

С.А. ЗЕНИН^{1,✉}, К.Д. СЫЧЕВ^{2,3}

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 АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

³ ООО «Проектное бюро АПЕКС», Дербеневская наб., д. 7, стр. 9, г. Москва, 115114, Российская Федерация

К НАЗНАЧЕНИЮ ДЛИНЫ НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СЖАТОЙ АРМАТУРЫ В ОДНОМ РАСЧЕТНОМ СЕЧЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация

Введение. Нахлесточные соединения арматуры в монолитных железобетонных конструкциях являются наиболее распространенными, т. к. обладают достаточной простотой и низкой трудоемкостью при устройстве на строительной площадке. При проектировании таких соединений в конструкциях, подверженных сжимающей нагрузке, часто возникают вопросы, связанные с необходимостью устройства увеличенной длины нахлеста сжатой арматуры в соответствии с требованиями отечественных нормативных документов.

Цель. Анализ современной практики проектирования, а также имеющихся экспериментальных исследований несущей способности сжатых железобетонных элементов с нахлесточными соединениями арматуры, расположенными в одном расчетном сечении.

Материалы и методы. Анализ выполнялся путем изучения положений отечественной и зарубежной нормативно-технической документации, а также результатов экспериментальных исследований, имеющих в общем доступе.

Результаты. Систематизированы данные по имеющимся в практике проектирования методикам определения длины нахлеста сжатой арматуры, в том числе при расположении стыков в одном расчетном сечении.

Выводы. По результатам работы были проанализированы существующие подходы по назначению длины нахлестки сжатой арматуры, расположенной в одном расчетном сечении железобетонных конструкций.

Рассмотрены методики, принятые в российских и зарубежных нормативно-технических документах, а также опытные исследования по данной тематике. По результатам анализа имеющихся данных можно сказать, что проведение дополнительных исследований по оценке влияния длины нахлестки сжатой арматуры на прочность железобетонных элементов может позволить оптимизировать их конструктивные решения без снижения необходимого уровня надежности.

Ключевые слова: железобетон, конструкции, прочность, соединение арматуры, нахлест, сжатие

Для цитирования: Зенин С.А., Сычев К.Д. К назначению длины нахлесточных соединений сжатой арматуры в одном расчетном сечении железобетонных элементов // Бетон и железобетон. 2024. № 4 (623). С. 18–28. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4\(623\)-18-28](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4(623)-18-28). EDN: YINKOU

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.09.2024

Поступила после рецензирования 27.09.2024

Принята к публикации 03.10.2024

S.A. ZENIN^{1,✉}, K.D. SYCHEV^{2,3}

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 JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1,
Moscow, 109428, Russian Federation

³ LLC APEX Design Bureau, Derbenevskaya emb., 7, bld. 9,
Moscow, 115114, Russian Federation

TO ASSIGN THE LENGTH OF OVERLAPPING JOINTS OF COMPRESSED REINFORCEMENT IN ONE DESIGN SECTION OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Abstract

Introduction. Overlapping reinforcement joints in monolithic reinforced concrete structures are the most common, because they have sufficient simplicity and low labor intensity when installed on a construction site. When designing such joints in structures subject to compressive load, questions often arise related to the need to arrange an increased overlap length of compressed reinforcement in accordance with the requirements of domestic regulatory documents.

Aim. The aim of the work is an analysis of modern design practice, as well as available experimental studies of the bearing capacity of compressed reinforced concrete elements with overlapping reinforcement joints located in the same design section.

Materials and methods. The analysis was carried out by studying the provisions of domestic and foreign regulatory and technical documentation, as well as the results of experimental studies available in the public domain.

Results. The data on the methods available in the design practice for determining the overlap length of compressed reinforcement are systematized, including the case, when the joints are located in the same design section.

Conclusions. Based on the results of the work, the existing approaches for assigning the length of the overlap of compressed reinforcement located in the same design section of reinforced concrete structures were analyzed. The methods adopted in Russian and foreign regulatory and technical documents, as well as experimental research on this topic, are considered. Based on the

results of the analysis of the available data, it can be said that additional studies to assess the effect of the overlap length of the compressed reinforcement on the strength of reinforced concrete elements can optimize their design solutions – without reducing the required level of reliability.

Keywords: reinforced concrete, structures, strength, reinforcement connection, overlap, compression

For citation: Zenin S.A., Sychev K.D. To assign the length of overlapping joints of compressed reinforcement in one design section of reinforced concrete elements. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 4 (623), pp. 18–28. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4\(623\)-18-28](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-4(623)-18-28). EDN: YINKOU

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

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 authors declare no conflict of interest.

Received 11.09.2024

Revised 27.09.2024

Accepted 03.10.2024

Введение

Нахлесточные соединения арматурных стержней без применения сварки являются наиболее распространенными в монолитном строительстве. При этом для вертикальных конструкций с точки зрения удобства монтажа арматурных каркасов часто применяют соединения внахлест арматуры без разбежки. Такие соединения, как правило, предусматривают выпуски вертикальной арматуры в уровне верха перекрытий, к которым присоединяют вертикальную арматуру вышележащих конструкций, устанавливая ее на перекрытия. Таким образом, в одном расчетном сечении вертикальных несущих элементов оказывается 100 % относительного содержания стыков внахлест.

В российских нормах по проектированию бетонных и железобетонных конструкций СП 63.13330.2018 [1] предусмотрено ужесточение в правилах назначения длины нахлесточного соединения сжатой арматуры в случае устройства всех стыков внахлест в одном сечении. При этом предварительный анализ показал, что указанное ужесточение в положениях норм в целом может быть несколько снижено и конструктивные решения по нахлесту сжатой арматуры могут быть оптимизированы.

В настоящей работе выполнен сравнительный анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов, а также имеющихся результатов исследований, касающихся оценки требуемой длины нахлестки сжатых арматурных стержней в одном сечении и влияния ее на прочность железобетонных элементов. Полученные результаты были систематизированы и использованы для проведения дополнительных экспериментальных и численных исследований.

Целью работы является анализ современной практики проектирования, а также имеющихся экспериментальных исследований несущей способности сжатых железобетонных элементов с нахлесточными соединениями арматуры, расположенными в одном расчетном сечении.

Материалы и методы

В отечественных нормах [1] за основу при расчете длины нахлеста арматуры, обеспечивающей равномерную передачу усилий с одного стержня на другой и, соответственно, равнопрочность нормального сечения, принята базовая длина анкеровки. При этом по результатам опытных исследований, проведенных в нашей стране ранее, установлено, что эпюры распределения напряжений сцепления по длине анкеровки при выдергивании и при вталкивании арматурных стержней в бетонные призмы близки как по форме, так и по значению [2]. С учетом этого в отечественных нормах принята единая модель определения базовой длины анкеровки как для растяжения, так и для сжатия.

Согласно [1] базовую (основную) длину анкеровки, необходимую для передачи усилия в арматуре с полным расчетным значением сопротивления R_s на бетон, определяют по формуле

$$l_{0,an} = \frac{R_s \times A_s}{R_{bond} \times u_s}, \quad (1)$$

где A_s и u_s — соответственно площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры и периметр его сечения, определяемые по номинальному диаметру стержня;

R_{bond} — расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, принимаемое равномерно распределенным по длине анкеровки и определяемое по формуле

$$R_{bond} = \eta_1 \times \eta_2 \times R_{bt}, \quad (2)$$

здесь η_1 и η_2 — коэффициенты, учитывающие соответственно влияние вида поверхности арматуры и ее диаметра.

Стыки растянутой или сжатой арматуры по [1] должны иметь длину нахлестки не менее значения длины l_p , определяемой по формуле

$$l_p = \alpha_2 l_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}, \quad (3)$$

где $l_{0,an}$ — базовая длина анкеровки, определяемая по (1); $A_{s,cal}$, $A_{s,ef}$ — площади поперечного сечения арматуры, требуемая по расчету и фактически установленная соответственно;

α_2 — коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния арматуры, а также количество стыкуемой арматуры в одном сечении по отношению к общему количеству арматуры в этом сечении, расстояния между стыкуемыми стержнями.

В качестве одного расчетного сечения элемента, рассматриваемого для определения относительного количества стыкуемой арматуры в одном сечении, принимают участок элемента вдоль стыкуемой арматуры длиной $1,3l_p$ (рис. 1). Считается, что стыки арматуры расположены в одном расчетном сечении, если центры этих стыков находятся в пределах длины этого участка.

При соединении арматуры периодического профиля с прямыми концами коэффициент α_2 для сжатой арматуры принимают равным 0,9. Допускается увеличивать относительное количество стыкуемой в одном расчетном сечении элемента рабочей сжатой арматуры до 100 %, принимая $\alpha_2 = 1,2$. При относительном количестве стыкуемой в одном расчетном сечении арматуры периодического профиля более 50 % и гладкой арматуры более 25 % значения коэффициента α_2 определяют по линейной интерполяции.

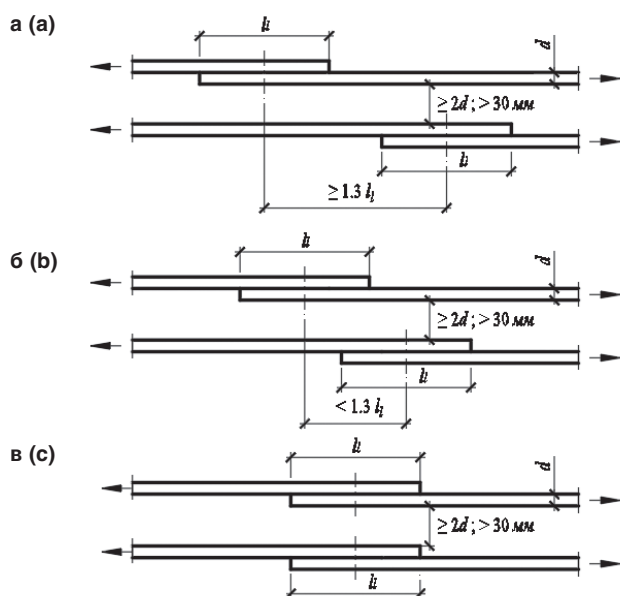


Рис. 1. Расположение стыков арматуры внахлестку в расчетных сечениях железобетонных элементов: а – в разбежку в разных сечениях; б – в разбежку в одном сечении; в – в одном сечении без разбежки

Fig. 1. The location of the overlap joints of the reinforcement in the design sections of reinforced concrete elements: а – with the gap in the different sections; б – with the gap in one section; с – in one section without a gap

В любом случае фактическая длина перепуска должна быть не менее величин, установленных конструктивными требованиями. Кроме того, к стыкам внахлест предусмотрены отдельные конструктивные требования по размещению арматуры и по содержанию поперечной арматуры в зоне нахлеста.

Анализ положений свода правил по проектированию мостов и труб (СП 35.13330.2011 [3]) показал, что согласно этим нормам длина нахлестки ненапрягаемой арматуры определяется из конструктивных соображений прямо пропорционально диаметру арматуры с учетом классов бетона и арматуры (т. е. их прочности), что в целом согласуется с данными [2] и сводом правил [1]. При размещении стыков в сжатой зоне бетона, т. е. нахлесточных соединений сжатой арматуры, предусмотрено снижение длины нахлеста. В отличие от СП 63.13330.2018 [1] это снижение зависит от прочностных характеристик материалов и варьируется в пределах $\alpha_2 = 0,8-0,85$. При этом согласно СП 35.13330.2011 [3] увеличение количества стыков внахлест в одном сечении до 100 % увеличивает длину нахлеста в два раза независимо от вида воздействия (растяжение или сжатие). Помимо этого, СП 35.13330.2011 [3] содержит указания о необходимости установки поперечной арматуры на длине нахлеста с шагом, не превышающим 100 мм.

В нормах по проектированию железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (СП 41.13330.2012 [4]) не содержатся детальные требования по расчету или конструированию нахлесточ-

ных соединений арматуры. При этом имеется ограничение на содержание таких стыков в конструкциях, рассчитываемых на выносливость: в одном сечении стыкуется не более 50 % растянутой рабочей арматуры. Применение стыков внахлестку (без сварки и со сваркой) для растянутой рабочей арматуры в этих конструкциях не допускается. Также имеется дополнительное указание по ограничению шага поперечной арматуры в местах стыковки рабочей арматуры внахлестку.

Таким образом, учитывая отсутствие специальных требований к длине нахлеста арматурных стержней, можно заключить, что конструктивные решения по нахлесточным соединениям арматуры гидротехнических сооружений должны отвечать положениям СП 63.13330.2018 [1].

Свод правил по строительству зданий и сооружений в сейсмоопасных районах (СП 14.13330.2018 [5]) допускает устройство соединений арматурных стержней внахлестку, но с некоторыми ограничениями. Длина нахлестки должна быть на 30 % больше значений, требуемых по СП 63.13330.2018 [1]. Кроме того, ограничивается шаг хомутов в местах стыкования внахлестку без сварки арматуры внецентренно сжатых элементов. В одном сечении должно стыковаться не более 50 % растянутой арматуры. Таким образом, СП 14.13330.2018 [5] запрещает размещать в одном расчетном сечении 100 % стыков внахлест для растянутой арматуры. При этом для сжатой арматуры такого ограничения не предусмотрено. Соответственно, для стыков сжатой арматуры внахлест в сейсмических районах следует руководствоваться положениями СП 63.13330.2018 [1], увеличивая длину нахлеста на 30 % и сгущая шаг поперечной арматуры.

Согласно положениям европейского стандарта по проектированию железобетонных конструкций (Eurocode 2 [6]) нахлесточные соединения арматуры должны располагаться в шахматном порядке (в разбежку) и не устраиваться в зоне значительных напряжений за отдельными исключениями (рис. 2).

Все стержни, располагаемые в сжатой зоне, а также конструктивная арматура могут стыковаться внахлестку в одном сечении.

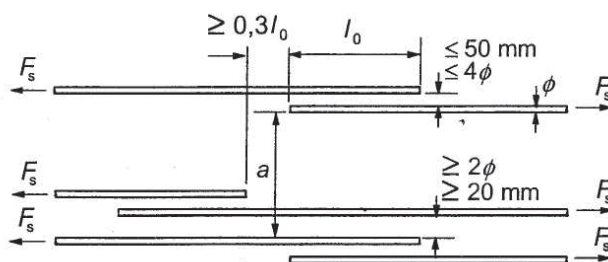


Рис. 2. Размещение соседних стыков внахлестку по Eurocode 2 [6]
Fig. 2. Overlapping of adjacent joints according to Eurocode 2 [6]

Требуемую длину нахлестки l_0 , согласно Eurocode 2 [6], вычисляют по формуле

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,req} A_{s,req} / A_{s,prov} \geq l_{0,min}. \quad (4)$$

Значение $l_{b,req}$ вычисляют по формуле

$$l_{b,req} = (\sigma_{sd} / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd}), \quad (5)$$

где σ_{sd} – напряжение, возникающее в арматуре;

f_{bd} – расчетное значение предельного напряжения сцепления, определяемое по формуле

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}, \quad (6)$$

где f_{ctd} – расчетное значение предела прочности бетона при растяжении;

η_1 и η_2 – коэффициенты, учитывающие соответственно качество условий сцепления и положение стержней во время бетонирования, а также диаметр арматуры.

Также конструктивными требованиями предусмотрено назначение минимальной длины нахлестки.

Значения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_5$ в формуле (4) характеризуют влияние формы стержней, защитного слоя бетона, поперечной арматуры, напряженного деформированного состояния в зоне нахлестки. Значение коэффициента α_6 характеризует относительное

количество стыкуемой арматуры. Коэффициент принимают равным $\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$, но не менее 1,0 и не более 1,5, где ρ_1 – процент содержания арматуры, соединенной внахлестку в пределах $0,65l_0$ (измеренной от середины рассматриваемой длины нахлеста), рис. 3. Значения для α_6 приведены в табл. 1.

Следует отметить, что для нахлесточных соединений сжатой арматуры в Eurocode 2 [6] имеются требования по размещению поперечной арматуры (дополнительно к правилам для растянутых стержней): один стержень поперечной арматуры должен быть расположен за пределами края длины нахлестки, но не далее чем на 4ϕ (рис. 4).

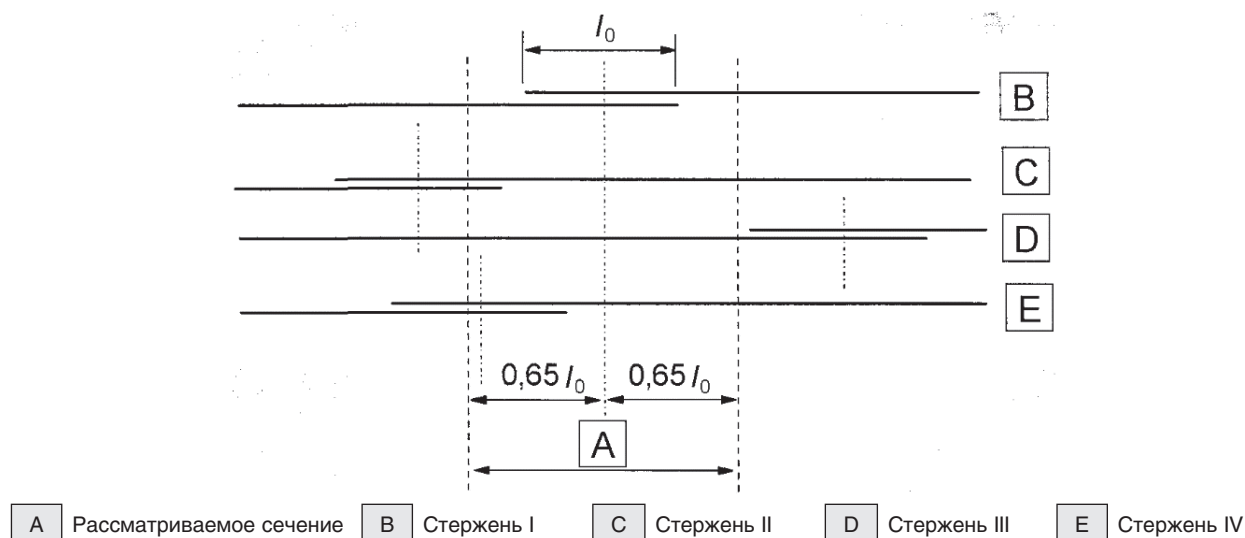
Таким образом, видно, что в Eurocode 2 [6], так же как и в отечественных нормах, величина нахлестки арматуры основана на работе заанкеренного в бетоне арматурного стержня, т. е. с учетом его сцепления с бетоном. Методика Eurocode 2 [6] позволяет учесть содержание стыков арматуры в одном расчетном сечении при количестве стыков более 25 % путем увеличения длины нахлестки до 1,5 раз. Также требования Eurocode 2 [6] содержат указания по содержанию поперечной арматуры в зоне нахлеста сжатой арматуры.

Таблица 1
Table 1

Значения коэффициента α_6 по Eurocode 2 [6]
Values of the α_6 coefficient according to Eurocode 2 [6]

Процент соединяемых внахлестку стержней относительно полной площади сечения	< 25 %	33 %	50 %	> 50 %
α_6	1	1,15	1,4	1,5

Примечание: Промежуточные значения могут быть определены интерполяцией.



ПРИМЕР – Стержни II и III находятся за пределами рассматриваемого отрезка:
% = 50 и $\alpha_6 = 1,4$.

Рис. 3. Процент стержней, соединяемых внахлестку в одном сечении по Eurocode 2 [6]
Fig. 3. Percentage of overlapping connected rods in one section according to Eurocode 2 [6]

Таблица 2

Table 2

Значения коэффициента α_6 по Model Code 1990 [7]
Values of the coefficient α_6 according to Model Code 1990 [7]

Процент соединяемых внахлестку стержней относительно полной площади сечения	< 20 %	25 %	33 %	50 %	> 50 %
α_6	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

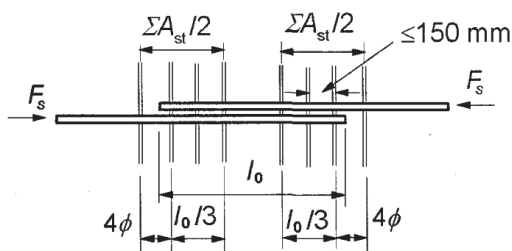


Рис. 4. Поперечная арматура для стыков сжатой арматуры внахлестку по Eurocode 2 [6]

Fig. 4. Transverse reinforcement for overlapping joints of compressed reinforcement according to Eurocode 2 [6]

Как известно, положения Eurocode 2 [6] во многом основаны на положениях Model Code 1990 [7]. В п. 6.9.6 данных норм для определения длины нахлестки растянутой арматуры приведена в целом аналогичная формуле (4) зависимость. При этом значения коэффициента α_6 , характеризующие относительное содержание стыков внахлест в сечении, принимают по табл. 2.

Требуемая длина нахлеста сжатой арматуры по Model Code 1990 [7] определяется по зависимости (5), т. е. без учета количества нахлесточных стыков в одном расчетном сечении. Одновременно с этим Model Code 1990 [7] содержит конструктивные требования по размещению поперечной арматуры в зоне нахлесточных соединений, аналогичные требованиям Eurocode 2 [6].

Анализ Model Code 2010 [8] показал, что в нем также приведены положения по устройству нахлесточных соединений арматуры. При этом в комментариях к п. 6.1.3.7 [8] отмечено, что недавние исследования показали, что коэффициент α_6 , предусмотренный в Model Code 1990 [7] для определения влияния доли арматурных стержней, расположенных внахлестку на участке, является необоснованным. Согласно [8] при нахлестке стержней в зонах с низким напряжением не требуется, чтобы в нахлесточном соединении достигался предел текучести при нормальных условиях нагружения. При том, что это может потребоваться при случайных нагрузках, когда допустим меньший коэффициент запаса прочности.

К сожалению, конкретных ссылок на данные исследования, подтверждающие необоснованность применения коэффициента α_6 в Model Code 1990 [7], не приведено. Отдельные разъяснения по данному вопросу можно найти в *fib Bulletin 72* [9].

В данном документе выполнен детальный статистический анализ методик по определению длины нахлесточного соединения арматуры, приведенных в [6, 7], лежащих в его основе, в сравнении с опытными данными. По результатам сравнения в разделах 3.1–3.2 *fib Bulletin 72* [9] отмечено, что методики обоих документов неосторожны и не обеспечивают необходимый уровень надежности как по расчету длины анкеровки, так и нахлестки. Возможной причиной этого указана величина коэффициента α_6 для доли арматурных стержней, соединяемых внахлест в одном сечении, оказывающего существенное влияние на длину нахлестки и анкеровки. При этом разница между этими значениями в имеющихся исследованиях не нашла отражения, что послужило причиной принятия единого подхода к оценке длины анкеровки и нахлестки.

Для соединений сжатых стержней внахлестку в [9] отмечается влияние торцов арматурных стержней на общий вклад в несущую способность такого соединения. Также обращается внимание на неравномерность передачи усилий между стержнями по сравнению с нахлесточным соединением растянутой арматуры за счет включения в работу сжатого бетона (рис. 5). Кроме того, включение в работу сжатого бетона дает возможность восприятия увеличенного усилия в центральной части нахлесточного соединения.

В связи с этим повышенные значения сжимающих напряжений в стыке наряду с дополнительными раскалывающими напряжениями под торцами стержней создают более высокие разрывные усилия по краям нахлесточного соединения.

В бюллетене [9] со ссылкой на экспериментальные данные Кэрнса [10] указывается, что концевые хомуты сжатых стержней достигают предела текучести при разрушении сжатого соединения внахлестку, что необходимо принять во внимание.

Отдельное внимание в [9] уделено анализу конструирования поперечной арматуры. По имеющимся опытными данным, наибольшую эффективность показали хомуты, перпендикулярные возможным плоскостям проскальзывания арматурных стержней по сравнению с кольцевыми или спиральными. Анализ данных с различным расположением хомутов по длине нахлестки показал, что для образцов, где отсутствовала поперечная арматура по краям нахлестки, имеется тенденция к большему разбросу

данных и снижению средней прочности. По результатам анализа сделан вывод, что особенно важно размещать поперечную арматуру вблизи концов нахлесточных соединений сжатой арматуры, в зоне максимальных напряжений. При этом, по результатам анализа опытных данных, в бюллетене [9] указано, что требование европейских норм по установке одного из хомутов за пределами длины сжатой нахлестки, но не далее чем 4 диаметра от ее края, может быть смягчено, так как, по всей видимости, будет эффективен один хомут в пределах 3 диаметров от края. Также отмечено, что существует большая вероятность того,

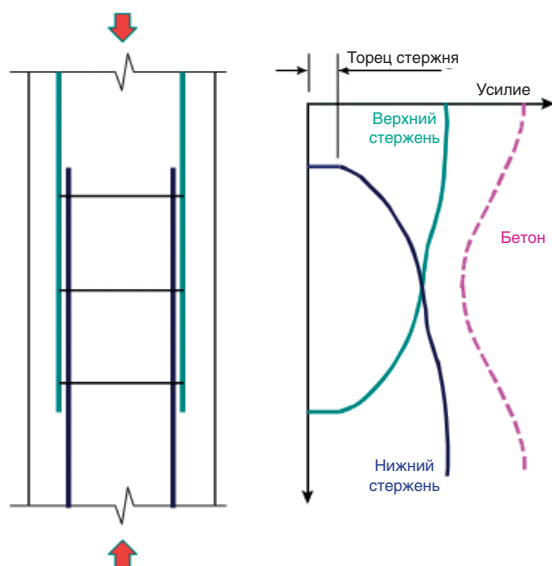


Рис. 5. Изменение усилия в нахлесточном соединении сжатой арматуры по fib Bulletin 72 [9]

Fig. 5. Force change in the overlap joint of compressed reinforcement according to fib Bulletin 72 [9]

что хомуты, расположенные за пределами длины нахлестки, не смогут перехватить трещины в защитном слое бетона, образующиеся под торцом сжатого арматурного стержня в нахлесточном соединении (рис. 6).

В целом в бюллетене [9] неоднократно подчеркивается, что известно лишь небольшое количество испытаний сжатых нахлесточных соединений стержней периодического профиля, несмотря на важность таких соединений с точки зрения прочности конструкции.

Анализ немецких норм по проектированию железобетонных конструкций DIN 1045-1 [11] показал, что в немецких нормах, как в отечественных [1] и общеевропейских [6], подход к оценке требуемой длины нахлесточного соединения сжатой арматуры в целом идентичен и основан на механизме сцепления арматуры с бетоном. При этом относительное количество стыков в одном расчетном сечении, согласно DIN 1045-1 [11], не оказывает влияния на длину нахлеста сжатой арматуры.

В американских нормах ACI 318-19 [12] предусмотрен раздел 25.5, содержащий требования к соединениям арматуры, включая нахлесточные. В частности, подраздел 25.5.5 содержит положения по конструированию нахлесточных соединений сжатой арматуры. В комментариях к этому подразделу указано, что исследования сцепления касались в основном растянутой арматуры. При этом свойства сцепления сжатой арматуры не имеют проблемы, связанной с образованием трещин от поперечных деформаций, как при растяжении. В связи с этим для соединений сжатой арматуры предусмотрены менее жесткие требования по нахлестке, чем для растянутой.

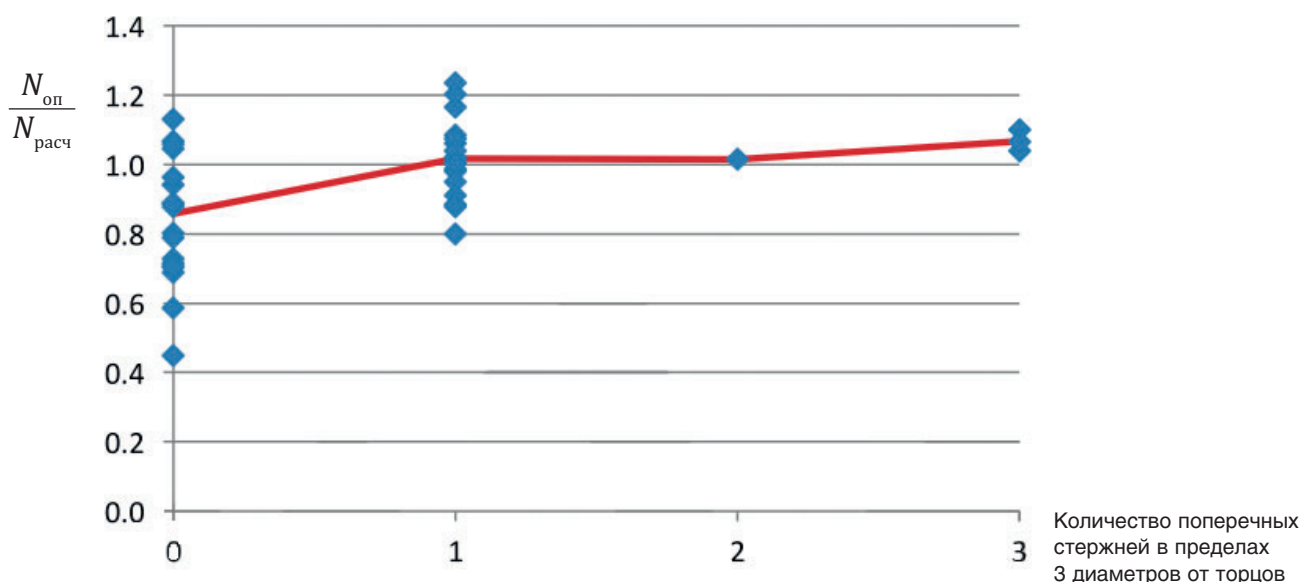


Рис. 6. Влияние расположения хомутов на концах нахлестки по fib Bulletin 72 [9]

Fig. 6. The effect of the location of the clamps at the ends of the overlap according to fib Bulletin 72 [9]

Длина нахлестки сжатой арматуры l_{sc} , согласно ACI 318-19 [12], определяется в зависимости от прочности арматуры на растяжение и ее диаметра:

– для $f_y \leq 60\,000$ psi (420 МПа): не менее чем $0,0005f_y d_b$ или 12 дюймов (300 мм);

– для $60\,000$ psi (420 МПа) $< f_y \leq 80\,000$ psi (550 МПа): не менее чем $(0,0009f_y - 24)d_b$ или 12 дюймов (300 мм);

– для $f_y > 80\,000$ psi (550 МПа): не менее чем $(0,0009f_y - 24)d_b$ или 12 дюймов (300 мм).

При $f'_c < 3000$ psi (21 МПа) длина нахлестки должна быть увеличена на 30 %.

Здесь f_y – расчетное сопротивление арматуры растяжению, psi;

d_b – диаметр арматуры, дюйм;

f'_c – расчетное цилиндрическое сопротивление бетона сжатию.

Для данного пункта приведен комментарий, согласно которому испытания показали, что прочность нахлесточного соединения при сжатии в значительной степени зависит от торца арматурного стержня и не увеличивается пропорционально прочности при удвоении длины соединения.

Из анализа положений американских норм установлено, что учет количества нахлесточных соединений в одном сечении в [12] предусмотрен только для растянутой арматуры – в нормах имеется требование по 30%-ному увеличению ее длины при 100%-ном содержании стыков в пределах длины нахлестки, а также в случае отсутствия двукратного запаса по площади соединяемой арматуры (т. е. по растягивающим напряжениям). Для нахлесточного соединения сжатой арматуры подобного условия в [12] не предусмотрено.

Как уже было отмечено выше [9], в экспериментальных исследованиях тематика сжатых нахлесточных соединений была в меньшей степени затронута, по сравнению с соединениями растянутой арматуры, особенно в части вопроса оценки влияния количественного содержания стыков в одном сечении для сжатой арматуры.

Среди отечественных исследований в данном направлении можно отметить работы Ю.Л. Крицмана (МНИИТЭП) [13], а также В.П. Артемьева, А. Еркинбекова и И.Е. Евгеньева (МГСУ и НИИЖБ) [14]. Однако в обоих исследованиях были рассмотрены конструкции колонн с арматурой, размещенной группами (пучками) на всю высоту опытных образцов, что не в полной мере отвечает на вопросы настоящей работы. По этой причине результаты этих исследований не были приняты во внимание.

Среди зарубежных исследований можно отметить работу Кэрнса [15], которая включала в себя исследование нахлесточных соединений колонн при центральном сжатии. Было рассмотрено несколько серий образцов, армированных стержнями диаметром 25, 32 и 40 мм с длиной нахлестки, равной

10, 15, 20 и 25 диаметров арматуры, с различным содержанием поперечной арматуры по длине нахлестки. Также в работе рассмотрено влияние торцов сжатой арматуры в нахлесточном соединении на прочность элемента, а также сцепления арматуры по длине нахлестки. Для этого в отдельных опытных элементах были введены специальные проставки и оберточные материалы для исключения данных эффектов. Всего было испытано 53 образца с размерами $400 \times 400 \times 2000(h)$ мм и $250 \times 250 \times 1500(h)$ мм. По результатам анализа полученных данных установлен факт передачи усилий в нахлесточных соединениях сжатой арматуры по длине соединения не только за счет сцепления, но и за счет включения в работу торцов стержней. Было обнаружено, что отсутствие поперечной арматуры вблизи концов соединений внахлестку приводит к ослаблению соединения.

Также следует отметить работу Пфистера и Мэттока [16], в которой были колонны с высокопрочной арматурой с различными длинами нахлесток. При проведении исследования было испытано 7 типов образцов колонн с круглым поперечным сечением диаметром 305 мм, высотой 1830 мм, армированных 8 стержнями диаметром 25 мм без нахлестки и с нахлесткой, равной 5, 10, 20 и 30 диаметров, со спиралевидной поперечной арматурой по всей высоте элемента. Также было испытано 6 типов колонн с прямоугольным поперечным сечением 254×305 мм и высотой 1892 мм. Армирование осуществлялось 6 стержнями диаметром 25 мм с нахлесткой, равной 5, 10, 20 и 30 диаметров, с пределом текучести порядка 570–650 МПа. На основе полученных результатов установлена возможность передачи усилий в нахлесточных соединениях сжатой арматуры как по длине соединения за счет сцепления, так и посредством работы торцов стержней. Также установлена опытная зависимость величины напряжений в продольной арматуре колонн от величины длины нахлестки.

Также среди исследований, находящихся в открытом доступе, можно выделить работы корейских специалистов Чуна, Ли и др. [17, 18] по экспериментально-теоретическим исследованиям величины нахлестки сжатой арматуры. По результатам исследований 76 опытных образцов с поперечной арматурой в зоне нахлестки и без нее авторами предложены уточненные расчетные зависимости по определению длины нахлестки сжатой арматуры для американских норм [12], в том числе для высокопрочных бетонов. К сожалению, в работах содержится только общее описание опытных образцов, поэтому, несмотря на весьма полезные результаты, они могут быть приняты во внимание только как подтверждение и уточнение общей концепции работы нахлесточного соединения сжатой арматуры, высказанной в работах [15, 16].

В целом все вышеуказанные исследования, в особенности содержащие детальные данные исследования Кэрнса [15], а также Пфистера и Мэттока [16],

могут быть использованы в дальнейшем для верификации и оценки надежности предлагаемых методов.

Выводы

Анализ положений нормативных документов показал, что не во всех нормах рассматривается фактор относительного содержания нахлесточных соединений сжатой арматуры в одном сечении железобетонного элемента. Среди рассмотренных выше нормативных документов этот вопрос учтен в отечественных нормах СП 63.13330.2018 [1], европейских нормах Eurocode 2 [6] и уже недействующем Model Code 1990 [7], который лег в основу европейских норм. Остальные нормативные документы (нормы США ACI 318-19 [12], Германии DIN 1045-1 [11], а также Model Code 2010 [8]) таких указаний не содержат.

В отечественных нормах СП 63.13330.2018 [1] предусмотрена методика определения требуемой длины нахлеста сжатой арматуры, учитывающая количество стыкуемой арматуры в одном расчетном сечении. Как указано выше, величина нахлеста сжатой арматуры основана на величине базовой длины анкеровки, которую в общем случае для арматуры периодического профиля диаметром до 32 мм включительно определяют по формуле

$$l_1 = \alpha_2 l_{0,an} = \alpha_2 \frac{d}{10} \frac{R_s}{R_{bt}}. \quad (7)$$

Принятая методика отечественных норм позволяет учесть различное содержание стыков арматуры. При устройстве сжатых стыков вразбежку за пределами расчетного сечения значение коэффициента α_2 принимают равным 0,9, т. е. значение длины нахлеста может составлять 90 % от требуемой длины анкеровки l_{an} . С увеличением количества нахлесточных соединений в одном расчетном сечении до 100 % длина нахлеста увеличивается и может составлять до $1,33 l_{an}$ ($\alpha_2 = 1,2$).

Отдельно следует отметить требование СП 63.13330.2018 [1] по установке поперечной арматуры с таким содержанием, чтобы усилие, воспринимаемое всей поперечной арматурой, поставленной в пределах стыка, должно быть не менее половины усилия, воспринимаемого стыкуемой в одном расчетном сечении элемента растянутой рабочей арматурой. Представляется, что данное требование в целом ориентировано на стык растянутой арматуры, поэтому получается, что четкие требования для стыка внахлест сжатой арматуры в отечественных нормах отсутствуют.

В Eurocode 2 [6], так же как и в отечественных нормах, величина нахлестки арматуры основана на работе заанкеренного в бетоне арматурного стержня, т. е. с учетом его сцепления с бетоном (формулы 3 и 4). В целом расчетные подходы по определению длины нахлестки в СП 63.13330.2018 [1] и Eurocode 2 [6] идентичны. В обоих нормативных документах учитывается влияние формы стержня, наличие попереч-

ной арматуры, а также обжатие зоны нахлеста. Однако следует отметить, что для нахлестки сжатой арматуры в Eurocode 2 [6] это влияние не учитывается, тогда как СП 63.13330.2018 [1] допускает такое снижение и для сжатой арматуры.

Подход к определению длины зоны расчетного сечения СП 63.13330.2018 [1] и Eurocode 2 [6] идентичен: она приравняется длине нахлеста, увеличенной на 30 %.

Длина нахлестки для сжатой арматуры диаметром до 32 мм при хороших условиях сцепления, согласно Eurocode 2 [6], может быть записана, исходя из выражений (4) и (5), в виде

$$l_0 = \alpha_6 \frac{d}{9} \frac{\sigma_{sd}}{f_{ctd}}. \quad (8)$$

Как видно, зависимости (7) и (8) практически идентичны, в них содержание стыков сжатой арматуры в одном расчетном сечении учитывается коэффициентами α_2 и α_6 соответственно.

Отдельно следует отметить, что в Eurocode 2 [6] содержание стыков арматуры в одном расчетном сечении учитывается (путем увеличения длины нахлестки) при количестве стыков, превышающем 25 %, тогда как в отечественных нормах это происходит только после 50 %. По сравнению с СП 63.13330.2018 [1] при увеличении количества нахлесточных стыков в одном сечении с 50 до 100 %, согласно Eurocode 2 [6], увеличивается длина нахлеста в 1,07 раза, тогда как согласно СП 63.13330.2018 [1] это происходит более резко – почти в 1,3 раза. Данное обстоятельство в целом можно связать с более осторожной оценкой Eurocode 2 [6] требуемой длины нахлеста.

Из сравнения основных зависимостей (7) и (8) при малом количестве стыков в сечении (до 25 %) видно, что длины нахлеста в целом близки, разница составляет порядка 11 % в большую сторону для Eurocode 2 [6].

Значительную роль при определении длины нахлеста играют эмпирические коэффициенты, учитывающие относительное количество стыков сжатой арматуры в одном сечении: $\alpha_2 = 0,9-1,2$ [1] и $\alpha_6 = 1,0-1,5$ [6]. Таким образом, базовая длина нахлестки по Eurocode 2 [6] выше, чем по СП 63.13330.2018 [1], на 22 % при малом содержании стыков и на 42 % при большом содержании стыков в одном сечении.

Отдельно следует отметить требования Eurocode 2 [6] по поперечной арматуре в зоне нахлеста сжатой арматуры. В целом подобные требования содержатся и в СП 63.13330.2018 [1], однако в Eurocode 2 [6] площадь поперечной арматуры должна быть не менее площади одного соединяемого внахлестку стержня арматуры, а также должна быть предусмотрена установка отдельных хомутов за пределами нахлестки, тогда как в отечественных нормах площадь поперечной арматуры в зоне нахлесточного

соединения должна обеспечивать восприятие не менее половины усилия растяжения, воспринимаемого стержнем соединяемой внахлест арматуры, а требования по хомутам за пределами нахлеста отсутствуют.

Сравнение Eurocode 2 [6] и Model Code 1990 [7], учитывая, что первый базируется на втором, показало, что между ними есть два существенных отличия. Первое отличие заключается в том, что Eurocode 2 [6] устанавливает ограничение прочности бетона маркой C60/75 (B75 по отечественной классификации) при определении прочности сцепления арматуры с бетоном, в Model Code 1990 [7] такое ограничение отсутствует. Второе отличие заключается в более мягком подходе Eurocode 2 [6] к оценке влияния количества нахлесточных соединений арматуры в одном сечении (табл. 1 и 2).

В общем случае влияние относительного количества стыков на длину нахлестки сжатой арматуры по рассмотренным документам проиллюстрировано на рис. 7. Как видно из рис. 7, наиболее осторожные значения коэффициентов α , учитывающих влияние количества стыков, приняты в Model Code 1990 [7]. Минимальное влияние количества стыков предусмотрено в отечественных нормах [1].

При этом следует отметить, что согласно комментариям в Model Code 2010 [8] использование коэффициента α_6 для учета количества стыков в одном сечении в предыдущем Model Code 1990 [7] и в европейских нормах Eurocode 2 [6] признано необоснованным. Это обстоятельство также нашло отражение в проекте новых европейских норм prEN 1992-1-1:2018 [19], где указано, что все сжатые арматурные стержни могут быть соединены внахлест в одном сечении. Также можно отметить отсутствие подобных указаний и в американских нормах [12]. В качестве обоснования этого был выполнен анализ имеющихся опытных данных, который показал, что имеется опре-

деленная нехватка экспериментальных исследований по данному вопросу и положения норм в целом являются достаточно осторожными.

В связи с этим представляется целесообразным получить соответствующее дополнительное экспериментальное заключение для оценки необходимости учета влияния количества стыков сжатой арматуры в одном сечении на длину нахлеста, содержащуюся в российских нормативных документах СП 63.13330.2018 [1]. Представляется, что это позволит оптимизировать конструктивные решения по нахлесту сжатой арматуры без снижения необходимого уровня надежности железобетонных конструкций.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003.
2. Гвоздев А.А. и др. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат, 1978. 208 с.
3. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*.
4. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87.
5. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
6. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
7. CEB-FIB Model Code 1990.
8. fib Model Code for Concrete Structure 2010.
9. fib Bulletin 72. Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the fib Model Code for Concrete Structures 2010.
10. Cairns J. Bond Strength Of Compression Splices: A Re-evaluation Of Test Data. *Proceedings American Concrete Institute*, July – August 1985, pp. 510–516.

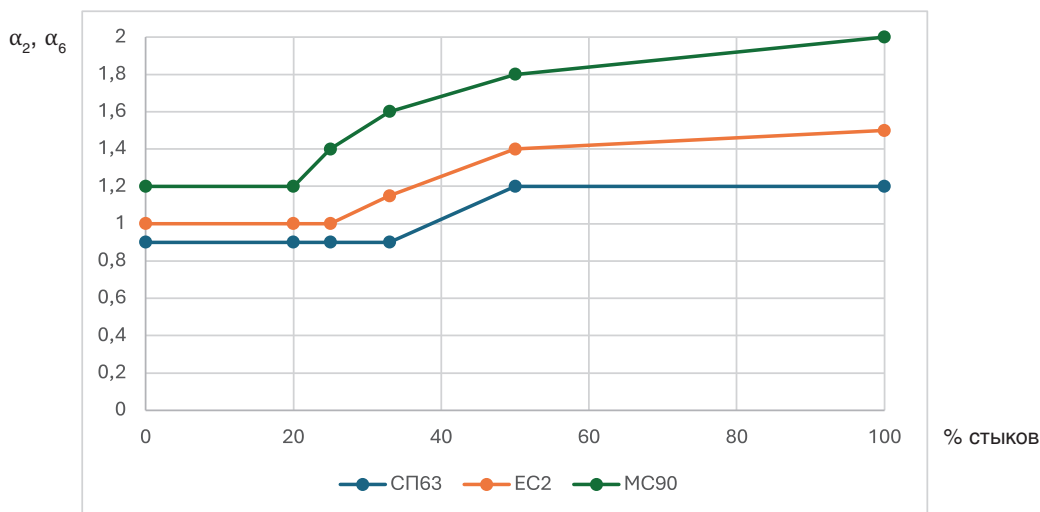


Рис. 7. Изменение коэффициента, учитывающего количество стыков внахлест сжатой арматуры в одном сечении по отечественным и зарубежным нормам

Fig. 7. Change in the coefficient taking into account the number of overlapping joints of compressed reinforcement in one section according to domestic and foreign standards

11. DIN 1045-1:2008-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion.
12. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete.
13. Крицман Ю.Л. Колонны с блокированной арматурой // *Бетон и железобетон*. 1981. № 4. С. 29–30.
14. Артемьев В.П., Еркинбеков А., Евгеньев И.Е. Исследование внецентренно сжатых элементов с групповым расположением продольной арматуры // *Бетон и железобетон*. 1976. № 6. С. 32–34.
15. Cairns J. The Strength of lapped joints in reinforced concrete columns / PhD thesis / The University of Glasgow, 1976, 212 p.
16. Pfister J.F., Mattock A.H. High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 5: Lapped Splices in Concentrically Loaded Columns. *Journal of the PCA Research and Development Laboratories*. 1963, vol. 5, no. 2, pp. 27–40.
17. Sung-Chul Chun, Sung-Ho Lee, Bohwan Oh. Simplified Design Equation of Lap Splice Length in Compression. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2010, vol. 4, no. 1, pp. 63–68. DOI: 10.4334/IJCSM.2010.4.1.063
18. Sung-Chul Chun, Sung-Ho Lee, Bohwan Oh. Compression Lap Splice Length in Concrete of Compressive Strength from 40 to 70 MPa. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2009, vol. 21, no. 4, pp. 401–408. (In Korean).
19. prEN 1992-1-1:2018. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules, rules for buildings, bridges and civil engineering structures.

References

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. SNiP 52-01-2003. (In Russian).
2. Gvozdev A.A. et al. New in the design of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat Publ., 1978, 208 p. (In Russian).
3. SP 35.13330.2011. Bridges and culverts. Updated version of SNiP 2.05.03-84*. (In Russian).
4. SP 41.13330.2012. Concrete and reinforced concrete hydraulic structures. Updated version of SNiP 2.06.08-87. (In Russian).
5. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP II-7-81*. (In Russian).
6. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
7. CEB-FIB Model Code 1990.
8. *fib* Model Code for Concrete Structure 2010.
9. *fib* Bulletin 72. Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the *fib* Model Code for Concrete Structures 2010.
10. Cairns J. Bond Strength Of Compression Splices: A Re-evaluation Of Test Data. *Proceedings American Concrete Institute*, July – August 1985, pp. 510–516.

11. DIN 1045-1:2008-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion.
12. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete.
13. Kritsman Yu.L. Columns with blocked reinforcement. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1981, no. 4, pp. 29–30. (In Russian).
14. Artemyev V.P., Yerkimbekov A., Evgeniev I.E. Investigation of off-center compressed elements with a group arrangement of longitudinal reinforcement. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 1976, no. 6, pp. 32–34. (In Russian).
15. Cairns J. The Strength of lapped joints in reinforced concrete columns / PhD thesis / The University of Glasgow, 1976, 212 p.
16. Pfister J.F., Mattock A.H. High Strength Bars as Concrete Reinforcement, Part 5: Lapped Splices in Concentrically Loaded Columns. *Journal of the PCA Research and Development Laboratories*. 1963, vol. 5, no. 2, pp. 27–40.
17. Sung-Chul Chun, Sung-Ho Lee, Bohwan Oh. Simplified Design Equation of Lap Splice Length in Compression. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2010, vol. 4, no. 1, pp. 63–68. DOI: 10.4334/IJCSM.2010.4.1.063
18. Sung-Chul Chun, Sung-Ho Lee, Bohwan Oh. Compression Lap Splice Length in Concrete of Compressive Strength from 40 to 70 MPa. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2009, vol. 21, no. 4, pp. 401–408. (In Korean).
19. prEN 1992-1-1:2018. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules, rules for buildings, bridges and civil engineering structures.

Информация об авторах /

Information about the authors

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

Sergey A. Zenin✉, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of the Theory of Reinforced Concrete and Constructive Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lab01@mail.ru

Константин Денисович Сычев, аспирант, АО «НИЦ «Строительство»; главный специалист-конструктор, ООО «Проектное бюро АПЕКС», Москва
Konstantin D. Sychev, Graduate Student, JSC Research Center of Construction; Chief Design Specialist, LLC APEX Design Bureau, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author