

О новом Руководстве по проектированию сталежелезобетонных конструкций (в развитие СП 266.13330.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования)

С.Б.Крылов, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва
В.А.Семенов, ООО «ТЕХСОФТ», Москва
Д.В.Конин, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Москва
А.С.Крылов, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Москва
Л.С.Рожкова, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Москва

В работе приводится краткий обзор отечественных и зарубежных руководств по проектированию сталежелезобетонных конструкций: сталежелезобетонных плит по профилированному настилу, комбинированных балок и колонн с жёсткой арматурой. Обосновывается необходимость разработки актуального руководства, соответствующего современному уровню развития строительной науки, нормативным документам и практикам проектирования, увязанного с новым утвержденным СП 266.1325800.2016, которое будет облегчать проектирование, снижать трудозатраты и повышать надёжность сталежелезобетонных конструкций. В новом руководстве приведены общие рекомендации по проектированию сталежелезобетонных конструкций и основные положения по расчётам. Даны рекомендации для моделирования сталежелезобетонных конструкций и элементов в расчётных комплексах, а также рекомендации по расчёту комбинированных балок, полностью обетонированных, прямоугольного и таврового сечения, частично обетонированных с опиранием плиты на нижний пояс балки, колонн с жёсткой арматурой, сдвиговых соединений комбинированных балок. Приведены рекомендации по учёту ползучести, усадки и образования трещин при назначении модуля упругости. Даны рекомендации по использованию диаграмм состояния бетона, арматуры и стали при расчёте сталежелезобетонных элементов по нелинейной деформационной модели. Представлены рекомендации по применению сортамента листового настила для сталежелезобетонных плит, а также профилей металлопроката в качестве стальных балок и жесткой арматуры в сечениях колонн и комбинированных балок. Даны рекомендации по проектированию узлов и деталей сталежелезобетонных конструкций, представлены уточненные рекомендации по опорам. Приведены примеры узлов сопряжения стальных балок с колоннами с жёсткой арматурой. Приведены примеры расчёта сталежелезобетонных конструкций с учётом рекомендаций, приведённых в Руководстве.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, сталежелезобетонные плиты с профилированным настилом, комбинированные балки, колонны с жёсткой арматурой, моделирование конструкций, правила проектирования, руководство, расчёт, изгиб, сжатие, колонна, двутавр, сдвиговое соединение.

On the New "Manual on Design of Composite Steel and Concrete Structures (in Elaboration of Formulary SP 266.13330.2016 "Composite Steel and Concrete Structures. Design Rules")"

S.B.Krylov, NIIZHB, Moscow
V.A.Semenov, OOO "TEHSOFT", Moscow
D.V.Konin, TSNIISK, Moscow
A.S.Krylov, TSNIISK, Moscow
L.S.Rozhkov, TSNIISK, Moscow

Abstract. The paper provides a brief overview of domestic and foreign guidelines (manuals) for the design of composite steel and concrete structures: steel-concrete slabs on profiled flooring, combined beams, and columns with rigid reinforcement. The necessity of creation of the actual manual corresponding to the modern level of development of construction science, normative documents and design practices linked to the new formulary SP 266.1325800.2016 is proved. It will facilitate the design, reduce labor expenditures and improve the reliability of composite steel and concrete structures. The new guidance provides general recommendations for the design of composite steel and concrete structures and the basic regulations for the calculations. The new guidance describes recommendations for modeling of composite steel and concrete structures and elements in the calculated complexes, the recommendations for calculation of combined beams fully concreting rectangular and T-section, partially concreting along with support slab on the lower flange of the beam, columns with rigid reinforcement, shear a connection of composite beams. Recommendations on the registration of creep shrinkage and crack formation in the appointment of the modulus of elasticity are given. Recommendations on the use of diagrams of the state of concrete, reinforcement, and steel in the calculation of steel-concrete elements on a nonlinear deformation model are given. Recommendations on the use of the range of sheet flooring for steel-reinforced concrete slabs, as well as metal profiles as steel beams and rigid reinforcement in the cross sections of columns and combined beams, are presented. Recommendations on a design of units and details of composite steel and concrete structures are given, refined recommendations on buffer are presented. The examples of connection of steel beams with columns with rigid reinforcement are given. The examples of calculation of

composite steel and concrete structures taking subject to the recommendations given in the Manual are presented.

Keywords: composite steel and concrete structures, composite steel and concrete slabs with profiled flooring, combined beams, columns with rigid reinforcement, structural modeling, design rules, manual, calculation, bending, compression, column, I-beam, shear connection.

Сталежелезобетонные конструкции – конструкции, выполненные из монолитного и/или сборного железобетона, конструкционной стали или профилированного настила и гибкой арматуры, в которых обеспечена их совместная работа. Работа данных конструкций исследовалась российскими, а затем советскими учёными ещё с начала прошлого века. В 1970-е в больших объёмах началось строительство многоэтажных зданий, общественных и промышленных, требовалось увеличение шага колонн, повышалась полезная нагрузка, увеличивалось количество этажей. Проектирование каркасов со сталебетонными колоннами получило новую жизнь. До этого периода при исследованиях работы сталежелезобетонных колонн ввиду активной экономии стали процент армирования свыше 15% не рассматривался.

В 1978 году институты НИИЖБ и ЦНИИПРОМЗДАНИЙ разработали руководство [2] по проектированию сталежелезобетонных колонн и балок, в 1987-ом – рекомендации по проектированию монолитных плит с профилированным настилом [3]. Данные издания не являлись действующими нормами и требовали актуализации на настоящее время. Комбинированные балки, работающие совместно с железобетонной плитой, рассчитывались инженерами по СП 35.13330.2011. «Мосты и трубы» [9].

Из зарубежных аналогов существуют: руководство [5] к европейскому Еврокоду 4 [4], а также справочник для расчёта и проектирования стальных конструкций в США – «AISC Steel Construction Manual» [6].

В 2016 году в России был утверждён стандарт организации СТО АРСС «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования» [7], затем в 2017-ом введён – СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования», разработанный на основании вышеуказанного стандарта организации. Данный свод правил является новым для инженеров и требует значительных навыков ручного расчёта сталежелезобетонных конструкций, для чего необходима разработка новых методических материалов (руководств, рекомендаций, альбомов типовых решений) для проектирования данных конструкций. В 2017 году по заказу Ассоциации развития стального строительства в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (институт АО «НИЦ «Строительство») совместно с НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, ООО «Техсофт» была начата работа по созданию Руководства, работа по составлению которого в настоящее время завершена.

Анализ отечественных и зарубежных документов

Сталежелезобетонные перекрытия с профилированным настилом. Ввиду небольшого разнообразия листовых гнутых профилей, выполняющих кроме функции опалубки также функцию внешней рабочей арматуры, производители этих профилей на данный момент выпустили свои стандарты организаций по расчёту сталежелезобетонных перекрытий. В большинстве они основываются на методике расчёта из рекомендаций [3], данная методика также находится в основе СП 266.1325800.2016 [1].

Для профилированных листов СКН50Z, СКН60Z, СКН90Z, СКН114Z, Н60Z по СТО 573938459-001-2010 [9] и СТО 57398459-30-2008 [13] компанией-производителем разработаны СТО 57398459-035-2014 [10] и СТО 57398459-002-2011 [12] с рекомендациями по проектированию. В данных стандартах организаций содержатся геометрические характеристики сечений настилов, приведены расчёты и даны рекомендации в табличном виде по несущей способности настила, работающего на стадии бетонирования, рекомендации по расчёту огнестойкости перекрытий.

Комбинированные балки. В СП 35.13330.2011 [8] содержится раздел 9 «Сталежелезобетонные конструкции», который посвящён проектированию пролётных строений. Совместность работы обеспечивается гибкими анкерами и жёсткими упорами. В основе проектирования расчёт по методу предельных состояний. В СП 35.13330.2011 [8] рассматриваются типичные виды мостовых сооружений и не охвачены многочисленные конструктивные формы сталежелезобетонных конструкций, применяемых в промышленных и гражданских сооружениях. Приведён расчёт опирания плиты сверху на двутавровую балку. При этом в приложениях к СП содержатся обширные расчёты сдвиговых соединений.

В разделах 5 и 6 Еврокода 4 [4] содержится последовательное и цельное описание вопросов проектирования сталежелезобетонных конструкций – как самостоятельных конструктивных форм, так и элементов каркасов зданий и сооружений, а также расчёт соединений.

В руководстве [2] приведены рекомендации по расчёту полностью обетонированных балок прямоугольного сечения и таврового сечения с жёсткой арматурой из двутавра: формулы для определения высоты сжатой зоны и проверки прочности сечения на действие момента по нормальному сечению, а также на поперечную силу и момент по наклонному сечению, расчёт по раскрытию трещин и деформациям. Рекомендации по расчёту сдвиговых соединений отсутствуют.

В СП 266.1325800.2016 [1] рассмотрены случаи для проверки прочности сечений как в СП 35.13330.2011 [8] – на основе допускаемых напряжений и, как в Еврокоде 4 [4], – по предельным состояниям как для идеального жёсткопластического материала в общем виде. В связи с вышеизложенным у рядового проектировщика может вызвать затруднение расчёт прочности балок по СП 266.1325800.2016 [1].

В СП 266.1325800.2016 [1] имеется раздел по расчёту сдвиговых соединений: проверка прочности соединения. Но методика определения сдвиговых усилий в СП не раскрыта подробно.

Колонны с жёсткой арматурой, обетонированные полностью. Руководство [2] содержит рекомендации по проектированию железобетонных конструкций с жёсткой арматурой из профилей и листовой стали классов С38/23 и С44/29 (предел текучести до 2900 кг/см², что соответствует стали С275 по ГОСТ 27772) при проектных марках бетона по прочности на сжатие М200–500 (призменная прочность до 280 кг/см², что соответствует бетону не выше В40). В руководстве приведены основные положения по проектированию, применяемые марки бетона и стали, современные на тот момент (1978 год), методы расчёта по прочности изгибаемых и сжатых элементов, конструктивные требования, рекомендации для расчёта по деформациям и раскрытию трещин. В основе методики расчёта сжатых сталежелезобетонных элементов лежит условие, перешедшее затем в СП 266.1325800.2016 [1] – формула (7.1).

$$N \cdot e_1 \leq \gamma_b R_b S_b + \sum \gamma_{c,i} R_{y,i} A_{st,i} y_{st,i} + \sum \gamma_{s,j} R_{s,j} A_{s,j} y_{s,j}, \quad (1)$$

При действии косоугольного изгиба Руководство предполагает расчёт по формуле, также вошедшей затем в СП 266.1325800.2016 [1] (формула 7.3).

$$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_x} + \frac{1}{N_y} - \frac{1}{N_{ult}}}. \quad (2)$$

В руководстве [2] в отличие от СП 266.1325800.2016 при определении предельной продольной силы не учитывается коэффициент продольного изгиба ϕ , что противоречит и указанному СП и СП 63.13330. Предельная продольная сила в актуальных документах определяется по формуле:

$$N_{ult} = \frac{1}{\phi} \cdot (R_b \cdot A + R_{sc} \cdot A_{s,tot} + R_y \cdot A_{st}). \quad (3)$$

В формулах 1–3:

N – продольная сила от внешней нагрузки;

e_1 – эксцентриситет приложения продольной силы относительно центра тяжести сечения растянутого или наименее сжатого (при полностью сжатом сечении) стержня гибкой арматуры с учётом случайного эксцентриситета и влияния продольного изгиба, вычисляемый по 7.1.2.4;

S_b – статический момент площади сечения сжатой зоны бетона относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения растянутого или наименее сжатого (при полностью сжатом сечении) стержня гибкой арматуры параллельно прямой, ограничивающей сжатую зону;

$R_{y,i} A_{st,i}$ – расчётное сопротивление и площадь сечения i -го участка сечения жёсткой арматуры;

$y_{st,i}$ – расстояние от центра тяжести сечения i -го участка жёсткой арматуры до рассматриваемой оси;

$R_{s,j} A_{s,j}$ – расчётное сопротивление и площадь сечения j -го стержня гибкой арматуры;

$y_{s,j}$ – расстояние от центра тяжести сечения j -го стержня гибкой арматуры до рассматриваемой оси;

N_x, N_y – предельные продольные силы, действующие в соответствующих плоскостях, которые воспринимаются сечением при соответствующих заданных эксцентриситетах, определяемые по формуле (1);

A – площадь бетонного сечения;

$A_{s,tot}$ – площадь всей продольной арматуры в сечении элемента;

ϕ – коэффициент, принимаемый при длительном действии нагрузки по СП 266.1325800.2016 [1] (таблица 7.1) в зависимости от гибкости элемента;

Возможность применения формул 1–3 подтверждается многочисленными современными экспериментальными работами, например [18; 19; 27]

В руководстве [2] даны графики для расчёта сжатых элементов с жёсткой арматурой и примеры расчёта, охватывающие наиболее типичные случаи, встречающиеся в практике проектирования на 70-е годы XX века. Зависимость несущей способности от действия изгибающего момента для двутаврового сечения и сечения из четырёх разнесённых уголков представлена графически. На настоящий момент пользоваться данным руководством проектировщику сложно, так как оно содержит ссылки на выполнение некоторых условий и зависимостей на графиках, которые не распространяются на современные материалы: бетоны классом выше В40 и стали классом выше С285.

Еврокодом 4 [4] предусмотрено два метода расчёта: общий – 6.7.2 и упрощённый – 6.7.3. Согласно 6.7.2(3), «внутренние усилия следует определять с помощью упруго-пластического расчёта». В руководстве к Еврокоду [5] разъясняется: так как три материала в сталежелезобетонном сечении подчиняются различным нелинейным соотношениям, прямой расчёт поперечного сечения невозможен. Сначала необходимо принять во внимание размеры и материалы элемента, а затем определить осевую силу N и изгибающий момент MC в поперечном сечении на основании предполагаемого значения осевой деформации и кривизны ϕ с использованием основных свойств материалов. Соотношение $M-N-\phi$ для каждого сечения можно найти во многих подобных расчётах. Но это сложно сделать, если имеет место кривой изгиб.

Согласно 6.7.2(9) Еврокода 4 [4], «в целях упрощения расчёта остаточные напряжения и геометрические несовершенства могут быть заменены эквивалентными начальными изгибными отклонениями (несовершенствами элементов) в соответствии с таблицей 6.5.». Но таблица 6.5 не содержит условий для учёта размера сечений, фигурирует только длина элемента в отличие от СП 266.1325800.2016 [1], где согласно п. 7.1.1.5 случайный эксцентриситет принимается не менее 1/30 высоты сечения, 1/600 длины элемента и 10 мм.

В статье 6.7.3.7 Еврокода 4 [4] приведён расчет для упрощенного метода при действии сжатия и косоугольного изгиба:

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} \leq \alpha_{M,y}, \quad \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} \leq \alpha_{M,z}, \quad \frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} = 1 \quad (4)$$

где $M_{pl,y,Rd}$ и $M_{pl,z,Rd}$ – сопротивление изгибу в пластической стадии для рассматриваемой плоскости изгиба;

$M_{y,Ed}$ и $M_{z,Ed}$ – расчётные изгибающие моменты, определённые с учётом эффектов второго порядка и несовершенств в соответствии с 6.7.3.4;

μ_{dy} и μ_{dz} – приведены в 6.7.3.6;

$\alpha_M = \alpha_{M,y}$ и $\alpha_M = \alpha_{M,z}$ приведены в 6.7.3.6 (1).

СП 266.1325800.2016 [1], как и все прочие своды правил, содержит методику расчёта сталежелезобетонных колонн с жёсткой арматурой в общем виде без примеров, что также может вызвать затруднение у проектировщика.

Принципы создания и структура руководства

На основании приведённого анализа было решено составить руководство к СП 266.1325800.2016 [1], облегчающее проектирование сталежелезобетонных конструкций, снижающее трудозатраты и повышающее надёжность сталежелезобетонных конструкций.

В первом разделе Руководства приведены общие положения и рекомендации по проектированию сталежелезобетонных конструкций. В подразделе 1.1 даны рекомендации по назначению нагрузок и воздействий, коэффициентов надёжности, сейсмических воздействий, правила учёта аварийных воздействий при расчёте на устойчивость к прогрессирующему обрушению, общей устойчивости системы, а также основные положения по расчётам. Было также решено включить в разрабатываемое Руководство рекомендации по моделированию сталежелезобетонных конструкций в расчётных комплексах. Подраздел 1.2 содержит рекомендации по общей последовательности построения расчётной схемы зданий, моделированию сталежелезобетонного перекрытия с профилированным настилом в составе расчётной схемы здания, моделирование отдельных конструкций в расчётных комплексах на основании ранее опубликованных работ [13–17; 24]. На рисунке 1 приведён пример из Руководства геометрических преобразований расчётной схемы «плита и балка». Кроме представленного на рисунке, в Руководстве приведены примеры построений расчётных схем «плита-колонна», моделирования сталежелезобетонного перекрытия с профилированным настилом.

Подраздел 1.3 посвящён материалам и номенклатуре металлопродукции. В нём приведены рекомендации по учёту ползучести, усадки и образования трещин при назначении модуля упругости. Приведены рекомендации по использованию диаграмм состояния бетона, арматуры и стали при расчёте сталежелезобетонных элементов по нелинейной деформационной модели, учитывающие современное состояние вопроса и новые исследования [22–23; 25; 26]. Приведены рекомендации по применению сортамента листового настила для сталежелезобетонных плит, а также профилей металлопроката в качестве стальных балок и жёсткой арматуры в сечениях колонн и комбинированных балок.

Раздел 2 посвящён сталежелезобетонным плитам с профилированным настилом.

В разделе 3 рассмотрены комбинированные балки, полностью обетонированные, прямоугольного и таврового сечения, а также частично обетонированные тавровые балки с опиранием железобетонной плиты на нижний пояс стального сечения, рассматриваемые сечения приведены на рисунке 2.

Наибольшую сложность у инженеров при проектировании балок вызывает определение высоты сжатой зоны. В подразделе 3.1 рассмотрены возможные случаи расположения сжатых зон в сечении и приведены формулы для расчёта. Например, формула для определения высоты сжатой зоны, когда нейтральная ось пересекает стенку стального профиля, а железобетонная часть оказывается растянутой (рис. 3), примет вид:

$$x = \frac{R_{s1}A_{s1} + R_{s2}A_{s2} + R_y(b_{f1}t_{f1} - b_{f2}t_{f2} + t_w h_w + 2t_w t_{f2})}{2R_y t_w} \quad (5)$$

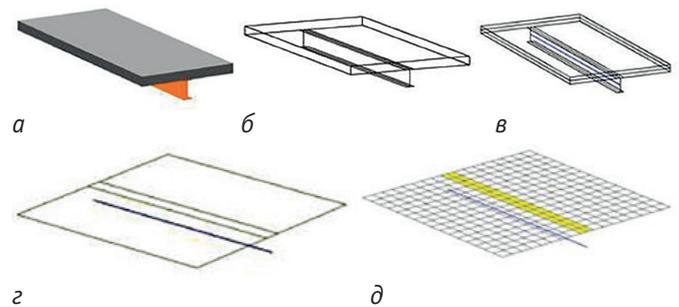


Рис. 1. Геометрические преобразования расчётной схемы «плита и балка»: а, б) физическая модель конструкции; в, г) выделение срединной поверхности плиты и оси балки; д) дискретизация оболочек

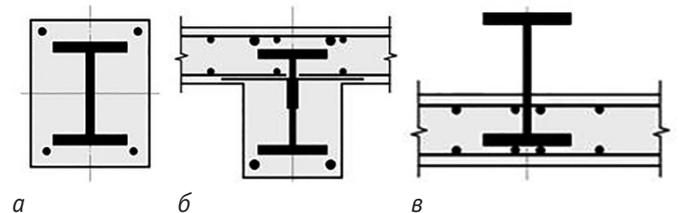


Рис. 2. Поперечные сечения комбинированных балок, рассмотренные в Руководстве

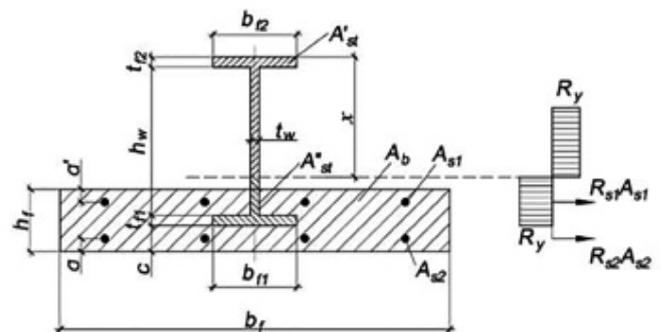


Рис. 3. К примеру определения положения нейтральной оси

В пункте 3.1.4 приведена методика для расчёта по образованию и раскрытию трещин, дополнительно к изложенной в СП 266.1325800.2016 [1], в том числе с учётом новых экспериментальных данных [20–21].

В пункте 3.1.5 приведены уточнённые рекомендации по расчёту конструкции объединения железобетонной плиты и стальной балки. Данные рекомендации предложены к утверждению в изменение СП 266.1325800.2016 [1]. В Руководство не вошли понижающие коэффициенты для расчёта сдвигового соединения при расположении анкеров в гофрах профилированного настила.

Подраздел 3.2 посвящен моделированию комбинированных балок в расчетных комплексах и их расчету по прочности и трещиностойкости.

В разделе 4 приведены рекомендации по расчёту колонн с жёсткой арматурой, обетонированной полностью. В дополнение к общим рекомендациям в подразделе 4.1 также приведены формулы для определения высоты сжатой зоны в прямоугольной колонне с жёсткой арматурой из двутавра при сжатии с изгибом в плоскости полок и в плоскости стенки двутавра. Подраздел 4.2 посвящён моделированию и расчёту колонн с жёсткой арматурой.

Раздел 5 содержит рекомендации по проектированию узлов и деталей сталежелезобетонных конструкций, представлены уточнённые рекомендации по упорам. В подразделе 5.3 приведены примеры узлов сопряжения стальных балок с колоннами с жёсткой арматурой (рис. 4) путём организации узла соединения либо с бетонной частью колонны через закладную деталь, либо непосредственно с жёсткой арматурой через стальные элементы.

В разделе 6 приведены примеры расчёта сталежелезобетонных конструкций с учётом рекомендаций, приведённых в Руководстве, для следующих конструкций: балки прямоугольного сечения с жёсткой арматурой из двутавра; полностью обетонированной балки таврового сечения с жёсткой арматурой из двутавра; частично обетонированной тавровой балки с опиранием плиты на нижний пояс стального сечения; колонны с жёсткой арматурой, работающей

на сжатие с косым изгибом. Также приведён подробный расчёт сдвигового соединения комбинированной балки, состоящей из стального двутавра и железобетонной плиты по верхней полке балки.

Основные выводы и заключительные положения

На основании обобщения отечественного и зарубежного опыта проектирования сформировано Руководство по проектированию сталежелезобетонных конструкций.

Приведённые в Руководстве рекомендации по моделированию сталежелезобетонных конструкций в расчётных комплексах будут способствовать повышению эффективности работы проектировщиков.

Приведённые в Руководстве рекомендации и примеры расчётов балок и колонн облегчают проектирование и снижают число возможных ошибок, таким образом повышается качество и надёжность проектирования сталежелезобетонных конструкций.

На следующих этапах разработки руководств по проектированию конструкций рекомендуется рассмотреть примеры расчёта трубобетонных конструкций, более подробно раскрыть способы расчётов и компьютерного моделирования конструкций с круглыми и квадратными трубами.

Литература

1. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.
2. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жёсткой арматурой. – М.: Стройиздат, 1978.
3. Рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом / НИИЖБ, ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1987. – 40 с.
4. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures, EN 1994-1-1, 2007.
5. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций. EN 1994-1-1 / Р.П. Джонсон; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т»; науч. ред. пер. В.О. Алмазов, А.Н. Томилин. 2-е изд. – М.: МГСУ, 2013. – 414 с.
6. AISC Steel Construction Manual 13th edition, American Institute of Steel Construction, 2005.
7. СТО АРСС 1151254.001-2016 Стележелезобетонные конструкции. Правила проектирования
8. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03 84* / ОАО ЦНИИС. – М., 2011. – 338 с.
9. СТО 573938459-001-2010 Профили стальные листовые гнутые для сталебетонных перекрытий. Технические условия / ООО «Стальные конструкции». – Рязань : Профлист, 2010.
10. СТО 57398459-002-2011 Перекрытия железобетонные монолитные с несъёмной опалубкой из профилированного листа. Общие технические требования. Проектирование и

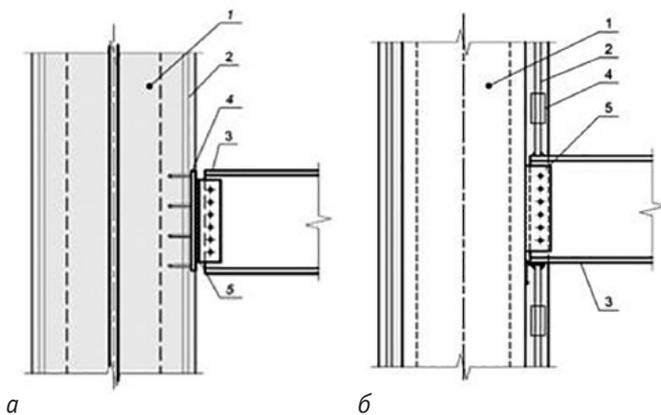


Рис. 4. Примеры примыкания стальной балки к сталежелезобетонной колонне

производство работ / 000 «Стальные конструкции» – Рязань : Профлист, 2011.

11. СТО 57398459-30-2008 (СТП/ПП/30) Профили стальные листовые гнутые для сталебетонных перекрытий / 000 «Стальные конструкции» – Рязань : Профлист, 2008.

12. СТО 57398459-035-2014 Плиты перекрытий зданий и сооружений сталежелезобетонные с применением стальных профилированных листов. Нормы проектирования / 000 «Стальные конструкции» – Рязань : Профлист, 2010.

13. Семёнов, В.А. Выбор расчётных моделей пространственных комбинированных систем / В.А. Семёнов, П.Ю. Семёнов // Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, расчёт, проектирование, применение). – 2004. – Вып.9.

14. Семёнов, В.А. О расчётах зданий и сооружений методом конечных элементов с использованием изогометрического подхода / В.А. Семёнов, П.Ю. Семёнов // Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, расчёт, проектирование, применение). – 2006. – Вып. 10.

15. Семёнов, В.А. Метод соединения различных моделей конечных элементов и его приложение к стержням и оболочкам / В.А. Семёнов, П.Ю. Семёнов // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов / Труды XXI Международной конференции. Т. 2. – СПб : НИИХ СПбГУ, 2006.

16. Семёнов, В.А. Современные подходы к построению расчётных схем строительных конструкций и их использование при расчётах высотных зданий / В.А. Семёнов // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций (International Journal for Computational Civil and Structural Engineering). – 2008. – Volume 4.

17. Семёнов, В.А. О некоторых апостериорных оценках погрешностей результатов численных расчётов конструкций / В.А. Семёнов, П.Ю. Семёнов // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов / Труды XX Международной конференции. Т. III. – СПб: НИИХ СПбГУ, 2003.

18. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на внецентренное сжатие / В.И. Травуш, Д.В., Конин Л.С. Рожкова [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – № 3. – С. 127–135.

19. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на изгиб / Травуш В.И., Конин Д.В., Крылов А.С. [и др.] // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 4 (72). – С. 63–71.

20. Определение несущей способности на сдвиг контактной поверхности «сталь-бетон» в сталежелезобетонных конструкциях для бетонов различной прочности на сжатие и фибробетона / Травуш В.И., Каприелов С.С., Конин Д.В. [и др.] // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 4 (66). – С. 45–55.

21. Travush, V.I. Strength of composite steel and concrete beams of high-performance concrete / V.I. Travush, D.V. Konin,

A.S. Krylov // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – № 3 (79). – Рр. 36–44.

22. Арленинов, П.Д. Современное состояние нелинейных расчётов железобетонных конструкций / П.Д. Арленинов, С.Б. Крылов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2017. – № 3. – С. 50–53.

23. Арленинов, П.Д. Опыт совместного использования уравнений теории ползучести и современных программных расчётных комплексов / П.Д. Арленинов, С.Б. Крылов // Бетон и железобетон. – 2013. – № 3. – С. 9–10.

24. Мухамедиев, Т.А. Расчёт прочности сталежелезобетонных колонн с использованием деформационной модели / Т.А. Мухамедиев, О.И. Старчикова // Бетон и железобетон. – 2006. – № 4. – С. 18–21.

25. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона / Карпенко Н.И. – М. : Стройиздат, 1996. – 416 с.

26. Мурашкин, Г.В. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы напряжённо-деформированного состояния / Г.В. Мурашкин, В.Г. Мурашкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1997. – № 10. – С. 4–6.

27. Мордовский, С.С. Напряжённое состояние экспериментальных образцов при внецентренном нагружении [Электронный ресурс] / С.С. Мордовский, В.Г. Мурашкин // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2012. – № 4. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6794> (дата обращения 01.03.2018).

Literatura

1. SP 266.1325800.2016 Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya.

2. Rukovodstvo po proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruktsij s zhestkoj armaturoj. – М.: Strojizdat, 1978.

3. Rekomendatsii po proektirovaniyu monolitnykh zhelezobetonnykh perekrytij so stal'nym profilirovannym nastilom / NIIZH, TSNIIPromzdaniy. – М.: Strojizdat, 1987. – 40 с.

5. Rukovodstvo dlya proektirovshnikov k Evrokodu 4: Proektirovanie stalezhelezobetonnykh konstruktsij. EN 1994-1-1 / R.P. Dzhonson; M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Federatsii, FGBOU VPO «Mosk. gos. stroit' un-t»; nauch. red. per. V.O. Almazov, A.N. Tomilin. 2-e izd. – М. : MGSU, 2013. — 414 с.

7. СТО ARSS 1151254.001-2016 Stelezhelezobetonnye konstruktsii. Pravila proektirovaniya

8. SP 35.13330.2011. Mosty i truby. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.03 84* / OAO TsNIIS. – М., 2011. – 338 с.

9. СТО 573938459-001-2010 Profili stal'nye listovye gnutye dlya stalebetonnykh perekrytij. Tehnicheskie usloviya / 000 «Stal'nye konstruktsii» – Ryazan' : Proflist, 2010.

10. СТО 57398459-002-2011 Perekrytiya zhelezobetonnye monolitnye s nes'emnoj opalubkoj iz profilirovannogo lista. Obshhie tehnicheskie trebovaniya. Proektirovanie i proizvodstvo rabot / 000 «Stal'nye konstruktsii» – Ryazan' : Proflist, 2011.

11. STO 57398459-30-2008 (STP/PP/30) Profili stal'nye listovye gnutye dlya stalebetonnyh perekrytij / OOO «Stal'nye konstruktsii» – Ryazan' : Proflist, 2008.
12. STO 57398459-035-2014 Plity perekrytij zdaniy i sooruzhenij stalezhelezobetonnye s primeneniem stal'nyh profilirovannyhlistov. Normy proektirovaniya / OOO «Stal'nye konstruktsii» – Ryazan' : Proflist, 2010.
13. *Semenov V.A.* Vybor raschetnyh modelej prostranstvennyh kombinirovannyh sistem / V.A. Semenov, P.YU. Semenov // Prostranstvennye konstruktsii zdaniy i sooruzhenij (issledovanie, raschet, proektirovanie, primenenie). – 2004. – Вып. 9.
14. *Semenov V.A.* O raschetah zdaniy i sooruzhenij metodom konechnykh elementov s ispol'zovaniem izogeometricheskogo podhoda / V.A. Semenov, P.Yu. Semenov // Prostranstvennye konstruktsii zdaniy i sooruzhenij (issledovanie, raschet, proektirovanie, primenenie). – 2006. – Вып. 10.
15. *Semenov V.A.* Metod soedineniya razlichnykh modelej konechnykh elementov i ego prilozhenie k sterzhnyam i obolochkam / V.A. Semenov, P.YU. Semenov // Matematicheskoe modelirovanie v mehanike sploshnykh sred. Metody granichnykh i konechnykh elementov / Trudy XXI Mezhdunarodnoj konferentsii. T. 2. – SPb: NIIH SpbGU, 2006.
16. *Semenov V.A.* Sovremennye podhody k postroeniyu raschetnykh skhem stroitel'nykh konstruktsij i ih ispol'zovanie pri raschetah vysotnykh zdaniy / V.A. Semenov // Mezhdunarodnyy zhurnal po raschetu grazhdanskih i stroitel'nykh konstruktsij (International Journal for Computational Civil and Structural Engineering). – 2008. – Volume 4.
17. *Semenov V.A.* O nekotorykh aposteriornykh otsenkah pogreshnostej rezul'tatov chislennykh raschetov konstruktsij / V.A. Semenov, P.Yu. Semenov // Matematicheskoe modelirovanie v mehanike sploshnykh sred. Metody granichnykh i konechnykh elementov / Trudy XX Mezhdunarodnoj konferentsii. T. III. – SPb : NIIH SpbGU, 2003.
18. Eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnykh konstruktsij, rabotayushhih na vnetsentrennoe szhatie / V.I. Travush, D.V., Konin L.S. Rozhkova [i dr.]. // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2016. – № 3. – S. 127–135.
19. Eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnykh konstruktsij, rabotayushhih na izgib / Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S. [i dr.] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2017. – № 4 (72). – S. 63–71.
20. Opredelenie nesushhej sposobnosti na sdvig kontaktnoj poverhnosti «stal'-beton» v stalezhelezobetonnykh konstruktsiyah dlya betonov razlichnoj prochnosti na szhatie i fibrobetona / Travush V.I., Kapriellov S.S., Konin D.V. [i dr.] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2016. – № 4 (66). – S. 45–55.
22. *Arleninov, P.D.* Sovremennoe sostoyanie nelineynykh raschetov zhelezobetonnykh konstruktsij / P.D. Arleninov, S.B. Krylov // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. – 2017. – № 3. – S. 50–53.
23. *Arleninov P.D.* Opyt sovmestnogo ispol'zovaniya uravnenij teorii polzuchesti i sovremennykh programmykh raschetnykh kompleksov / P.D. Arleninov, S.B. Krylov // Beton i zhelezobeton. – 2013. – № 3. – S. 9–10.
24. *Muhamediev T.A.* Raschet prochnosti stalezhelezobetonnykh kolonn s ispol'zovaniem deformatsionnoj modeli / T.A. Muhamediev, O.I. Starchikova // Beton i zhelezobeton. – 2006. – № 4. – S. 18–21.
25. *Karpenko N.I.* Obshhie modeli mehaniki zhelezobetona / Karpenko N.I. – M. : Strojizdat, 1996. – 416 s.
26. *Murashkin G.V.* Modelirovanie diagrammy deformirovaniya betona i skhemy napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya / G.V. Murashkin, V.G. Murashkin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. – 1997. – № 10. – S. 4–6.
27. *Mordovskij S.S.* Napryazhennoe sostoyanie eksperimental'nykh obraztsov pri vnetsentrennom nagruzenii [Elektronnyj resurs] / S.S. Mordovskij, V.G. Murashkin // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya». – 2012. – № 4. – Rezhim dostupa: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6794> (data obrashheniya 01.03.2018).

Крылов Сергей Борисович (Москва). Доктор технических наук, член-корреспондент РААСН, заведующий лабораторией Научно-исследовательского института бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева). E-mail: niizhb_lab8@mail.ru.

Семенов Владимир Александрович (Москва). Доктор технических наук, профессор. Заместитель генерального директора (117393, Москва, ул. Архитектора Власова, 49. ООО «ТЕХСОФТ»). E-mail: vas@tech-soft.ru.

Конин Денис Владимирович (Москва). Кандидат технических наук. Заведующий сектором Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ "Строительство"» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). E-mail: konden@inbox.ru.

Крылов Алексей Сергеевич (Москва). Старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ "Строительство"» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). E-mail: kryl07@mail.ru.

Рожкова Лидия Сергеевна (Москва). Старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ "Строительство"» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко). E-mail: soshnikova_lidia@mail.ru.

Krylov Sergey Borisovich (Moscow). Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAACS. Head of the Laboratory AO "NIC "Stroitelstvo" at the Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdyev (109428, Moscow, 2nd Institutskaya st., 6. NIIZHB them. AA Gvozdyova). E-mail: niizhb_lab8@mail.ru.

Semenov Vladimir Alexandrovich (Moscow). Doctor of Technical Sciences, Professor. Deputy General Director (49 Architect Vlasov st., Moscow, 117393. 000 "TECHSOFT"). E-mail: vas@tech-soft.ru.

Konin Denis Vladimirovich (Moscow). Candidate of Technical Sciences. Sector Head at the AO "NIC "Stroitelstvo" of the Central Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko (6 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428. TsNIISK). E-mail: konden@inbox.ru.

Krylov Alexey Sergeevich (Moscow). Senior Researcher at the AO "NIC "Stroitelstvo" of the Central Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko (6 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428. TsNIISK). E-mail: kryl07@mail.ru.

Rozhkova Lidiya Sergeevna (Moscow). Senior Researcher at the AO "NIC "Stroitelstvo" of the Central Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko (6 2nd Institutskaya st., Moscow, 109428. TsNIISK). E-mail: soshnikova_lidia@mail.ru.