

УДК 624.012.35/45

**Замалиев Фарит Сахапович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [zamaliev49@mail.ru](mailto:zamaliev49@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

**Исмагилов Булат Тагирович**

инженер проектировщик

E-mail: [bulatik65@yandex.ru](mailto:bulatik65@yandex.ru)

**НПП «ГКС»**

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Московская, д. 35

### **Численные и натурные исследования анкерных связей сталежелезобетонных конструкций**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – выявить закономерности напряженно-деформированного состояния и предельную несущую способность анкерных связей, наиболее используемых в сталежелезобетонных конструкциях.

Поставлена задача на основе анализа технической отечественной и зарубежной литературы выявить наиболее используемые в гражданском строительстве анкерные устройства. Провести натурные испытания и численные эксперименты на моделях сталежелезобетонных призм с различными анкерными устройствами.

*Результаты.* Основные результаты исследований состоят из определения ряда положений деформативности, выявления в сталежелезобетонной конструкции напряженного состояния контактного шва «сталь-бетон» и оценки результатов численных и натурных исследований.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении напряженно-деформированного состояния контактного шва сталежелезобетонного элемента. Результаты исследований, закономерности контактного шва сталежелезобетонных изгибаемых элементов могут быть использованы при возведении балочных конструкций новых зданий сборно-монолитного, сталежелезобетонного, деревобетонного сечения и при восстановлении работоспособности перекрытий зданий, отслуживших свой нормативный срок.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные конструкции, анкерные связи, эксперименты, прочность анкера.

#### **Введение**

Обеспечение надежной совместной работы конструкций составного сечения, каковыми являются сталежелезобетонные конструкции – одна из главных задач. Наличие в структуре составной конструкции из бетона и стали с резко отличающимся модулем упругости и прочностными свойствами материалов, накладывает к конструктивному элементу и к конструктивным решениям анкерных устройств повышенные требования. При выборе конструкций анкерных связей требуется исследовать анкерные устройства с позиций экономичности по расходу материала, надежности работы и прочности.

Актуальной задачей является проблема обеспечения надежности соединения слоев составного сечения в сталежелезобетонных конструкциях, возникающих в начале появления составных конструкций. Инженерам надо найти рациональное анкерное устройство с позиции прочности, а исследователям надо проанализировать на основе численных и натурных экспериментов деформативность и прочность выбранного инженерами рационального анкерного устройства.

#### **Обзор литературы**

«Интенсивные исследования анкерных связей начались в период исследований сборно-монолитных железобетонных конструкций. Еще в начальный период исследований необходимо было обеспечить совместную работу сборной и монолитной частей железобетонной конструкции» [1, 2]. В этих исследованиях главным вопросом являлось выявление предельной несущей способности анкерной связи по контакту «шва».

«В начальный период применения сталежелезобетонных конструкций в гражданских зданиях в качестве анкерных связей применяли отрезки трубы, уголка, швеллера, пружины и т. д.» [3, 5]. В европейских развитых странах широко распространены стад-болты – прямолинейные гладкие стержни со шляпкой» [5]. «Французские исследователи, кроме стад-болтов, предлагают и «П»-образные вертикальные и наклонно расположенные анкерные скобы» [6]. «Инженеры из компании ArcelorMittal разработали сталежелезобетонную балку, состоящую из верхней полки из бетона и нижнего стального профиля, которые соединяются между собой на крючкообразных выступах стенки профиля. У нас в стране выдан патент на перекрытие с упрощенным вариантом соединения балки с бетонной балкой через рогеобразные выступы» [10].

«Оценка прочности соединения слоев в действующих отечественных нормах сводится к расчету прочности анкерной связи отдельно для каждого материала (бетон или сталь), элемента соединения: вырывание или скол бетона и сопротивление анкерного стержня, а, в случае монолитного перекрытия со стальным профнастилом, также рассматривается сопротивление вырыванию и разрыву настила» [11].

### Исследование

Анализ теоретических [1-3] и экспериментальных исследований контакта шва сборно-монолитных, деревобетонных [9] и сталежелезобетонных конструкций [8, 10, 11-15] привел к необходимости экспериментально-теоретических исследований анкерных соединений, наиболее часто используемых в перекрытиях гражданских зданий. Для наиболее быстрого выявления напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных конструкций используется пакет программ ANSYS. Однако, экспериментальные исследования, несмотря на материальные затраты и долговременность выполнения, дают наиболее естественные результаты по сравнению с поведением конструкций под эксплуатационной нагрузкой.

Сталежелезобетонные призм при численном эксперименте моделировались с помощью ПК ANSYS по схеме соответствующей экспериментальным исследованиям. При численном эксперименте с помощью программного комплекса расчеты выполнялись в три этапа: на первом этапе моделировались конечно-элементные образцы призм, на втором этапе записывались необходимые условия нагружения и физико-механические свойства модели, на третьем этапе производится решение комплекса уравнений методом конечного элемента (рис. 1).

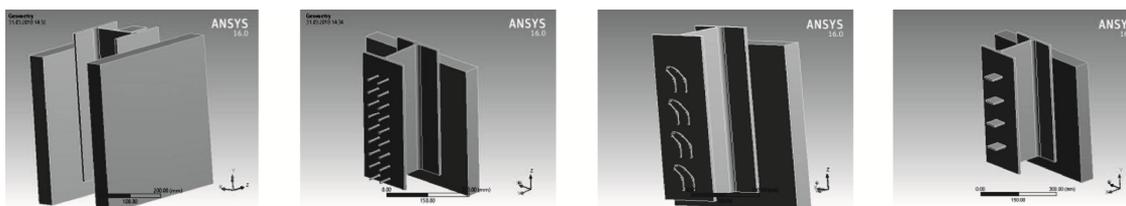


Рис. 1. Общий вид модели призм: анкера из арматурных стержней; анкера из петлеобразных «хомутов»; анкера из стальных пластин

Картина напряжений и деформаций анкерных связей представлена на рис. 2.

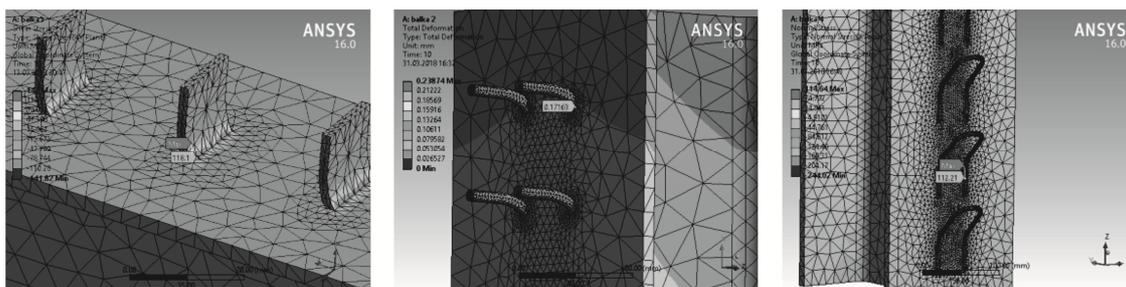


Рис. 2. Мозаика напряжений и деформаций в анкерах

Используя результаты численных исследований, были изготовлены модели призм для экспериментальных исследований. Для моделей использованы: двутавр из стали С245, арматурные стержни и пластины из А500, класс бетона – В30. Были изготовлены образцы с вертикальными стержнями, наклонными петлеобразными «хомутами» и со стальными пластинами с разным шагом между ними (рис. 3).

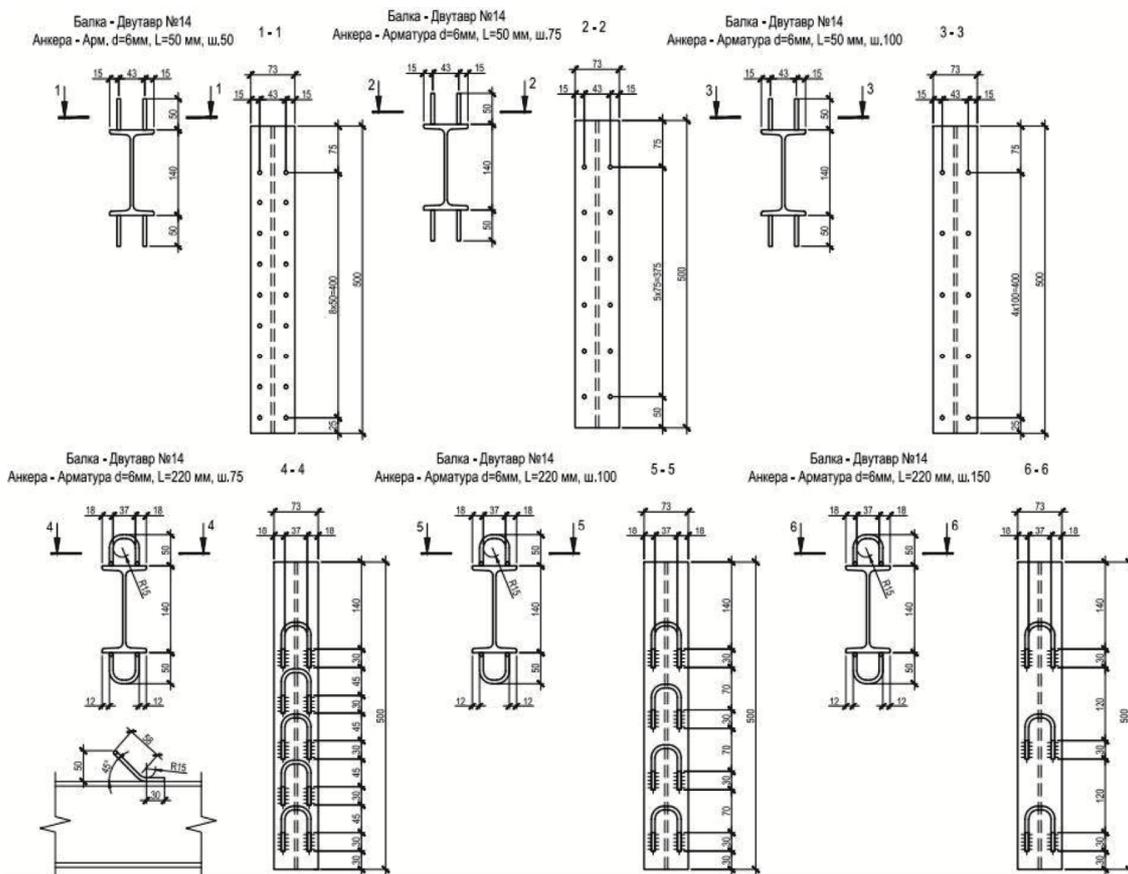


Рис. 3. Сталежелезобетонные призмы с прямыми стержнями и петлеобразными «хомутами»

Призмы испытывались в условиях лаборатории КГАСУ. Нагрузка передавалась посредством гидравлической системы пресса ИПС-200. В процессе испытания измерялись деформации бетона полки и стали двутавра, а также анкерных связей с помощью тензодатчиков, наклеенных на поверхности бетона, балки и анкера. Для защиты от влаги тензодатчики на анкерах, оставляемые в теле бетона, были защищены специальными составами. Деформации на бетоне и стали фиксировались тензодатчиками с базами 50 мм и 20 мм, соответственно, через АИД-4 с магазином переключателей, сдвиг слоев замерялся индикаторами часового типа И4 (рис. 4).

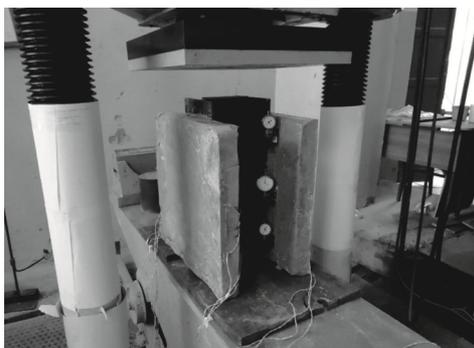


Рис. 4. Общий вид испытания призм

Для проверки работоспособности испытательной системы проводилось вначале пробное испытание с силой 0,5 тс. После снятия показаний по всем приборам, т.е. после проверки системы, испытание проводилось нагружением ступенями по 1,5 т от ожидаемой разрушающей нагрузки. На ступенях во время выдержек снимались показатели по тензодатчиком, И4, т. е. фиксировались деформации бетона и стали, перемещения.

Разрушающая нагрузка фиксировалась по показаниям шкалы испытательного пресса в момент физического разрушения образца. За предельное значение нагрузки принималась нагрузка, при которой происходило полное физическое разрушение образцов. Развитие трещин в теле боковой плиты главным образом наблюдалась перед разрушением. Разрушение произошло из-за отрыва бетонной плиты от стального двутавра. Общий вид и характер разрушения призм приведен на рис. 5.



Рис. 5. Сталежелезобетонные призмы после испытаний в прессе ИПС200

На рис. 6-7 изображены графики напряжений для вертикальных анкеров.

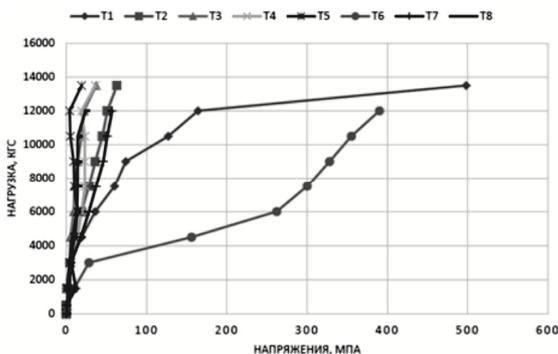


Рис. 6. Зависимости напряжений для анкеров в виде пластин

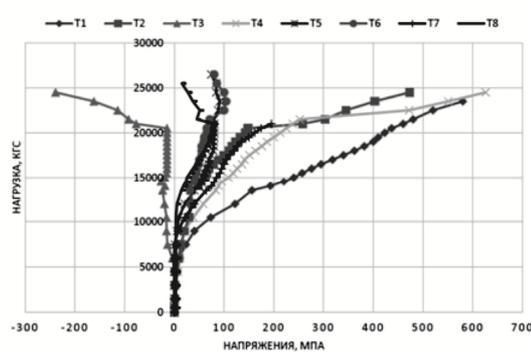


Рис. 7. Зависимости напряжений для вертикальных анкеров

Графики относительных зависимостей напряжений от нагрузки и относительных деформаций для всех трех видов анкерных устройств, приведены на рис. 8-9.

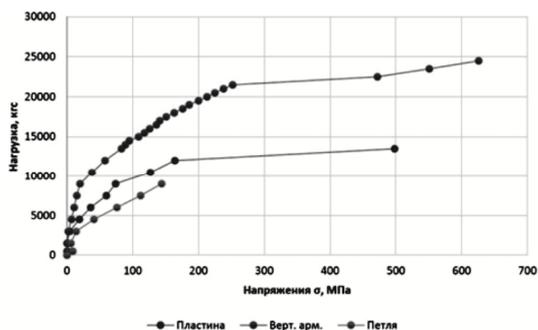


Рис. 8. Относительные зависимости напряжений

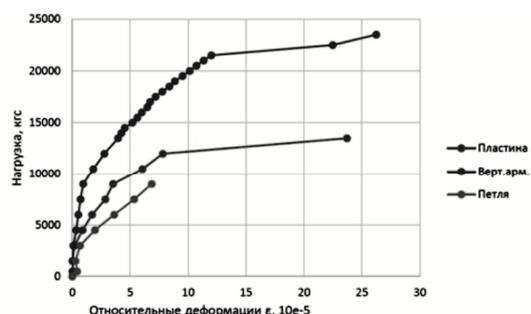


Рис. 9. Относительные зависимости деформаций

На рис. 10-11 приведены графики зависимости деформаций для разных шагов анкерных устройств (вертикальный анкер и петлеобразный анкер).

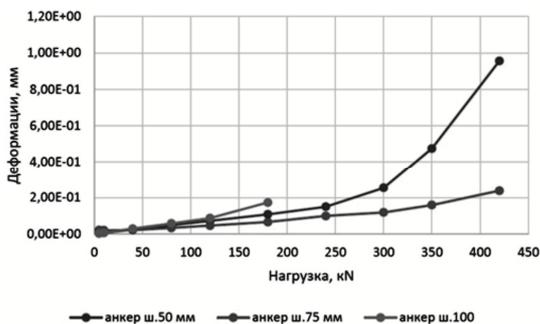


Рис. 10. Зависимости деформаций для вертикальных анкеров

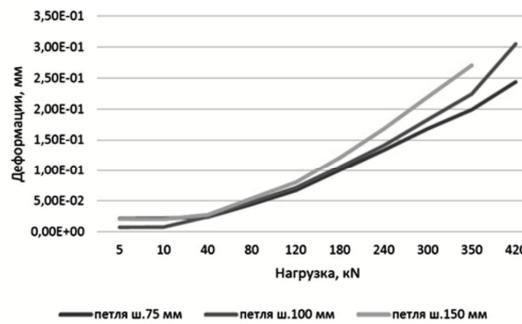


Рис. 11. Зависимости деформаций для петлеобразных анкеров

На рис. 12-13 приведены графики сравнений деформаций и напряжений для вертикальных анкеров и пластин.

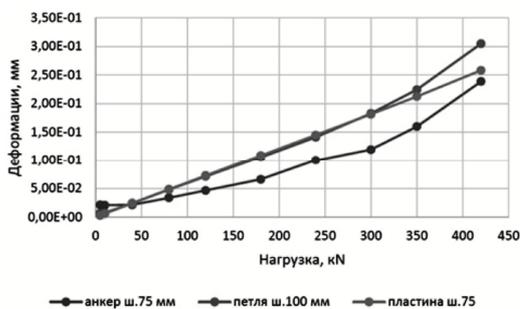


Рис. 12. Графики сравнений деформаций

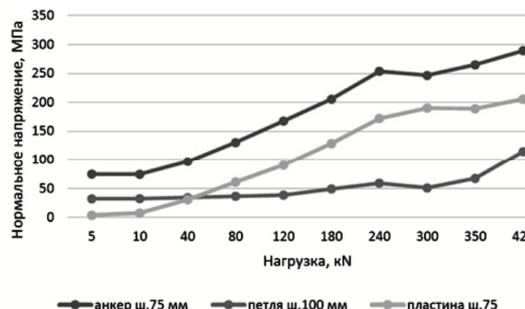


Рис. 13. Графики сравнения напряжений

На рис. 14 приведены сравнения напряжений по ANSYS и эксперименту.

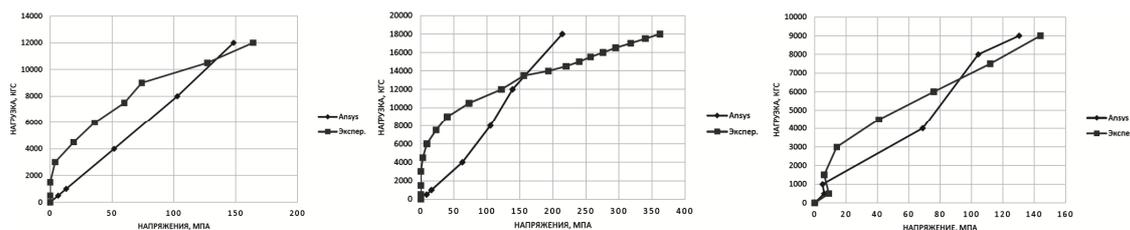


Рис. 14. График сравнений для разных видов анкеров

### Заключение

1. Изучены особенности напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных призм на действие статических нагрузок.
2. Выполнены расчеты на ПК ANSYS сталежелезобетонных призм, позволившие выявить картину напряженно-деформированного состояния контактного шва, этапы развития трещин, пластических деформаций в бетонной полке и в анкерных связях.
3. Натурные испытания показали:
  - в пластинчатых анкерах пластические деформации начались при достижении нагрузки 12 тс, а в вертикальных анкерах – 22,5 тс;
  - наибольшие перемещения получены: для призм с петлеобразными анкерами – 1,5 мм, для призм с пластинками 2,2 мм, для призм с вертикальными анкерами – 2,849 мм;

- разрушение бетонных плит призм происходит в основном по линии среза анкерными устройствами;
  - разрушение призм происходит от отрыва контакта, среза плит и от развития пластических деформаций в анкерных связях.
4. Несущая способность призм с вертикальными анкерами на 37,7 и 49 % выше призм с петлями и пластинками, соответственно.
5. Сравнение результатов численного эксперимента с данными натуральных экспериментов показывает расхождение результатов и составляет:
- до 18 % по напряжениям;
  - до 10 % по перемещениям;
  - 15-21 % по несущей способности.

### Список библиографических ссылок

1. Валева Г. С. Прочность и деформативность сборно-монолитных железобетонных конструкций по контактному шву с учетом длительного действия статических нагрузок. Казань, 1988.
2. Хасанов Р. Р. Прочность и выносливость плоских контактных швов сборно-монолитных железобетонных конструкций в зоне действия изгибающих моментов и поперечных сил. Казань, 2001.
3. Горева В. В. Металлические конструкции. Спецконструкции и сооружения, т. 3. М., 2005. С. 295–303.
4. Замалиев Ф. С. Сталежелезобетонные конструкции при реконструкции исторических городов // Проблемы реконструкции и возрождения исторических городов: материалы Российского научно-практического семинара. Казань, 1999. С. 88–95.
5. Construction metallique. Revue : Paris, France, № 1-4, 1985, № 4, 1991.
6. Замалиев Ф. С. К оценке прочности анкерных связей изгибаемых сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (31). С. 80–85.
7. Замалиев Ф. С. К расчету сопряжения плиты с балкой в сталежелезобетонных конструкциях // Известия КГАСУ. 2016. № 3 (37). С. 222–228.
8. Абдрахманов И. С. Прочность и деформативность деревожелезобетонных изгибаемых элементов при статических и повторных нагружениях. М., 2009. 43 с.
9. Сборно-монолитное перекрытие : пат. 1711032 Рос. Федерация. № 2017101737 ; заявл. 19.01.17 ; опубл. 22.05.17, Бюл. № 15.
10. Айрумян Э. Л., Каменщиков Н. И., Румянцева И. А. Особенности расчета монолитных плит сталежелезобетонных покрытий по профилированному стальному настилу // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 21–26.
11. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // Construction of unique buildings and structures, 2014. № 11 (26). P. 85–93.
12. Champenois D., Corfdir A., Corfdir P. Calculating the critical buckling force in compressed bottom flanges of steel-concrete composite bridges // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2014. № 18 (3). P. 271–292.
13. 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.
14. Замалиев Ф. С., Каюмов Р. Г. К расчету сталежелезобетонного перекрытия как ортотропной плиты // Известия КГАСУ. 2014. № 1 (27). С. 94–99.
15. 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.

**Zamaliy Farit Sakhapovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [zamaliy49@mail.ru](mailto:zamaliy49@mail.ru)**Kazan State University of Architecture and Civil Engineering**

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

**Ismagilov Bulat Tagirovich**

design engineer

E-mail: [bulatik65@yandex.ru](mailto:bulatik65@yandex.ru)**NPP«GKS»**

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Moskovskaya st., 35

**Numerical and full-scale studies of anchor links of steel reinforced structures****Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to reveal the laws of the stress-strain state and the ultimate load-bearing capacity of anchor bonds most used in steel-reinforced concrete structures.

The task was set on the basis of the analysis of technical domestic and foreign literature to identify the most used anchor devices in civil engineering. Carry out field tests and numerical experiments on models of steel-reinforced concrete prisms.

*Results.* The main results of the research consist in the identification of a number of fundamental deformability provisions, the stressed state of the steel-concrete contact seam in a steel-reinforced concrete structure and the evaluation of the results of numerical and field studies.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is to identify the stress-strain state of the contact seam of a composite reinforced concrete element. The obtained results of studies, regularities of the contact seam of steel-reinforced concrete bending elements can be used in the construction of beam structures of new buildings of prefabricated-monolithic, steel-reinforced concrete, wood-concrete section and restoration of the serviceability of the floors of buildings that have served their regulatory period.

**Keywords:** reinforced concrete structures, anchor connections, experiments, anchor strength.

**References**

1. Valeev G. S. Strength and deformability of prefabricated-monolithic reinforced concrete structures along the contact seam, taking into account the long duration of static loads. Kazan, 1988.
2. Khasanov R. R. Strength and endurance of flat contact seams of prefabricated monolithic reinforced concrete structures in the zone of bending moments and shear forces. Kazan, 2001.
3. Goreva V. V. Metal structures. Special structures and structures, V. 3. M., 2005. P. 295–303.
4. Zamaliy F. S. Wall-mounted concrete structures for the reconstruction of historic cities // Problems of reconstruction and revival of historic cities: materials of the Russian scientific-practical seminar. Kazan, 1999. P. 88–95.
5. Construction metallique. Revue : Paris, Franse, № 1-4, 1985, № 4, 1991.
6. Zamaliy F. S. To assess the strength of anchor bonds of bent steel-concrete structures. // Izvestia KGASU. 2015. № 1 (31). P. 80–85.
7. Zamaliy F. S. To the calculation of the interface between the slab and the beam in steel concrete structures. // Izvestiya KGASU. 2016. № 3 (37). P. 222–228.
8. Abdrakhmanov I. S. Strength and deformability of wood-reinforced concrete bent elements under static and repeated loads. M., 2009. 43 p.
9. Precast-monolithic overlap : Pat. 1711032 Rus. Federation. № 2017101737 ; claimed. 19.01.17 ; publ. 22.05.17, Bul. № 15.

10. Ayrumyan E. L., Kamenshchikov N. I., Rummyantseva I. A. Features of the calculation of monolithic slabs of steel-concrete coatings on profiled steel flooring // *Industrial and Civil Construction*. 2015. № 9. P. 21–26.
11. Hadzalic E., Barucija K. Concrete shrinkage effects in composite beam // *Construction of unique buildings and structures*, 2014. № 11 (26). P. 85–93.
12. Champenoy D., Corfdir A., Corfdir P. Calculating the critical buckling force in compressed bottom flanges of steel-concrete composite bridges // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2014. № 18 (3). P. 271–292.
13. 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.
14. Zamaliev F. S., Kayumov R. G. To the calculation of a steel concrete floor as an orthotropic plate // *Izvestiya KGASU*. 2014. № 1 (27). P. 94–99.
15. 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.