

УДК 624.012.35/45

Замалиев Ф.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: zamaliev49@mail.ru

Закиров М.А. – студент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Некоторые результаты численных исследований сталежелезобетонных перекрытий

Аннотация

В статье рассмотрены конструктивные решения сталежелезобетонных перекрытий применяемых в гражданских зданиях. С использованием расчетного комплекса ANSYS смоделированы конструкции трех видов сталежелезобетонных перекрытий: плита с ребрами из прокатного двутавра и гнутых П-образных профилей, сталежелезобетонная плита с легкобетонными вкладышами. Приведены результаты численных экспериментов по несущей способности и по деформациям, анализ стоимостных показателей и показателей огнестойкости.

Ключевые слова: сталежелезобетонные перекрытия, численные эксперименты, несущая способность, деформации, напряжения, стоимость, огнестойкость.

В перекрытиях и плитных фундаментах гражданских малоэтажных зданий и зданий большой этажности в нашей стране в последнее время все чаще находят применение сталежелезобетонные плитные конструкции. В плитных фундаментных конструкциях сталежелезобетон применяется в виде монолитной армированной плиты с усилениями из стальных пластин в зоне сосредоточенных нагрузок [1] от колонн, пилонов и стен. Здесь взамен традиционным подколонникам, вутам в теле плитных железобетонных фундаментных конструкций находят применения скрытые стальные обоймы в виде перекрестной ортогональной решетки из вертикальных стальных листов [2]. Замена ортогональной решетки из вертикальных листов на стальные элементы из арок или перекрестной системы из тавровых рам [3] уменьшает материалоемкость сталежелезобетонной конструкции. Плитные сталежелезобетонные конструкции со скрытыми стальными обоймами [2, 3] с таким же успехом используются в безбалочных междуэтажных перекрытиях зданий с «частоколом» колонн. Наиболее оправданным является такое перекрытие при шаге колонн более 8 м и расчетных нагрузках более 2 т/м^2 [1].

В гражданских зданиях с несущими стенами к наилучшим результатам приводят сталежелезобетонные перекрытия со стальными балками опертыми на продольные или поперечные несущие стены. Сталежелезобетонные конструкции со стальными ребрами – балками удачно «вписываются» в перекрытия реконструируемых зданий старой постройки. В этом случае взамен подгнившей или отслужившей свой нормативный срок службы деревянной балке, в тех же «лунках» кирпичной несущей стены вставляется стальная балка с заранее приваренными анкерными элементами и по опалубке заливается монолитный бетон.

В качестве опалубки может быть использован стальной профилированный настил [4], который в период возведения выполняет роль опалубки, а в период эксплуатации роль арматуры. Однако в гражданских зданиях при наличии влажных помещений и по требованиям огнестойкости такое перекрытие имеет ограниченное применение.

В гражданских зданиях, особенно в реконструируемых старинных зданиях, где архитекторы-реставраторы предъявляют требования обязательного сохранения старых отметок пола и потолка для последующего восстановления лепнины потолка и узоров пола, а надзорные органы предъявляют повышенные требования огнестойкости несущих элементов перекрытия, наиболее приемлемыми конструктивными решениями становятся сталежелезобетонные перекрытия со стальными ребрами или перекрытия с легкобетонными вкладышами [5, 6]. Стальные ребра для увеличения огнестойкости обкладываются жесткой минеральной ватой или пазы двутавров бетонируются [7], а в случае применения вкладышей – стальные ребра остаются в бетонном теле перекрытия.

Для сравнительной оценки несущей способности перекрытий, выявления их материалоемкости выполнены численные исследования названных видов сталежелезобетонных перекрытий в расчетном комплексе Ansys Workbench позволяющий при определенных условиях [8], учитывать действительную работу сталежелезобетонных изгибаемых конструкций. Граничные условия, условия нагружения, прочностные свойства бетона и стали в расчетном программном комплексе моделировались такими же, как и в случае аналитического расчета перекрытия как ортотропной плиты [9]. Учитывая тенденцию применения в гражданских зданиях конструктивного легкого бетона, в качестве материала плиты в расчетных перекрытиях принят керамзитобетон класса В7,5. Рассмотрены три вида конструктивного решения:

- сталежелезобетонное перекрытие с плитой и с прокатными двутаврами (рис. 1);

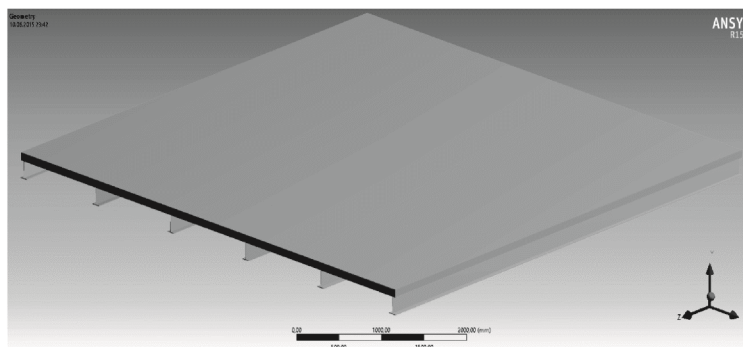


Рис. 1 Модель сталежелезобетонной плиты с ребрами из прокатных двутавров

- сталежелезобетонное перекрытие с плитой и с гнутыми П-образными профилями (рис. 2);

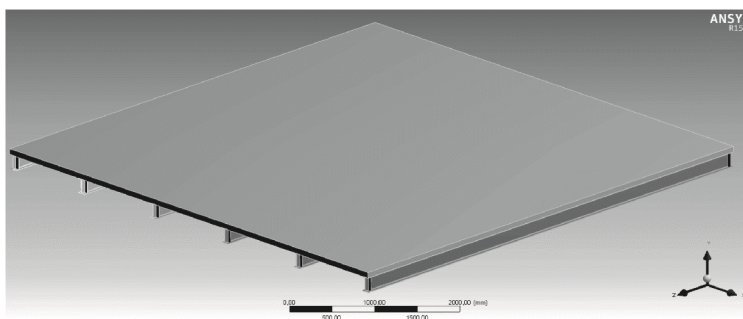


Рис. 2 Модель сталежелезобетонной плиты с ребрами из гнутых профилей

- сталежелезобетонное перекрытие с ребрами и с легкобетонными вкладышами (рис. 3).

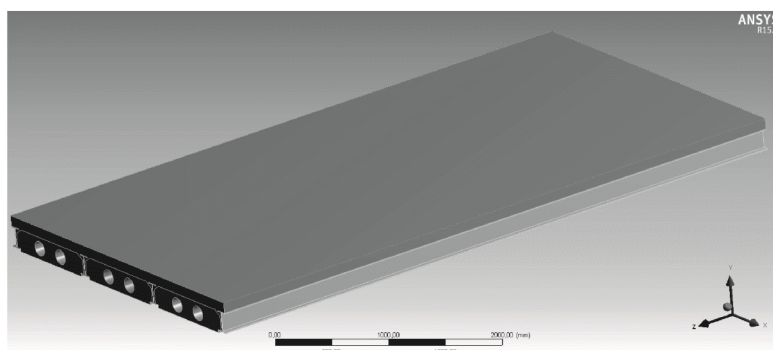


Рис. 3. Компьютерная модель сталежелезобетонной плиты с ребрами и легкобетонными вкладышами (показана половина плиты)

Выполненные численные исследования позволили выявить общую картину напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных плит (рис. 4) и проанализировать работу анкерных связей (рис. 5).

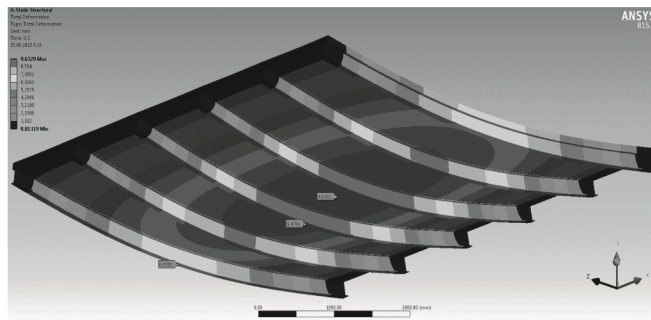


Рис. 4. Распределение деформаций в сталежелезобетонной плите

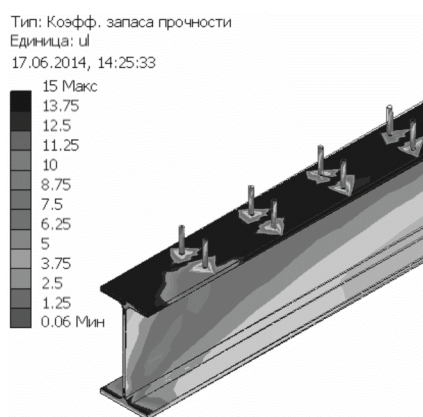


Рис. 5. Напряженное состояние анкерных стержней

По результатам вычислений в ПК Ansys построены графики распределения напряжений при вариации расчетных нагрузжений от 0 до 2250 кг/м², в ребрах-балках и в железобетонной плите (рис. 6-9). Анализ распределения напряжений показывает, что рост напряжений в верхнем поясе ребер-балок из гнутых профилей (рис. 6) при увеличении нагрузок происходит почти по линейному закону, а у плиты с прокатными профилями до нагрузки 750 кг/м² – линейно, после – с изломом.

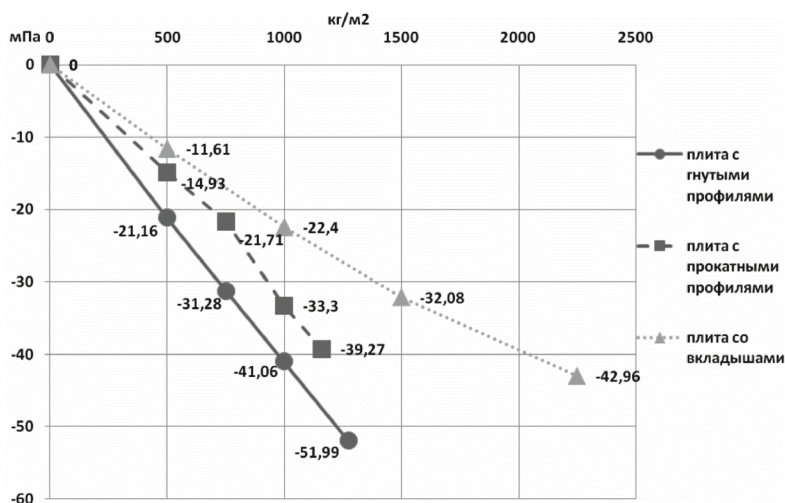


Рис. 6. Напряжения в верхнем поясе средней балки

У плиты со вкладышами: рост напряжений в сжатом верхнем поясе ребер до нагрузки 1000 кг/м^2 происходит линейно, затем – до 2250 кг/м^2 рост напряжений с изломом, и не такой интенсивный. Численное значение для нее при нагрузке 1250 кг/м^2 на 47 % ниже, чем у плиты с гнутыми профилями, которая дошла уже до своего предельного состояния, а плита со вкладышами продолжает работать благодаря включению в общую работу сталежелезобетонной плиты легкобетонных вкладышей. При предельной для нее нагрузке 2250 кг/м^2 , напряжения в верхнем поясе ребер на 17 % ниже, чем у плиты с гнутых профилями без вкладыша при нагрузке 1250 кг/м^2 , что свидетельствует о большой несущей способности плиты с легкобетонными вкладышами.

Напряжения в нижнем поясе ребер-балок (рис. 7) меняются почти линейно у первых двух плит, а у третьей плиты – до 1000 кг/м^2 линейно, затем – менее интенсивно, так как включаются в общую работу плиты вкладыши.

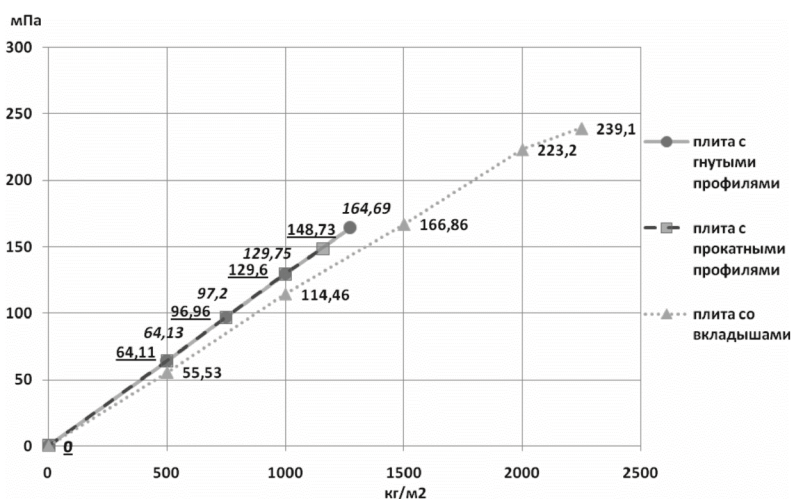


Рис. 7. Напряжения в нижнем поясе средней балки

Характер изменения напряжений в нижней поверхности железобетонной плиты аналогичен напряжениям в верхнем поясе балок-ребер (рис. 8) Напряжения в верхних точках (рис. 9) железобетонной плиты меняются линейно до 500 кг/м^2 , затем верхние пояса ребер деформируются интенсивнее, так как большую часть нагрузок на себя берет железобетонная плита. В плите с гнутыми профилями (рис. 9), оно проявляется еще интенсивнее, на верхней поверхности в средней зоне плиты со вкладышами в предельном состоянии (нагрузка 2250 кг/м^2) напряжения по сравнению с первым и вторым типом перекрытий увеличивается на 38,8 % и 33 %, соответственно, у которых предельная нагрузка составляет 1000 кг/м^2 и 1250 кг/м^2 .

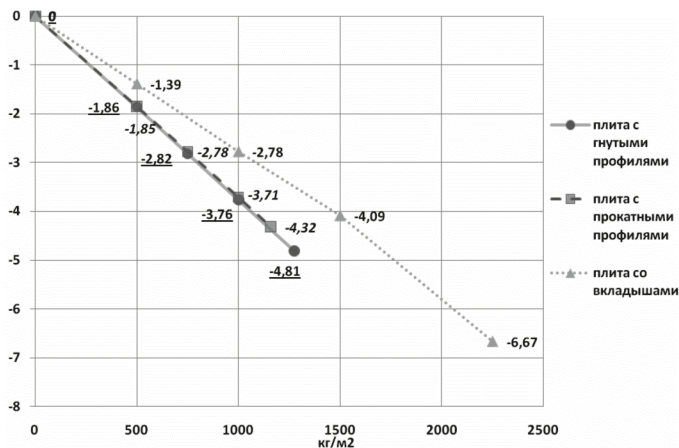


Рис. 8. Напряжения в нижней средней точке железобетонной плиты

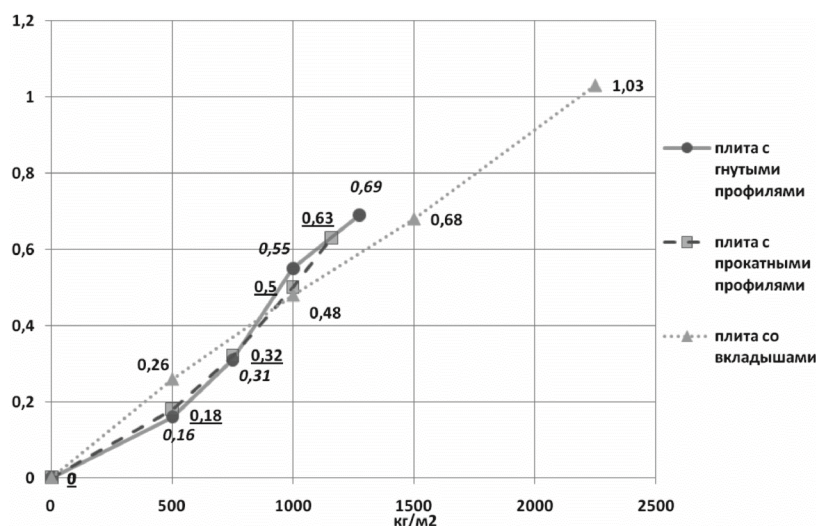


Рис. 9. Напряжения в верхней средней точке железобетонной плиты

Прогибы для середины средней балки фрагментов перекрытий представлены на рис. 10. Анализ графиков прогибов показывает их линейный рост, а у плиты со вкладышами при нагрузке 1500 кг/м² происходит излом, что свидетельствует об изменении положения нейтральной оси составного сечения и изменении характера работы стальных ребер-балок.

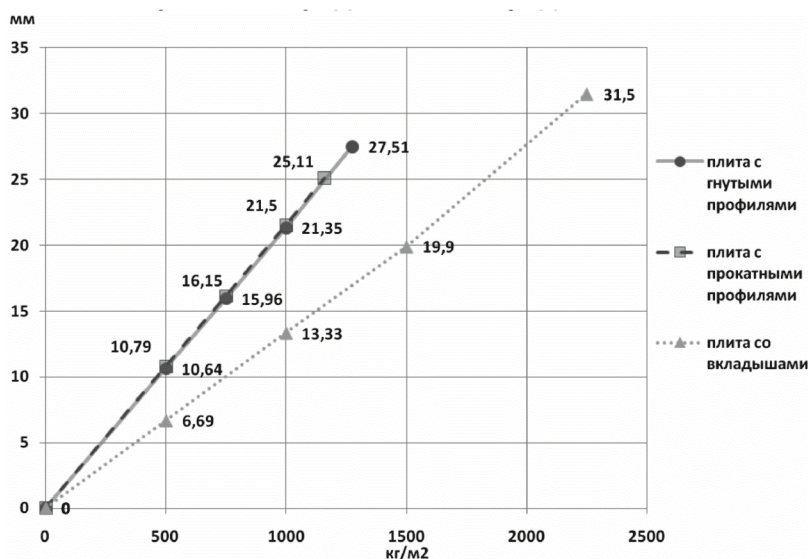


Рис. 10. Прогибы в средней точке средней балки

Для сравнительной оценки расхода материалов для вариантов перекрытий по результатам расчета на ПК Ansys для одной и той же расчетной нагрузки (1000 кг/м²) составлены ведомости расхода материалов и сметная стоимость по Гранд смете.

В первых двух вариантах плит для сопоставимости вариантов дополнительно включены шумоизоляционные материалы, поддерживающий их каркас и гипсокартонный «черный» потолок. Стоимость вариантов перекрытий в виде графиков представлена на рис. 11. Анализ стоимости вариантов показывает, что наилучшими показателями обладает вариант плиты с легкобетонными вкладышами, по сравнению с первым и вторым вариантами дешевле на 29,6 % и 13 %, соответственно.

При проектировании перекрытий гражданских зданий важным вопросом является огнестойкость несущих конструкций.

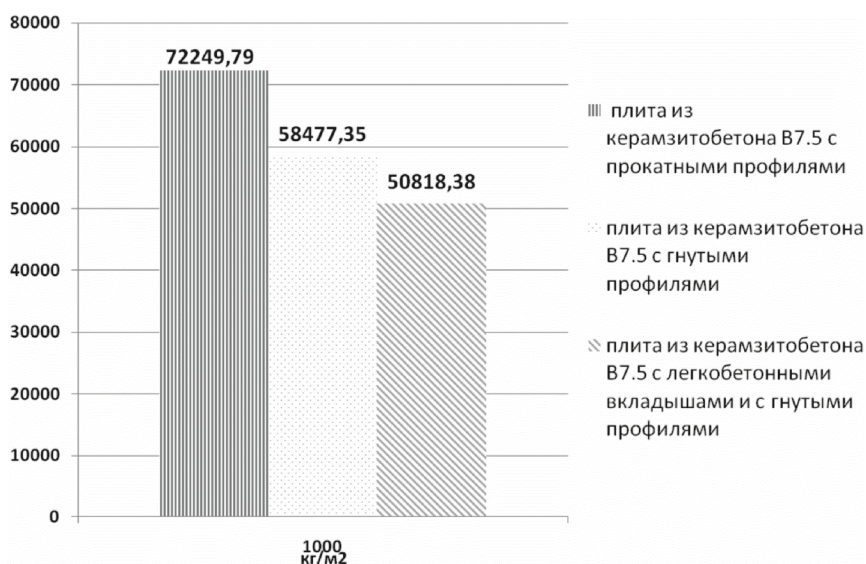


Рис. 11. Стоимость различных сталежелезобетонных плит при проектной нагрузке

Из проведенных исследований на жаростойкость (рис. 12) сталежелезобетонного перекрытия с С-образными профилями, можно сделать вывод, что рациональнее всего будет использование междуэтажных перекрытий на основе таких профилей в малоэтажных зданиях, где оно будет удовлетворять всем нормативным требованиям. Возможно их использование в более высоких зданиях, но при этом придется повышать класс конструктивной пожарной опасности здания. Огнестойкость такого вида перекрытия ниже, чем у сталебетонного перекрытия с применением профилированных настилов, у которого жаростойкость достигает 90 мин. Также оно обладает меньшей стойкостью к огню, чем безбалочное железобетонное перекрытие, которое соответствует классификации REI 150. Согласно «Технического регламента о требованиях жаростойкости», междуэтажное перекрытие с С-образным профилем отвечает II-III степени жаростойкости REI 45. В соответствии с СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения», здания с III степенью жаростойкости могут иметь до 5 этажей площадью не более 2000 м². Согласно СП 55.13330.2011 «Дома жилые одноквартирные» допускается использование перекрытия жаростойкостью REI 45 для жилых одноквартирных домов высотой до 3 этажей при площади одного этажа до 150 м².

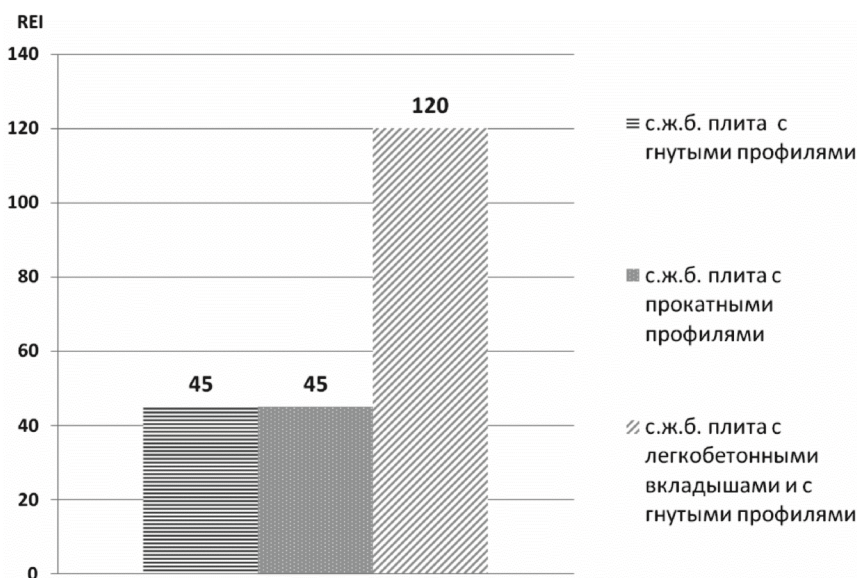


Рис. 12. Огнестойкость вариантов плит перекрытий

По результатам численных исследований вариантов конструктивных решений сталежелезобетонных перекрытий можно сделать следующие основные выводы:

1. Численные исследования сталежелезобетонных перекрытий наглядно показывают последовательность развития напряжений и прогибов в железобетонной плите и в стальных ребрах-балках:

- деформации (напряжения) в плите развиваются от более напряженной зоны к менее напряженной, от середины балки к ее концам;

- в анкерных стержнях напряжения увеличивается по мере отдаления от середины балки, а по высоте анкера – по мере приближения к контактной поверхности слоев, на поверхности верхнего пояса стального профиля отчетливо видны зоны напряжений по которым можно судить о величине зон смятия бетона.

2. Сметными расчетами установлены: сталежелезобетонная плита со вкладышами по сравнению с первым и вторым вариантами решений может иметь меньшие стоимостные показатели на 29,6 %, 13 %, соответственно.

3. Численные исследования вариантов конструкций сталежелезобетонного перекрытий по огнестойкости показали, что степень огнестойкости у первого и второго вариантов конструкций находится в пределах REI45 и может быть рекомендовано для малоэтажных зданий (3-5 эт.) без разработки дополнительных мер безопасности, а у сталежелезобетонного перекрытия со вкладышами степень огнестойкости приближается к ребристым железобетонным перекрытиям и может быть рекомендовано для многоэтажных гражданских зданий (>5 эт.)

Список библиографических ссылок

1. Пекин Д.А. Плитная сталежелезобетонная конструкция. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 440 с.
2. Пекин Д.А., Мочалов А.Л. Патент на полезную модель РФ № 73891. Плитная железобетонная конструкция; заяв. № 2006133624 от 20.09.2006; зарегистрирована 10.06.2008.
3. Пат. № 136061 Российская Федерация. Плитная сталежелезобетонная конструкция / Замалиев Ф.С., Замалиев Э.Ф., Шаймарданов Р.И.; заявитель и патентообладатель Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Замалиев Фарит Сахапович. № 2013132778/03; заяв 15.07.2013; опубл. 27.12.2013, бюл. № 36. – 2 с.
4. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профнастилу. Расчет и проектирование. СТО 0047-2005. / ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова». – М., 2005. – С. 43.
5. Пат. № 133549 Российская Федерация. Сборно-монолитное перекрытие / Замалиев Ф.С., Шаймарданов Р.И., Замалиев Э.Ф.; заявитель и патентообладатель Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Замалиев Фарит Сахапович. № 2913119949/03; заяв. 29.04.2013; опубл. 20.10.2013, бюл. № 29. – 2 с.
6. Замалиев Ф.С., Шаймарданов Р.И. Сталежелезобетонные перекрытия с легкобетонными вкладышами // Информационный листок № 71-016-02. – Казань : Изд-во ТатЦНТИ, 2002. – 4 с.
7. Замалиев, Ф.С., Биккинин Э.Г. К расчету сталежелезобетонных плит, подкрепленных ребрами // Известия КГАСУ, 2014, № 3 (29). – С. 27-31.
8. Замалиев Ф.С., Гурьянов И.А., Шаймарданов Р.И., Хайрутдинов Ш.Н. Численные и натурные эксперименты в исследованиях сталежелезобетонных конструкций // Известия КГАСУ, 2012, № 1 (19). – С. 46-52.
9. Замалиев Ф.С., Каюмов Р.А. К расчету сталежелезобетонного перекрытия как ортотропной плиты // Известия КГАСУ, 2014, № 1 (27). – С. 94-99.

Zamaliiev F.S. – candidate of technical science, associate professor

E-mail: zamaliiev49@mail.ru

Zakirov M.A. – student

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

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

Some results of numerical studies of steel-concrete composite slabs

Resume

The article describes the designs of steel-concrete composite slabs used in new and renovated buildings civilians. Three variants of steel-concrete composite structures overlap: a plate with ribs of rolled I-beam, plate with edges of cold-formed sections and plate with light concrete liners. Given the increased use of structural lightweight concrete and the availability of raw materials base and construction enterprises in the Republic of Tatarstan for its production, as the material of slab adopted claydite class B7.5.

For numerical studies used software package Ansys. The calculations for all three kinds of slabs made on various loading: 0 to 2250 kg/m². Voltage obtained in the slab and steel ribs, beams and deflections. Built comparative graphs stresses and deflections for three kinds of overlap. The results are given qualitative and quantitative evaluation of the variants.

To compare the cost of construction of composite steel and concrete slabs of options drawn up estimates for all of these types of structures. On the basis of the cost of materials, installation and associated works composed the estimated cost of construction fragment overlaps for all variants. Comparative analysis showed that overlap with light concrete liners in comparison to first and second embodiments, less at 29,6 % and 13 %, respectively.

To evaluate the fire resistance of the options under consideration overlaps the numerical study and found that the first two types of floors have the same performance level of fire resistance and fire resistance is the best indicator of a steel-concrete composite slab with light concrete liners.

Keywords: steel-reinforced concrete floors, numerical experiments, bearing capacity, deformation, stress, cost, fire.

Reference list

1. Pekin D.A. Slab steel-concrete composite structures. – M.: Publishing ACB, 2010. – 440 p.
2. Pekin D.A., Motchalov A.L. A utility model patent of the Russian Federation № 73891. Slab reinforced concrete structure; appl. № 2006133624 from 20.09.2006; 10.06.2008 registered.
3. Pat. № 136061 Russian Federation. Slab steel-concrete composite structures / Zamaliev F.S., Zamaliev E.F., Shaimardanov R.I.; applicant and patentee Kazan State Architectural University, Zamaliev Farid Sahapovich. № 2013132778/03; Claim 15/07/2013; publ. 12.27.2013, Bull. № 36. – 2 p.
4. Covering the composite monolithic slab of steel professional flooring. The calculation and design. SRT 0047-2005. / JSC «TsNIIPSK them. Melnikov». – M., 2005. – P. 43.
5. Pat. № 133549 Russian Federation. Precast-monolithic slab / Zamaliev F.S., Shaimardanov R.I., Zamaliev E.F.; Applicant and patentee Kazan State Architectural University, Zamaliev Farid Sahapovich. № 2913119949/03; appl. 04/29/2013; publ. 20.10.2013, Bull. № 29. – 2 p.
6. Zamaliev F.S., Shaimardanov R.I. The composite light concrete floors with inlays // Factsheet № 71-016-02. – Kazan: Publishing house TatTsNTI, 2002. – 4 p.
7. Zamaliev F.S., Bikinin E.G. Calculation of steel-reinforced concrete slabs reinforced with ribs // Izvestiya KGASU, 2014, № 3 (29). – P. 27-31.
8. Zamaliev F.S., Guryanov I.A., Shaimardanov R.I., Khairutdinov Sh.N. Numerical experiments and field trials in steel-concrete composite structures // Izvestiya KGASU, 2012, № 1 (19). – P. 46-52.
9. Zamaliev F.S., Kayumov R.A. The calculation of the composite slab as an orthotropic plate // Izvestiya KGASU, 2014, № 1 (27). – P. 94-99.