

К.В. АВДЕЕВ¹, А.Н. МАМИН^{1,2}, В.В. БОБРОВ^{1,2}, А.А. БАММАТОВ²,
К.В. МАРТЬЯНОВ³, С.Н. ПРЯХИН³

¹АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия

³Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, г. Москва, Россия

ПЕТЛЕВЫЕ СТЫКИ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ

Аннотация. Соединение стержневой арматуры железобетонных конструкций загибом арматуры в «петли» с образованием ядра стыка было разработано в начале прошлого века, однако активного применения так и не нашло, ввиду сложности работы и отсутствию методик расчета.

В статье представлен обзор истории создания, практического применения, отечественных и зарубежных научных исследований петлевых стыков арматуры в железобетонных конструкциях. В статье описаны преимущества и недостатки таких соединений, дана краткая информация об основных параметрах стыков и принцип работы. Представлены предложения по направлениям дальнейшего изучения работы петлевых стыков стержневой арматуры, поставлены цели для натурных и численных экспериментальных исследований, направленные на разработку методик расчета и конструирования петлевых стыков с целью их дальнейшего более широкого внедрения их в строительную практику.

Ключевые слова: петлевые стыки, соединения арматуры, бетонное ядро.

K.V. AVDEEV¹, A.N. MAMIN^{1,2}, V.V. BOBROV^{1,2}, A.A. BAMMATOV²,
K.V. MARTYANOV³, S.N. PRYAKHIN³

¹AO «CNIIPromzdaniy», Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia

³JSC «Rosenergoatom» branch of capital projects implementation, Moscow, Russia

THE LOOP JOINS OF REBARS. DEVELOPMENT HISTORY, PROBLEMS AND RELEVANCE

Abstract. The connection of rebar of concrete structures by looping rebars with the formation of the joint core was developed at the beginning of the last century, but it has not been actively used due to the complexity of the work and the lack of calculation methods.

The article presents a review of the history of the creation, practical application, national and foreign scientific research of the loop joints of rebar in concrete structures. The article describes advantages and disadvantages of such joints, gives brief information about the main parameters of the joints and the principle of operation. Suggestions for the directions of further study of the looped joints of reinforcing bars operation are presented, the goals for full-scale and numerical experimental research aimed at the development of calculation and design methods of looped joints for their further wider introduction into the construction practice are set.

Keywords: loop joints, reinforcement connections, concrete core.

Введение

В настоящее время в мировой и отечественной практике наиболее распространенными способами стыковки арматуры являются соединение внахлест [1], сварные и муфтовые соединения. Для стержней большого диаметра соединение внахлест менее распространено, поскольку приводит к значительному перерасходу арматуры. Однако сварные и муфтовые соединения имеют недостатки, такие, как: необходимость соблюдения соосности арматурных стержней и сложности обеспечения этого требования для арматуры больших диаметров; высокая трудоемкость и необходимость контроля качества сварных швов и высокие требования к квалификации сварщиков; необходимость создания резьбы на арматурном прутке и обеспечения её целостности при транспортировке и монтаже для муфтовых соединений, необходимость испытаний муфт, в т.ч. обжимных, большой вес и габариты прессовочного оборудования [1 и др.].

В связи с этим актуальна задача применения более технологичных и не менее надежных вариантов стыковки арматуры монолитных железобетонных конструкций.

Обзор-анализ конструктивных решений петлевых стыков

Перспективным направлением в этой области представляется расширение использования так называемых петлевых стыков стержневой арматуры, в которых передача усилий между стержнями осуществляется путем их перехлеста с созданием петлевых анкеров (рисунок 1).

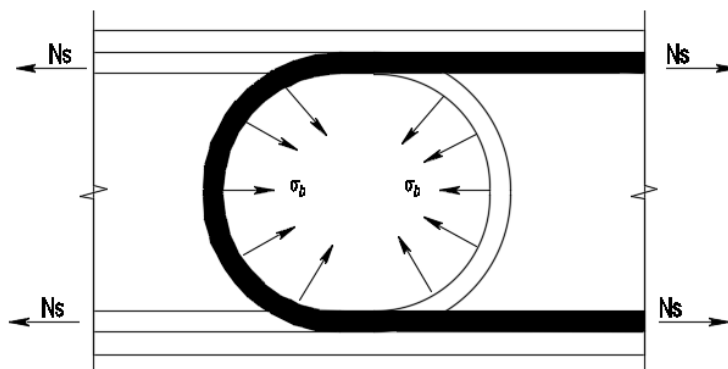


Рисунок 1 - Принципиальная схема работы петлевого стыка

В отличие от соединения перепуском прямых стержней, где передача усилия между стержнями осуществляется за счет сил зацепления арматуры и работы бетона между стержнями на сдвиг, анкеровка стержней посредством петель образуется главным образом за счет загиба вокруг ядра бетона, образованного встречными петлями. Таким образом, прочность и деформативность соединения во многом зависит от прочности и деформативности этого ядра, где бетон находится в сложном напряженно-деформированном состоянии.

Петлевые стыки стержневой арматуры были предложены академиком Г.П. Передерием для применения в сборных железобетонных ферменных конструкциях пролетных строений мостов, работающих в условиях центрального растяжения [2, 3]. В последующем, такой тип соединения был применен так же и для изгибаемых железобетонных элементов. Как правило, такие стыки были усилены дополнительной арматурой, устанавливаемой внутри бетонного ядра вдоль ядра.

В последнее время все большее распространение петлевые соединения получают при возведении монолитных конструкций, чему во-многом способствует внедрение в практику строительства крупногабаритных арматурных каркасов [4].

Пространственный каркас (рисунок 2), состоящий из рабочей и, при необходимости, конструктивной арматуры, закладных деталей и элементов жесткости в виде уголков или арматурных стержней, изготавливают в заводских условиях. Применение петлевых стыков в таких каркасах позволяет и производить их монтаж на площадке в кратчайшие сроки и минимальными трудовыми затратами. При этом использование дополнительной арматуры в ядре стыка крайне нежелательно, поскольку ее установка приводит к значительному повышению трудоемкости монтажа каркасов.

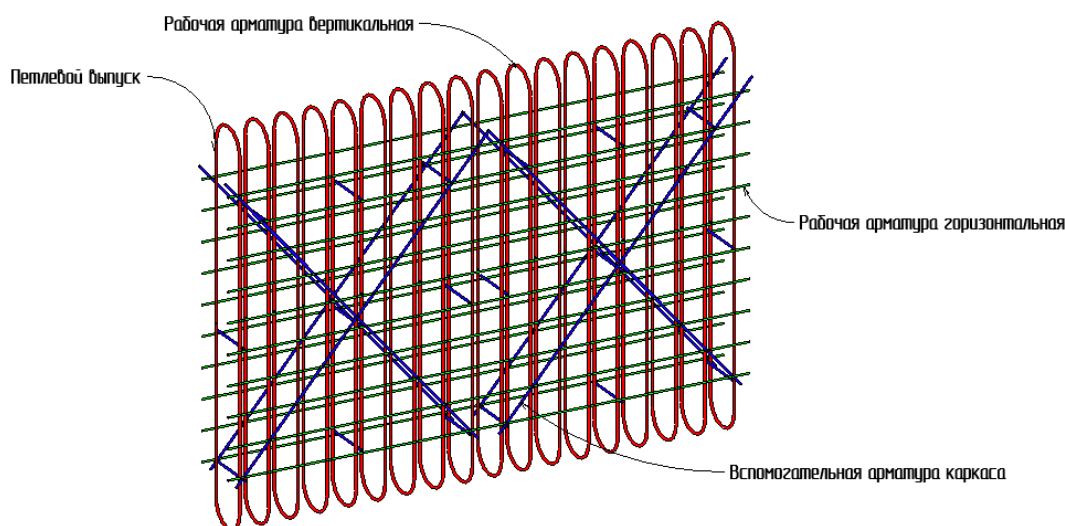


Рисунок 2 - Схема арматурного каркаса с петлевыми выпусками

Впервые экспериментальные исследования петлевых стыков арматуры железобетонных конструкций были проведены с 1932 по 1934 годы в ЛенЦИС, по результатам которых были даны первые рекомендации по проектированию таких стыков, согласно которым диаметр петель должен составлять не менее восьми диаметров стыкуемой арматуры, должна быть обеспечена высокая прочность бетона ядра, а само ядро должно быть усилено дополнительным армированием.

Однако, как отмечено в [5], исследования ЛенЦИС проводились на образцах малых размеров, с арматурой малого диаметра и исключительно на статические нагрузки без выбора расчетной модели и физически обоснованной расчетной схемы работы конструкции.

Следующим этапом развития экспериментальных исследований петлевых стыков являются серии испытаний НИИЭС Гидропроекта, проводимые с 60-х годов прошлого столетия [5, 6].

Большая часть испытываемых образцов представляли собой стык Передерия, имеющий поперечное армирование ядра. Исследования носили объектно-направленный характер, испытываемые образцы моделировали элементы конструкций будущего объекта строительства. По результатам испытаний определялись рекомендуемые параметры стыка (рисунок 3), при которых обеспечивались условия равнопрочности, среди которых: диаметр загиба петель; минимальная прочность бетона; расстояние между петлями; длина прямой вставки; необходимость установки поперечного армирования ядра.

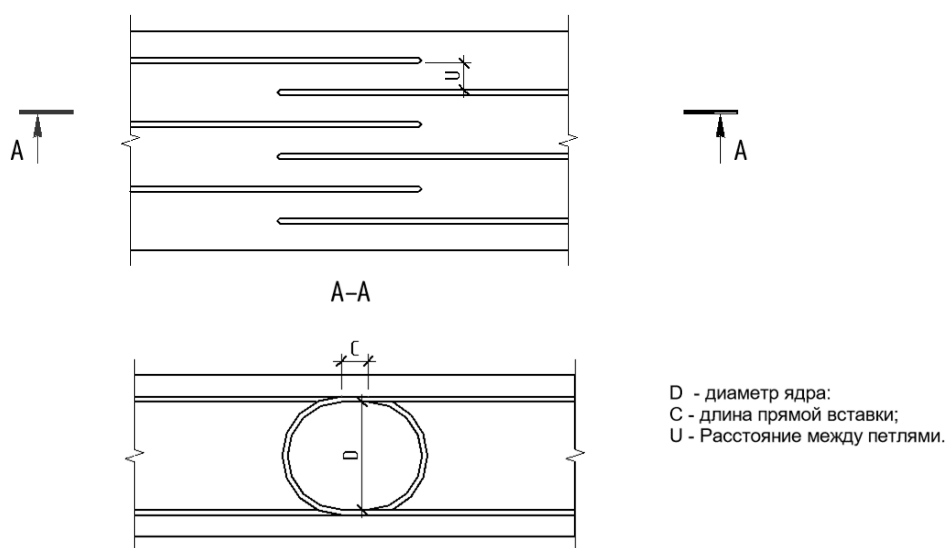


Рисунок 3 – Основные параметры петлевого стыка

С целью выявления возможности и условий применения петлевых стыков без дополнительного армирования ядра под руководством проф. Николаева В.Б. (АО «НИИЭС») были проведены экспериментальные исследования железобетонных моделей типовых конструкций двухблочной АЭС [7]. Испытаны крупномасштабные (М 1:2) балочные и угловые модели, имитирующие монолитные перекрытия и стены АЭС толщиной 300-1200 мм. В результате этих исследований была предложена аналитическая методика статического расчета петлевых стыков [8].

Авторами методики предлагается выполнять, наряду с традиционными расчетами, выполнять проверку петлевых стыков по четырем возможным схемам разрушения:

1. Раскалывание ядра под петлями.
2. Срез ядра по наклонным площадкам от вторичных поперечных сил.
3. Сдвиг ядра от кручения.
4. Потеря анкерующей способности.

На основании аналитической методики разработаны указания [9], применяемые сегодня при расчетах конструкций АЭС.

Однако недостаточность экспериментальных исследований, проведенных при статическом нагружении балочных моделей, оставляет открытыми вопросы расчета и проектирования стыков при динамических нагрузках, а также учета влияния пространственной работы плитных конструкций на напряженно-деформированное состояние петлевых стыков.

Экспериментальные исследования петлевых стыков были проведены и за рубежом.

В работе Бразильских ученых [10] представлены результаты экспериментальных исследований несущей способности петлевых стыков на растяжение. В результате проведенных исследований установлено, что:

- несущая способность стыка зависит от ширины бетонного ядра, уменьшения диаметра оправки петли не влияет на несущую способность.
- наличие поперечного армирования в бетонном ядре не имеет существенного влияния на несущую способность соединения;
- дисперсное армирование фиброй повышает несущую способность петлевого стыка на 27% и более.

Группой исследователей из Нидерландов была проведена серия испытаний петлевых стыков сборно-монолитных конструкций на действие изгибающих моментов [11]. По результатам которых, авторами работы были выявлены 3 типа схем трещинообразования петлевых стыков:

- выкалывание бетона свободной грани балки у крайних петель;
- образование трещин между петлями встречного направления;
- косая трещина, проходящая через ряд несколько рядов петель сразу.

На основании результатов испытаний авторами [11] предложены аналитические зависимости прочности стыка от диаметра арматуры, площади ее сечения, величины перепуска петель и прочности бетона на растяжение, а также представлены минимальные конструктивные требования по величине перепуска петель, диаметру загиба и расстоянию между петлями встречного направления.

В работах [12-16], представлены результаты исследования НДС сборно-монолитных балок с петлевыми стыками при различных типах бетонных стыков - КУБ 2.5, бесшпоночный и шпоночный стыки. Выявлено, что в исследованных элементах:

- несущая способность балки с применением различных типов петлевых стыков снижает несущую способность балки на 38-53% по сравнению с балкой без петлевого стыка;
- развитие трещин в образцах со стыком начинается у сжатой грани и развивается к нижней грани, обходя стык;

- стык выполненный по технологии КУБ 2.5 обладает большей несущей способностью и меньшей деформативностью в сравнении с другими стыками (7-36%), но большей в сравнении с балкой без стыка (5-7%).

Исследователями из Сингапура [17] был проведен ряд натурных экспериментов, результаты которых показали, что установка поперечного армирования ядра повышает несущую способность стыка на растяжение на 15-30%.

Целью работы было сопоставление результатов экспериментов с разработанной авторами аналитической методике, основанной на каркасно-стержневой модели (рисунок 2). Опыты показали хорошую сходимость на образцах с поперечным армированием, однако образцы без поперечного армирования ядра имеют большую зависимость от неоднородности физических свойств бетона и показали расхождение с аналитическим методом до 38%.

Подобного рода работа была проведена в Дании [18, 19], однако в отличии от коллег из Сингапура, исследователи рассматривали модели петлевого стыка исключительно с армированным ядром. Результаты испытаний показали:

- несущая способность стыка повышается при увеличении коэффициента поперечного армирования, увеличения длины прямой вставки;
- несущая способность снижается при увеличении расстояния между петлями встречного направления.

Несмотря на ряд значительных преимуществ петлевых стыков, научно-технических исследований в области работы таких стыков при статических и динамических нагрузках достаточно мало. Результаты исследования стыков с дополнительным армированием ядра достаточно неоднозначны. Для стыков без дополнительного армирования ядра эксперименты ограничены в основном исследованиями балочных конструкций с петлевыми стыками при статических нагрузках [7, 13].

Особо отметим, что детальное изучение напряженно-деформированного состояния наиболее проблемного участка – ядра стыка – при физических экспериментах практически невозможно, и для дальнейшего совершенствования методик расчета и расширения области их применения необходимо проведение численных экспериментов на основе конечно-элементного анализа.

Недостаточная степень проработанности теоретической базы замедляет процесс внедрения петлевых стыков арматуры в практику проектирования монолитных железобетонных конструкций.

Выводы

Основываясь на устоявшихся принципах проектирования и расчета железобетонных конструкций можно выделить основные направления дальнейшего изучения работы петлевых стыков:

- натурные и численные исследования конструктивных элементов как отдельно, так и в составе узла при различных НДС;
- изучения работы стыков при совместном действии внешних силовых факторов, таких как продольная и поперечная сила, а также изгибающий момент;
- изучение работы петлевых стыков в плитных и стеновых конструкциях.

Петлевые стыки рабочей арматуры в монолитных конструкциях имеют ряд преимуществ перед массово используемыми стыками, однако их применение на сегодняшний день весьма ограничено.

Несмотря на существующие результаты испытаний и рекомендаций по проектированию петлевых стыков, степень разработанности темы недостаточна для более широкого внедрения петлевых стыков стержневой арматуры в строительную практику.

На нынешнем этапе развития темы необходимо уточнение расчетных методик как при статических, так и при динамических нагрузках, их сравнение с результатами натурных и

численных экспериментов, проработка различных типов конструкций и изучения работы бетона ядра стыка при сложном напряженно-деформированном состоянии.

Поскольку подлежащие изучению участки стыка находятся в теле бетона и наблюдения за изменением их напряженно-деформированного состояния в физических экспериментах невозможно, основным инструментом изучения петлевых стыков должен быть конечно-элементный анализ, верифицированный на результатах натуральных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Б.С. «Проектирование армирования железобетона». М. 2015. 276 с.
2. Передерия Г.П. Методы проектирования сборных железобетонных мостов. М.: Изд. «Трансжелдориздат», 1946.
3. Мельников Ю.Л., Захаров Л.В. Стыки элементов сборных железобетонных мостовых конструкций. М.: Изд. «Транспорт», 1971.
4. Киреева Э.И. «Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций» // Научно-производственный и технологический журнал «Жилищное строительство». 2013. № 9. С. 47-51.
5. Технический отчет: «Анализ отечественного опыта применения бессварных петлевых стыков» АО «НИИЭС», М., 2015.
6. Николаев В.Б., Рубин О.Д., Селезнев С.В. Расчет прочности и конструирование петлевых стыков сборных элементов // Бетон и железобетон. 1987. № 1. С. 38-40.
7. Николаев В.Б. и др. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций АЭС с модифицированными петлевыми стыками на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа // Безопасность энергетических сооружений. 2016. № 1. С. 66-81.
8. 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. С. 3-10.
9. РУ 1.3.2.17.1106-2016. Руководство «Расчет и конструирование бессварных петлевых стыков железобетонных конструкций АЭС с учетом сейсмических воздействий». 2016. С. 43
10. De Lima Araújo D., Curado M.C., Rodrigues P.F. Loop connection with fibre-reinforced precast concrete components in tension // Engineering structures. 2014. T. 72. С. 140-151.
11. Dragosavić M. et al. Loop connections between precast concrete components loaded in bending // HERON. 1975. № 20. С. 3-36.
12. Малахов В.В. Испытания балок с петлевыми стыками многократно повторяющимися нагрузками // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2015. № 60. С. 195-201.
13. Дорофеев В.С., Шеховцов И.В., Петраш С.В., Малахов В.В. Прочность и деформативность балок со стыком «Передерия». (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса) Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. Рівне, 2011. Вип. 22. С. 328.
14. Дорофеев В.С., Малахов В.В., Нестеренко С.С. Анализ работы петлевых стыков различных конфигураций // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2012. № 47. С. 96-102.
15. Дорофеев В.С., Мишутин А.В., Петраш С.В., Шеховцов И.В. К вопросу численного исследования работы петлевого стыка // Сборник трудов 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії. 2018. С. 252-253.
16. Дорофеев В.С., Малахов В.В. К вопросу о напряженно-деформируемом состоянии петлевых стыков изгибаемых элементов // Вісник ОДАБА : наук.-техн. зб – Серія: Технічні науки. Одеса: ОДАБА, 2014. Вип. 54. С. 104-109.
17. Ong K. C.G., Hao J.B., Paramasivam P. A strut-and-tie model for ultimate loads of precast concrete joints with loop connections in tension // Construction and Building Materials. 2006. T. 20. № 3. С. 169-176.
18. Joergensen H.B., Hoang L.C. Tests and limit analysis of loop connections between precast concrete elements loaded in tension // Engineering Structures. 2013. T. 52. С. 558-569.
19. Sørensen J.H. et al. Tensile capacity of U-bar loop connections with precast fiber reinforced dowels // Fib Symposium 2016: Performance-based approaches for concrete structures. С. 102-114.

REFERENCES

1. Tihonov I.N., Meshkov V.Z., Rastorguev B.S. «Designing reinforcement of reinforced concrete». М. 2015. 276 с.
2. Perederiya G.P. Design methods for precast concrete bridges. IZD «Transjeldorizdat». М. 1946 (in rus).

3. Melnikov L., Zakharov L.V. Joints of elements of precast reinforced concrete bridge structures. Izd. "Transport". M., 1971.
4. Kireeva E.I. "Large-panel buildings with hinged connections of structures" // Scientific-production and technological journal "Housing Construction". 2013. No. 9. Pp. 47-51.
5. Technical report: "Analysis of domestic experience in the application of non-welded loop joints" AO NIIES. M., 2015.
6. Nikolaev V.B., Rubin O.D., Seleznev S.V. Calculation of Strength and Design of Loop Joints of Prefabricated Elements // Beton i jeložobeton. 1987. No. 1. Pp. 38-40. (in rus).
7. Nikolaev V.B. et al. Experimental Investigations of Reinforced Concrete Structures of NPPs with Modified Loop Joints on Large-Scale Reinforced Concrete Beam Models // Bezopasnost energeticheskikh sooruzheniy. 2016. No. 1. Pp. 66-81 (in rus).
8. Klimov E.A., Nikolaev V.B. Improvement of calculation methods of industrial non-welded loop joints of reinforcement of reinforced concrete structures of HPP and NPP on the limiting states // Stroitel'naya mekhanika i sooruzheniy. 2016. No. 5. (in rus).
9. RU 1.3.2.17.1106-2016. Guide "Calculation and design of non-welded loop joints of reinforced concrete structures of nuclear power plants, taking into account seismic effects". 2016. Pp. 43.
10. De Lima Araújo D., Curado M.C., Rodrigues P.F. Loop connection with fibre-reinforced precast concrete components in tension // Engineering structures. 2014. Vol. 72. Pp. 140-151.
11. Dragosavić M. et al. Loop connections between precast concrete components loaded in bending. // HERON. 1975. No. 20. Pp. 3-36.
12. Malakhov V.V. Testing of beams with looped joints by repeated loads. // Bulletin of the Odessa State Academy of construction and architecture. 2015. No. 60. Pp. 195-201.
13. Dorofeev V.S., Shehovtsov I.V., Petrash S.V., Malakhov V.V. Strength and deformability of beams with "Perederiya" joint. (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa) Rusurseeconomic materials, structures, buildings and ponds: Collection of scientific works. Rivne, 2011. Vin. 22. Pp. 328.
14. Dorofeev V.S., Malakhov V.V., Nesterenko S.S. Analysis of loop joints of different configurations. // Bulletin of the Odessa State Academy of construction and architecture. 2012. No. 47. Pp. 96-102.
15. Dorofeev V.S., Mishutin A.V., Petrash S.V., Shehovtsov I.V. On the issue of numerical study of loop junction operation // Proceedings of the 74th scientific and Technical Conference of the Academy's teaching staff. 2018. Pp. 252-253.
16. Dorofeev V.S., Malakhov V.V. On the stress-strain state of hinged joints of bending elements. // Vestnik ODABA: Nauk.-tekhn. SB – series: Tekhnicheskie nauki. Odessa: ODABA publ., 2014. Issue 54. Pp. 104-109.
17. Ong K.C.G., Hao J.B., Paramasivam P. A strut-and-tie model for ultimate loads of precast concrete joints with loop connections in tension // Construction and Building Materials. 2006. Vol. 20. No. 3. Pp. 169-176.
18. Joergensen H.B., Hoang L.C. Tests and limit analysis of loop connections between precast concrete elements loaded in tension // Engineering Structures. 2013. Vol. 52. Pp. 558-569.
19. Sørensen J.H. et al. Tensile capacity of U-bar loop connections with precast fiber reinforced dowels // Fib Symposium 2016: Performance-based approaches for concrete structures. Pp. 102-114.

Информация об авторах:

Авдеев Кирилл Владимирович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
заместитель генерального директора - главный инженер.
E-mail: 6136133@mail.ru

Мамин Александр Николаевич

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, начальник отдела обследований зданий и сооружений.
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
профессор кафедры Железобетонные и каменные конструкции.
E-mail: otozs@yandex.ru

Бобров Владимир Викторович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заведующий сектором.
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
доцент кафедры Железобетонные и каменные конструкции.
E-mail: vbobrov1985@bk.ru

Бамматов Арслан Асельдерович

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, аспирант кафедры Железобетонные и каменные конструкции.
E-mail: a.bammatof@yandex.ru

Мартьянов Кирилл Владимирович

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, г. Москва, Россия, начальник отдела технологий строительства.
E-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

Пряхин Сергей Николаевич

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, г. Москва, Россия, главный эксперт отдела технологий строительства.
E-mail: pryakhin-sn@rosenergoatom.ru

Information about authors:

Avdeev Kirill V.

АО «СНИИПромзданиж», Moscow, Russia, deputy General Director - Chief Engineer.
E-mail: 6136133@mail.ru

Mamin Aleksandr N.

АО «СНИИПромзданиж», Moscow, Russia, doctor of technical sciences, professor, head of the Department of Surveys of Buildings and Structures. Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia, professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: otozs@yandex.ru

Bobrov Vladimir V.

АО «СНИИПромзданиж», Moscow, Russia, candidate of technical sciences, head of the sector. Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: vbobrov1985@bk.ru

Bammatov Arslan As.

Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia, postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: a.bammatof@yandex.ru

Martyanov Kirill V.

JSC «Rosenergoatom» branch of capital projects implementation, Moscow, Russia, head of the Construction Technologies Department.
E-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

Pryakhin Sergey N.

JSC «Rosenergoatom» branch of capital projects implementation, Moscow, Russia, chief expert of the Construction Technologies Department.
E-mail: pryakhin-sn@rosenergoatom.ru