



УДК 624.012.35/45

Замалиев Фарит Сахапович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: zamaliiev49@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

К расчету анкерных связей сталежелезобетонных конструкций

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – оценка напряженно-деформированного состояния контакта слоев составного сечения и предельной несущей способности и гибких анкерных связей, наиболее используемых в сталежелезобетонных конструкциях.

Поставлена задача на основе анализа технической отечественной и зарубежной литературы выявить несущую способность наиболее используемые анкерных связей в гражданском строительстве. Записать новые аналитические выражения для оценки несущей анкерного стержня.

Результаты. Основные результаты исследований состоят из определения ряда положений прочности и деформативности, в выявлении напряженного состояния контактного шва «сталь-бетон» сталежелезобетонных изгибаемых элементов и оценка их несущей способности и сравнения результатов.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении напряженно-деформированного состояния контактного шва сталежелезобетонного элемента. Результаты исследований, аналитические выражения оценки прочности контактного шва сталежелезобетонных изгибаемых элементов могут быть использованы при возведении ребристых плит и балок новых зданий в сталежелезобетонном, деревобетонном, сборно-монолитном железобетонном вариантах и при восстановлении перекрытий зданий, отслуживших свой нормативный срок эксплуатации.

Ключевые слова: сталежелезобетонные конструкции, анкерные связи, прочность анкера, аналитические зависимости.

Введение

В конструкциях композитного сечения, каковыми являются сталежелезобетонные балки, перекрытия со стальными ребрами-балками, обеспечение надежной совместной работы бетонной плиты со стальным ребром является одной из главных задач. Анкерные элементы разных конструктивных форм находящиеся между двумя разномодульными слоями, одновременно и в теле бетонной плиты, необходимы для передачи сдвигающих усилий между слоями. Напряженно-деформированное состояние, оценка их прочности очень важно для эффективности использования сталежелезобетонных конструкций на действие эксплуатационных нагрузок.

В данной статье предлагаются аналитические зависимости для учета растяжения и изгиба в работе стад-болтов и наклонных «П»-образных хомутов, применяемых в Европейских странах и вертикальных анкеров из рифленой арматуры, применяемых в отечественном строительстве [1-21].

Обзор литературы

Анкерные связи, наиболее широко используемые в сталежелезобетонных конструкциях, – это упоры в пролетных строениях мостов (СП 46.13330.2012 Мосты и трубы. Правила проектирования. – М., 2012), в гражданском строительстве – стад-болты (Eurocode 2: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules for buildings / The European Union Per Regulation 305, 2011. – р. 118), наклонные хомуты [1], в отечественном строительстве очень часто применяют рифленые арматурные стержни, приваренные к верхнему поясу стального ребра (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228). Сдвигающие усилия между слоями композитного сечения в упорах воспринимаются в основном бетоном плиты за счет его смятия, стад-болты и анкерные арматурные стержни (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в

сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228) работают в основном на изгиб, а на контакте с бетоном происходит смятие последнего, наклонные хомуты [1] в основном работают на растяжение.

В зависимости от соотношения длины и диаметра для вертикальных анкеров круглого сечения их несущую способность по бетону наши отечественные нормы предлагают определять (СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – М., 2016, 123 с.) по следующим выражениям:

$$P_{rd} = 0,24ld_{an}\sqrt{10R_b} \text{ для } 2,5 \leq l/d \leq 4,2, \quad (1)$$

$$P_{rd} = d_{an}^2\sqrt{10R_b} \text{ для } l/d \geq 4,2; \quad (2)$$

- по материалу стального анкерного стержня:

$$P_{an} = 0,063d_{an}^2\gamma_c R_y. \quad (3)$$

Несущая способность наклонного анкера из арматурной стали круглого сечения или одинаковые ветви анкера в форме хомута источник (СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – М., 2016, 123 с.) предлагает определять по формуле:

$$P_{an} = 0,1A_{an}g_c R_y \cos\alpha + d_{an}^2\sqrt{10R_b} \sin\alpha. \quad (4)$$

Еврокод предлагает учитывать работу анкера на растяжение выражением:

$$P_{rk} = 0,8A_{bf}f_u, \quad (5)$$

где f_u – предельная средняя прочность анкера на растяжение.

Британские [2] и Новозеландские нормы [3] предлагают корректировать несущую способность анкеров введением в формулы источника [3] коэффициентов [5].

Проведенные в Австрии испытания на сдвиг образцов с полкой из бетонной плиты со СПН с анкерными стержнями круглого сечения показали, что они обладают более низким сопротивлением, чем данные вычисленные по современным стандартам на проектирование сталежелезобетонных конструкций [7].

Исследованиями, проведенными в Гонконгском политехническом университете на моделях сталежелезобетонных образцов с разными стад-болтами, показана работа последних на срез и растяжение, как для образцов с приложением усилий сдвига перпендикулярно анкерам (прямой сдвиг), так и под углом (комбинированный сдвиг) [6]. Наши экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории КГАСУ¹, показали значительное перемещение и развитие пластических деформаций в образцах с вертикальными анкерными стержнями, что подтверждает работу анкеров не только на изгиб, но и на растяжение. В исследованиях, проведенных в сборно-монолитных железобетонных изгибаемых элементах [18-20] в середине и в конце XX столетия отмечена работа на растяжение арматурных стержней пересекающих контактных «швов».

Полуэмпирические зависимости для расчета анкерных связей приведены во многих зарубежных источниках [7-15]. В основном в нашей стране работу анкерного стержня рассматривают, когда анкер работает на изгиб, а бетон – на смятие, например, в работе Замалиева Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228, работа анкерного стержня рассмотрена для сталежелезобетонной балки, которая может эксплуатироваться как изолированно, так и в составе перекрытия. В источнике рассматривается оценка несущей способности анкерного стержня, как по основному металлу, так и по сварному шву балок в составе перекрытия, где сдвигающая сила определяется из рассмотрения напряженно-деформированного состояния плиты с ребрами как в источнике.

Исследованиям анкерных связей в разное время посвящено множество работ, в нашей стране необходимость этих исследований была связана с разработкой и экспериментально-теоретическими исследованиями сборно-монолитных железобетонных конструкций. Значительные исследования работы анкерных соединений выполнены в УралНИИ Госстроя СССР в 60-90-е гг. XX столетия для соединения сборного железобетона с монолитным бетоном, как указывалось в статье Замалиева Ф.С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31) – С. 80-85, изучению анкерных связей внесли весомый вклад

¹Замалиев Ф. С., Исмагилов Б. Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 222-228.

ученые нашего вуза и они нашли отражение в работах [18-20]. В источнике [20] прочность контактного шва рассматривается при работе анкера в основном на растяжение, а чуть позже в источнике² приводится работа анкерного стержня на изгиб при смятии бетона.

Теоретические исследования анкерных связей

Контактный «шов» сталежелезобетонных конструктивных элементов по схеме работы очень схож с работой контактных швов сборно-монолитных железобетонных конструкций. Запишем сначала выражения для наклонных анкерных «П»-образных связей. Как отмечают многие исследователи [1], они в основном работают на растяжения, а бетон на контакте испытывает растяжение и скалывание. Учитывая, что рациональным размещением и конфигурацией анкеров скол бетона можно уменьшить, рассмотрим случай растяжения анкерного «П»-образного наклонного хомута и бетона на контакте с ним, как наиболее значительно влияющего на несущую способность контактного «шва».

Предполагая, что бетон подвергается растяжению по всей длине анкерного стержня равномерно, величину сдвигающей силы T_b , запишем в виде:

$$T_b = \sigma_b(\varepsilon_b) l_x \pi d_a \cos \alpha, \quad (6)$$

где α , l_x , d_a – угол наклона, длина и диаметр ветви «П»-образной анкерной связи.

В случае разрушения по бетону принимаем $\sigma_b(\varepsilon_b) = R_b$, а при разрушении по анкерному стержню, напряжения в бетоне определяются в предположении, что деформации бетона равны максимальному удлинению стержня наклонного анкера.

Величина предельной сдвигающей силы, воспринимаемой анкерной связью, в предположении ее работы на растяжение будет:

$$T_s = s_s(\varepsilon_s) \frac{\rho d_a^2}{4} \cos \alpha. \quad (7)$$

Прочность соединения бетонной полки со стальной балкой определяется из условия:

$$T \leq T_{ult}; T_{ult} = \min(T_b; T_s). \quad (8)$$

Рассмотрим вертикальную анкерную связь сталежелезобетонных изгибаемых элементов на изгиб и растяжение, где сдвигающая сила определяется из рассмотрения напряженно-деформированного состояния плиты с ребрами как в работе Замалиева Ф.С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31) – С. 80-85.

Нормированием расстановки анкеров можно исключить скалывание бетона вокруг анкерного соединения. Расстояние между анкерными стержнями определяется величиной диаметра анкеров. Несущую способность соединения, в отличие от предыдущих статей (Замалиев Ф. С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228; Замалиев Ф.С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. №1 (31) – С. 80-85.) определим из условий работы вертикального анкерного стержня на изгиб и вокруг смятие бетона для всех возможных форм эпюры в бетоне и в анкерном стержне.

Вертикальный анкерный стержень (рис. 1-3) рассматриваем в виде консоли, усилие в нем будет (Замалиев Ф.С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (45). С. 222-228):

$$T_s = M_s / l_s. \quad (9)$$

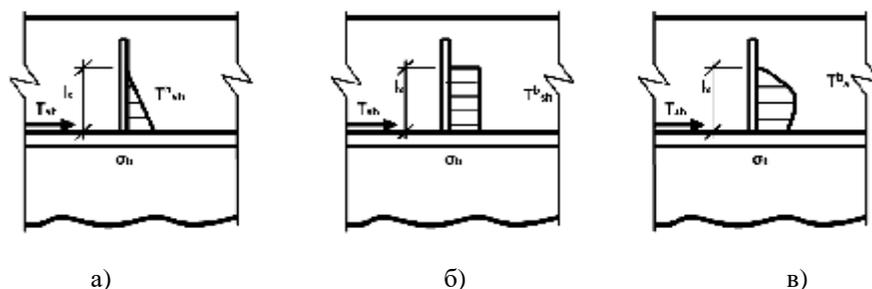


Рис. 1. Напряжения в бетоне вдоль анкерного стержня (иллюстрация авторов)

²Замалиев Ф. С., Исмагилов Б. Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 222-228.

Из условия равновесия моментов от внешних и внутренних сил, рассматривая эпюру напряжений в бетоне, как внешнее составляющее для вертикального анкера (рис. 1), получим:

а) для треугольных эпюр напряжений бетона и анкерного стержня (рис. 1, 3):

$$T_s = 3/8 \frac{s_s (e_s) A_s w}{l_x} d_s n, \tag{10}$$

где n – количество анкерных стержней в рассматриваемом сечении;
 ω – коэффициент полноты эпюры.

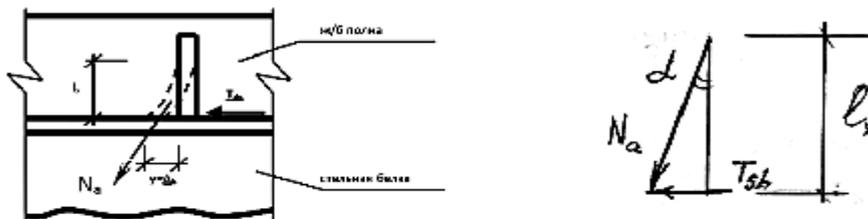


Рис. 2. Прогиб анкерного стержня и схема усилий (иллюстрация авторов)

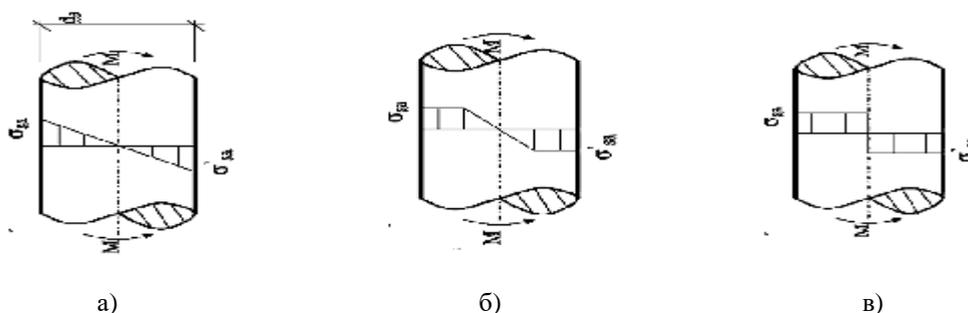


Рис. 3. Напряженное состояние анкерного стержня: а) упругая работа; б) упруго-пластическая работа; в) пластическая работа (иллюстрация авторов)

б) для треугольной эпюры бетона и прямоугольной эпюры напряжений в анкере [2]:

$$T_s = 3/4 \frac{s_s (e_s) A_s w}{l_x} d_s n; \tag{11}$$

в) для прямоугольных эпюр напряжений бетона и анкерного стержня:

$$T_s = 1/2 \frac{s_s (e_s) A_s w}{l_x} d_s n; \tag{12}$$

г) для криволинейной эпюры бетона и прямоугольной эпюры анкера:

$$T_s = 1/4 \frac{s_s (e_s) A_s w}{y(l_x)} d_s n, \tag{13}$$

где $y(l_x)$ – расстояние до центра эпюры.

При сдвиге бетонной плиты относительно верхнего пояса стальной балки происходит изгиб анкерного стержня в бетонном массиве, значительных из-за смещений слоев происходит растяжение анкерного стержня (рис. 2). Тому подтверждение, многие исследователи [4, 7, 8, 12] отмечают при предельных нагрузках отрыв головки стаб-болта. По требованиям норм проектирования стальных и железобетонных конструкций, расчет стержней подвергнутых изгибу с растяжением производят при учете изгибающего момента и растягивающих сил. Проверка производится по известной формуле:

$$s = \frac{M}{W_x} + \frac{N}{A_s}. \tag{14}$$

При учете работы материала анкера в пластической стадии, его несущая способность естественно выше, чем при расчете с учетом только его упругой работы. Для определения предельного состояния изгибаемого элемента с учетом его растяжения устанавливают

соотношение между M и N , при котором достигается шарнир пластичности, т.е. определяют граничные линии, разделяющие упругую, упругопластическую и пластическую области работы материала в конструктивном элементе. Обозначая через $N_T = A\sigma_T$ усилие, при котором в сечении достигается напряжение текучести (при отсутствии момента) и через $M_T = W_{nl}\sigma_T$ – момент, соответствующий образованию шарнира пластичности (при отсутствии продольной силы), при совместном действии изгибающего момента и продольной силы получены³ их предельные значения:

$$n = \frac{N_{np}^M}{As_T} \leq 1; \quad m = \frac{M_{np}^N}{W_{nl}s_T} \leq 1. \quad (15)$$

Получено уравнение граничной кривой в виде параболы, которые отражает предельное состояние стержня при изгибе с растяжением:

$$v^2 + \mu = 1 \text{ или } (N_{np}^M/A\sigma_T)^2 + M_{np}^N/W_{nl}\sigma_T \leq 1, \quad (16)$$

где, для нашего случая:

$$M_{np}^N = T_s l_x, \quad N_{np}^M = T_s \sin \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_{ch}}{l_x}, \quad A_s = \frac{\rho d_s^2}{4}, \quad W_{nl} = 1,7W_x = 1,7 \frac{\rho d_s^3}{32}. \quad (17)$$

Сварной шов анкерного стержня с учетом изгиба и растяжения анкера проверяется по известной формуле:

$$\frac{N}{A_w R_{wy} g_c} + \frac{M}{W_w} \leq 1 \text{ или } \frac{N}{k_f \rho d_s R_{wy} g_c} + \frac{32M}{\rho d_s^3} \leq 1, \quad (18)$$

где A_w , W_w – площадь и момент сопротивления сечения шва, k_f – катет шва, d_s – диаметр анкера, R_{wy} – расчетное сопротивление сварного шва.

Заключение

1. Анализированы напряженно-деформированное состояние, методы оценки прочности анкерных связей сталежелезобетонных конструкций.

2. Приведены новые аналитические зависимости для оценки прочности анкеров по материалу стержня и бетону.

3. Даны формулы расчета сварного шва анкерного стержня к поясу стальных балок.

4. Сравнением результатов расчета показана удовлетворительная сходимость с собственными экспериментальными данными, изложенными в работе Замалиева Ф.С., Исмагилова Б.Т. Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2018. № 3 (45). С. 222-228.

Аналитические данные расходятся от экспериментов:

- по перемещением до 8 %
- по напряжениям 13-15 %
- по несущей способности 11-17 %.

Список библиографических ссылок

1. Construction metallique. Revue : Paris, Franse. № 1-4. 1985. № 4. 1991.
2. BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings: Part 3: Section 3.1: Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI: London, 1990.
3. NZS3404-1:1997. Steel Structures Standart. Part 1, Incorporating Amendment №1 and 2, Standards New Zeland : Wellington.
4. Stephen J. Hicks, Andrew L. Smith Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting // Structural Engineering International. 2014. № 2. P. 246–253.
5. American institute of steel construction. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural steel Buildings, American Institute of Steel Construction : Chicago, 2010.
6. Shen M. H., Chung K. F. Structural behavior of stud shear connections with solid and composite slabs under co-existing shear and tension forces.

³Муханов К.К. Металлические конструкции // Стройиздат, М., 1976. – С. 70-72.

7. Lawson R. M., Lim J. B. P., Popo-Ola S. O. Pull-out forces in shear connectors in composite beams with large web openings // *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. 87. P. 48–59.
8. Mirza O., Uy B. Effects of the combination of axial and shear loading on the behaviour of headed stud steel anchors. *Engineering Structures*. 2010. 32 (1). P. 93–105.
9. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures. (Doctoral dissertation, University of Leeds). 2010.
10. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures (Doctoral dissertation, The University of Leeds). 2013.
11. Tahmasebinia F., Ranzi G., Zona A. Probabilistic three-dimensional finite element study on composite beams with steel trapezoidal decking. *Journal of Constructional Steel Research*. 2013. 80. P. 394–411.
12. Johnson R. P. Calibration of resistance of shear connectors in troughs of profiled sheeting. *Proc. Instn. Civ. Eng., Struct. Blag.* 2008; 161. P. 117–126.
13. Johnson R. P. *Designers' Guide to Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures*, 2nd edn, Thomas Telford : London, 2012. 257 p.
14. Smith A. L., Couchman G. H. Strength and ductility of headed stud connectors in profiled steel sheeting. *J. Construct. Steel Res.* 66: 2010. P. 748–754.
15. Ernst S., Bridge R. Q., Wheeler A. Correlation of beam tests with pushout tests in steel-concrete composite beams. *J. Struct. Eng.* 2010; 136(2). P. 183–192.
16. BSI (2010) BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI, London.
17. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric-composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. V. 158. 010250.
18. Сунгатуллин Я. Г. Экспериментально-теоретические основы расчета сопротивляемости сдвигу армированного и неармированного контактов сборномонолитных конструкций // *Сборные и сборно-монолитные железобетонные конструкции*. 1975. С. 90–146.
19. Фатхуллин В. Ш. Расчет сборно-монолитных элементов с учетом монолитного бетона в растянутой зоне // *Известия вузов*. 1978. № 8. С. 16–19.
20. Мартынова Л. Д. Испытание вертикальных сопряжений монолитных стен на воздействие сил сдвига // *ЦНИИЭП жилища*. 1986. С. 34–41.
21. Хасанов Р. Р., Мирсаяпов Ильшат Т. Выносливость контактного шва сборно-монолитных железобетонных изгибаемых конструкций на сдвиг // *Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2001. Вып. 3.

Zamaliy Farit Sakhapovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: zamaliy49@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

To the calculation of the anchor connections of steel-concrete structures

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to assess the stress-strain state of the contact of the layers of the composite section and the limiting load-carrying capacity of flexible anchor ties most used in steel-reinforced concrete structures.

The task is set on the basis of the analysis of technical domestic and foreign literature to identify the carrying capacity of the most used anchor ties in civil engineering. Write new analytical expressions for estimating the carrier of the anchor rod.

Results. The main results of the research consist of determining a number of positions of strength and deformability, in revealing, stress state, contact seam «steel-concrete» steel concrete, bent elements and assessment of their bearing capacity and comparison of results.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists in identifying the stress-strain state of the contact seam of the steel-concrete element. The research results, analytical expressions for assessing the strength of the contact seam of steel-reinforced concrete bent elements can be used in the construction of ribbed slabs and beams of new buildings in steel-reinforced concrete, wood concrete, prefabricated monolithic reinforced concrete variants and in the restoration of floors of buildings that have served their standard life.

Keywords: concrete structures, anchors, anchor strength, analytical dependencies.

References

1. Construction metallique. Revue : Paris, Franse. № 1-4. 1985. № 4. 1991.
2. BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings: Part 3: Section 3.1: Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI : London, 1990.
3. NZS3404-1:1997. Steel Structures Standart. Part 1, Incorporating Amendment № 1 and 2, Standards New Zeland : Wellington.
4. Stephen J. Hicks, Andrew L. Smith Stud shear connectors in composite beams that support slabs with profiled steel sheeting // Structural Engineering International. 2014. № 2. P. 246–253.
5. American institute of steel construction. ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural steel Buildings, American Institute of Steel Construction : Chicago, 2010.
6. Shen M. H., Chung K. F. Structural behavior of stud shear connections with solid and composite slabs under co-existing shear and tension forces.
7. Lawson R. M., Lim J. B. P., Popo-Ola S. O. Pull-out forces in shear connectors in composite beams with large web openings // Journal of Constructional Steel Research. 2013. 87. P. 48–59.
8. Mirza O., Uy B. Effects of the combination of axial and shear loading on the behaviour of headed stud steel anchors. Engineering Structures. 2010. 32 (1). P. 93–105.
9. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures. (Doctoral dissertation, University of Leeds). 2010.
10. Qureshi J. Finite element modeling of steel-concrete composite structures (Doctoral dissertation, The University of Leeds). 2013.
11. Tahmasebinia F., Ranzi G., Zona A. Probabilistic three-dimensional finite element study on composite beams with steel trapezoidal decking. Journal of Constructional Steel Research. 2013. 80. P. 394–411.
12. Johnson R. P. Calibration of resistance of shear connectors in troughs of profiled sheeting. Proc. Instn. Civ. Eng., Struct. Blag. 2008; 161. P. 117–126.
13. Johnson R. P. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, 2nd edn, Thomas Telford : London, 2012. 257 p.
14. Smith A. L., Couchman G. H. Strength and ductility of headed stud connectors in profiled steel sheeting. J. Construct. Steel Res. 66: 2010. P. 748–754.
15. Ernst S., Bridge R. Q., Wheeler A. Correlation of beam tests with pushout tests in steel-concrete composite beams. J. Struct. Eng. 2010; 136(2). P. 183–192.
16. BSI (2010) BS 5950-3.1.A1. Structural use of steelwork in buildings. Design in composite construction. Code of practice for design of simple and continuous composite beams. BSI, London.
17. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric-composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. 010250.
18. Sungatullin Ya. G. Experimental and theoretical foundations for calculating the shear resistance of reinforced and non-reinforced contacts of precast monolithic structures // Sbornyye i sborno-monolitnyye zhelezobetonnyye konstruksii. 1975. P. 90–146.

19. Fathullin V. Sh. Calculation of precast-monolithic elements taking into account monolithic concrete in the stretched zone // *Izvestiya vuzov.* 1978. №. 8. P. 16–19.
20. Martynova L. D. Testing of vertical joints of monolithic walls under the influence of shear forces // *TSNIEP zhilishcha.* 1986. P. 34–41.
21. Khasanov R. R., Mirsayapov Ilshat T. Endurance of the contact seam of prefabricated monolithic reinforced concrete flexible structures in shear // *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk.* 2001. Issue. 3.