

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ-ОБОЛОЧКИ

А.В. Селиванов*, Ф.Ф. Регер
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия
*ant.seliwanov@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены результаты экспериментальных исследований железобетонной плиты-оболочки при действии вертикальной равномерно распределенной нагрузки и сопоставления их с результатами оценки напряженно-деформированного состояния, выполненной в программном комплексе «Ли́ра».

Материалы и методы. Испытывалась железобетонная модель, представляющая собой физически подобную копию натурной конструкции, с соблюдением единого масштабного коэффициента $m = 1:5$ как в отношении генеральных размеров, так и отдельных деталей. При испытании нагрузка прикладывалась ступенями, составляющими 10–15% от теоретической несущей способности плиты.

Результаты. На основе результатов испытания модели были рассчитаны экспериментальные поперечные напряжения $\sigma_{x,3,эксп}$, возникающие в натурной конструкции, в центральной области 3. Было произведено их сопоставление с поперечными теоретическими напряжениями $\sigma_{x,3,теор}$, определенными в этой области при оценке напряженно-деформированного состояния, выполненной в программном комплексе «Ли́ра». Эпюры указанных выше напряжений хорошо совпали по очертаниям и значениям.

Обсуждение и заключение. В области, расположенной в районе центра полки плиты-оболочки, экспериментальные $\sigma_{x,3,эксп}$ и теоретические $\sigma_{x,3,теор}$ напряжения были сжимающими. Своих максимальных значений напряжения $\sigma_{x,3,эксп}$ достигали в точке с относительной координатой $x/b = 0,5$, а напряжения $\sigma_{x,3,теор}$ – при $x/b \approx 0,45$.

Нулевых значений напряжения $\sigma_{x,3,эксп}$ достигали в четвертях полки по ширине, теоретические напряжения – в точках с отношением $x/b \approx 0,3$.

Экспериментальные и теоретические растягивающие напряжения $\sigma_{x,3}$ своих максимальных значений достигали в точках полки с отношением $x/b \approx 0,15$. Их значения были близки друг к другу и не превышали нормативного сопротивления бетона растяжению $R_{bt,ser}$.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в получении экспериментального доказательства возможности отказа от горизонтального поперечного армирования полки, что позволит снизить трудоемкость и себестоимость производства исследуемых конструкций.

Перспектива развития рассмотренных в статье вопросов видится в решении таких задач, как: исследование работы плиты-оболочки в стадии предельного равновесия; исследование ее трещиностойкости и жесткости на всех стадиях ее работы; исследование работы плиты-оболочки с учетом закрепления в поперечном направлении ее продольных контурных ребер по всей их длине.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экспериментальное исследование, железобетонная плита-оболочка перекрытия, испытание.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность рецензентам за внимание, уделенное на рецензирование статьи, и высказанные замечания.

© А.В. Селиванов, Ф.Ф. Регер



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE REINFORCED CONCRETE SHELL-SLAB

A.V. Selivano*, F.F. Reger

Siberian State Automobile and Highway University
Omsk, Russia

*ant.seliwanov@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The paper demonstrates the results of experimental research of the reinforced concrete shell-slab under the action of vertical uniformly distributed load. The authors also present the comparison of such research results with the results of stress-strain state evaluation performed in the "Lira" software package.

Materials and methods. The authors tested the reinforced concrete model representing physically similar copy with the 1:5 scale coefficients by general size, and by separate details. The load was applied in 10–15% doze of the theoretical bearing capacity of the plate.

Results. The authors calculated the experimental transverse stress $\sigma_{x,3,exp}$, which was in full-scale construction and in the 3 central sphere. The authors also made the comparison of such transverse stress with theoretical transverse stresses $\sigma_{x,3,theor}$ and the comparison was performed in the "Lira" program complex. The diagrams of the above stresses were well matched by outlines and values.

Discussion and conclusions. As a result, the experimental ($\sigma_{x,3,exp}$) and theoretical ($\sigma_{x,3,theor}$) stresses are compressive near the shell-slab center. Its maximum stress values ($\sigma_{x,3,exp}$) reach $x/b=0,5$ at a point with a relative coordinate, and the stress ($\sigma_{x,3,theor}$) – $x/b \approx 0,45$.

The zero voltage values $\sigma_{x,3,exp}$ reach a quarter of the shelf width, theoretical stress – with $x/b \approx 0,3$ mm ratio.

Maximum values of experimental and theoretical tensile stresses $\sigma_{x,3}$ reach $x/b \approx 0,15$ ratio. Therefore, the values are close to each other, and do not exceed the standard concrete tensile resistance $R_{bt,ser}$. The practical significance of the study is to obtain experimental evidence of the abandoning possibility of the horizontal transverse reinforcement of the shelf, which would reduce the complexity and cost of the investigated structures production.

The prospects conclude in:

research of the shell-slab operation at the stage of ultimate equilibrium;

research of the shell-slab crack resistance and stiffness at all stages of its operation;

research of the shell-slab operation taking into account the fixation in the transverse direction of its longitudinal contour edges along entire length.

KEYWORDS: experimental study; reinforced concrete shell-slab; test.

ACKNOWLEDGMENTS. The authors express their gratitude to the reviewers for attention and comments while paper reviewing.

© A.V. Selivano, F.F. Reger



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Со времен начала массового использования железобетона в строительстве железобетонные изогнутые оболочки являлись перспективным направлением. За счет пространственной работы в оболочках практически отсутствуют изгибающие моменты и поперечные силы, что позволяет увеличить несущую способность и уменьшить расход арматуры. Использовать пространственный эффект многие ученые пытались и при работе сборных железобетонных плит перекрытия и покрытия^{1, 2, 3, 4, 5, 6} [1, 2, 3, 4]. Данный вид конструкций называли плита-оболочка.

Плита-оболочка – это конструкция, имеющая прямоугольный в плане контур, одну из поверхностей криволинейную (в одном или двух направлениях), другую – плоскую⁷.

Во второй половине XX века в нашей стране было разработано достаточно много различных конструктивных решений сборных железобетонных плит-оболочек. Некоторые из них представлены на рисунке 1.

Каждый из предложенных вариантов конструкции плиты-оболочки имеет свои достоинства и недостатки, но очевидных преимуществ, позволивших бы ему конкурировать с пустотными или ребристыми плитами, ни один из них не имеет.

Большинство из предложенных вариантов имели один серьезный недостаток – сложность и трудоемкость изготовления. Есть предположение, что многие авторы при разработке своей конструкции плиты в последнюю очередь задумывались над технологией ее изготовления или вообще этим вопросом не

занимались, считая, что это прерогатива технологов. На практике все новые конструктивные решения реализовывались примитивно, по агрегатно-поточной технологии с увеличением объема ручного труда, что в конечном итоге сказывалось на стоимости изготовления изделий. В результате ни один из вариантов вспарушенных или цилиндрических плит не нашел массового применения в практике строительства.

Поскольку при расчете цилиндрической оболочки установлено, что в поперечном направлении почти отсутствуют изгибающие моменты и поперечные силы (3–7% от величины нагрузки), мы пришли к выводу, что данную форму плиты можно реализовать с применением технологии стендового безопалубочного формования. В настоящее время она признана одной из самых современных, позволяющих уменьшить численность обслуживающего персонала в 2–2,5 раза, энергоемкость – на 50–70%, повысить производительность производства⁸ [5]. При этом данная технология изготовления имеет ряд особенностей: не допускает установку поперечной арматуры (горизонтальной и вертикальной), в то время как форма сечения конструкции может быть практически любой.

¹ Власов В.З. Избранные труды. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. Т. I. 528 с.

² Пособие по проектированию армированных конструкций (к СНиП 2.03.03-85). М. : Стройиздат. 1989. 71 с.

³ Боровских А.В. Расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям и предельному равновесию. М. : Изд-во АСВ. 2002. 320 с.

⁴ Боровских А.В., Шугаев В.В. Силовое сопротивление перекрытий зданий из плит-оболочек // Тезисы докладов научной сессии МОО и научного совета РААСН. «Пространственные конструкции зданий и сооружений». М., 2005. С.15–16.

⁵ Хайдуков Г.К. Расчет по предельным состояниям ступенчато-вспарушенных шатровых панелей : науч. сообщ., вып. 7. АСИА СССР. М. : Госстройиздат, 1960. 110 с.

⁶ Селиванов А.В., Ререр Ф.Ф. Оптимизация конструкции железобетонной плиты-оболочки с учетом современных тенденций в строительстве [Электронный ресурс] / А.В. Селиванов, Ф.Ф. Ререр // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы : материалы Международной научно-практической конф. 7–9 декабря 2016 г. / СибАДИ. Омск, 2016. С. 209–216. Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/ed2224.pdf>.

⁷ Там же.

⁸ Малышев А.А. Современные линии безопалубочного формования // Каталог-справочник. Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2009. вып. 1. С. 20–23.

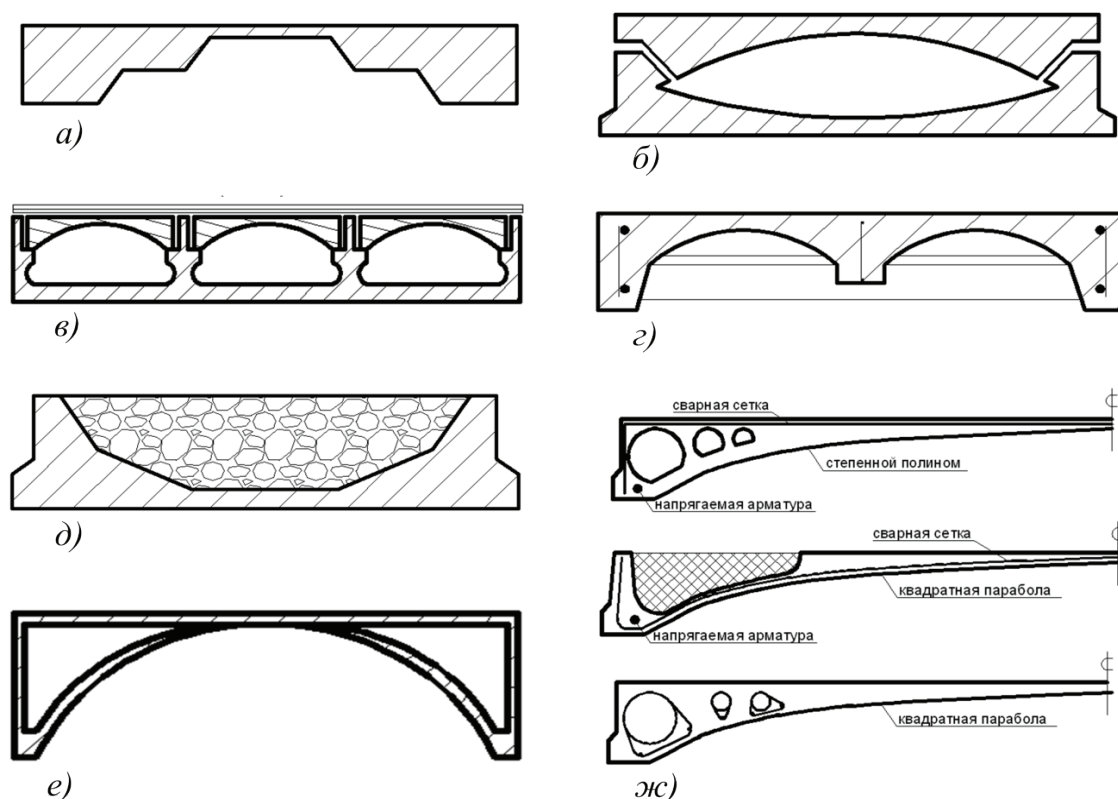


Рисунок 1 – Конструктивные решения вспарушенных и цилиндрических плит-оболочек:
а – ступенчато-вспарушенная [11]; б – сдвоенная⁹;
в – многопролетная¹⁰; г – кесонная¹¹;
д – с многогранной верхней поверхностью¹²;
е – полая¹³; ж – облепечённая [12]

Figure 1 – Constructive solutions of exploded and cylindrical shell-slabs: а – stepwise pore [11]; б – double⁹; в – multi-span¹⁰; д – quench¹¹; е – with a multi-faceted top surface¹²; ж – hollow¹³; г – lightweight [12]

⁹ А.с. 739200 СССР, МКИЗ Е 04 В 5/48. Перекрытие / С.В. Карапетян ; Ереванский политехнический институт им. К. Маркса (СССР). № 2650709/29-33 ; заявл. 08.06.78 ; опубл. 05.06.80, Бюл. N21.

¹⁰ А.с. 1240845 СССР, МКИЗ Е 04 В 5/02. Перекрытие / Б.Н. Бастатский ; Грузинский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт энергетики и гидротехнических сооружений. № 3778380/29-33 ; заявл. 03.08.84 ; опубл. 30.06.86, Бюл. № 24.

¹¹ А.с. 1300118 СССР, МКИЗ Е 04 В 7/00, Е 04 С 2/00. Железобетонная панель покрытия / О.Д. Дашкевич, В.И. Скрибо ; Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова. № 3745438/29-33 ; заявл. 28.05.84 ; опубл. 30.03.87, Бюл. N12.

¹² Пат. 2013505 РФ : МПК Е 04 В 5/18, Е 04 В 1/82 : Перекрытие / Б.Н. Бастатский, В.А. Федоров, Г.М. Кобахидзе ; Фирма «Гравитас». № 5012401/33 ; заявл. 25.11.1991 ; опубл. 30.05.1994, Бюл. № 5.

¹³ Пат. 2082858 РФ : МПК Е 04 В 5/02 : Железобетонная плита покрытия / В.И. Травуш, Н.И. Карпенко ; В.И.Травуш. № 94004278 ; заявл. 10.02.1994 ; опубл. 27.06.1997, Бюл. № 7.

Нами была предложена железобетонная плита-оболочка^{14, 15}, изготовление которой возможно по технологии безопалубочного формования, включающая верхнюю горизонтальную полку и нижнюю изогнутую, продольные боковые и промежуточные ребра и продольные пустоты, размещенные между ребрами (рисунок 2).

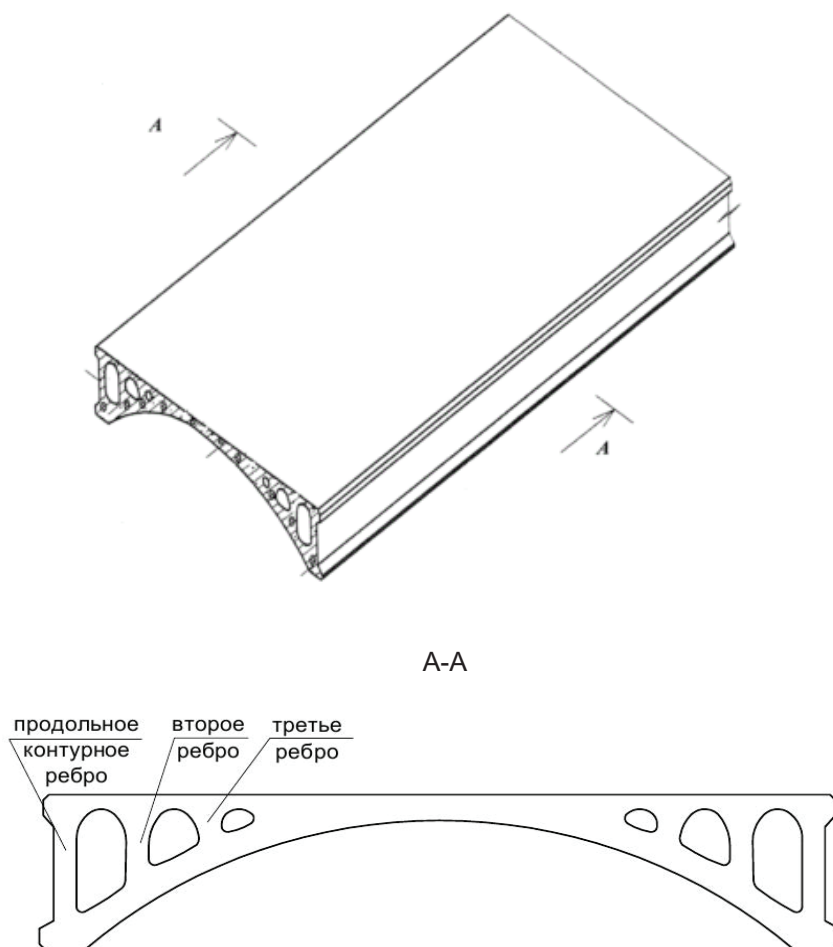


Рисунок 2 – Конструктивное решение и поперечное сечение железобетонной плиты-оболочки

Figure 2 – Structural design and cross-section of reinforced concrete shell-slab

Плита армирована продольными предварительно-напряженными элементами, нижняя полка выполнена вогнутой в сторону верхней полки. Размеры сечений продольных пустот уменьшаются от боковых ребер к центру плиты. Сечения продольных пустот, расположенных рядом с боковыми продольными ребрами, выполнены эллипсоидальными, сечения других продольных пустот выполнены в форме дуг окружностей (см. рисунок 2).

Нижняя поверхность испытываемой модели плиты-оболочки была разделена на пять условных областей (рисунок 3).

¹⁴ Полез. модель 166449 РФ : МПК Е 04 В 5/43 : Железобетонная плита-оболочка / А.В. Селиванов, Ф.Ф. Ретер ; СибАДИ. № 2016131534/03 ; заявл. 01.08.2016 ; опубл. 27.11.2016, Бюл. № 33.

¹⁵ Боровских А.В. Экспериментальные исследования железобетонных плит-оболочек на крупномасштабных моделях // Тезисы докладов научной сессии МОО и научного совета РААСН. «Пространственные конструкции зданий и сооружений». М., 2007. С. 14–15.

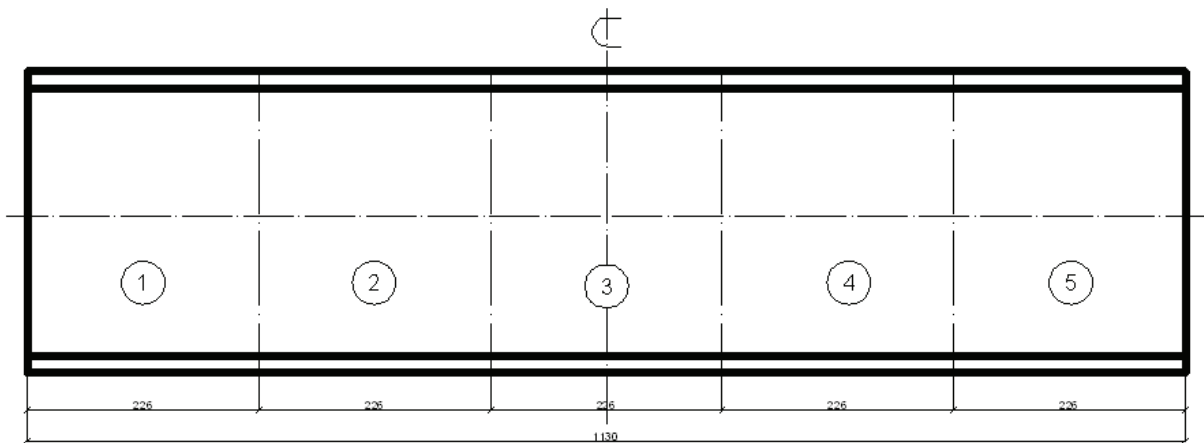


Рисунок 3 – Разделение нижней поверхности полки плиты-оболочки на области

Figure 3 – Separation of the lower shell-slab surface

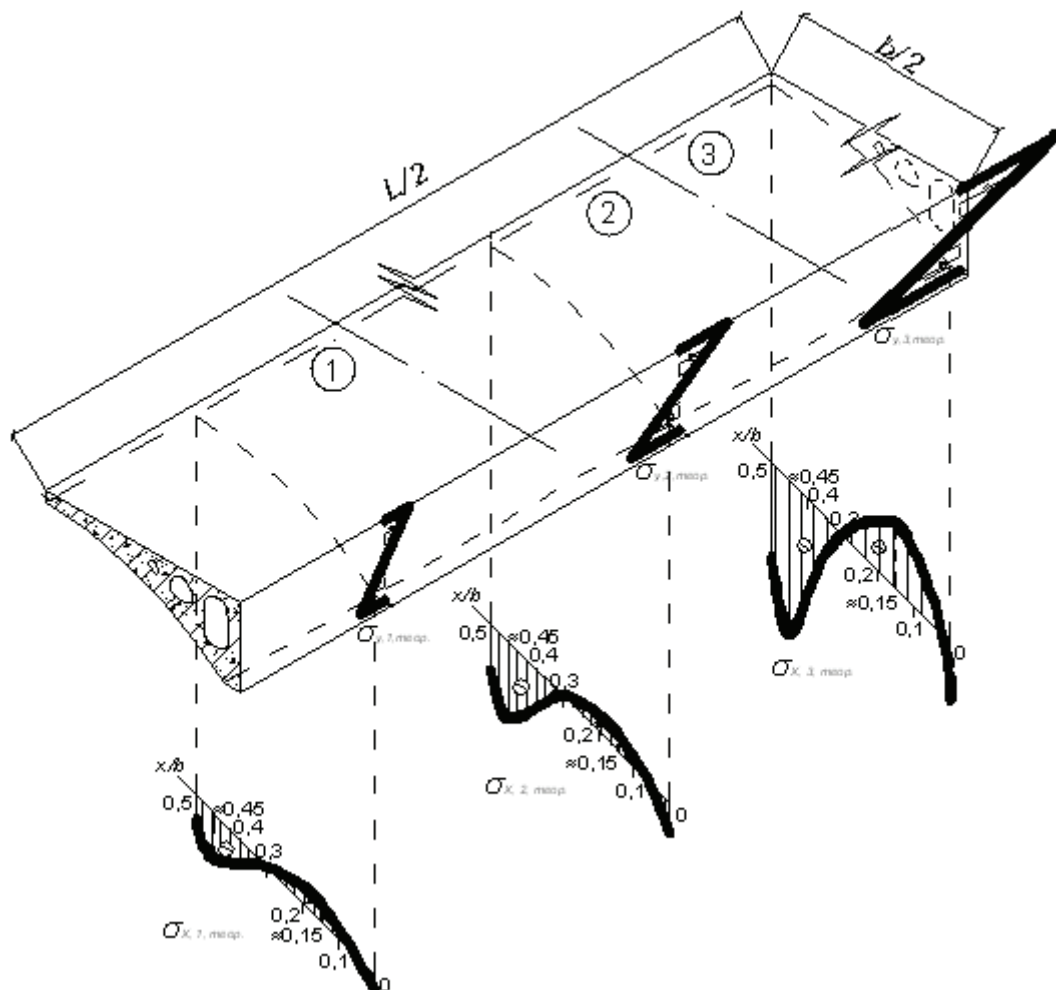


Рисунок 4 – Изменение теоретических напряжений σ_x в областях 1–3 по длине плиты-оболочки

Figure 4 – Changes in the σ_x theoretical stress in 1–3 areas by shell-slab length

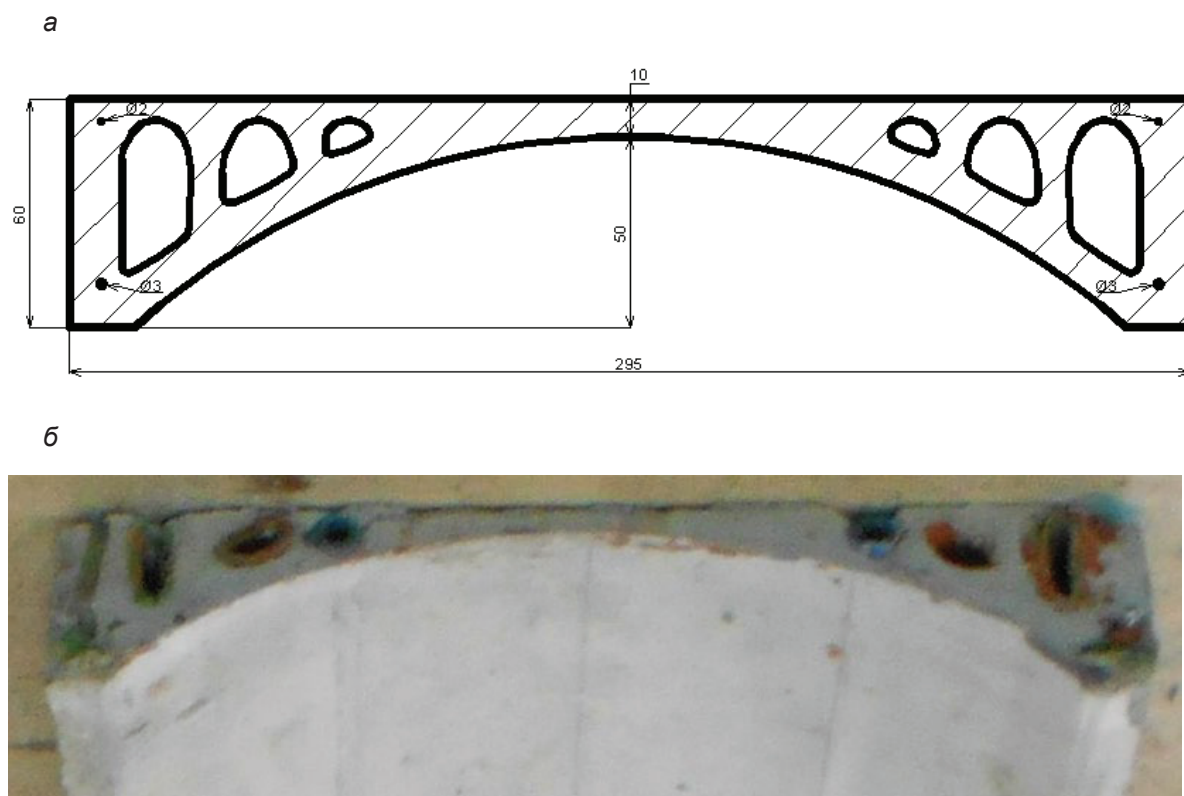


Рисунок 5 – Вид железобетонной модели:
а – чертеж поперечного сечения модели;
б – фото торца

Figure 5 – Reinforced concrete model view:
a – cross section drawing of the model;
b – model and photo

При оценке ее напряженно-деформированного состояния, выполненного в программном комплексе «Ли́ра»¹⁶, было установлено, что в областях 1 и 5, расположенных вблизи опор, в продольных контурных и промежуточных ребрах возникают преимущественно касательные напряжения τ_{yz} . Нормальные напряжения σ_x и σ_y в полке в этих областях близки к нулю (рисунок 4). В областях 2 и 4 в полке плиты-оболочки преобладают главные нормальные напряжения, действующие в горизонтальной плоскости, возникающие от совместного действия нормальных поперечных σ_x и продольных σ_y напряжений. Напряжения σ_x и σ_y принимают промежуточные значения между нулевыми и максимальными (см. рисунок 4). Касательные напряжения τ_{yz} в этих областях меньше, чем в областях 1 и 5. В области 3, расположенной в районе центра плиты-оболочки, продольные напряжения σ_y являются растягивающими и достигают своих максимальных

значений. Поперечные напряжения σ_x , как показала оценка напряженно-деформированного состояния, являются как растягивающими, так и сжимающими. Они также достигают своих максимальных значений, но не превышают нормативных сопротивлений бетона при сжатии и растяжении (см. рисунок 4).

Целью выполненного нами исследования являлось определение экспериментальных нормальных напряжений σ_x , возникающих на нижней грани полки плиты-оболочки перекрытия в области 3, и сопоставление их с теоретическими значениями.

В объем исследования входили следующие задачи:

- испытание модели плиты-оболочки;
- расчеты экспериментальных нормальных напряжений, возникающих в поперечном направлении на нижней грани полки модели плиты-оболочки;
- расчеты экспериментальных нормаль-

¹⁶ Там же.



Рисунок 6 – Испытательная установка

Figure 6 – Test set

ных напряжений, возникающих в поперечном направлении на нижней грани натурной конструкции;

– сопоставление экспериментальных и теоретических значений нормальных напряжений, возникающих в поперечном направлении на нижней грани натурной конструкции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытаниям натуральных железобетонных плоских и пространственных перекрытий и покрытий и их моделей посвящены работы¹⁷ [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Мы в своих исследованиях испытывали железобетонную модель плиты-оболочки перекрытия с размерами в плане 295 x 1130 мм (рисунок 5), представляющую собой физически подобную копию натурной конструкции, с соблюдением единого масштабного коэффициента $m=1:5$ как в отношении генеральных размеров, так и отдельных деталей.

Ее продольная рабочая арматура состояла из двух канатов диаметром 3 мм, расположенных в нижней части продольных контурных ребер модели, и двух гладких проволок диаметром 2 мм, расположенных в верхней части этих ребер, над канатами (рисунок 5, а).

Рекомендуется производить лабораторные исследования железобетонных пространственных конструкций на моделях, изготовленных из армированного мелкозернистого бетона¹⁸. Такие модели, разработанные и изготовленные как подобные прототипу малоразмерных конструкции, обладают прочностными, упруго-пластическими и конструктивными свойствами, близкими к натурным железобетонным конструкциям. Это позволяет оценить не только работу конструкции в упругой стадии, но и поведение ее после образования трещин вплоть до разрушения.

Модель изготавливалась из пескобетона, в котором крупность песка не превышала 3 мм.

Она нагружалась при помощи испытательной установки, позволяющей получить изгибающий момент, возникающий в середине пролета ее продольного контурного ребра, максимально приближенного к изгибающему моменту, возникающему в нем при действии равномерно распределенной нагрузки.

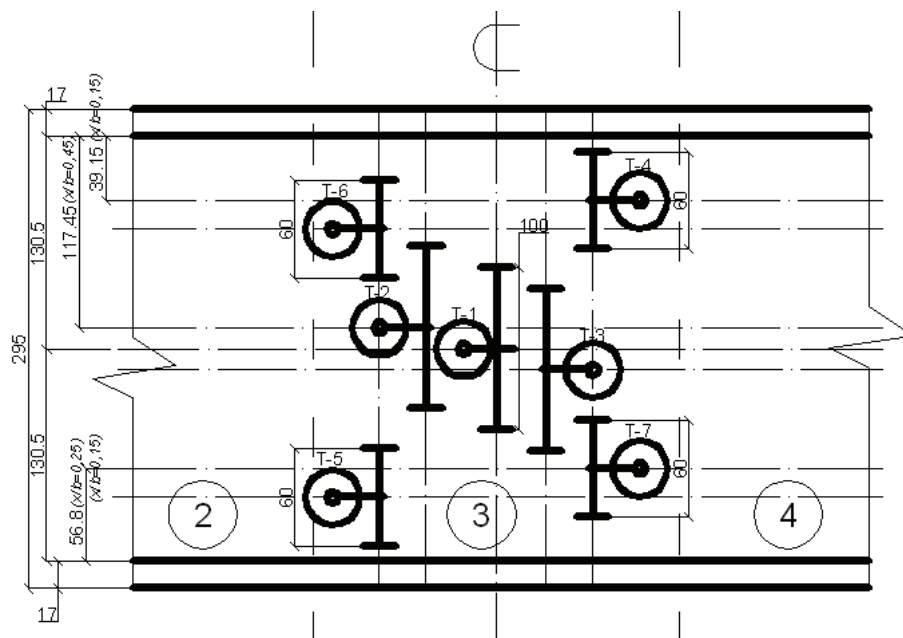
Испытательная установка показана на рисунке 6.

После проведения испытания модели плиты-оболочки рассчитывались экспериментальные нормальные напряжения σ_x , возник-

¹⁷ Там же.

¹⁸ Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. М. : НИИЖБ, 1979. 421 с.

a



b



Рисунок 7 – Крепление рычажных тензометров к нижней поверхности полки модели плиты-оболочки: а – схема; б – фото

Figure 7 – Diagram of the lever strain gauges on the shelf bottom of the shell-slab model: a – drawing; b – photo

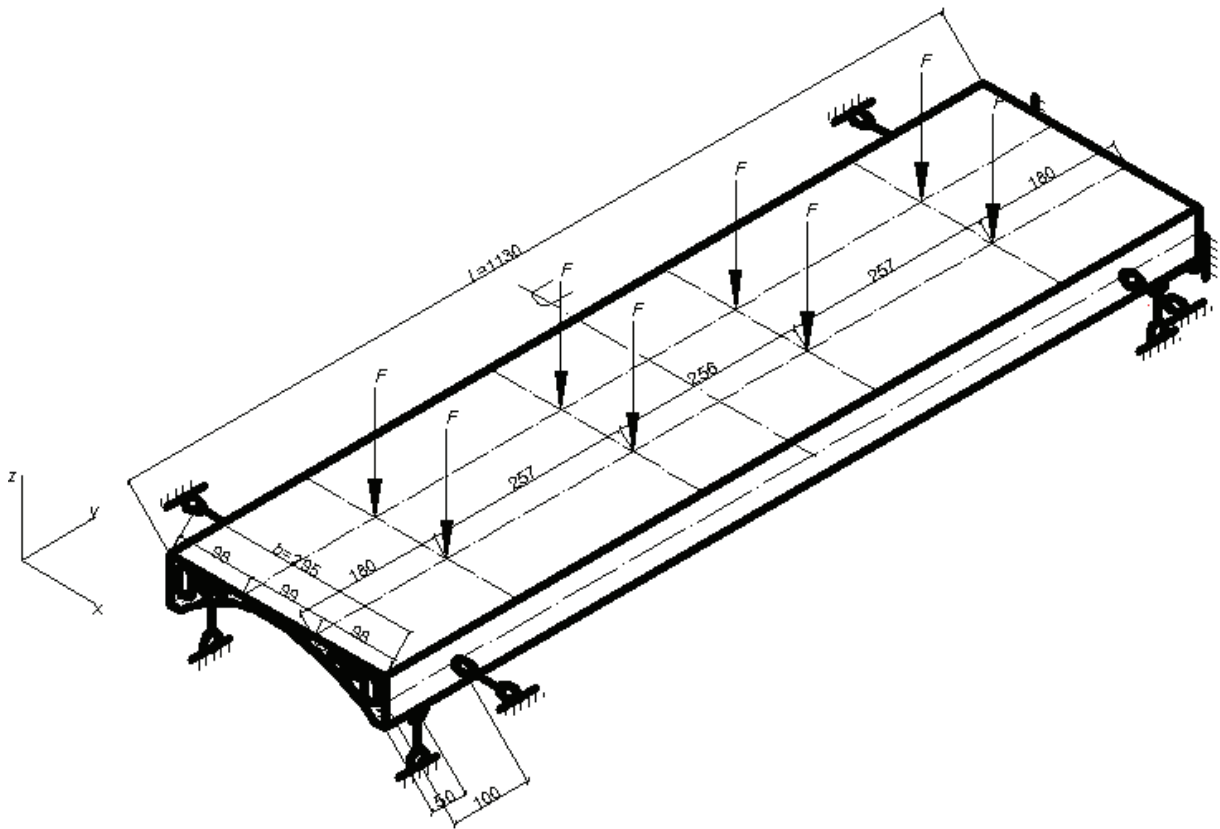


Рисунок 8 – Испытательная схема модели

Figure 8 – Model test circuit

кающие в области 3. Для этого определялись поперечные относительные деформации ε_x в точках, соответствующих центрам баз измерения деформаций тензметров Т-1 – Т-7 (рисунок 7, а). Относительные деформации ε_x рассчитывались на основе отсчетов по рычажным тензотрам системы Гугенбергера с базой 100 и 60 мм (рисунок 7, а, б).

Испытание модели железобетонной плиты-оболочки перекрытия проводилось постепенным нагружением ступенями, составляю-

щими по 10–15% от ее теоретической несущей способности. Испытательная схема показана на рисунке 8. На каждой ступени нагружения снимались отсчеты по тензотрам Т-1 – Т-7 (см. рисунок 7).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сопоставление экспериментальной $\sigma_{x,3,эксп}$ и теоретической $\sigma_{x,3,теор}$ эпюр напряжений, возникающих в области 3 (см. рисунок 3), приведено на рисунке 9.

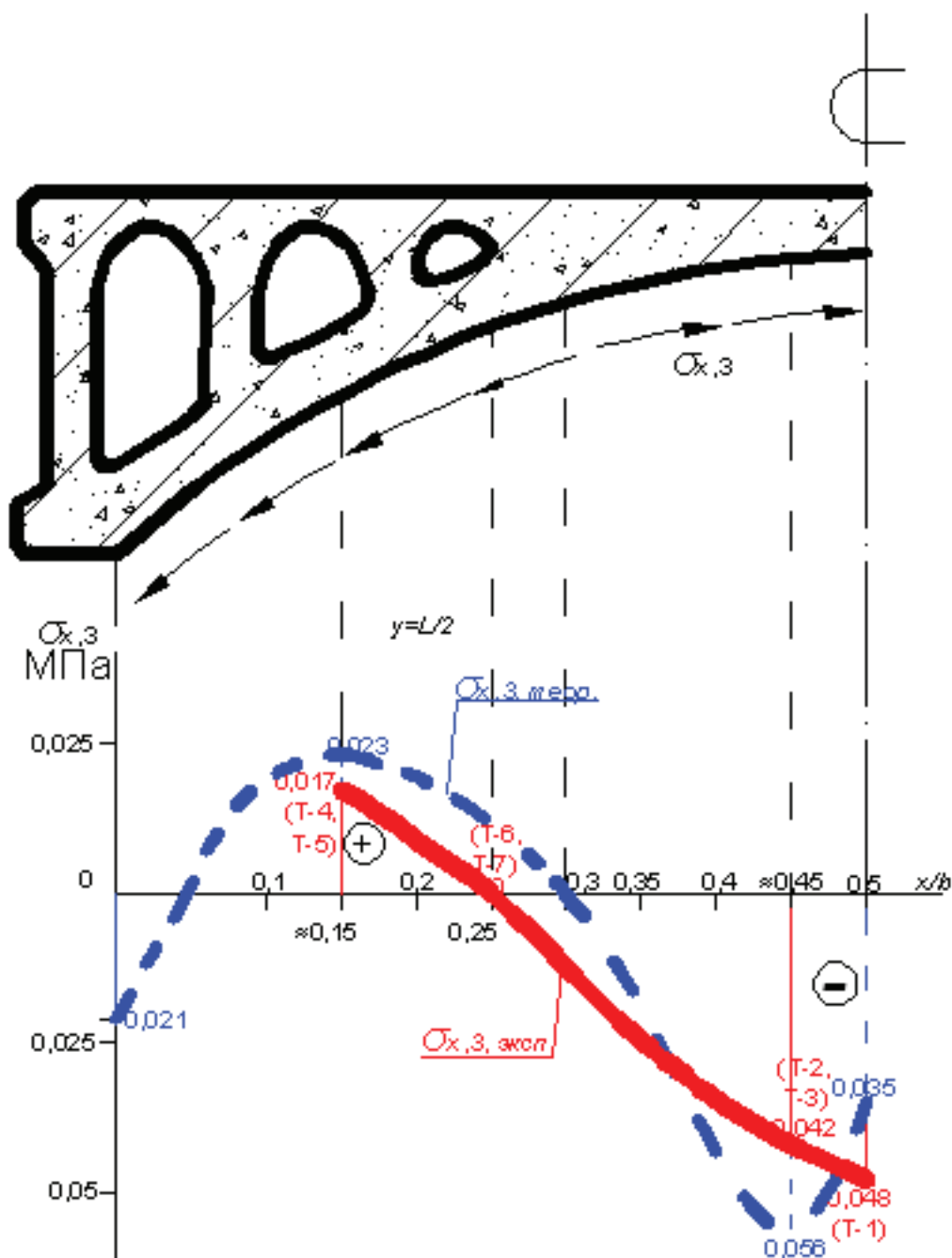


Рисунок 9 – Сопоставление экспериментальной и теоретической эпюр напряжений $\sigma_{x,3}$, возникающих в натурной конструкции:
 $\sigma_{x,3, \text{эксп}}$ – эпюра экспериментальных напряжений;
 $\sigma_{x,3, \text{теор}}$ – эпюра теоретических напряжений¹

Figure 9 – Comparison of the experimental and theoretical stress diagrams $\sigma_{x,3}$, arising in full-scale construction:
 $\sigma_{x,3, \text{exp}}$ – diagram of experimental stresses;
 $\sigma_{x,3, \text{theor}}$ – diagram of theoretical stresses

¹ Там же

Максимальные сжимающие деформации установлены на тензомере Т-1, размещенном в центре полки. Нормальные напряжения в поперечном направлении (при нагрузке, контрольной по прочности) составили 0,048 МПа. При смещениях в одну или другую сторону фактические значения деформаций и соответствующие им сжимающие напряжения уменьшались вплоть до значений другого знака. Максимальные растягивающие деформации и соответствующие им напряжения были зафиксированы на тензомерах Т-4 и Т-5, расположенных на расстоянии $x/b \approx 0,15$ от края, среднее напряжение в этой области составило 0,02 МПа.

В целом закономерность, установленная теоретически, экспериментально подтвердилась. При этом фактические значения напряжений были близки к средним напряжениям. Выявлено расхождение между теоретическими и фактическими данными: теоретические максимальные значения сжимающих напряжений установлены на расстоянии $x/b \approx 0,45$ от края, экспериментальные – в центре полки плиты.

Полученное расхождение связано с точностью замеров деформаций. В математической модели напряжения устанавливаются в пределах конечного элемента. В физической модели напряжения устанавливаются по деформациям, определенным по длине базы тензометров, которые в несколько раз больше ширины конечного элемента. Поэтому в случае совпадения теоретических и практических данных напряжения в контрольных точках будут равны средним значениям напряжений во всех конечных элементах, находящихся в пределах базы тензомера, что тождественно факту.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставляя полученные результаты с поставленной целью исследования, можно сделать выводы:

- экспериментальная и теоретическая эпюры напряжений σ_x хорошо согласуются друг с другом по очертанию и значениям в точках, характеризующих напряженно-деформированное состояние исследуемой плиты-оболочки;
- экспериментально подтверждено, что на нижней грани полки плиты-оболочки в центральной области 3 (см. рисунок 3) напряжения σ_x являются сжимающими;

- максимальные растягивающие напряжения, возникающие на нижней грани полки исследуемой плиты-оболочки, не превышают нормативного сопротивления бетона растяжению $R_{bt, ser'}$ а максимальные сжимающие напряжения – нормативного сопротивления бетона сжатию $R_{b, ser'}$

Обобщая сделанные выводы, можно рекомендовать исследуемую плиту-оболочку к производству без установки горизонтальных сеток.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в получении экспериментального доказательства возможности отказа от горизонтального поперечного армирования полки, что позволит снизить трудоемкость и себестоимость производство плит-оболочек перекрытия.

Направления для дальнейших исследований в данной области видятся в решении таких задач, как:

- исследование работы плиты-оболочки в стадии предельного равновесия;
- исследование ее трещиностойкости и жесткости на всех стадиях работы;
- исследование работы плиты-оболочки с учетом сдерживания деформаций распора ее продольных контурных ребер по всей их длине.

Прогноз дальнейшего развития рассмотренных в статье вопросов видится в решении таких задач, как:

- разработка мероприятий по недопущению горизонтальных перемещений продольных контурных ребер;
- разработка рекомендаций по проектированию железобетонных плит-оболочек перекрытий, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования;
- испытания натурных плит-оболочек, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования, с целью проверки разработанных рекомендаций по проектированию;
- отработка технологии изготовления плит-оболочек по технологии безопалубочного формования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровских А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит-оболочек // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». М., 2008. С.82–86.

2. Боровских А.В. К вопросу о проектировании железобетонных перекрытий зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12(83). С. 67–70.

3. John F. Abel. The future of spatial structures // Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures. Brentwood. UK : Multi Science Publishing Co Ltd., 2011. Pp. 485–490.

4. Баранова Т.И., Сильванович Т.Г., Бормотов А.Н., Селиванов М.Ю. Реализация конструкционно-технологических особенностей железобетона при разработке новых типов панелей перекрытий // Известия вузов. Строительство. 1997. № 4. С. 7–9.

5. Копша С.П., Заикин В.А. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 29–33.

6. Баранова Т.И., Сильванович Т.Г., Викторов В.Г., Бормотов А.Н. Пустотная панель покрытий производственных зданий // Известия вузов. Строительство. 1995. № 11. С. 3–6.

7. Людковский А.М., Соколов Б.С. Опыт проектирования и испытаний усиленных узлов опирания монолитных железобетонных перекрытий на колонны // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, вып. 1 (112). С. 33–43.

8. fib Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin : Ernst & Sohn, 2013. 402 p.

9. Коянкин А.А., Топакова О.А. Экспериментальные исследования сборно-монолитного перекрытия с преднапрягаемой арматурой // Вестник МГСУ. 2016. № 3. С. 19–25.

10. Комлев А.А., Макеев С.А., Краснощеков Ю.В. Экспериментальные исследования монолитных и сборно-монолитных перекрытий подземных переходов с нижней сводчатой поверхностью // Вестник СибАДИ. 2017. выпуск 6 (58). С. 84–91.

11. Комлев А.А., Макеев С.А. Экспериментальные исследования работы профилированного настила арочной формы под монтажными нагрузками в перекрытиях нижней сводчатой поверхностью подземных переходов // Вестник СибАДИ. 2017. Вып. 4–5 (56–57). С. 92–101.

12. Замалиев Ф.С., Сагитов Р.А., Хайрутдинов Ш.Н. Испытание фрагмента сталежелезобетонного перекрытия на статические нагрузки // Известия КГАСУ. 2010. № 1. С. 102–105.

13. Фардиев Р.Ф., Ашрапов А.Х., Мустафин А.И. Исследование несущей способности пустотных плит перекрытия при сниженной ве-

личине опирания на ригели // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 172–177.

14. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красинникова Н.М. Прочность и деформативность бетонной конструкции, армированной полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62). С. 32–41.

15. Семченков А.С., Демидов А.Р., Соколов Б.С. Испытание фрагментов Плита – ригель сборно-монолитного перекрытия каркаса «РАДИУСС» // Бетон и железобетон. 2008. № 5. С. 2–4.

16. Карякин А.А., Сонин С.А., Попп П.В., Алилуев М.В. Испытания натурного фрагмента сборно-монолитного каркаса системы «АРКОС» с плоскими перекрытиями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. «Строительство и архитектура». 2009. Вып. 9. С. 16–20.

REFERENCES

1. Borovskih A.V. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnyh plit-obolochek [Study of the stress-strain state of reinforced concrete slabs-shells] // *Obzorno-analiticheskij i nauchno – tekhnicheskij zhurnal Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, Moscow, 2008. pp.82–86 (in Russian).

2. Borovskih A.V. *K voprosu o proektirovanii zhelezobetonnyh perekrytij zdaniy* [To the question of design of reinforced concrete floors of buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*, 2005; 12(83): 67–70 (in Russian).

3. John F. Abel. The future of spatial structures // Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures. Brentwood. UK : Multi Science Publishing Co Ltd., 2011. pp. 485–490.

4. Baranova T.I., Sil'vanovich T.G., Bormotov A.N., Selivanov M.YU. Realizaciya konstrukcionno-tekhnologicheskix osobennostej zhelezobetona pri razrabotke novyx tipov panelej perekrytij [Implementation of structural and technological features of reinforced concrete in the development of new types of floor panels]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 1997; 4: 7–9 (in Russian).

5. Kopsha S.P., Zaikin V.A. Tekhnologiya bezopalubochного formovaniya – klyuch k modernizacii promyshlennosti i snizheniyu sebestoimosti zhil'ya [Technology of formwork-

free molding is the key to the modernization of the industry and reduce the cost of housing]. *Tekhnologii betonov*, 2013; 11: 29–33 (in Russian).

6. Baranova T.I., Sil'vanovich T.G., Viktorov V.G., Bormotov A.N. Pustotnaya panel' pokrytij proizvodstvennyh zdaniy [Hollow panel coatings of industrial buildings]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 1995; 11: 3–6 (in Russian).

7. Lyudkovskij A.M., Sokolov B.S. Opyt proektirovaniya i ispytaniy usilennyh uzlov opiraniya monolitnyh zhelezobetonnyh perekrytij na kolonny [Experience in design and testing of reinforced support units of monolithic reinforced concrete slabs in columns]. *Vestnik MGSU*, 2018; Vol. 13; 1 (112): 33–43 (in Russian).

8. Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin: Ernst & Sohn, 2013. 402 p.

9. Koyankin A.A., Topakova O.A. Eksperimental'nye issledovaniya sborno-monolitnogo perekrytiya s prednapryagaemoj armaturoj [Experimental studies of precast-monolithic slab with prestressed reinforcement]. *Vestnik MGSU*, 2016; 3: 19–25 (in Russian).

10. Komlev A.A., Makeev S.A., Krasnoshchekov YU.V. Eksperimental'nye issledovaniya monolitnyh i sborno-monolitnyh perekrytij podzemnyh perekhodov s nizhnej svodchatoj poverhnost'yu [Experimental studies of monolithic and precast-monolithic overlappings of underground passages with lower vaulted surface]. *Vestnik SibADI*, 2017; 6 (58): 84–91 (in Russian).

11. Komlev A.A., Makeev S.A. Eksperimental'nye issledovaniya raboty profilirovannogo nastila arochnoj formy pod montazhnymi nagruzkami v perekrytyyah nizhnej svodchatoj poverhnost'yu podzemnyh perekhodov [Experimental studies of the work of profiled arched flooring under installation loads in the floors of the lower vaulted surface of underground passages]. *Vestnik SibADI*, 2017; 4–5 (56–57): 92–101 (in Russian).

12. Zamaliev F.S., Sagitov R.A., Hajrutdinov SH.N. Ispytanie fragmenta stalezhelezobetonного perekrytiya na staticheskie nagruzki [Test fragment of steel-concrete composite slab on the static load]. *Izvestiya KGASU*, 2010; 1: 102–105 (in Russian).

13. Fardiev R.F., Ashrapov A.H., Mustafin A.I. Issledovanie nesushchej sposobnosti pustotnyh plit perekrytiya pri snizhennoj velichine opiraniya na rigeli [Study of the bearing capacity of hollow slabs with a reduced value of support on the

crossbars]. *Izvestiya KGASU*, 2014; 4(30): 172–177 (in Russian).

14. Gizdatullin A.R., Husainov R.R., Hozin V.G., Krasinnikova N.M. Prochnost' i deformativnost' betonnoj konstrukcii, armirovannoj polimerkompozitnymi sterzhnyami [Strength and deformability of a concrete structure reinforced with polymer composite rods]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2016; 2(62): 32–41 (in Russian).

15. Semchenkov A.S., Demidov A.R., Sokolov B.S. Ispytanie fragmentov Plita – rigel' sborno-monolitnogo perekrytiya karkasa «RADIUSS» [Test of the fragments of Stove – bolt precast-monolithic ceiling of the frame «RADIUSS»]. *Beton i zhelezobeton*, 2008; 5: 2–4 (in Russian).

16. Karyakin A.A., Sonin S.A., Popp P.V., Aliluev M.V. Ispytaniya naturnogo fragmenta sborno-monolitnogo karkasa sistemy «ARKOS» s ploskimi perekrytyami [Tests of the full-scale fragment of the precast-monolithic frame of the «ARKOS» system with flat overlaps]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Stroitel'stvo i arhitektura»*, 2009; 9: 16–20 (in Russian).

Поступила 08.10.2018, принята к публикации 21.06.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Селиванов Антон Валерьевич – старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, e-mail: ant.seliwanov@yandex.ru), ORCID 0000-0001-6073-2690.

Регер Федор Федорович – канд. с.-х. наук, доц., кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, пр. Мира, д. 5, e-mail: fedorreger@gmail.ru), ORCID 0000-0002-3288-7457.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton V. Selivanov – Senior Lecturer, Building Structures Department, Siberian State Automobile

and Highway University (SibADI), ORCID 0000-0001-6073-2690 (644080, 5, Mira Ave., e-mail: ant.seliwanov@yandex.ru).

Fedor F. Reger – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Building Structures Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID 0000-0002-3288-7457 (644080, 5, Mira Ave., e-mail: fedorreger@gmail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Селиванов Антон Валерьевич – подготовка и проведение экспериментальных исследований, обработка полученных результатов, оформление статьи. Вклад соавтора составляет 50%;

Регер Федор Федорович – руководство и участие в подготовке и проведении экспериментальных исследований, анализ полученных результатов, редактирование статьи. Вклад соавтора составляет 50%.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Anton V. Selivanov – the preparation and conduction of experimental research, results procession, editing the paper. The contribution of the co-author is 50%;

Fedor F. Reger – management and participation in the preparation and conduction of experimental research, analysis of the results, editing the paper. The contribution of the co-author is 50%.