 2.

Перед проведением испытания для каждого образца замерялись фактические размеры его поперечного сечения, длина образца и величина эксцентриситета приложения сжимающей нагрузки, а после испытания уточнялась рабочая высота сечения и толщина защитного слоя бетона.

Нагрузка прикладывалась ступенями 1/10 от теоретической разрушающей нагрузки. На каждой ступени проводилась выдержка под нагрузкой около 5 мин. За это время выполнялся визуальный осмотр, зарисовка трещин, отмечались нагрузки образования и развития трещин. Затем снимались все величины деформаций опытного образца. При испытаниях нагрузка доводилась до исчерпания несущей способности (до разрушения) опытного образца.

Также измерялись прогибы опытных образцов в характерных точках образца с помощью индикаторов часового типа (И1 в середине пролета; И2 и И3 на удалении от середины пролета на расстояниях 5d и 10d соответственно; схема установки приведена на рис. 2). Ширина раскрытия трещин на поверхности образца измерялась с помощью отсчетного микроскопа. Дополнительно к указанным выше приборам использовалась бесконтактная оптическая система измерения деформаций Vic-3D (рис. 3).





Рис. 2. Общий вид (а) и схема (б) испытаний опытных образцов Fig. 2. General view (а) and test scheme (б) of samples

Результаты

По результатам экспериментальных исследований определены разрушающие нагрузки, установлены схемы трещинообразования, а также определены прогибы опытных образцов.

Результаты испытаний показали, что характер разрушения для всех образцов соответствует прогнозируемому – разрушение образцов произошло по нормальному сечению в средней зоне.

При анализе результатов испытаний были оценены значения разрушающих нагрузок для образцов с петлевыми стыками по отношению к базовым образцам (серия К.1). Отклонения средних по каждой серии образцов значений разрушающих нагрузок с петлевыми соединениями от среднего значения для базовых образцов приведены на рис. 4.

Для всех образцов с петлевыми стыками прочность нормальных сечений при внецентренном сжатии ниже на 3–12% прочности контрольных образцов без соединений арматуры (серия К.1). При этом наблюдается тенденция к увеличению несущей способности по мере увеличения длины прямой вставки в стыке, а также по мере увеличения площади поперечной арматуры в зоне стыка.

Анализ трещиностойкости опытных образцов показал, что ширина раскрытия трещин в целом не превышала величин 0,05 мм, в отдельных случаях – 0,1 мм. При этом наблюдается влияние длины прямой вставки в стыке и наличия поперечной арматуры в зоне стыка на характеры деформирования, трещинообразования и разрушения опытных образцов.





Рис. 3. Результаты испытаний опытного образца серии К.1 с применением измерительной системы Vic-3D:
a – характерная схема развития трещин; *δ* – характерная схема разрушения
Fig. 3. Results of testing K.1 sample using a Vic-3D measuring system:
a – crack development pattern; *δ* – destruction pattern



Рис. 4. Отклонение разрушающих нагрузок для образцов с петлевыми соединениями (К.2–К.7, средние значения по каждой серии) к среднему значению разрушающей нагрузки базовых образцов серии К.1
Fig. 4. Deviation of destructive loads for loop joint samples (К.2–К.7, average values for each series) from the average value of the destructive load for the basic samples of the K.1 series

Анализ опытных прогибов при разрушении показал, что при появлении прямой вставки и ее увеличении прогибы образцов с петлевыми стыками при разрушении увеличиваются и по своим значениям приближаются к прогибам базовых образцов. При установке поперечной арматуры в стыке значения прогибов могут практически соответствовать прогибам базовых образцов либо быть несколько выше.

В последующем предполагается более детальная публикация результатов анализа полученных опытных данных проведенного исследования.

Выводы

На основании проведенного анализа нормативно-технической документации установлено, что в действующей нормативной базе имеются только общие указания по конструктивным требованиям к такого рода соединениям, а влияние петлевых соединений на несущую способность нормальных сечений внецентренно сжатых элементов не учитывается.

В рамках работы были изготовлены опытные образцы с различными конструктивными решениями и проведены их испытания. По результатам экспериментальных исследований были определены разрушающие нагрузки, установлены схемы трещинообразования, определены прогибы опытных образцов (в дальнейшем предполагается более детальная публикация результатов анализа полученных опытных данных). Для всех образцов с петлевыми стыками прочность нормальных сечений при внецентренном сжатии ниже на 3–12% прочности контрольных образцов без соединений арматуры (серия К.1). При этом наблюдается тенденция к увеличению несущей способности по мере увеличения длины прямой вставки в стыке, а также по мере увеличения площади поперечной арматуры в зоне стыка.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ; 2019.

2. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings [internet]. Available at: https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.1.2004.pdf

3. DIN 1045-1:2008-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion [internet]. Available at: https://regbar.com/wp-content/uploads/2019/09/DIN-1045-1-2008.pdf

4. FIB ModelCode for Concrete Structure 2010. Ernst & Sohn; 2013.

5. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. [internet]. Available at: https://ostad. nit.ac.ir/payaidea/ospic/file185.pdf

6. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* [интернет]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200084849

7. ГОСТ Р 70447-2022. Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии. Требования к конструированию и расчету. Москва: Российский институт стандартизации; 2022.

8. Руководство РУ 1.3.2.17-1106-2016. Расчет и конструирование бессварных петлевых стыков железобетонных конструкций АЭС с учетом сейсмических воздействий. Москва: АО «Концерн Росэнергоатом», 2016.

9. Авдеев К.В., Мамин А.Н., Бобров В.В., Бамматов А.А., Квасников А.А., Мартьянов К.В., Пугачев Б.А. Испытания элементов железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. Промышленное и гражданское строительство. 2023;(6):24–30. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.24-30

10. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* [интернет]. Режим доступа: https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-03-22/8d06e4315ca36fbe b2dd493a7ec92c3b.pdf

References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

2. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings [internet]. Available at: https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.1.2004.pdf

3. DIN 1045-1:2008-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion [internet]. Available at: https://regbar.com/wp-content/uploads/2019/09/DIN-1045-1-2008.pdf

4. FIB ModelCode for Concrete Structure 2010. Ernst & Sohn; 2013.

5. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. [internet]. Available at: https://ostad. nit.ac.ir/payaidea/ospic/file185.pdf

6. SP 35.13330.2011. Bridges and culverts. Updated version of SNiP 2.05.03-84* [internet]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200084849 (in Russian).

7. State Standard R 70447-2022. Reinforced concrete structures with loop joints of reinforcement for nuclear power facilities. Requirements for design and calculation. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022. (In Russian).

8. Manual RU 1.3.2.17-1106-2016. Calculation and design of welded loop joints of reinforced concrete structures of nuclear power plants taking into account seismic impacts. Moscow: JSC Concern Rosenergoatom; 2016. (In Russian).

9. Avdeev K.V., Mamin A.N., Bobrov V.V., Bammatov A.A., Kvasnikov A.A., Martyanov K.V., Pugachev B.A. Testing of Elements of Reinforced Concrete Structures With Looped Joints of Reinforcement. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2023;(6):24–30. (In Russian). https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.24-30

10. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81* [internet]. Available at: https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-03-22/8d06e4315ca36fbeb2dd493a7ec92c3b.pdf (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Алексеевич Зенин[™], канд. техн. наук, заведующий лабораторией теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва e-mail: lab01@mail.ru

Sergei A. Zenin[™], Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory of the Theory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow e-mail: lab01@mail.ru

Олег Владимирович Кудинов, заместитель заведующего лабораторией теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Oleg V. Kudinov, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Head, Laboratory of the Theory of Reinforced Concrete Structures and Structural Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Константин Львович Кудяков, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ, Москва

Konstantin L. Kudyakov, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

Евгений Юрьевич Юрин, аспирант, старший научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва Evgeniy Y. Yurin, Graduate Student, Senior Researcher, Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Сергей Константинович Хлебников, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и ж/б конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»; студент НИУ МГСУ, Москва Sergey K. Khlebnikov, Engineer, Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction; Student, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow

🖾 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author