

К.В. АВДЕЕВ<sup>1</sup>, А.Н. БОЛГОВ<sup>2</sup>, С.А. ЗЕНИН<sup>2,✉</sup>, К.В. МАРТЬЯНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» (АО «ЦНИИПромзданий»), Дмитровское шоссе, д. 46, к. 2, г. Москва, 127238, Российская Федерация

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, Люсиновская ул., д. 38, г. Москва, 115093, Российская Федерация

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕТЛЕВЫМИ СТЫКАМИ АРМАТУРЫ В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ Р 70447–2022

### Аннотация

**Введение.** 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, так как значительно сокращает трудозатраты на строительной площадке при устройстве арматурных каркасов.

Актуальность разработки стандарта обусловлена тем, что в действующей нормативной базе отсутствовали детальные указания по конструктивным требованиям к такого рода соединениям. Отсутствие указанных положений приводило к существенным затруднениям при проектировании таких конструкций, что приводило к излишним материальным и временным затратам.

**Целью** работы является совершенствование системы градостроительной деятельности в части уточнения и дополнения действующих нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций.

**Материалы и методы.** Разработка стандарта выполнялась с учетом современных требований, а также анализа результатов последних научных исследований. Дополнительно был проанализирован практический отечественный опыт применения петлевых стыков в области строительства объектов использования атомной энергии.

**Результаты.** Результатом работы является стандарт ГОСТ Р 70447-2022, положения которого включают в

себя новые расчетные методики, а также уточнения существующих методов расчета и конструирования, уточненные требования. Проект стандарта прошел публичные обсуждения, а также необходимые экспертизы, введен в действие.

**Выводы.** Разработан стандарт ГОСТ Р 70447-2022 «Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии», положения которого позволяют разрабатывать надежные конструктивные решения таких конструкций, в том числе с достижением определенного экономического эффекта. При этом отмечены отдельные направления по совершенствованию положений данного стандарта.

**Ключевые слова:** железобетон, конструкции, петлевые стыки арматуры, объекты использования атомной энергии, конструирование, расчет

**Для цитирования:** Авдеев К.В., Болгов А.Н., Зенин С.А., Мартыанов К.В. Проектирование железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры в соответствии с ГОСТ Р 70447-2022 // *Бетон и железобетон*. 2023. № 4 (618). С. 18–27. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-18-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-18-27)

### Вклад авторов

Авдеев К.В., Болгов А.Н., Зенин С.А., Мартыанов К.В. – разработка стандарта.

### Финансирование

Финансирование осуществлялось за счет средств АО ИК «АСЭ».

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.07.2023

Поступила после рецензирования 17.08.2023

Принята к публикации 24.08.2023

K.V. AVDEEV<sup>1</sup>, A.N. BOLGOV<sup>2</sup>, S.A. ZENIN<sup>2,✉</sup>, K.V. MARTYANOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> JSC Central Research, Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (JSC TSNIPromzdaniy), Dmitrovskoe sh., 46, bld. 2, Moscow, 127238, Russian Federation

<sup>2</sup> Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>3</sup> JSC Concern Rosenergoatom Branch for the Implementation of Capital Projects, Lyusinovskaya str., 38, Moscow, 115093, Russian Federation

## DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH LOOP JOINTS OF REBAR IN ACCORDANCE WITH STATE STANDARD R 70447–2022

### Abstract

**Introduction.** Currently, loop overlapping joints of reinforcing bars are used in reinforced concrete structures. These types of working rebar connections are most widely used in NPP structures for the construction of slabs and walls made of monolithic reinforced concrete. Loop joints in these structures are used to connect adjacent three-dimensional reinforced blocks that are assembled in advance and installed in the design position before concreting. This type of connection leads to an increase in the manufacturability of construction and installation works, as it significantly reduces labor costs on the construction site when installing reinforcement frames.

The relevance of the development of the standard is due to the fact that the current regulatory framework did not contain detailed instructions on the design requirements for such connections. The absence of these provisions led to significant difficulties in the design of such structures, which led to excessive material and time costs.

**The aim** of the work is to improve the system of urban planning activities in terms of clarifying and supplementing existing regulatory documents on the design of reinforced concrete structures.

**Materials and methods.** The development of the standard was carried out taking into account modern requirements, as well as an analysis of the results of recent scientific research. Additionally, the practical domestic experience of using loop joints in the construction of nuclear power facilities was analyzed.

**Results.** The result of the work is the State Standard R 70447-

2022 standard, the provisions of which include new calculation methods, as well as clarifications of existing calculation and design methods, and updated requirements. The draft standard passed public discussions, as well as the necessary expertise and was put into effect.

**Conclusions.** The standard State Standard R 70447-2022 "Reinforced concrete structures with loop joints of reinforcement for nuclear power facilities" has been developed, the provisions of which will allow developing reliable structural solutions for such structures, including achieving a certain economic effect. At the same time, certain areas for improving the provisions of this standard are noted.

**Keywords:** reinforced concrete, structures, loop joints of reinforcement, objects of atomic energy use, design, calculation

**For citation:** Avdeev K.V., Bolgov A.N., Zenin S.A., Martyanov K.V. Design of reinforced concrete structures with loop joints of rebar in accordance with State Standard R 70447-2022. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 4 (618), pp. 18–27. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4\(618\)-18-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-4(618)-18-27)

### Author contribution statements

Avdeev K.V., Bolgov A.N., Zenin S.A., Martyanov K.V. – development of the standard.

### Funding

Financing was provided at the expense of JSC EC "ACE".

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.07.2023

Revised 17.08.2023

Accepted 24.08.2023

### Введение

Актуальность разработки стандарта по проектированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками для объектов использования атомной энергии (далее – ОИАЭ) обусловлена тем, что в действующей нормативной базе отсутствовали детальные указания по конструктивным требованиям к такого рода соединениям.

Отсутствие указанных положений приводило к существенным затруднениям при проектировании таких конструкций, что приводило к излишним материальным и временным затратам.

**Целью** работы является совершенствование системы градостроительной деятельности в части уточнения и дополнения действующих нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций.

### Материалы и методы

Разработка ГОСТ Р 70447-2022 [1] выполнялась с учетом современных требований, а также анализа результатов последних научных исследований. Дополнительно был проанализирован практический отечественный опыт применения петлевых стыков в области строительства объектов использования атомной энергии.

### Результаты

В 2022 году вышел стандарт ГОСТ Р 70447-2022 [1], касающийся проектирования железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры на ОИАЭ. Данный стандарт был разработан специалистами НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» и АО «ЦНИИПромзданий».

Разработке данного стандарта предшествовала значительная экспериментальная работа [2, 3], в том числе последние исследования [4] касались анализа работы конструкций петлевых стыков арматуры в изгибаемых железобетонных конструкциях при действии малоцикловых и многократно повторяющихся нагрузок (сейсмических нагрузок и выносливости соответственно).

Ниже кратко остановимся на наиболее характерных положениях ГОСТ Р 70447-2022 [1].

Стандарт состоит из десяти разделов, а также библиографии. Область применения стандарта, приведенная в его первом разделе, включает в себя требования к конструированию и расчету плоскостных железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры (стены и плиты) для зданий и сооружений объектов использования атомной энергии. При этом также имеются отдельные ограничения, в частности, стандарт не распространяется на предварительно напряженные железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для зданий и сооружений ОИАЭ, а также на железобетонные конструкции, рассчитываемые на воздействия однократных аварийных нагрузок высокой интенсивности (воспринимающих непосредственное воздействие от падения самолета и т. п.).

Второй, третий и четвертый разделы стандарта включают в себя перечень ссылочных нормативных документов, перечень необходимых для работы со стандартом терминов и их определений, а также обозначения величин, применяемых в стандарте.

Пятый раздел стандарта содержит общие положения по проектированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. Раздел 6 стандарта «Требования к строительным материалам» состоит из двух подразделов, содержащих требования к бетону и арматуре.

Одним из наиболее интересных является раздел 7 стандарта «Конструктивные решения железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры». В нем содержатся различные принципиальные конструктивные решения петлевых стыков, а также отмечены особенности их работы.

В соответствии со стандартом железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры при сопряжении отдельных конструктивных элементов в зависимости от принятой конструкции могут воспринимать продольные и поперечные силы, а также изгибающие и крутящие моменты.

Основными характеристиками петлевых стыков стержневой арматуры в железобетонных конструкциях являются: форма очертания бетонного ядра петлевого стыка арматуры, количество стыкуемых конструктивных элементов, количество рядов арматуры у растянутых и сжатых граней железобетонной конструкции, взаимное размещение арматурных петель в стыке, наличие армирования бетонного ядра петлевого стыка.

По форме очертания бетонного ядра петлевого стыка арматуры различают стыки с бетонным ядром овального очертания и с бетонным ядром полигонального (прямоугольного) очертания (рис. 1).

Стыки имеют горизонтальную прямую вставку длиной  $s_n$  (рис. 1а, б).

Количество стыкуемых железобетонных конструктивных элементов, армирование которых соединяется при помощи петлевых стыков, зависит от принимаемых конструктивных решений и составляет, как правило, от двух до четырех элементов.

По количеству рядов арматуры у растянутых и сжатых граней железобетонных конструкций петлевые стыки стержневой арматуры проектируют одно- или двухрядными. При однорядном армировании предусматривают по одному ряду арматуры у растянутой и сжатой граней железобетонной конструкции (рис. 1). При двухрядном армировании устанавливают по два ряда арматуры у растянутой (наименее сжатой) и сжатой граней железобетонной конструкции. При этом петлевые стыки могут иметь одно либо два бетонных ядра, сформированных петлями (рис. 2).

Расположение арматурных петель в железобетонных конструкциях принимают попарным (рис. 3) с учетом дополнительных требований, приведенных ниже.

Исходя из конструктивных соображений в бетонном ядре петлевого стыка арматуры в железобетонных конструкциях, подверженных знакопеременным или динамическим воздействиям, может быть дополнительно предусмотрена установка продольной арматуры (рис. 4).

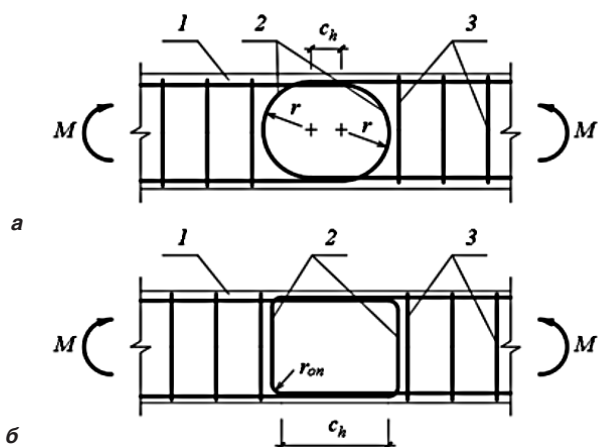
Дополнительная продольная арматура, устанавливаемая в бетонном ядре петлевых стыков арматуры, у открытых торцевых поверхностей, должна быть заанкерена за крайнюю продольную арматуру путем установки Г-образных или П-образных стержней продольной арматуры.

Раздел 8 стандарта содержит требования по конструированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры.

Согласно разделу 8 стандарта минимальный диаметр оправки арматурных стержней для образования петель принимают в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 [5].

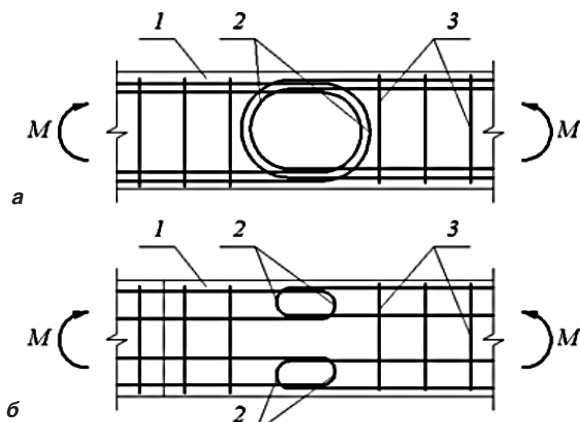
Значение длины линейного петлевого стыка арматуры  $D + c_h$  с овальным очертанием бетонного ядра (рис. 5а) принимают согласно СП 63.13330.2018 [5] как требуемую расчетную длину зоны анкеровки стержней ненапрягаемой арматуры  $l_{an}$  с учетом ее снижения за счет анкерующих устройств.

Длину прямой вставки  $c_h$  в линейных петлевых стыках принимают не менее  $10d_s$ . Фактическое значение длины линейного петлевого стыка арматуры  $D + c_h$  принимают не менее чем  $0,7l_{an}$ . При установке в зоне петлевого стыка поперечной арматуры, отвечающей дополнительным требованиям по сварке, длину линейного петлевого стыка допускается снижать, принимая ее не менее  $0,5l_{an}$  (рис. 5б).



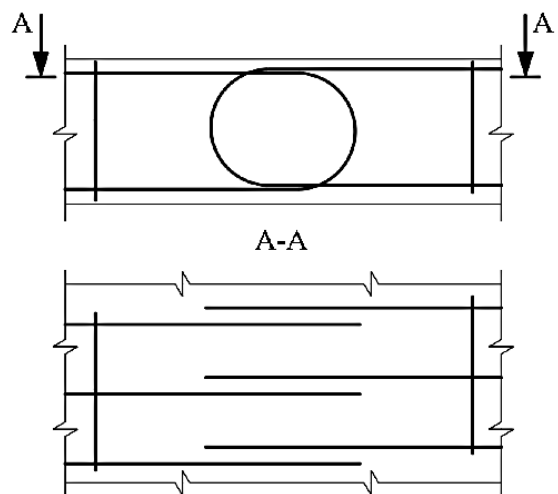
**Рис. 1.** Формы очертания бетонного ядра петлевых стыков арматурных стержней:  
а – ядро овального очертания; б – ядро прямоугольного очертания;  
1 – железобетонная конструкция; 2 – петля продольной арматуры;  
3 – поперечная арматура

**Fig. 1.** The shapes of the outlines of the concrete core of the loop joints of reinforcing bars:  
а – the core of an oval shape; б – the core of a rectangular shape;  
1 – reinforced concrete structure; 2 – loop of longitudinal reinforcement;  
3 – transverse reinforcement



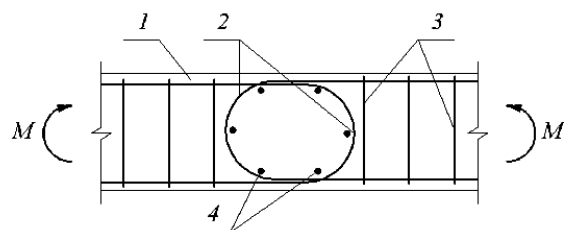
**Рис. 2.** Возможные варианты количества бетонных ядер петлевых стыков арматурных стержней при двухрядном армировании:  
а – одноядерное армирование; б – двухядерное армирование;  
1 – железобетонная конструкция; 2 – петля продольной арматуры;  
3 – поперечная арматура

**Fig. 2.** Possible options for the number of concrete cores of loop joints of reinforcing rods with double-row reinforcement:  
а – single-core reinforcement; б – dual-core reinforcement;  
1 – reinforced concrete structure; 2 – loop of longitudinal reinforcement;  
3 – transverse reinforcement



**Рис. 3.** Петлевые стыки по взаимному размещению арматурных петель в железобетонных конструкциях

**Fig. 3.** Loop joints for the mutual placement of reinforcement loops in reinforced concrete structures



**Рис. 4.** Железобетонная конструкция с армированием бетонного ядра петлевого стыка арматуры:

1 – железобетонная конструкция; 2 – петля продольной арматуры;  
3 – поперечная арматура; 4 – дополнительная продольная арматура в бетонном ядре

**Fig. 4.** Reinforced concrete structure with reinforcement of the concrete core of the loop joint of the reinforcement:  
1 – reinforced concrete structure; 2 – loop of longitudinal reinforcement;  
3 – transverse reinforcement; 4 – additional longitudinal reinforcement in the concrete core

Для линейного петлевого стыка арматуры с бетонным ядром полигонального (прямоугольного) очертания длину стыка назначают, принимая вместо  $D$  диаметр оправки стержня.

Максимальное расстояние между смежными петлями должно быть таким, чтобы встречные петли в стыке располагались с расстоянием между ними в свету не более  $5d_s$  (рис. 6). Здесь можно отметить, что на аналогичном рисунке нового стандарта была допущена неточность, которая будет исправлена при выпуске изменения к нему. Решения стыков следует выполнять согласно тексту соответствующего пункта стандарта, отраженному на рис. 6.

Допускается принимать максимальное расстояние в свету между встречными петлями в линейном петлевом стыке, равное  $8d_s$ , при диаметре рабочей арматуры 16 мм и менее, при этом минимальную длину прямой вставки умножают на коэффициент 1,6.

Для исключения выкалывания бетона вследствие краевого эффекта следует предусматривать специальные конструктивные мероприятия. В частности, петлевые стыки, расположенные у свободных краев железобетонных конструкций, рекомендуется заменять на сплошную арматуру такого же диаметра и класса.

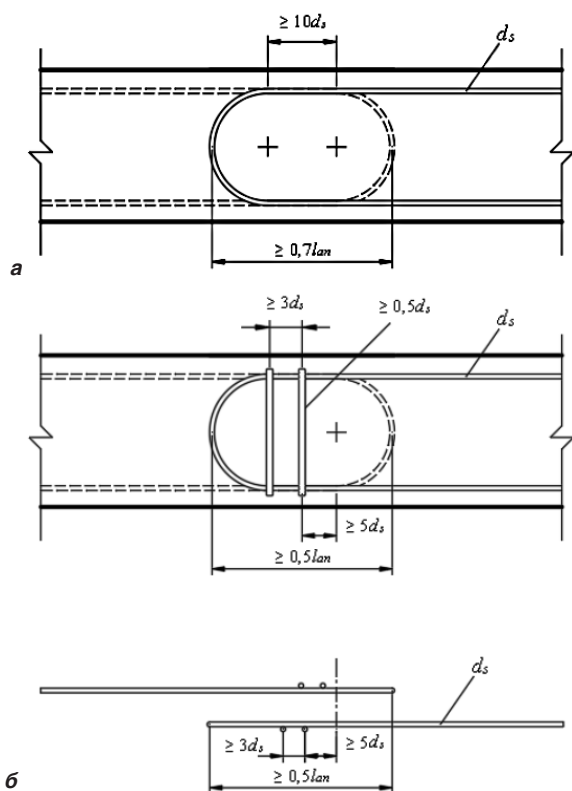


Рис. 5. Конструктивные требования к линейному петлевому стыку арматуры:

а – без поперечной арматуры; б – с поперечной арматурой

Fig. 5. Design requirements for the linear loop joint of the reinforcement:

а – without transverse reinforcement; б – with transverse reinforcement

В зоне линейного петлевого стыка арматуры рекомендуется предусматривать установку не менее двух стержней поперечной арматуры в пределах прямой вставки петлевого стыка путем приварки поперечной арматуры к каждой из петель стыка. Сварное крестовое соединение продольной и поперечной арматуры стыка следует выполнять по типу К1-Кт ГОСТ 14098-2014 [6], соблюдающим требования к соединениям нормированной прочности согласно ГОСТ Р 57997-2017 [7]. Диаметр поперечной арматуры принимают не менее 0,5 диаметра арматуры петлевого стыка. При использовании арматуры петлевого стыка диаметром 36 и 40 мм допускается применение поперечной арматуры диаметром 16 мм.

Девятый раздел стандарта «Требования к выполнению расчета железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры на статические воздействия» состоит из трех подразделов: общие требования, а также требования по расчету по предельным состояниям первой и второй групп.

В зависимости от конструкции петлевого стыка арматуры, действующих усилий и напряженного состояния бетонного ядра петлевого стыка арматуры при выполнении расчетов железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры по первой группе предельных состояний следует рассматривать четыре формы разрушения и соответствующие им расчетные формы разрушения стыков, приведенные в таблице.

На основании выполнения расчетов по приведенным формам разрушения параметры стыка принимают по наименьшей несущей способности.

Направление усилий и схемы магистральных трещин (рис. 7, 8) принимают в зависимости от конструкции петлевого стыка стержневой арматуры.

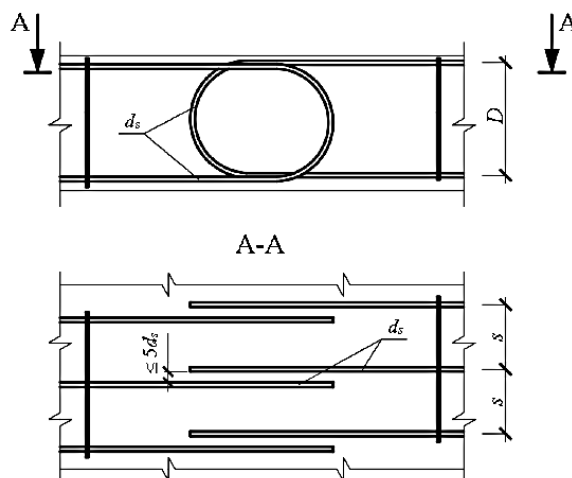


Рис. 6. Требование к расстоянию между петлями

Fig. 6. The requirement for the distance between the loops

Таблица  
Table

Формы разрушения бетонного ядра петлевого стыка  
Forms of destruction of the concrete core of the loop joint

Обозначение формы разрушения	Формы разрушения	Тип стыка*	Расчетные формы разрушения стыков
А	Раскалывание ядра под петлями	Л-1	А или Б – на раскалывание ядра под петлями и на срез по наклонным сечениям (в зависимости от шага петель)
Б	Срез ядра по наклонным площадкам от вторичных поперечных сил	Л-2	Б, В** и Г – на срез по наклонным сечениям, кручение и на анкерующую способность
В	Сдвиг ядра от кручения	У-1	Б, В** и Г – на срез по наклонным сечениям, кручение и на анкерующую способность
Г	Потеря анкерующей способности петлевых выпусков с образованием шарнира пластичности	У-2	А и Г – на кручение и на анкерующую способность

\* Типы стыков см. на рис. 7 и 8.

\*\* Форму разрушения учитывают для железобетонных конструкций, испытывающих динамические воздействия и претерпевающих попеременное растяжение на противоположных гранях.

Расчет на раскалывание бетона под петлями по форме разрушения А (рис. 9) выполняют исходя из условия

$$N_{cl1} \geq N_s, \quad (1)$$

где  $N_{cl1}$  – несущая способность бетонного ядра петлевого стыка при раскалывании, кгс;

$N_s$  – усилие в одном арматурном стержне при однорядном армировании или суммарное усилие в двух параллельных арматурных стержнях при двухрядном одноподерном армировании, кгс.

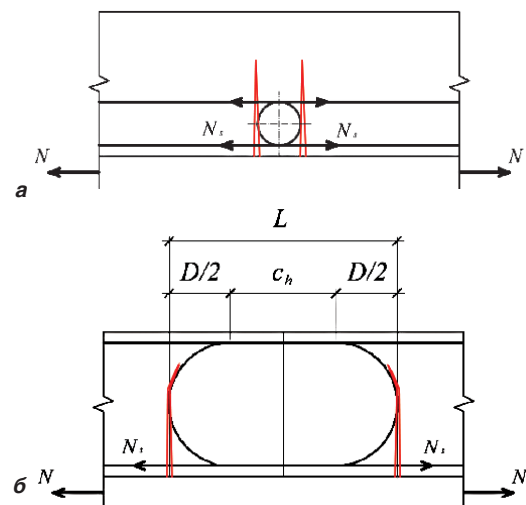


Рис. 7. Схемы передачи усилий и положения магистральных трещин в линейных петлевых стыках: а – тип Л-1 – петлевой стык с двумя рядами арматуры у растянутой грани; б – тип Л-2 – петлевой стык-перепуск с одним рядом арматурных сеток у растянутой и сжатой грани

Fig. 7. Schemes of force transmission and the position of main cracks in linear loop joints: а – L-1 type – loop joint with two rows of reinforcement at the stretched face; б – L-2 type – loop joint-bypass with one row of reinforcement grids at the stretched and compressed faces

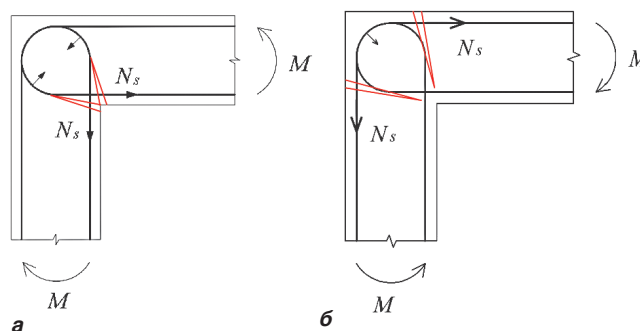


Рис. 8. Схемы передачи усилий и положения магистральных трещин в угловых петлевых стыках:

а – тип У-1 – угловой стык с растянутой внутренней гранью; б – тип У-2 – угловой стык со сжатой внутренней гранью

Fig. 8. Schemes of force transmission and the position of main cracks in angular loop joints:

а – type U-1 – angular joint with a stretched inner face; б – type U-2 – angular joint with a compressed inner face

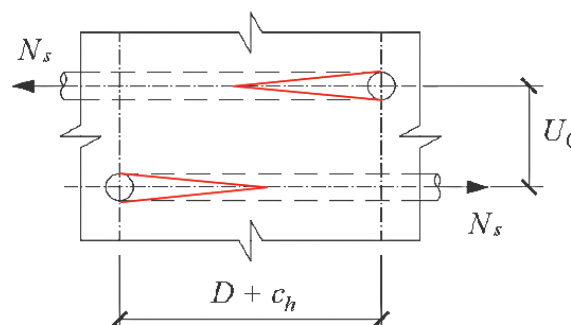


Рис. 9. Схема усилий и характер трещинообразования при раскалывании ядра петлевого стыка под петлями (ломаными линиями обозначены возникающие трещины)

Fig. 9. The scheme of forces and the nature of cracking when splitting the core of the loop joint under the loops (broken lines indicate the cracks that occur)

Несущую способность бетонного ядра петлевого стыка при раскалывании  $N_{cl1}$  определяют по формуле

$$N_{cl1} = \left[ 2,3 \left( \frac{U_0}{D + c_h} \right)^2 + 1,3 \right] \times S_{cl} \times k_c \times R_{bt}, \quad (2)$$

где  $U_0$  – расстояние в осях между смежными стержнями рабочей арматуры в зоне петлевого стыка;

$c_h$  – длина горизонтальной прямой вставки, см;

$S_{cl}$  – площадь бетонного ядра петлевого стыка, см<sup>2</sup>, определяемая по формуле

$$S_{cl} = 0,25\pi \times D^2 + c_h \times (D + c_v) + c_v \times D, \quad (3)$$

где  $c_v$  – длина вертикальной прямой вставки в петлевом стыке, см;

$D$  – диаметр бетонного ядра петлевого стыка, принимаемый по минимальному диаметру петли продольной арматуры, см. Для петлевого стыка арматуры с бетонным ядром полигонального (прямоугольного) очертания принимают вместо  $D$  диаметр оправки стержня;

$k_c$  – коэффициент, учитывающий повышение прочности бетонного ядра петлевого стыка в зависимости от его армирования:

– в стыке типа Л1:

$$k_c = 1 + 0,125 \times \frac{A_c}{A_s} \leq 1,5, \quad (4)$$

где  $A_s$  – площадь сечения одного стержня рабочей арматуры, см<sup>2</sup>;

$A_c$  – площадь сечения всех стержней, армирующих бетонное ядро петлевого стыка, см<sup>2</sup>;

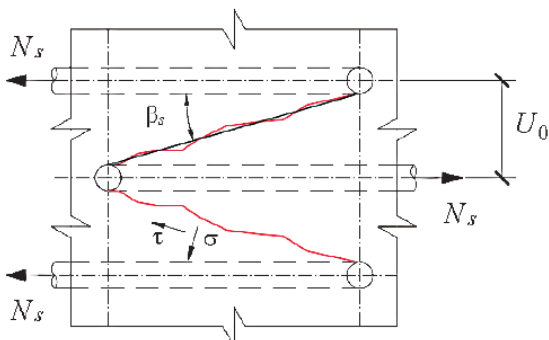
– в стыке-перепуске типа Л2 и в угловых стыках-перепусках типа У1 и У2:

$$k_c = 1 + \frac{4 \times A_c}{\pi \times D^2} \times \frac{E_s}{E_b} \leq 1,5, \quad (5)$$

где  $E_s$  – модуль упругости арматуры, кгс/см<sup>2</sup>;

$E_b$  – начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении, кгс/см<sup>2</sup>.

При двухрядном одноядерном армировании значение  $R_{bt}$  принимают согласно СП 63.13330.2018 [5] с учетом коэффициента условий работы 0,95.



**Рис. 10.** Схема усилий и характер трещинообразования при срезе по наклонным сечениям (ломаными линиями обозначены возникающие трещины)

**Fig. 10.** The scheme of forces and the nature of cracking when cutting along inclined sections (broken lines indicate the cracks that occur)

Расчет петлевых стыков по форме разрушения Б (рис. 10) выполняют исходя из условия

$$N_{cl2} \geq N_s, \quad (6)$$

где  $N_{cl2}$  – несущая способность бетонного ядра петлевого стыка при срезе, кгс;

$N_s$  – то же, что в (1).

Несущую способность бетонного ядра петлевого стыка при срезе  $N_{cl2}$  определяют по формуле:

$$N_{cl2} = \gamma_l \times S_s \times k_c \times ([\tau] \times \cos \beta_s + [\sigma] \times \sin \beta_s), \quad (7)$$

где  $\gamma_l$  – коэффициент, учитывающий особенности распределения напряжений по сечению бетонного ядра петлевого стыка:

– для стыка типа Л1:  $\gamma_l = 1$ ,

– в стыке-перепуске типа Л2:  $\gamma_l = 0,9$ ,

– в угловых стыках-перепусках типа У1 и У2:  $\gamma_l = 1,1$ ;

$\beta_s$  – угол среза (рис. 10), определяемый по формуле

$$\beta_s = \arctg \frac{U_0 - d_s}{D + c_h}, \quad (8)$$

$S_s$  – площадь наклонного сечения, см<sup>2</sup>, определяемая по формуле

$$S_s = \frac{S_{cl}}{\cos \beta_s}, \quad (9)$$

где  $S_{cl}$  – площадь бетонного ядра петлевого стыка, определяемая по формуле (7);

$[\sigma]$  – средние нормальные напряжения в наклонном сечении, кгс/см<sup>2</sup>:

$$[\sigma] = \frac{1,35 R_{bt}}{1 - k_R + 2 \times \sqrt{k_R} \times \ctg \beta_s}, \quad (10)$$

где

$$k_R = \frac{R_{bt}}{R_b}, \quad (11)$$

$[\tau]$  – средние касательные напряжения в наклонном сечении:

$$[\tau] = [\sigma] \times \ctg \beta_s. \quad (12)$$

Расчет по форме разрушения В выполняют исходя из условия

$$D_k \geq D_{req}, \quad (13)$$

где  $D_k$  – диаметр эквивалентного кругового бетонного ядра петлевого стыка, определяемый по формуле

$$D_k = 2 \sqrt{\frac{S_{cl}}{\pi}}, \quad (14)$$

$D_{req}$  – требуемый диаметр бетонного ядра петлевого стыка, определяемый по формуле

$$D_{req} = k \times d_s \times \sqrt{\frac{R_s}{R_b}}, \quad (15)$$

где  $k = 2,58$  – для линейного стыка-перепуска;

$k = 1,72$  – для углового стыка-перепуска.

Имеются отдельные уточнения при двухрядном одноядерном армировании.

Расчет по форме разрушения Г выполняют исходя из условия

$$D_k \geq D_{req}, \quad (16)$$

где  $D_k$  – диаметр эквивалентного кругового бетонного ядра петлевого стыка, определяемый по формуле (14).

Требуемый диаметр бетонного ядра петлевого стыка  $D_{req}$  определяют по формуле

$$D_{req} = \frac{0,5 \times R_s \times d_s}{\pi \times R_{bond3}}, \quad (17)$$

где  $R_{bond3}$  – среднее сопротивление сцепления арматуры с бетоном по криволинейному анкеру, кгс/см<sup>2</sup>, определяемое по формуле

$$R_{bond3} = \eta_3 \times R_{bt}, \quad (18)$$

где  $\eta_3$  – коэффициент, учитывающий влияние диаметров петли и арматуры и определяемый по формуле

$$\eta_3 = 5,7 - 0,12 \times \frac{D}{d_s}. \quad (19)$$

Если  $D_{req} > D_k$ , длину прямой вставки  $c_h$  в стыках с бетонным ядром овального очертания принимают не менее чем

$$c_h = \frac{0,25 \times R_s \times d - 0,5 \times \pi \times D \times R_{bond3}}{\eta_1 \times R_{bt}}, \quad (20)$$

где  $\eta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры, определяемый согласно СП 63.13330.2018 [5].

В полигональных (прямоугольных) стыках в зависимости (20) левую часть принимают равной  $c_h + c_v$ .

В угловых петлевых соединениях, в которых увеличение прямой вставки конструктивно невозможно, прочность соединения рекомендуется увеличивать за счет:

– повышения класса бетона по прочности на сжатие;

– увеличения бетонного ядра петлевого стыка (переход на форму петли типа «лампочка» при соединении железобетонных конструктивных элементов с разной толщиной/высотой сечения);

– применения конструктивного передаточного элемента, армирования бетонного ядра петлевого стыка.

Расчеты железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры по второй группе предельных состояний включают выполнение:

– расчетов по образованию трещин, которые следует проводить так же, как для монолитных конструкций по СП 63.13330.2018 [5] для проверки необходимости учета трещин при расчете по деформациям;

– расчетов по раскрытию трещин исходя из условия, согласно которому ширина раскрытия трещин в стыке от различных нагрузок и воздействий не должна превышать предельно допустимых значений, устанавливаемых в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции, от условий ее эксплуатации, воздействия окружающей среды и характеристик материалов с учетом особенностей коррозионного поведения арматуры и бетона;

– расчетов по деформациям, которые следует производить как для монолитных железобетонных конструкций по СП 63.13330.2018 [5] из условия, по которому перемещения и амплитуды колебаний конструкции от различных нагрузок и воздействий не должны превышать соответствующих предельно допустимых значений, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация железобетонных конструкций или исчерпывается ресурс их долговечности.

Для железобетонных конструкций с угловыми и линейными петлевыми стыками стержневой арматуры ширину раскрытия нормальных трещин  $a_{crc}$ , см, определяют по формуле

$$a_{crc} = \left[ \left( 0,062 \frac{d_s}{R_{bt,n}} \times \sigma_{s,crc} + 0,5 \times D \right) \times \Psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + 0,25 \times \right. \\ \left. \times \Psi'_s \frac{\sigma'_s}{E_s} \times c + 1,56 \times \frac{d^2}{U_0} \times \frac{\sigma'_s}{E_{b,t}} \right], \quad (21)$$

где  $\sigma_{s,crc}$  – напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной сразу после образования нормальных трещин, кгс/см<sup>2</sup>, согласно СП 63.13330.2018 [5];

$\sigma_s$  – напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной при действии рассматриваемой нагрузки, кгс/см<sup>2</sup>, согласно СП 63.13330.2018 [5];

$\Psi_s$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами, принимаемый согласно СП 63.13330.2018 [5];

$\Psi'_s$  – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами в зоне прямой вставки с двойным армированием, принимаемый согласно СП 63.13330.2018 [5];

$E_{b,t}$  – модуль деформации бетона при продолжительном действии нагрузки, кгс/см<sup>2</sup>, принимаемый согласно СП 63.13330.2018 [5];

$\sigma'_s$  – напряжение в арматуре в начале криволинейного участка петлевого выпуска, кгс/см<sup>2</sup>, определяемое по формуле

$$\sigma'_s = \sigma_s \times \left( 1 - \frac{0,25c_h}{l_{0,an}} \right), \quad (22)$$

где  $l_{0,an}$  – базовая (основная) длина анкеровки арматуры, см, определяемая согласно СП 63.13330.2018 [5].

Десятый раздел стандарта включает в себя требования к выполнению расчета железобетонных конструкций с петлевыми стыками стержневой арматуры на динамические воздействия. В общем случае расчет выполняют по указаниям разделов 8 и 9 стандарта с учетом требований СП 14.13330.2018 [8], НП-031-01 [9], СП 63.13330.2018 [5]. При этом в качестве динамических воздействий рассматривают только малоцикловые воздействия (сейсмические), а также многоцикловые воздействия (выносивость) на железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры.

### Выводы

Разработан стандарт ГОСТ Р 70447-2022 «Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии», положения которого позволят разрабатывать надежные конструктивные решения таких конструкций, в том числе с достижением определенного экономического эффекта.

Как видно, ГОСТ Р 70447-2022 [1] содержит достаточно детальные указания по расчету и конструированию железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. В основу данного стандарта, как указывалось выше, легли научные исследования [2–5].

Учитывая перспективу применения конструкций петлевых стыков арматуры в железобетонных конструкциях, представляется целесообразным выполнить ряд экспериментальных исследований с целью верификации расчетных методик стандарта [1] для внецентренно сжатых железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры. В настоящее время в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проводятся такие исследования. Наряду со снижением трудозатрат на устройство арматурного каркаса это также позволит обеспечить необходимую надежность и механическую безопасность конструкций, включая достоверность теоретической методики расчета. Дополнительно к вышеуказанным исследованиям в АО «ЦНИИПромзданий» продолжаются исследования по определению влияния краевых зон элементов для уточнения конструктивных требований стандарта. Отдельно следует отметить, что расчетные методики стандарта [1] обладают существенной эмпирикой, в расчетных методах присутствует значительное количество условных коэффициентов, учитывающих различные факторы и сближающие опытные данные с теоретическими. При накоплении достаточного количества опытных данных в дальнейшем представляется возможным в ряде случаев упростить расчетные методики стандарта для их практического инженерного применения.

### Список литературы

1. ГОСТ Р 70447-2022. Железобетонные конструкции с петлевыми стыками арматуры для объектов использования атомной энергии. Требования к конструированию и расчету.
2. 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.
3. 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. С. 66–81.

4. Авдеев К.В., Мамин А.Н., Бобров В.В., Бамматов А.А., Квасников А.А., Мартыанов К.В., Пугачев Б.А. Испытания элементов железобетонных конструкций с петлевыми стыками арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 6. С. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.24-30>

5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

6. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.

7. ГОСТ 57997-2017. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия.

8. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*.

9. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.

### References

1. State Standard R 70447-2022. Reinforced concrete structures with loop joints of reinforcement for nuclear power facilities. Requirements for design and calculation. (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*. 1987, no. 1, pp. 38–40. (In Russian).
3. 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. *Safety of energy facilities*. 2016, no. 1, pp. 66–81. (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, no. 6, pp. 24–30. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.24-30>
5. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. (In Russian).
6. State Standard 14098-2014. Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. Types, constructions and dimensions. (In Russian).
7. State Standard 57997-2017. Welded reinforcing products and inserts, welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. General specifications. (In Russian).

8. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81\*. (In Russian).

9. Federal norms and rules in the field of the use of atomic energy. NP-031-01. Standards for the design of aseismic nuclear power plants. (In Russian).

**Информация об авторах /  
Information about the authors**

**Кирилл Владимирович Авдеев**, заместитель генерального директора – главный инженер ЦНИИПромзданий, Москва  
e-mail: 6136133@mail.ru

**Kirill V. Avdeev**, Deputy General Director – Chief Engineer, TSNIIPromzdaniy, Moscow  
e-mail: 6136133@mail.ru

**Андрей Николаевич Болгов**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией № 2 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: 200651@mail.ru

**Andrey N. Bolgov**, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory No. 2, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: 200651@mail.ru

**Сергей Алексеевич Зенин**✉, канд. техн. наук, заведующий лабораторией № 2 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: lab01@mail.ru

**Sergey A. Zenin**✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory No. 2, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: lab01@mail.ru

**Кирилл Владимирович Мартьянов**, начальник отдела филиала АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, Москва

e-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

**Kirill V. Martyanov**, Head of the Department, JSC Concern Rosenergoatom Branch for the Implementation of Capital Projects, Moscow  
e-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



***Вышло в свет учебное пособие «Долговечность бетона».***

*Автор пособия – заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», доктор технических наук, профессор, академик Российской инженерной академии, Почетный строитель России и г. Москвы, дважды лауреат премии Правительства РФ Валентина Федоровна Степанова.*

*В пособии приведена теория коррозии бетона и металла, рассматривается правильный подход к выбору строительных материалов, приготовлению бетона и железобетона, обеспечивающих требуемую долговечность конструкций. Даны основные признаки коррозии бетона в жидких агрессивных средах, механизм коррозии арматуры. Показаны способы повышения коррозионной стойкости бетона и обеспечения сохранности арматуры на стадии проектирования состава бетона в процессе приготовления и эксплуатации конструкций. Приведены математические модели коррозии бетона, позволяющие совершенствовать технологию получения бетонов повышенной долговечности.*

*Пособие ориентировано на студентов, обучающихся по направлению «Строительство», а также будет полезно всем специалистам, занимающимся изучением бетона и железобетона.*