

УДК 624.012.4

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-61-68](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-61-68)

EDN: HLQFZJ

ВЛИЯНИЕ ПЕТЛЕВЫХ СТЫКОВ АРМАТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук

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

Аннотация

Введение. Опыт применения петлевых соединений рабочей арматуры в изгибаемых железобетонных элементах показывает сокращение трудозатрат при устройстве на строительной площадке арматурных каркасов. Однако анализ имеющихся результатов исследований показал, что они проводились преимущественно для изгибаемых элементов, в связи с этим были проведены дополнительные экспериментальные исследования по оценке влияния различных типов конструктивных решений петлевых стыков арматуры на прочность нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов.

Целью выполненного исследования являлось получение результатов экспериментальных исследований и оценка влияния конструктивных решений петлевых стыков арматуры на прочность железобетонных внецентренно сжатых элементов.

Материалы и методы. Исследования проводились на основе результатов испытаний внецентренно сжатых железобетонных элементов с петлевыми стыками рабочей арматуры. В рамках исследований было испытано 7 серий опытных образцов с различными конструктивными решениями петлевых стыков, общее количество образцов в исследовании – 22.

Результаты. Результатом работы является выявленная степень влияния конструктивных решений петлевых стыков арматуры на прочность внецентренно сжатых железобетонных элементов – в среднем от 3 до 14 % в зависимости от конструктивного решения петлевого стыка.

Выводы. Установлено, что проектирование внецентренно сжатых элементов следует выполнять с учетом конструкции петлевого стыка продольной арматуры.

Ключевые слова: железобетон, конструкции, прочность, жесткость, трещиностойкость, петлевой стык арматуры, внецентренно сжатый элемент

Для цитирования: Зенин С.А. Влияние петлевых стыков арматуры на прочность внецентренно сжатых железобетонных конструкций. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;41(2):61–68. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-61-68](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-61-68)

Вклад авторов

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

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

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.04.2024

Поступила после рецензирования 25.04.2024

Принята к публикации 02.05.2024

EFFECT OF LOOP REINFORCEMENT JOINTS ON THE STRENGTH OF ECCENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

S.A. ZENIN, Cand. Sci. (Engineering)

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

Abstract

Introduction. Using loop joints of working reinforcement in flexural reinforced concrete members reduces labor costs when installing reinforcement cages at the construction site. However, the analysis of the available research showed that they were carried out mainly for flexural members. In this regard, additional experimental studies were carried out to assess the effect of various types of design solutions of loop reinforcement joints on the strength of normal sections of eccentrically compressed reinforced concrete elements.

Aim. To obtain the results of experimental studies and assess the effect of design solutions of loop reinforcement joints on the strength of eccentrically compressed reinforced concrete elements.

Materials and methods. The research involved the results of tests of eccentrically compressed reinforced concrete elements with loop joints of working reinforcement. As part of the research, 7 series of samples with different design solutions of loop joints were tested. The total number of samples in the research comprised 22 items.

Results. The research revealed the effect of design solutions of loop reinforcement joints on the strength of eccentrically compressed reinforced concrete elements – on average from 3 to 14 %, depending on the design solution of the loop joint.

Conclusions. It was found that the design of eccentrically compressed elements should be carried out taking into account the design of the loop joint of longitudinal reinforcement.

Keywords: reinforced concrete, structures, strength, stiffness, cracking resistance, loop reinforcement joint, eccentrically compressed element

For citation: Zenin S.A. Effect of loop reinforcement joints on the strength of eccentrically compressed reinforced concrete structures. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;41(2):61–68. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-61-68](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-61-68)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

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

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 11.04.2024

Revised 25.04.2024

Accepted 02.05.2024

Введение

В последнее время в железобетонных конструкциях находят применение петлевые соединения рабочей арматуры. Применение таких соединений снижает трудоемкость изготовления арматурных каркасов на строительной площадке.

Анализ имеющихся результатов исследований петлевых соединений рабочей арматуры [1–7] показал, что они проводились преимущественно для изгибаемых элементов. Применение таких соединений в сжатых конструкциях требовало дополнительного обоснования.

Целью настоящего исследования являлась оценка на основании анализа результатов экспериментальных исследований влияния на прочность железобетонных внецентренно сжатых элементов конструктивных решений петлевых стыков арматуры.

Материалы и методы

Оценка влияния различных конструктивных решений петлевых стыков на прочность нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов выполнена по результатам выполненных в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева экспериментальных исследований опытных образцов [8].

Были рассмотрены результаты испытаний 7 серий опытных образцов по 3–4 образца-близнеца в каждой серии.

В качестве контрольных были приняты результаты испытаний образцов базовой серии без петлевых стыков (серия К.1). Образцы с петлевыми соединениями были предусмотрены нескольких типов: серия К.2 – с перехлестом петлевых стыков без прямой вставки (т. е. без прямых участков стыкуемых стержней арматуры в зоне стыка), серии К.3 и К.4 – с прямой вставкой в петлевом стыке длиной соответственно $5d_s$ и $10d_s$ (d_s – диаметр продольной арматуры); серии К.5, К.6 и К.7 – с установкой поперечной арматуры в зоне петлевого стыка без прямой вставки и с прямой вставкой длиной $5d_s$ и $10d_s$ соответственно. Петлевые стыки арматуры располагались в средней части опытных образцов.

Детально конструктивные решения опытных образцов, а также методика их испытаний описаны в работе [8].

Результаты

По результатам выполненного анализа установлена степень влияния конструктивных решений петлевых стыков на прочность нормального сечения внецентренно сжатых элементов.

В результате анализа опытных данных выявлено следующее. Установлено, что разрушение всех образцов происходило по нормальному сечению с раздроблением бетона в сжатой зоне при достижении напряжений в растянутой арматуре физического предела текучести. В контрольных образцах (серия К.1 – образцы без петлевых стыков арматуры) разрушение сопровождалось выпучиванием стержней сжатой арматуры.

Опытные значения разрушающих нагрузок для образцов-близнецов во всех сериях оказались близки между собой – отклонение не превышает 13 % (рис. 1а).

Разброс опытных разрушающих нагрузок для образцов серии К.1 составил не более 8 %.

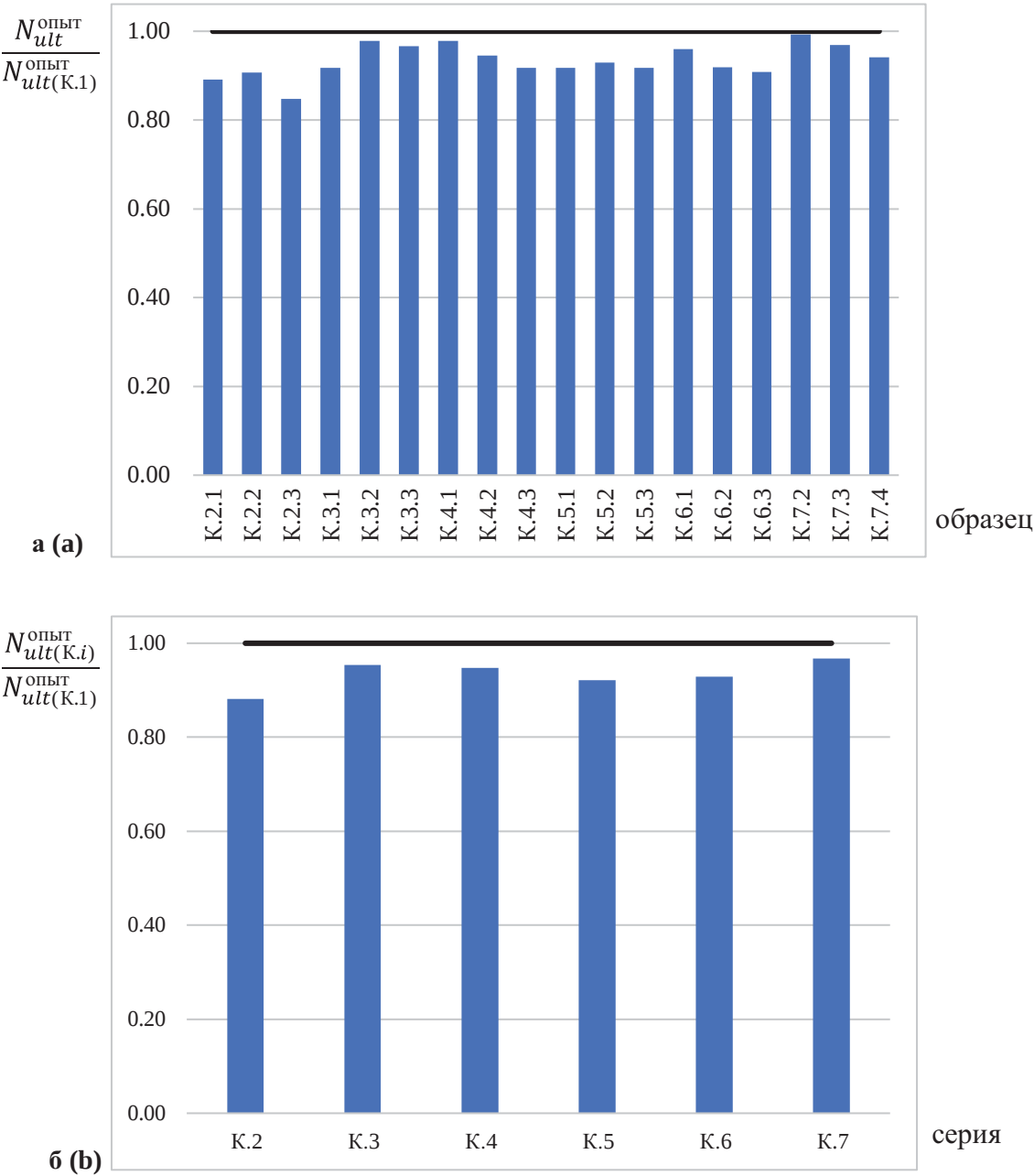


Рис. 1. Отношение разрушающей нагрузки образцов с петлевыми стыками *(а)* и усредненных внутри серии образцов разрушающих нагрузок *(б)* к усредненному значению разрушающей нагрузки контрольных образцов серии К.1

Fig. 1. Ratio of the ultimate load of samples with loop joints *(a)* and ultimate load samples averaged within the series *(b)* to the average value of the ultimate load of control samples of the K.1 series

Разброс опытных разрушающих нагрузок для образцов серии К.2 составил не более 7%. Среднее по этой серии опытное значение разрушающей нагрузки оказалось на 12% ниже ее среднего опытного значения для контрольных образцов серии К.1 (рис. 1б). Таким образом, можно увидеть, что конструктивное решение петлевого стыка без прямой вставки в явном виде снижает прочность нормального сечения при внецентренном сжатии.

Средние значения опытной разрушающей нагрузки образцов каждой из серий К.3–К.7 оказались ниже среднего опытного значения образцов серии К.1 на 3–8%. В целом по сериям К.3–К.7 среднее значение разрушающей нагрузки образцов оказалось ниже ее среднего значения для контрольных образцов серии К.1 на 6%.

Согласно результатам испытаний устройство прямой вставки в петлевом стыке приводит к повышению разрушающей нагрузки образцов серии К.3 в среднем на 8%, а серии К.4 – на 7% по сравнению с образцами серии К.2. Установка поперечной арматуры в зоне петлевого стыка без прямой вставки (серия К.5) повышает разрушающую нагрузку в среднем на 5% по сравнению с образцами серии К.2. Дополнительная установка поперечной арматуры в зоне петлевого стыка с прямой вставкой практически не повлияла на величину разрушающей нагрузки: ее повышение составило 5% для стыка с длиной прямой вставки $5d_s$ (серия К.6) и 10% – с длиной $10d_s$ (серия К.7).

Сравнение среднего значения опытной разрушающей нагрузки образцов с петлевыми стыками без прямой вставки и с прямой вставкой показало, что введение прямой вставки приводит к увеличению несущей способности нормального сечения в зоне стыка. При этом увеличение длины прямой вставки приводит к повышению прочности образцов, однако она все равно ниже прочности образцов без петлевых стыков.

Установлено, что наличие поперечной арматуры в стыке без прямой вставки (сравнение образцов серии К.2 и К.5) незначительно увеличивает несущую способность – всего на 5%. Аналогичная ситуация наблюдается при увеличенной длине прямой вставки (образцы серии К.4 и К.7) – увеличение на 2%. Сравнивая образцы серии К.3 и К.6, можно отметить несколько негативное влияние установленной поперечной арматуры: среднее значение разрушающей нагрузки для серии К.6 ниже на 3% аналогичных образцов без поперечной арматуры серии К.3. Возможно, данный эффект связан с более пластичной схемой разрушения образцов серии К.3, т. к. наблюдается различная картина трещинообразования при разрушении данных серий, о чем будет упомянуто отдельно.

Расчетные значения разрушающих нагрузок опытных образцов определяли согласно [2] по фактическим характеристикам материалов и фактическим размерам поперечных сечений элементов. Расчетные значения разрушающих нагрузок опытных образцов с петлевыми стыками всех серий определяли как для элементов без соединений.

Сопоставление результатов расчетов с опытными данными (рис. 2) показало следующее.

Для образцов серии К.1 отношение опытных разрушающих нагрузок к их расчетным значениям изменялось от 0,93 до 1,09. Среднее для серии отношение составило 0,99.

Для образцов серии К.2, выполненных с перехлестом петлевых стыков арматуры без прямой вставки, отношение опытных и расчетных разрушающих нагрузок изменялось от 0,84 до 0,9, а среднее отношение для серии составило 0,86. Для образцов серий К.3–К.7 с прямой вставкой и (или) с поперечными стержнями арматуры в зоне петлевого стыка отношение опытных разрушающих нагрузок к их расчетным значениям изменялось от 0,91 до 1,06, среднее отношение для образцов всех этих серий составило 0,97.

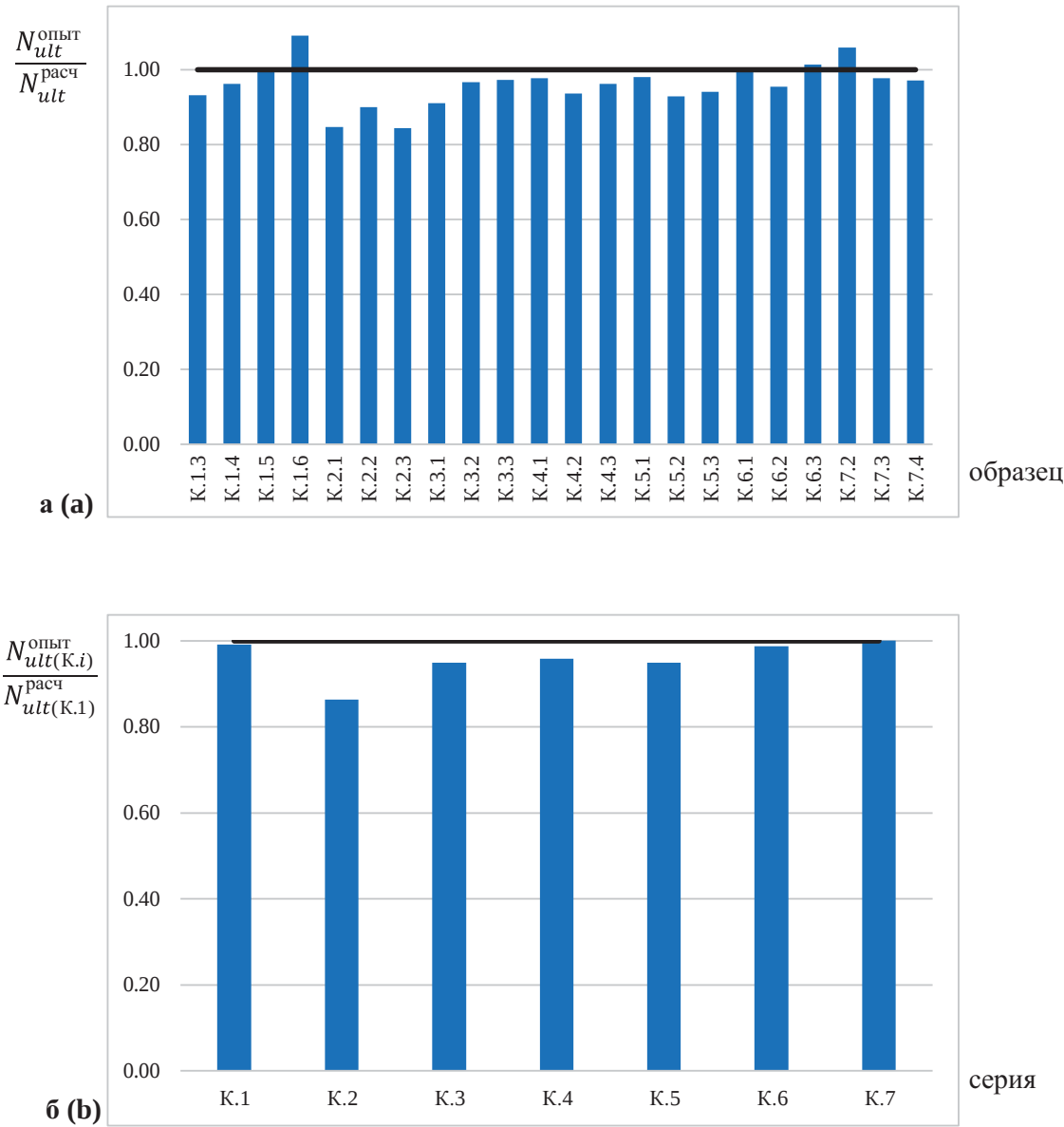


Рис. 2. Соотношение опытных и расчетных значений разрушающей нагрузки образцов серий К.1–К.7 (а) и усредненных внутри серии образцов опытных разрушающих нагрузок к усредненному значению расчетной нагрузки контрольных образцов серии К.1 (б)

Fig. 2. The ratio of the experimental and design values of the ultimate load of K.1–K.7 series samples (a) and averaged within the series of samples of experimental ultimate loads to the average value of the design load of control K.1 series samples (b)

Таким образом, по результатам испытаний можно отметить, что устройство в сжатых элементах петлевых стыков без прямой вставки или без дополнительной поперечной арматуры в зоне стыка приводит к снижению их прочности в сравнении с прочностью образцов без петлевых стыков.

Вывод

По результатам исследования установлено, что конструкция петлевого стыка продольной арматуры оказывает влияние на прочность нормальных сечений внецентренно сжатого элемента по сравнению с аналогичными конструкциями без такого стыка. Для исследованных образцов с петлевыми стыками арматуры опытные значения разрушающих нагрузок ниже, чем для образцов без стыков. Петлевые стыки без прямой вставки показали наименьшую несущую способность. Введение прямой вставки приводит к некоторому увеличению несущей способности, однако по сравнению с базовыми образцами (без петлевых стыков) она все равно ниже.

Установка поперечной арматуры в ряде случаев может привести к увеличению несущей способности, но незначительно. При этом значения опытных разрушающих нагрузок все равно ниже значений для базовых образцов. В отдельных случаях установка поперечной арматуры меняет схему разрушения, что приводит, наоборот, к незначительному, но все-таки снижению разрушающей нагрузки по сравнению с образцами без нее.

Введение прямой вставки в петлевой стык и увеличение ее длины приводит к увеличению несущей способности нормального сечения внецентренно сжатого элемента. Однако, несмотря на это, а также на установку дополнительной поперечной арматуры, для всех образцов с петлевыми стыками несущая способность ниже, чем без них.

На основании полученных результатов можно рекомендовать при проектировании внецентренно сжатых железобетонных конструкций с петлевыми стыками продольной рабочей арматуры предусматривать устройство прямой вставки длиной не менее $5d_s$ либо установку поперечной арматуры в зоне петлевого стыка диаметром не менее $0,5d_s$ и в количестве не менее двух хомутов. При соблюдении этих условий расчет прочности нормальных сечений может выполняться в соответствии с требованиями действующих норм. С целью апробации данного решения его рекомендуется учесть в СП 430.1325800.2018 [9].

Список литературы

1. Николаев В.Б., Горбов В.А., Белов А.А., Климов Е.А., Лисичкин С.Е. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций АЭС с модифицированными петлевыми стыками на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа. Безопасность энергетических сооружений. 2016;(1):66–81.
2. Николаев В.Б., Рубин О.Д., Селезнев С.В. Расчет прочности и конструирование петлевых стыков сборных элементов. Бетон и железобетон. 1987;(1):38–40.
3. Климов Е.А., Николаев В.Б. Совершенствование методики расчета промышленных бессварных петлевых стыков арматуры железобетонных конструкций ГЭС и АЭС по предельным состояниям. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016;(5):3–10.
4. Авдеев К.В., Мамин А.Н., Бобров В.В., Бамматов А.А., Квасников А.А., Мартынов 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>
5. Малахов В.В. Испытания балок с петлевыми стыками многократно повторяющимися нагрузками. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2015;(60):195–201.
6. Дорофеев В.С., Шеховцов И.В., Петраш С.В., Малахов В.В. Прочность и деформативность балок со стыком «Передерия». В: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. Вип. 22. Рівне; 2011, с. 328.

7. Дорощев В.С., Малахов В.В. К вопросу о напряженно-деформируемом состоянии петлевых стыков изгибаемых элементов. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2014;(54):104–109.
8. 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](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-28-38)
9. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2019.
10. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ; 2019.

References

1. Nikolaev V.B., Gorbov V.A., Belov A.A., Klimov E.A., Lisichkin S.E. Experimental studies of reinforced concrete structures of nuclear power plants with modified loop joints on large-scale reinforced concrete models of beam type. Bezopasnost' energeticheskikh sooruzhenii = Safety of power structures. 2016;(10):66–81. (In Russian).
2. Nikolaev V.B., Rubin O.D., Seleznev S.V. Strength calculation and construction of loop joints of prefabricated elements. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 1987;(1):38–40. (In Russian).
3. Klimov E.A., Nikolaev V.B. Improving the methodology for calculating industrial welded loop joints of reinforcement of reinforced concrete structures of hydroelectric power plants and nuclear power plants according to limit conditions. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2016;(5):3–10. (In Russian).
4. Avdeev K.V., Mamin A.N., Bobrov V.V., Bammатов 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>
5. Malakhov V.V. Tests of beams with loop joints with repeatedly repeated loads. Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. 2015;(60):195–201. (In Russian).
6. Dorofeev V.S., Shekhovtsov I.V., Petrash S.V., Malakhov V.V. Strength and deformability of beams with a joint "Perederia". In: Rusurseeconomic materials, structures, buildings and ponds: Collection of scientific works. Iss. 22. Rivne; 2011, pp. 328. (In Russian).
7. Dorofeev V.S., Malakhov V.V. On the issue of the stress-deformable state of loop joints of bent elements. Bulletin of the Odessa State Academy of construction and architecture. 2014;(54):104–109. (In Russian).
8. 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](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-4(39)-28-38)
9. SP 430.1325800.2018. Monolithic structural systems. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
10. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

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

Sergey A. Zenin, Cand. Sci. (Engineering), Head of the 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