

УДК 624.012

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-4\(629\)-19-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-4(629)-19-26)**С.И. ИВАНОВ¹, Е.Н. ПАНЬКОВ², А.А. КВАСНИКОВ^{1,3✉}**

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 ООО «Инфорспроект», ул. Ленинская слобода, д. 19, г. Москва, 115280, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

УСИЛЕНИЕ СЖАТЫХ И ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМАМИ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация

Введение. Обеспечение совместной работы усиливаемой конструкции и конструкций усиления является ключевым фактором для успешного усиления конструкций. Традиционные методы обеспечения совместной работы не всегда применимы на практике. Один из возможных методов – создание бетонных шпонок в усиливаемой конструкции и передача с них усилий на стальные пластины-шпонки, закрепленные на конструкциях усиления (балки) или наоборот (колонны).

Цель. Проиллюстрировать применение рассматриваемого метода на примере усиления монолитных железобетонных балок и стальных колонн.

Материалы и методы. Усиление выполнялось с применением современных строительных материалов, в том числе строительной химии фирмы Мапей, и современных методов, в том числе лазерной очистки поверхности стальных конструкций от продуктов коррозии.

Результаты. Было установлено, что применение рассматриваемого метода включения конструкций усиления в работу не требует уникальной квалификации исполнителя, метод достаточно прост в реализации, включение конструкций усиления косвенно подтверждено результатами мониторинга конструкций, однако вследствие условий эксплуатации конструкций их испытание (в том числе до разрушения) не выполнялось.

Выводы. Рассмотренный в статье метод может быть рекомендован для применения в сложных условиях. Однако необходимо провести экспериментальную проверку путем испытания конструкций до разрушения.

Ключевые слова: усиление железобетонных конструкций, совместная работа усиления и конструкции, бетонные шпонки, армирование, несущая способность, прочность, арматура

Для цитирования: Иванов С.И., Паньков Е.Н., Квасников А.А. Усиление сжатых и изгибаемых железобетонных конструкций системами внешнего армирования с применением шпоночных соединений // *Бетон и железобетон*. 2025. № 4 (629). С. 19–26. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-4\(629\)-19-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-4(629)-19-26). EDN: IPAEMJ

Вклад авторов

Иванов С.И. – разработка проектного решения по усилению балок и колонн, оформление проекта усиления, подготовка статьи.

Паньков Е.Н. – разработка проектного решения по усилению балок и оформление проекта усиления.

Квасников А.А. – корректировка проектных решений по усилению конструкций, подготовка статьи.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.05.2025

Поступила после рецензирования 04.07.2025

Принята к публикации 07.07.2025

S.I. IVANOV¹, E.N. PANKOV², A.A. KVASNIKOV^{1,3✉}

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 LLC "Inforsproekt", Leninskaya Sloboda str., 19, Moscow, 115280, Russian Federation

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation

STRENGTHENING OF THE COMPRESSED AND BENT REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH EXTERNAL REINFORCEMENT SYSTEMS USING KEYED CONNECTIONS

Abstract

Introduction. Ensuring of the joint operation of the reinforced structure and the reinforcement structures is a key factor for successful reinforcement of structures. Traditional methods of ensuring of the joint operation are not always applicable in practice. One possible method is to create concrete keys in the reinforced structure and transfer forces from them to steel key plates fixed on the reinforcement structures (beams) or vice versa (columns).

Aim. To illustrate the application of the method under consideration, we used the example of reinforcing of the monolithic reinforced concrete beams and steel columns.

Materials and methods. The reinforcement was carried out using modern construction materials, including Mapei construction chemicals, and modern methods, including laser cleaning of the surface of steel structures from corrosion products.

Results. It was found that the application of the method under consideration does not require unique qualifications from the performer, and the method is quite effective. The inclusion of reinforcement structures is indirectly confirmed by the results of structure monitoring, but due to the operating conditions of the structures, they have not been tested (including failure test).

Conclusions. The method discussed in the article can be recommended for use in difficult conditions. However, it is necessary to conduct an experimental verification by testing the structures to failure.

Keywords: reinforcement of reinforced concrete structures, joint work of reinforcement and structure, concrete keys, reinforcement, bearing capacity, strength, rebar

For citation: Ivanov S.I., Pankov E.N., Kvasnikov A.A. Strengthening of the compressed and bent reinforced concrete structures with external reinforcement systems using keyed connections. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 4 (629), pp. 19–26. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-4\(629\)-19-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-4(629)-19-26). EDN: IPAEMJ

Authors contribution statement

Ivanov S.I. – development of a design solution for beams and columns strengthening, design of a strengthening project and preparation of the article.

Pankov E.N. – development of a design solution for beams and design of a strengthening project.

Kvasnikov A.A. – adjustment of design solutions for structures strengthening and preparation of the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.05.2025

Revised 04.07.2025

Accepted 07.07.2025

Введение

При усилении железобетонных конструкций наращиванием сечения основным вопросом является обеспечение совместной работы усиливаемой конструкции и конструкций усиления. Для обеспечения совместной работы бетона усиливаемой конструкции с бетоном усиления необходимо как при проектировании, так и при производстве работ уделять внимание мероприятиям, способствующим повышению сцепления старого бетона с новым.

Традиционные методы усиления хорошо известны и приведены в нормативной документации [1]:

- добавление или замена замоноличенных или наружных арматурных стержней;
- добавление арматуры, закрепляемой в заранее сформированных или пробуренных каналах;
- внешнее армирование приклеиванием полос, холстов, сеток;
- добавление бетона или раствора;
- инъектирование в трещины, пустоты или полости;
- заполнение трещин, пустот или полостей;
- установка предварительно напряженной арматуры;
- усиление жесткими или упругими опорами;
- устройство обойм из стального проката;
- усиление заменяющими конструкциями.

Данные методы широко применяются в практике [2], при выборе конструкций усиления необходимо уделить особое внимание требованиям технологии выполнения работ, условиям эксплуатации. Технологические требования включают перечень указаний и ограничений, устанавливающих соответствие конструкций усиления (толщина и конфигурация обойм, вид армирования и др.) параметрам применяемой оснастки, оборудования, инструмента и т. п.

Методы приварки новой арматуры к старой через коротыши и накладки; создание замкнутых обойм с включением в работу за счет обжатия при усадке бетона подробно описаны в [3].

Метод выполнения шпонок вдоль контакта сборной и монолитной части конструкций и методики расчета описаны в своде правил [4]. При этом на поверхностях сборных элементов, соприкасающихся с бетоном омоноличивания, следует устраивать шпонки, шероховатость поверхностей контакта, продольные выступы и пазы, выпускать арматуру в соответствии с расчетными или конструктивными требованиями.

Метод расчета и конструирования шпонок в стаканах фундаментов отражен в своде правил [5].

Метод установки и учета в расчетах дополнительной арматуры поперек швов бетонирования отражен в [6].

В ряде случаев традиционные методы не позволяют включить в работу конструкции усиления. Например, на одном из объектов было выявлено отступление от проекта в виде изменения отметок верхней и нижней граней балок, которое привело к снижению проектной длины анкеровки верхней рабочей арматуры (рис. 1). Кроме того, было выявлено увеличение толщины защитного слоя бетона до рабочей арматуры более чем в 2 раза. В результате фактическая несущая способность опорного сечения при действии моментов составила не более 60 % проектной величины, этого было недостаточно для обеспечения прочности, жесткости и трещиностойкости балки, потребовалось ее усиление. Несущая способность наклонных сечений была обеспечена.

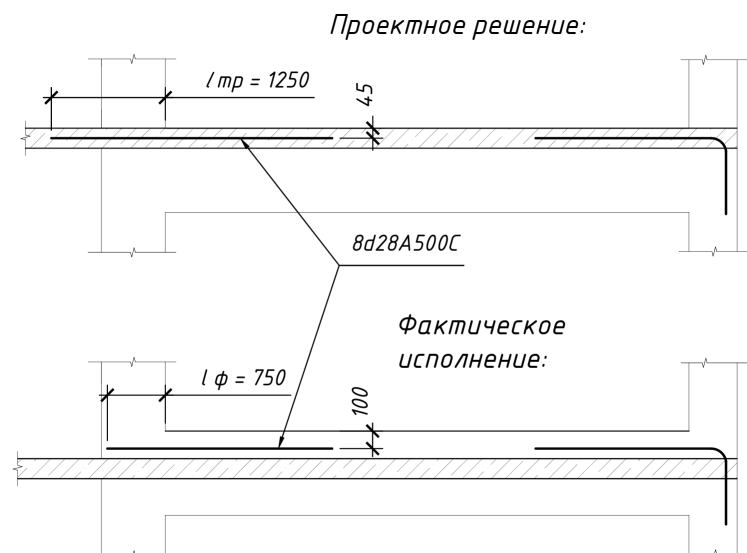


Рис. 1. Изменение проектного решения монолитной железобетонной балки
Fig. 1. Change in the design of the monolithic reinforced concrete beam

Дефицит верхнего армирования был достаточно значительным – дополнительное армирование превышало установленное по проекту. Приварка к установленной арматуре новой арматуры усиления через коротыши вызывало вопросы надежности, так как это приводило к большому плечу силы и эксцентриситетам, не позволяющим применить сварные швы по ГОСТ 14098-2014 [7]. Вариант устройства усиления с помощью шпренгеля применить не получилось, так как при расположении плиты в средней части балки для пропуска наклонных ветвей шпренгеля требовалось фактически вырубить участки опоры плиты на балки, что в данных условиях было неприемлемо.

В связи с вышеизложенным, с учетом повышенной прочности бетона (фактическая прочность была выше проектной), было решено выполнить включение в работу новой арматуры усиления с применением бетон-

ных шпонок, выполненных в бетоне над ослабленной арматурой (рис. 2): усилия на арматуру передавались через приваренные стальные пластины, передающие сдвиг. Эти пластины вклеены в штрабы, выполненные в бетоне балок, с применением клеевого состава для химических анкеров.

Участки бетона между штрабами рассчитывались как шпонки. Участки с растянутым бетоном в расчете не учитывались. По требованиям [8] в расчете учитывались три шпонки. В запас прочности было запроектировано шесть шпонок. Чтобы при эксплуатации шпонки не отклеились, поперечное сечение было охвачено стальной обоймой с преднапряженной поперечной арматурой (рис. 3).

Усиление балок было выполнено увеличением площади растянутой арматуры в опорных сечениях. Для усиления было назначено армирование 4d36A500C.

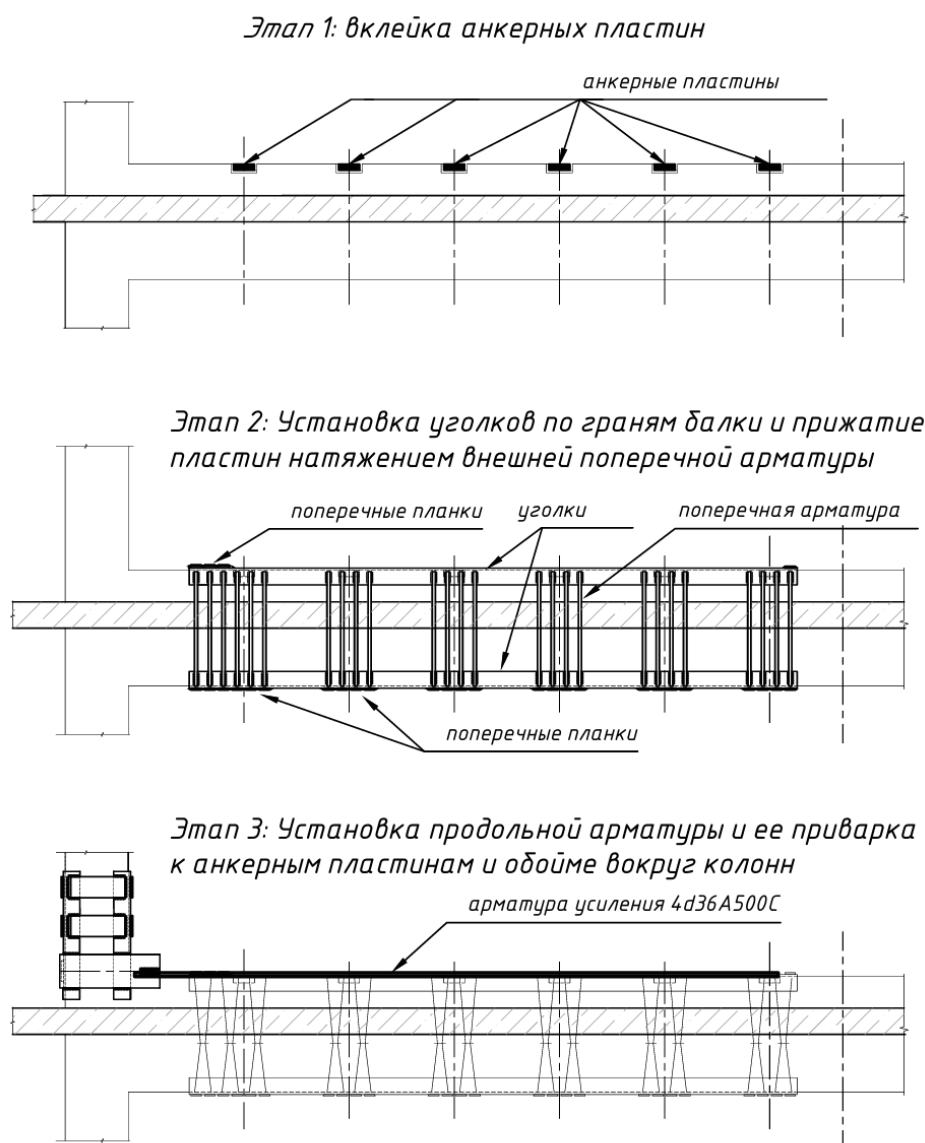


Рис. 2. Принципиальное решение и последовательность выполнения усиления
Fig. 2. Fundamental solution and sequence of reinforcement execution

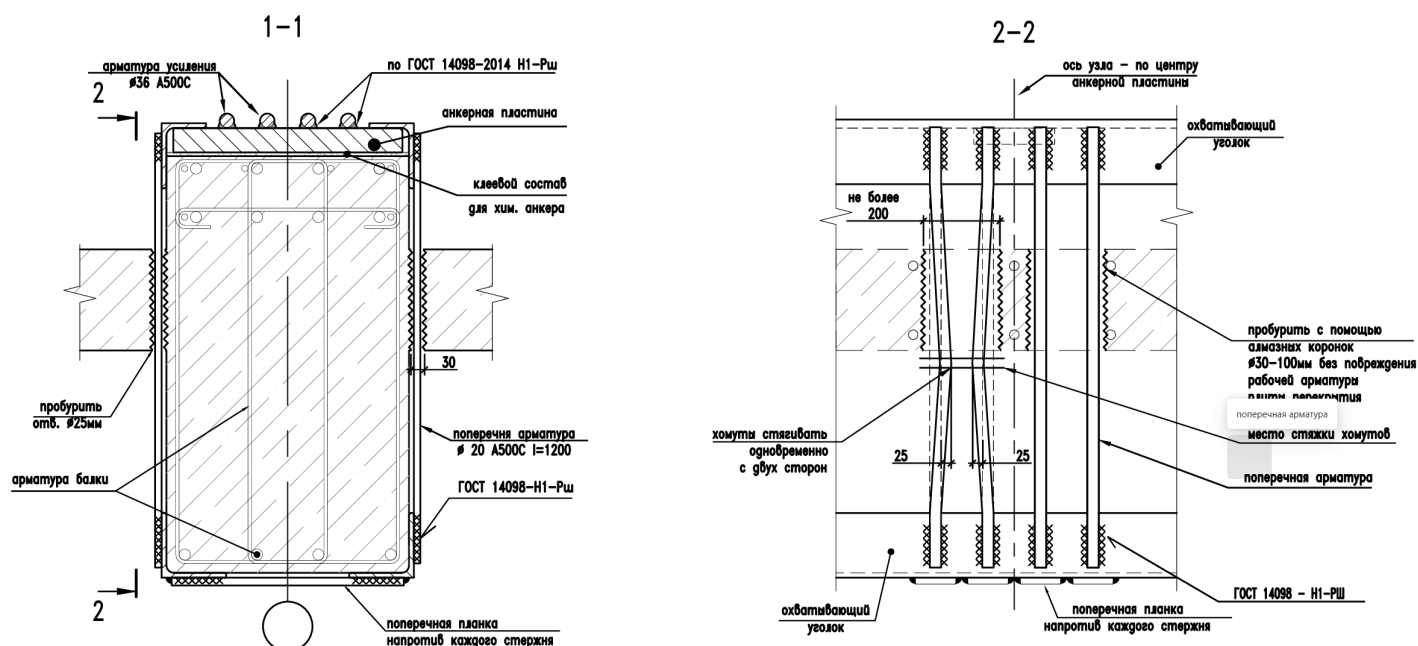


Рис. 3. Поперечное сечение усиливаемых балок
Fig. 3. Cross-section of reinforced beams

При назначении расчетной площади в запас прочности учитывалась возможность повреждения арматуры во время выполнения сварочных работ с помощью коэффициента 0,75 [2].

Общий вид фрагментов конструкций усиления представлен на рис. 4.

В местах с ограниченным доступом для устранения зазоров между бетоном и конструкциями усиления выполнялось нагнетание смеси *Mapei Stabilcem*.

Усиление балок было выполнено в течение 1–1,5 месяцев, перед началом работ была выполнена геодезическая съемка прогибов. После завершения монтажа конструкций усиления, замыкания продольной арматуры усиления и натяжения поперечной арматуры усиления прогиб балок, по данным геодезических измерений, уменьшился, что свидетельствовало о включении конструкций усиления в работу.



а (а)



б (б)



в (с)



г (д)

Рис. 4. Фрагменты конструкций усиления: а – клейка стальных пластин; б, в – установка охватывающих обойм; г – конструкция крепления к колонне

Fig. 4. Fragments of reinforcement structures: а – gluing of steel plates; б, с – installation of enveloping clamps; д – structure of attachment to the column

Условия эксплуатации не позволили выполнить испытание усиленных конструкций нагружением, однако результаты мониторинга в течение более года подтвердили надежность выполненного усиления: после нагружения конструкций газобетонными перегородками и отделкой приложения эксплуатационной нагрузки прогибы усиленных балок не увеличились.

Включение конструкций усиления в работу усиливаемой конструкции с применением бетонных шпонки было реализовано при усилении внецентренно сжатого элемента в усиливаемой колонне при передаче усилия со стального сечения на бетон подколонника (рис. 5). Причина усиления – потеря более 50 % стального сечения вследствие коррозии.

Было принято решение: восстановление опорного сечения выполнять путем замены стального сечения на железобетонное, выполненное в виде замкнутой прямоугольной обоймы толщиной 160 мм, с заполнением бетоном центральной части сечения.

Для передачи напряжений с колонны на бетон опорной зоны было запроектировано три шпонки глубиной 2 см с шагом не менее 13 см в свету между шпонками (рис. 6). Было назначено четыре шпонки в запас прочности: три шпонки расположены на неповрежденной части стального сечения колонны, одна шпонка расположена в зоне наибольшего повреждения коррозией.



а (a)



б (b)



в (c)

Рис. 5. Общий вид колонны (a) и расположенной выше балочной клетки, опорного участка (б) и локальных повреждений (в) сечения

Fig. 5. General view of the column (a) and the beam cage above it, the support section (b), and local damage (c)

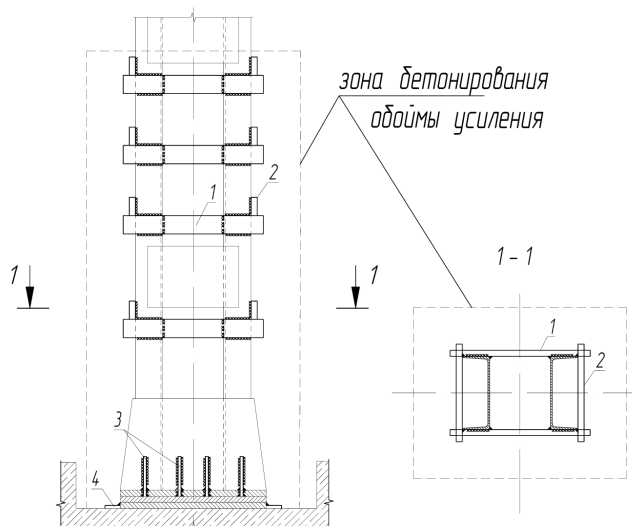


Рис. 6. Схема расположения стальных пластин сечением 20 × 60 мм (поз. 1 и 2), образующих шпонки, и пластин (поз. 3 и 4) для приварки продольных арматурных стержней обоймы усиления

Fig. 6. Layout of steel plates with a cross-section of 20 × 60 mm (positions 1 and 2), which form the keys, and plates (positions 3 and 4) for welding the longitudinal reinforcement rods of the reinforcement cage

Перед началом усиления выполнялось временное переопирание балок, опертых на усиливаемую колонну, выполнялась очистка продуктов коррозии. Было установлено, что лазерная очистка продуктов коррозии дает хороший результат только после тщательной механической очистки с помощью щеток со стальным ворсом. Затем выполнялась приварка элементов усиления, очистка от окалины и нанесение на очищенные поверхности состава *Марефер 1К* (рис. 7).

Усиление колонн выполнялось силами заказчика, не имевшего опыта общестроительных работ. Несмотря на это, усиление одной колонны было выполнено ориентировочно за 3 месяца, что свидетельствовало о простоте конструкции даже для неспециализированного исполнителя.

Выводы

По результатам разработанных проектов усиления и их реализации можно утверждать, что совместная работа старой и новой конструкций обеспечивается за счет применения шпонок путем передачи напряжений со стержней усиления на стальные пластины, установленные в выполненных на верхней грани балки штрабах и напряженных поперечных хомутах.

Данное решение показало простоту и технологичность с учетом соблюдения надежности и безопасности строительных конструкций.

Список литературы

1. СП 349.1325800.2017. Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления. Москва: Стандартинформ, 2017.
2. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Наземные конструкции и сооружения. НИИЖБ Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1992.
3. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций изменением их конструктивной схемы. Ленинград: Стройиздат, 1949. 254 с.
4. СП 337.1325800.2017. Конструкции железобетонные сборно-монолитные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2017.
5. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
6. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.
7. ГОСТ 14098-2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. Москва: Стандартинформ, 2015.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная версия СНиП 52-01-2003. Москва, 2018.



Рис. 7. Общий вид конструкций усиления перед установкой опалубки
Fig. 7. General view of reinforcement structures before formwork installation

References

1. SP 349.1325800.2017. Concrete and reinforced concrete structures. Rules of structural reinforcement and repair. Moscow: Standartinform Publ., 2017. (In Russian).
2. Recommendations on the design of reinforcement of reinforced concrete structures of buildings and structures of reconstructed enterprises. Ground structures and constructions. NIIZhB of Gosstroy of the USSR. Moscow: Stroyizdat Publ., 1992. (In Russian).
3. Onufriev N.M. Reinforcement of the reinforced concrete structures by changing their structural scheme. Leningrad: Stroyizdat Publ., 1949, 254 p. (In Russian).
4. SP 337.1325800.2017. Prefabricated reinforced concrete construction. Design rules. Moscow: Standartinform Publ., 2017. (In Russian).
5. SP 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83*. (In Russian).
6. SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. Updated version of SNiP 3.03.01-87. (In Russian).
7. State Standard 14098-2014. Welded joints of reinforcement and inserts for reinforced concrete structures. Types, constructions and dimensions. Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
8. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow, 2018. (In Russian).

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

Сергей Ильич Иванов, канд. техн. наук, заведующий лабораторией № 7, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey I. Ivanov, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory No. 7, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Евгений Николаевич Паньков, канд. техн. наук, главный специалист, ООО «Инфорспроект», Москва

Evgeny N. Pankov, Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist, LLC "Inforsproekt", Moscow

Александр Анатольевич Квасников✉, канд. техн. наук, руководитель центра № 23, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: a.a.kvasnikov@gmail.com

Alexander A. Kvasnikov✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of Center No. 23, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: a.a.kvasnikov@gmail.com

✉Автор, ответственный за переписку / Corresponding author