



О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ (НДС) ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ-ОБОЛОЧКИ ПЕРЕКРЫТИЯ

А. В. Селиванов^{1*}, Ф. Ф. Регер², И. А. Чакурин³

¹Независимый исследователь, г. Омск, Россия

²ЗАО «ПИРС», г. Омск, Россия

³Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
 г. Омск, Россия

ant.seliwanov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6073-2690>

fedorreger@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3288-7457>

chakurin@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8414-069X>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Произведена оценка влияния вида связей и величины предварительного напряжения продольной рабочей арматуры на НДС железобетонной плиты-оболочки перекрытия, разработанной авторами.

Материалы и методы. Исследования проводились на конечно-элементной модели железобетонной плиты-оболочки, реализованной в ПК «ЛИРА».

Результаты. Развитие величин напряжений и поперечных вертикальных перемещений напрямую зависели от условий опирания плиты-оболочки.

Ограничение поперечных горизонтальных перемещений на опоре любым из выбранных способов позволяло уменьшить напряжения $\sigma_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ в 3,47–3,78 раза, прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ в 1,5–1,52 раза, напряжения $\sigma_y^{\text{ребро}}$

– до 11,9 раза, прогибы $w_{\text{ребро}}$ – в 1,18–1,53 раза.

Создание торцового ребра или ограничение перемещений дополнительной горизонтальной связью давали практически одинаковый эффект.

Поперечные горизонтальные перемещения нижней грани продольного контурного ребра в направлении пролета $u_{\text{ребро}}$, возникавшие в плите-оболочке, не имевшей торцового ребра и ограничения перемещений в поперечном направлении, были в параболической связи с величинами вертикальных поперечных сил.

В плите-оболочке с ограничением перемещений в поперечном направлении или с торцовым ребром перемещения $u_{\text{ребро}}$ были в 3,88–4,32 раза меньше, а в торцах зависели от деформативности связей, т. е. при запрете горизонтального перемещения они были равны нулю.

Напряжения, $\sigma_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ действующие на нижней грани полки в поперечном направлении, в районе середины

пролета в плите-оболочке с арматурой, предварительно напряженной до максимальной величины, имели положительные значения почти по всей ширине полки и напрямую зависели от толщины плиты в каждом сечении.

Предварительное напряжение позволило уменьшить прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ в 4,02–4,37 раза, прогибы $w_{\text{ребро}}$ в

1,09–5,59 раза, а также равномерно распределить напряжения $\sigma_y^{\text{ребро}}$ по длине продольного контурного

ребра, сделать их только растягивающими, близкими к нулю по всей его длине.

Предварительное напряжение арматуры максимальной величины позволило повысить горизонтальную жесткость продольного контурного ребра плиты-оболочки и ограничить его поперечные перемещения $u_{\text{ребро}}$

Поперечные перемещения, возникавшие вблизи опоры предварительно напряженной плиты-оболочки, были в 1,04–1,2 раза меньше, чем в плите-оболочке с ненапрягаемой арматурой, на остальной части пролета – незначительно больше, изменяясь равномерно, без резких изменений, в отличие от плиты-оболочки с ненапрягаемой арматурой.

© Селиванов А. В., Регер Ф. Ф., Чакурин И. А., 2022



Контент доступен под лицензией
 Creative Commons Attribution 4.0 License.

Обсуждение и заключение. Установлено, что оптимальная конструкция исследуемой плиты-оболочки перекрытия должна иметь ограничения перемещений у опор и максимально возможное предварительное напряжение продольной рабочей арматуры.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в том, что указанные опорные условия и предварительное напряжение позволяют обеспечить максимальную деформативную стойкость конструкции, которая в нашем случае напрямую влияет на несущую способность плиты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерное моделирование, железобетонная плита-оболочка перекрытия, оценка влияния вида связей и величины предварительного напряжения продольной рабочей арматуры.

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

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 29.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Селиванов А. В., Регер Ф. Ф., Чакурин И. А. О влиянии конструктивных особенностей на напряженно-деформированное состояние (НДС) железобетонной плиты-оболочки перекрытия // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 3 (85). С. 446-460. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460>

EDN: OJINCL

Original article

ON INFLUENCE OF STRUCTURAL FEATURES ON STRESS-STRAIN STATE (SSS) OF A REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB

Anton V. Selivanov^{1*}, Fedor F. Reger², Ivan A. Chakurin³

¹Independent researcher, Omsk, Russia

²ZAO PIRS, Omsk, Russia

³Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

ant.seliwanov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6073-2690>

fedorreger@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3288-7457>

chakurin@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8414-069X>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. An assessment of the influence for the type of bonds and the magnitude of the prestress of the longitudinal working reinforcement on the stress-strain state of the reinforced concrete floor slab, developed by the authors was made.

Materials and methods. The studies on a finite element model of a reinforced concrete floor slab, implemented in LIRA software package were carried out.

Results. The development of stress values and transverse vertical displacements directly depended on the support conditions of the floor slab.

Limitation of transverse horizontal displacements on the support by any of the selected methods made it possible to reduce $\sigma_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ stresses by 3.47 - 3.78 times, $w_{l, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ deflections by 1.5 - 1.52 times, $\sigma_y^{\text{ребро}}$ stresses - up to

11.9 times, $w_{\text{ребро}}$ deflections - 1.18–1.53 times.

Creating an end rib or limiting movement with an additional horizontal connection had almost the same effect.

© Selivanov A. V., Reger F. F., Chakurin I. A., 2022



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

The transverse horizontal displacements of the lower face of the longitudinal contour rib in the direction of the $u_{\text{ребро}}$ span which occurred in the floor slab, which did not have an end rib and limitation of displacements in the transverse direction, were in a parabolic relationship with the magnitudes of the vertical transverse forces.

In a floor slab with limited displacements in the transverse direction or with an end rib, $u_{\text{ребро}}$ displacements were 3.88–4.32 times less, and at the ends they depended on the deformability of the bonds, i.e. when horizontal movement was prohibited, they were equal to zero.

$\sigma_{x,2}^{\text{полка}}$ stresses acting on the lower edge of the flange in the transverse direction, in the region of the middle of the

span in the floor slab with reinforcement prestressed to the maximum value, had positive values almost over the entire width of the flange and directly depended on the thickness of the slab in each section.

Prestressing made it possible to reduce $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ deflections by 4.02 - 4.37 times, $w_{\text{ребро}}$ deflections by 1.09 - 5.59

times, and evenly distribute $\sigma_y^{\text{ребро}}$ stresses along the length of the longitudinal contour rib, to make they are only tensile, close to zero along its entire length.

The prestressing of the reinforcement of the maximum value made it possible to increase the horizontal rigidity of the longitudinal contour rib of the floor slab and limit its transverse $u_{\text{ребро}}$ movements.

The transverse displacements that occurred near the support of the prestressed shell slab were 1.04 - 1.2 times less than in the shell slab with non-stressed reinforcement, on the rest of the span - slightly more, changing evenly, without sharp changes, unlike floor slabs with non-stressed reinforcement.

Discussion and conclusion. It is established that the optimal design of the floor slab under the study should have restrictions on the movements of the supports and the maximum possible prestressing of the longitudinal working reinforcement.

The practical significance of the study is that the specified reference conditions and prestress allow maximum deformation resistance of the structure, which in our case directly affects the bearing capacity of the slab.

KEYWORDS: computer simulation; reinforced concrete floor slab; assessment for the influence of the connections type and the magnitude of the prestress of the longitudinal working reinforcement.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors thank the reviewers for the attention paid to reviewing the article and their comments.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 29.05.2022; accepted for publication 12.06.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Selivanov A. V., Reger F. F., Chakurin I. A. On influence of structural features on stress-strain state of a reinforced concrete floor slab. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 446-460. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460>

ВВЕДЕНИЕ

Цель теоретического исследования, выполненного в данной работе, состояла в оценке влияния вида связей и величины предварительного напряжения продольной рабочей арматуры на НДС железобетонной плиты перекрытия^{1, 2, 3} [1], разработанной авторами, являющейся плитой-оболочкой [2, 3, 4, 5, 6, 7] – конструкцией, имеющей прямоугольный в плане контур, одну из поверхностей криволинейную (в одном или двух направлениях), другую – плоскую.

Для ее достижения требовалось решить следующие задачи:

- 1) оценить актуальность выбранного конструктивного решения;
- 2) оценить влияние связей на НДС исследуемой конструкции;
- 3) оценить влияние предварительного напряжения на НДС предлагаемой конструкции.

1. Оценка актуальности выбранного конструктивного решения.

¹ Власов В. З. Избранные труды, том I. Москва, Издательство Академии наук СССР, 1962. 528 с.

² Боровских А. В. Расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям и предельному равновесию. Москва. 2002. 320 с.

³ Селиванов А. В., Регер Ф. Ф. Оптимизация конструкции железобетонной плиты-оболочки с учетом современных тенденций в строительстве // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы. Омск. 2016. С. 209–216.

Сборные железобетонные ребристые плиты⁴ [8, 9] длительное время использовались в перекрытиях и покрытиях различных зданий. В 90-е годы в связи с сокращением объемов промышленного строительства их на многих заводах сняли с производства. В настоящее время возникла потребность в ребристых плитах. При возобновлении их производства возникает ряд вопросов, связанных прежде всего с технологией изготовления. От агрегатно-поточной технологии⁵, широко используемой для производства ребристых плит, заводы г. Омска постепенно отказываются в пользу безопалубочной [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Последняя, при всех ее достоинствах, имеет ряд ограничений (невозможность установки поперечной арматуры, постоянный профиль по всей длине и т. д.), не позволяющих изготавливать ребристые плиты.

Технологические и эксплуатационные недостатки типовых ребристых плит обусловлены наличием в них поперечных ребер, отказ

от которых возможен при облегчении условий работы полки. Одним из способов является устройство нижней поверхности полки вогнутого очертания и продольных пустот, расположенных рядом с боковыми продольными ребрами, что превращает полку из изгибаемого элемента в сжатый свод, распор от которого воспринимается относительно массивным продольным контуром [16, 17, 18].

Нами была предпринята попытка сконструировать конструкцию, сочетающую в себе экономичность типовых ребристых плит перекрытий с технологичностью пустотных элементов, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования [19, 20, 21, 22], и предложена железобетонная плита-оболочка, 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 1).

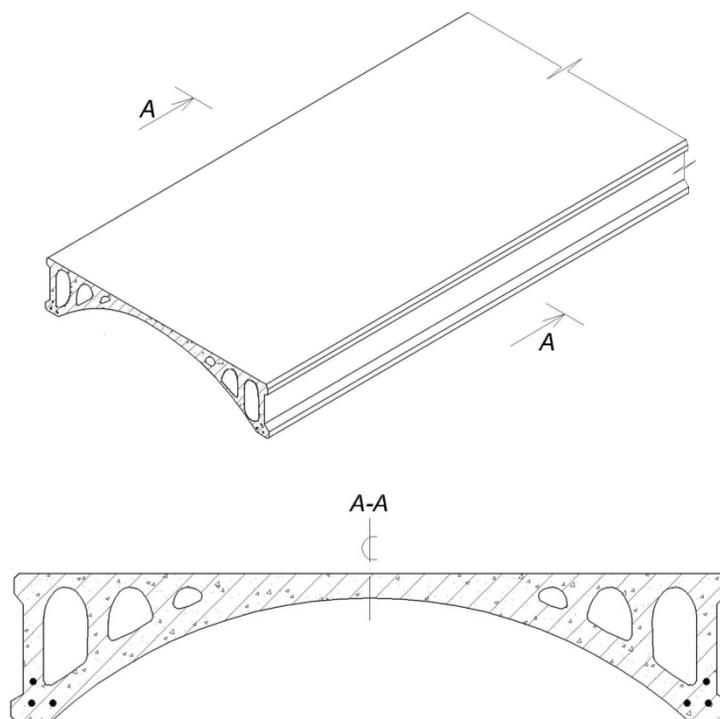


Рисунок 1 – Конструктивное решение плиты-оболочки
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Structural solution of the floor slab
Source: compiled by the authors.

⁴ Голышев А. Б., Бачинский В. Я., Полищук В. П. [и др.] Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие. Киев. 1985. 496 с.

⁵ Батяновский Э. И. Технология бетонных и железобетонных изделий: учебное пособие. Минск. 2017. 305 с.

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 1).

Конструктивное решение исследуемой конструкции и технология ее изготовления были приняты исходя из следующих соображений:

1. Имея в виду общие особенности напряженного состояния тонкостенных пространственных покрытий, внутренние усилия в длинных цилиндрических оболочках приближенно можно определять по безмоментной теории⁶.

Такое же приближение можно сделать и в отношении плиты-оболочки с пустотами, что подтвердили результаты экспериментальных исследований [1], позволившие отказаться от установки арматурных сеток в ее полке и каркасов в ребрах, и изготавливать ее с применением технологии стандового безопалубочного формования, признанной в настоящее время одной из самых современных, позволяющей уменьшить численность обслуживающего персонала в 2–2,5 раза, энергоемкость на 50–70%, повысить производительность производства.

2. Сравнение технико-экономических показателей (ТЭП) плит-оболочек с другими вариантами сборных плит показало, что данное конструктивное решение уступает по расходу бетона только ребристым плитам: приведенная толщина ребристых плит – 0,091 м, нашего варианта – 0,106 м, а по расходу арматуры наш вариант превосходит ребристые плиты на 26%. Совокупные затраты на материалы для изготовления плит нашего варианта являются минимальными по сравнению с расходами на изготовление других сборных плит, а в сочетании с низкой себестоимостью технологии безопалубочного формования делает плиту-оболочку с пустотами вполне конкурентоспособным продуктом на строительном рынке.

При выполнении исследований плиты-оболочки с пустотами на основе оценки адекватности использовалась КЭ-схема, в которой стержневая арматура соединена с бетоном

через горизонтальные жесткие вставки, с шагом, равным длине объемных КЭ.

Усилие предварительного напряжения заменялось температурным воздействием, действующим по всей длине арматурных стержней.

2. Оценка влияния связей на НДС предлагаемой конструкции.

На первом этапе исследовалось влияние условий опирания на НДС исследуемой плиты-оболочки. Для этого были рассчитаны варианты, приведенные в таблице 1.

На рисунках 2, 3, 4, 5 приведены эпюры, демонстрирующие изменения сравниваемых параметров НДС, полученные в результате расчетов вариантов 1–3 в ПК «Лира».

Анализ результатов, полученных на первом этапе исследований, позволил сделать следующие выводы:

1. Развитие величин напряжений и прогибов напрямую зависели от условий опирания плиты-оболочки. Ограничение поперечных горизонтальных перемещений на опоре любым из выбранных способов позволяло уменьшить напряжения $\sigma_{x,2}^{полка}$ в 3,47–3,78 раза, прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{полка}$ в 1,5–1,52 раза, напряжения $\sigma_y^{ребро}$ – до 11,9 раза, прогибы $w_{ребро}$ в 1,18–1,53 раза.

Причем создание торцового ребра или ограничение перемещений дополнительной горизонтальной связью давали практически одинаковый эффект.

2. Поперечные горизонтальные перемещения нижней грани продольного контурного ребра в направлении пролета $u_{ребро}$, возникавшие в плите-оболочке, не имевшей торцового ребра и ограничения перемещений в поперечном направлении (вариант 1), были в параболической связи с величинами вертикальных поперечных сил.

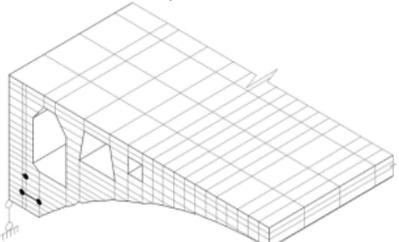
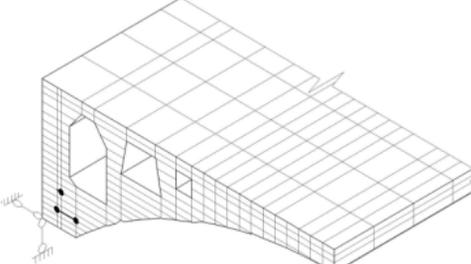
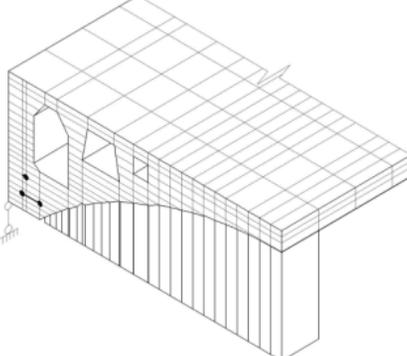
В плите-оболочке с ограничением перемещений в поперечном направлении (вариант 2) или с торцовым ребром (вариант 3) значения перемещения $u_{ребро}$ были в 3,88–4,32 раза меньше, а в торцах зависели от деформативности связей, т. е. при запрете горизонтального перемещения они были равны нулю.

3. Оценка влияния степени предварительного напряжения арматуры и трещинообразования продольных контурных ребер на НДС предлагаемой конструкции.

⁶ Байков В. Н., Дроздов П. Ф., Трифонов И. А. Железобетонные конструкции: учебное пособие. Москва. 1974. 800 с.

Таблица 1
Влияние условий опирания на НДС исследуемой плиты-оболочки
Источник: составлено авторами.

Table 1
Influence of SSS-based conditions of the floor slab under the study
Source: compiled by the authors.

№ этапа	№ варианта	Описание КЭ-модели и чертеж ее опорного сечения	Сравниваемые параметры НДС
1	1	плита-оболочка без торцового ребра и ограничения перемещений в поперечном направлении 	$\sigma_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ – напряжения, действующие на нижней грани полки в поперечном направлении, в районе середины пролета; $W_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ – прогибы полки в поперечном направлении в районе середины пролета; $\sigma_y^{\text{ребро}}$ – напряжения, действующие на нижней грани продольного контурного ребра в направлении пролета; $W_{\text{ребро}}$ – прогибы продольного контурного ребра в направлении пролета; $u_{\text{ребро}}$ – горизонтальные перемещения продольного контурного ребра в направлении пролета
	2	плита-оболочка без торцового ребра, с ограничением перемещений в поперечном направлении 	
	3	плита-оболочка с торцовым ребром 	

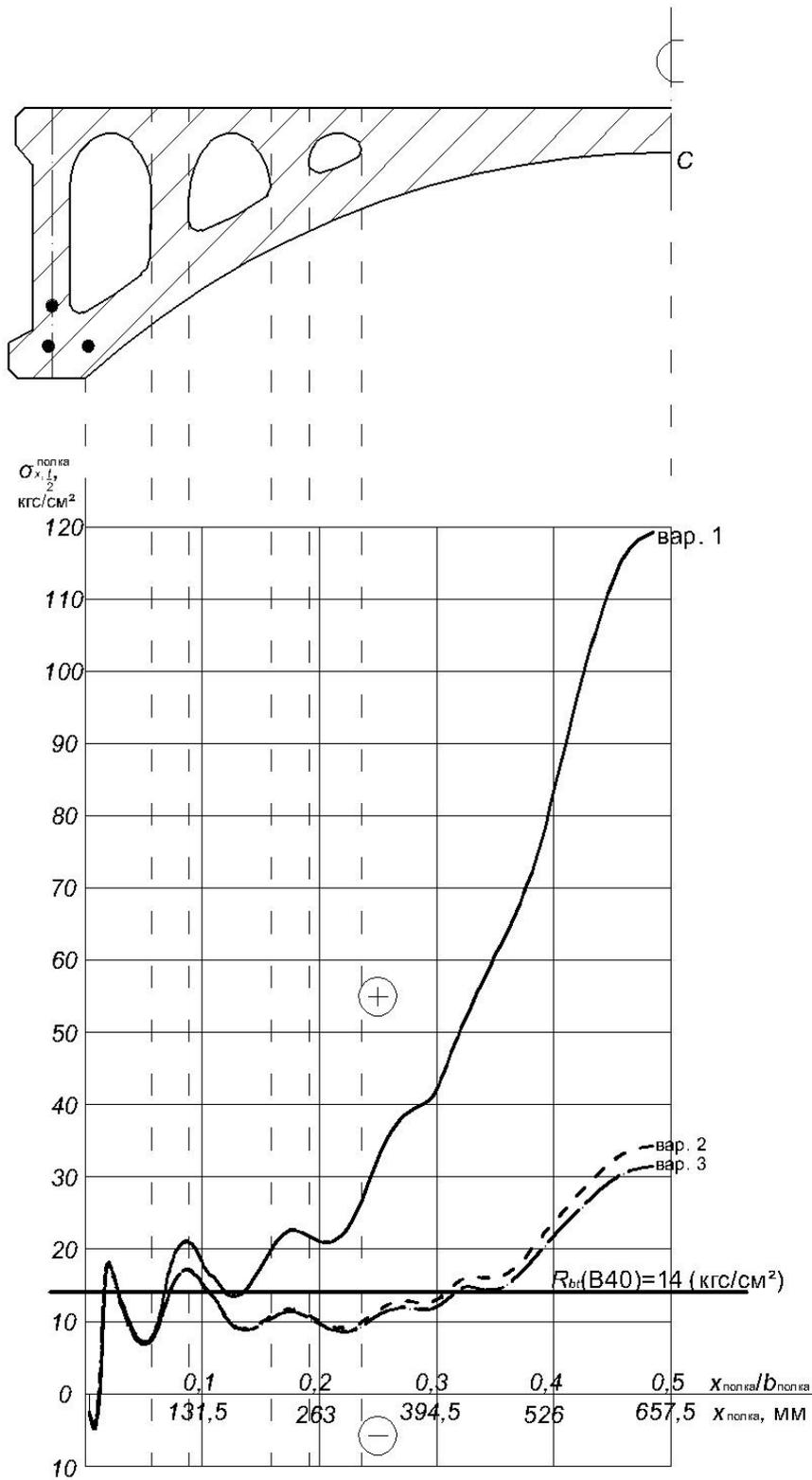


Рисунок 2 – Напряжения $\sigma_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – $\sigma_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ voltages arising in a floor slab with voids when the conditions of its support vary
 Source: compiled by the authors.

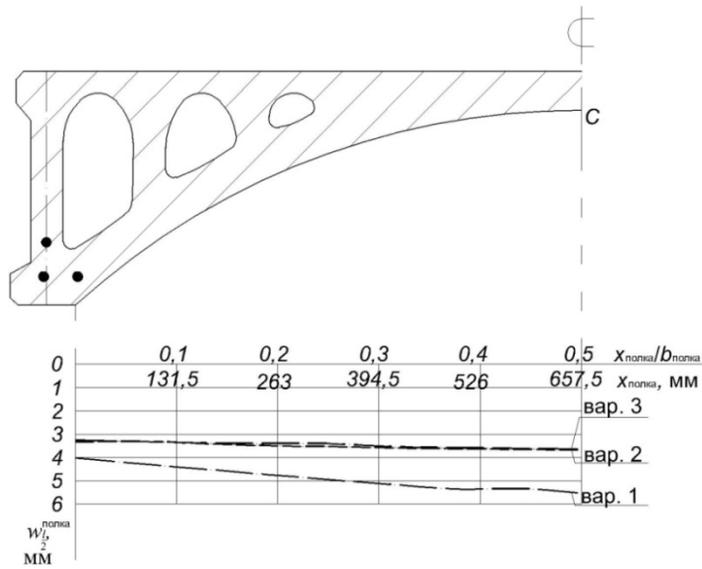


Рисунок 3 – Прогибы $W_l^{\text{полка}}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
 Источник: составлено авторами.

Figure 3 – $W_l^{\text{полка}}$ deflections, arising in a shell plate with voids when the conditions of its support vary
 Source: compiled by the authors.

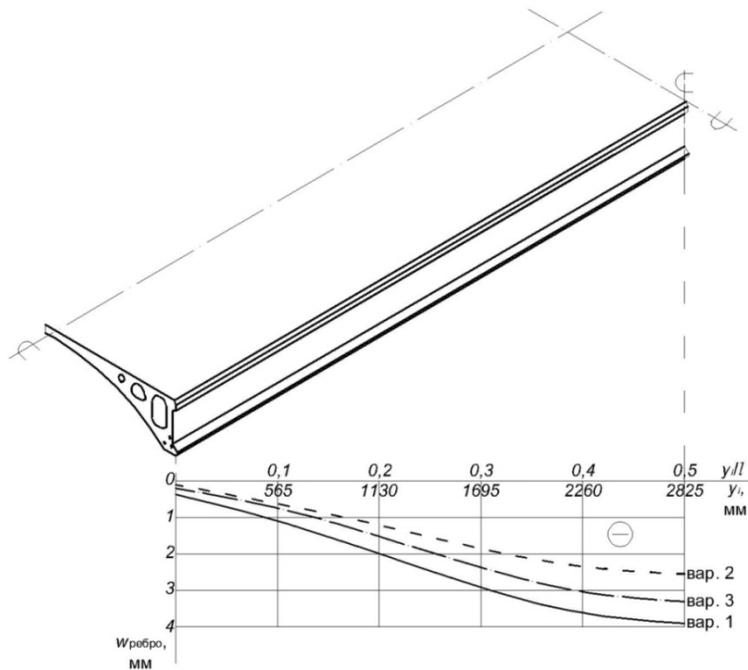


Рисунок 4 – Прогибы $w_{\text{ребро}}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
 Источник: составлено авторами.

Figure 4 – $w_{\text{ребро}}$ deflections, arising in a floor slab with voids when the conditions of its support vary
 Source: compiled by the authors.

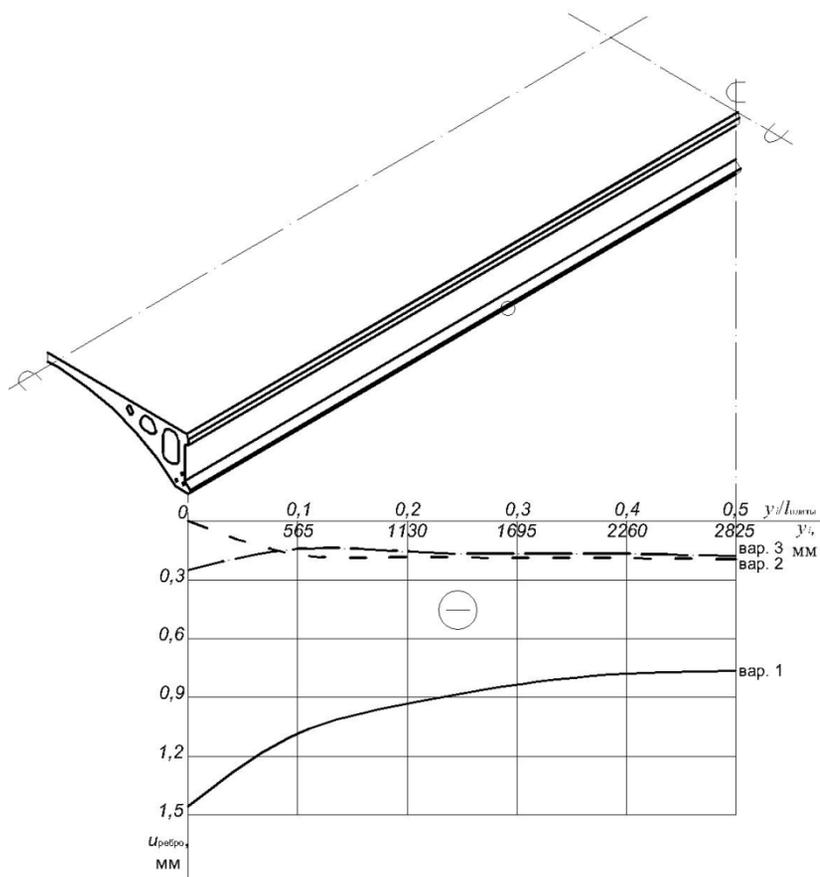


Рисунок 5 – Перемещения $u_{\text{ребро}}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
 Источник: составлено авторами.

Figure 5 – $u_{\text{ребро}}$ displacements, arising in a floor slab with voids when the conditions of its support vary
 Source: compiled by the authors.

На втором этапе исследовалось влияние степени предварительного напряжения продольной рабочей арматуры, расположенной в продольных контурных ребрах, и трещинообразования этих ребер на изменение НДС исследуемой конструкции.

На основании результатов, полученных на первом этапе, для исследований, выполняемых на втором этапе, была выбрана плита-оболочка с ограничением перемещений в поперечном направлении (вариант 2).

Исследования проводились при двух степенях предварительного напряжения и трещи-

нообразования: степень 0 – предварительное напряжение отсутствует ($\sigma_{sp} = 0$), в продольном контурном ребре смоделированы семь нормальных трещин; степень 1 – предварительное напряжение равно максимальному значению $\sigma_{sp} = \sigma_{sp, \max} - \sigma_{sp1} - \sigma_{sp2} = 8740 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$, трещины отсутствуют.

В таблице 2 приведен план исследований, выполненных на втором этапе.

На рисунках 6, 7, 8, 9 приведены результаты расчетов, выполненных в ПК «Ли́ра» на втором этапе.

Таблица 2
 План исследований второго этапа
 Источник: составлено авторами.

Table 2
 Phase 2 Study Plan
 Source: compiled by the authors.

№ этапа	Степени пред. напряжения и трещинообразования	Описание КЭ-модели и чертеж ее опорного сечения	Пред. напряжение, $\frac{\text{КГС}}{\text{СМ}^2}$	Сравниваемые параметры НДС
2	0	плита-оболочка без торцового ребра, с ограничением перемещений в поперечном направлении 	0	см. таблицу 1
	1		8740	

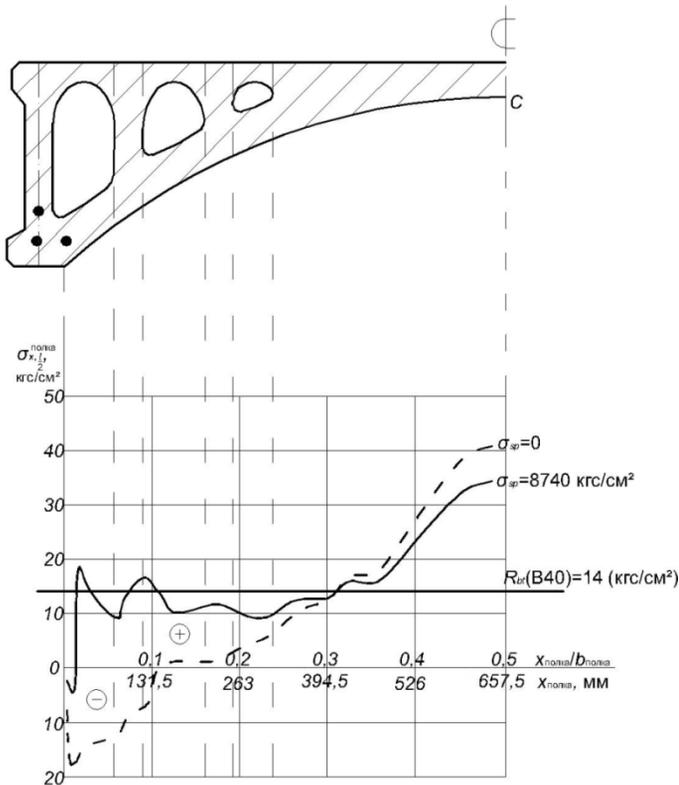


Рисунок 6 – Напряжения $\sigma_{x_{1/2}}^{\text{полка}}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
 Источник: составлено авторами.

Figure 6 – $\sigma_{x_{1/2}}^{\text{полка}}$ stresses arising at the considered degrees of prestressing and cracking
 Source: compiled by the authors.

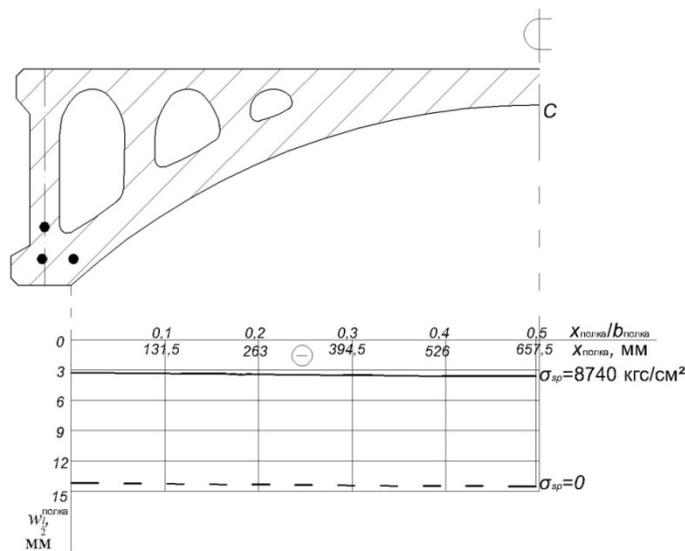


Рисунок 7 – Прогибы $W_{l/2}^{полка}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
 Источник: составлено авторами.

Figure 7 – $W_{l/2}^{полка}$ deflections arising at the considered degrees of prestressing and cracking
 Source: compiled by the authors.

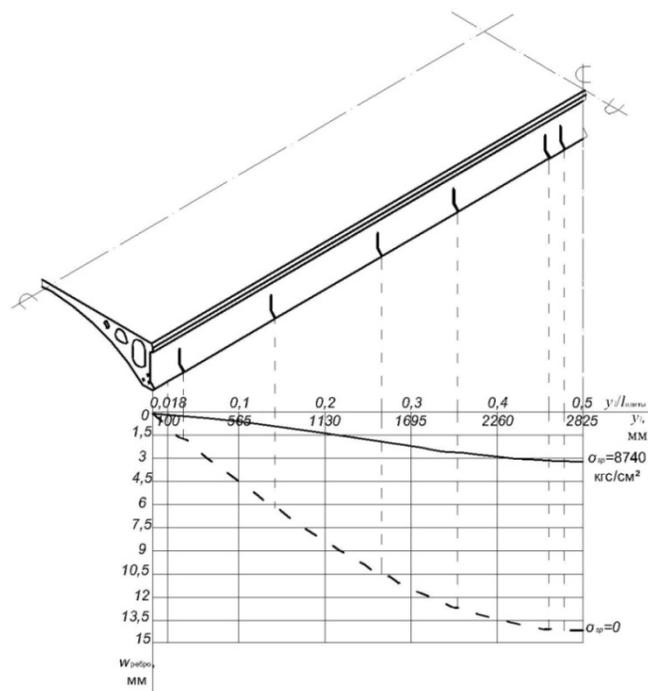


Рисунок 8 – Прогибы $w_{ребро}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
 Источник: составлено авторами.

Figure 8 – $w_{ребро}$ deflections arising at the considered degrees of prestressing and cracking
 Source: compiled by the authors.

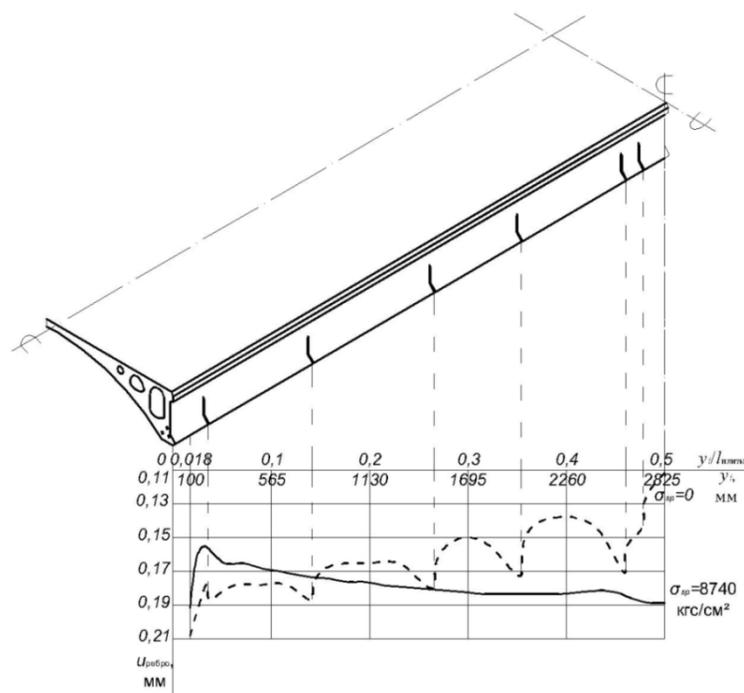


Рисунок 9 – Перемещения $u_{ребро}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
Источник: составлено авторами.

Figure 9 – $u_{ребро}$ movements arising at the considered degrees of prestressing and cracking
Source: compiled by the authors.

Анализ результатов, полученных на втором этапе исследований, позволил сделать следующие выводы:

1. Напряжения, возникающие в плите-оболочке с арматурой, предварительно напряженной до максимальной величины, имели положительные значения почти по всей ширине полки и напрямую зависели от толщины плиты в каждом сечении. Такая стабильность обусловлена высокой жесткостью продольного контурного ребра, которая позволяла ограничивать его перемещения в поперечном направлении от опоры до середины пролета.

Отсутствие предварительного напряжения резко уменьшило жесткость и трещиностойкость, что приводило к образованию трещин и уменьшению влияния ограничения горизонтального перемещения, созданного в торцах. В результате и значения поперечных нормальных напряжений имели большую амплитуду изменений.

Кроме того, предварительное напряжение позволило уменьшить прогибы в 4,02–4,37 раза, прогибы $w_{ребро}$ в 1,09–5,59 раза, а также равномерно распределить напряжения по длине продольного контурного ребра, сделать их только растягивающими, близкими к нулю по всей его длине.

2. Предварительное напряжение арматуры максимальной величины позволило повысить горизонтальную жесткость продольного контурного ребра плиты-оболочки и ограничить его поперечные перемещения.

Поперечные перемещения, возникавшие вблизи опоры предварительно напряженной плиты-оболочки, были в 1,04–1,2 раза меньше, чем в плите-оболочке с ненапрягаемой арматурой, на остальной части пролета – незначительно больше, изменяясь равномерно, без резких изменений, в отличие плиты-оболочки с ненапрягаемой арматурой.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы, сделанные на первом и втором этапах исследований, позволяют принять решение о том, что оптимальная конструкция исследуемой плиты-оболочки перекрытия должна иметь ограничения перемещений у опор и максимально возможное предварительное напряжение продольной рабочей арматуры. Такое конструктивное решение позволяет обеспечить максимальную деформативную стойкость конструкции, которая в нашем случае напрямую влияет на несущую способность плиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селиванов А. В., Регер Ф. Ф. Результаты экспериментальных исследований железобетонной плиты-оболочки // Вестник СибАДИ. 2019;16(3):378–392. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-378-392>
2. Боровских А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит-оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Москва. 2008. С.82–86.
3. Боровских А. В. К вопросу о проектировании железобетонных перекрытий зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12(83). С.67–70.
4. Бастатский Б. Н., Барабадзе Н. Г., Адамова М. Г. О выборе формы поперечного сечения вспарушенных плит // Пространственные конструкции зданий и сооружений. 1985. Вып. 5. С. 128–133.
5. Боровских А. В., Шугаев В. В. Силовое сопротивление перекрытий зданий из плит-оболочек // Пространственные конструкции зданий и сооружений. 2005. С.15–16.
6. 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.
7. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin: Ernst&Sohn, 2013. 402 p.
8. Скорук Л. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит перекрытий // CADmaster. 2004. № 3. С. 78–83.
9. Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Вавилов О. В., Колыденко С. В. Плиты перекрытий 2Т для технологии непрерывного формования // Бетон и железобетон. 2001. № 6. С. 5–8.
10. Копша С. П., Заикин В. А. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 29–33.
11. Малышев А. А. Современные линии безопалубочного формования // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2009. Вып. 1. С. 20–23.
12. Лощенко А. Л., Копша С. П., Бикбау М. Я. Строительно-индустриальный кластер – передовые технологии и машиностроение для строительства // Технологии бетонов. 2013. № 8. С. 28–30.
13. Бикбау М. Я. Архитектурно-строительная система ИМЭТ – новая технологическая основа домостроения // ЖБИ и конструкции. 2012. № 2. С. 64–71.
14. Бикбау М. Я., Блинов В. П. Дом россиянина должен быть крепостью // ЖБИ и конструкции. 2012. № 3. С. 64–70.
15. Бикбау М. Я. Новые цементы и бетоны. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ // ЖБИ и конструкции. 2012. № 4. С. 67–72.
16. 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.
17. Баранова Т. И., Сильванович Т. Г., Бормотов А. Н. Облегченная пустотная панель покрытия // Инженерные проблемы современного железобетона. Иваново. 1995. С. 42–47.
18. Баранова Т. И., Сильванович Т. Г., Бормотов А. Н., Селиванов М. Ю. Реализация конструктивно-технологических особенностей железобетона при разработке новых типов панелей перекрытий // Известия вузов. Строительство. 1997. № 4. С. 7–9.
19. Фардиев Р. Ф., Ашрапов А. Х., Мустафин А. И. Исследование несущей способности пустотных плит перекрытия при сниженной величине опирания на ригели // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 172–177.
20. Босаков Б. В., Белевич В. Н., Щетько Н. С., Райчев В. П. Расчет и экспериментальная оценка прочности многупустотных плит безопалубочного формования с учетом требований EN // Строительная наука и техника. 2010. № 6 (33). С. 47–54.
21. Босаков Б. В., Белевич В. Н., Щетько Н. С. Теоретические исследования по определению положения наклонной трещины в приопорной зоне преднапряженных плит безопалубочного формования // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 2 (31). С. 127–133.
22. Босаков Б. В., Белевич В. Н., Щетько Н. С. Определение величины втягивания канатов в изгибаемых преднапряженных железобетонных плитах безопалубочного формования // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2010. № 1 (61). С. 46–50.

REFERENCES

1. Selivano A. V., Reger F. F. Results of experimental research of the reinforced concrete shell-slab. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2019;16(3):378-392. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-378-392>
2. Borovskih A. V. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostojaniya zhelezobetonnyh plit-obolochek [Investigation of the stress-strain state of reinforced concrete shell plates]. *Obzorno-analiticheskij i nauchno – tehniceskij zhurnal Stroitel'naja mehanika*

inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij. Moskva, 2008. pp.82-86. (In Russ.)

3. Borovskih A. V. K voprosu o proektirovanii zhelezobetonnykh perekrytij zdaniy [On the issue of designing reinforced concrete floors of buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2005; 12(83): 67-70. (In Russ.)

4. Bastatskij B. N., Barabadze N. G., Adamova M. G. O vybore formy poperechnogo sechenija vsparushennykh plit [On the choice of the shape of the cross-section of the broken plates]. *Prostranstvennye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij*. 1985; 5:128-133. (In Russ.)

5. Borovskih A. V., Shugaev V. V. Silovoe soprotivlenie perekrytij zdaniy iz plit-obolochek [Force resistance of the floors of buildings made of shell plates]. *Prostranstvennye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij*. 2005:15-16. (In Russ.)

6. 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.

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

8. Skoruk L. Poisk jeffektivnykh raschetnykh modelej rebristyykh zhelezobetonnykh plit perekrytij [Search for effective computational models of ribbed reinforced concrete floor slabs]. *CADmaster*. 2004; 3: 78-83. (In Russ.)

9. Kodysh Je. N., Trekin N. N., Vavilov O. V., Kolojdenko S. V. Plity perekrytij 2T dlja tehnologii nepreryvnogo formovaniya [2T floor slabs for continuous molding technology]. *Beton i zhelezobeton*. 2001; 6: 5-8. (In Russ.)

10. Kopsha S. P., Zaikin V. A. Tehnologija bezopalubochnogo formovaniya – kljuch k modernizacii promyshlennosti i snizheniju sebestoimosti zhil'ja [Technology of formless molding – the key to modernization of industry and reduction of housing costs]. *Tehnologii betonov*. 2013; 11: 29-33. (In Russ.)

11. Malyshev A. A. Sovremennye linii bezopalubochnogo formovaniya [Modern lines of formless molding]. *Beton i zhelezobeton. Oborudovanie. Materialy. Tehnologii*. 2009; 1:20-23. (In Russ.)

12. Loshhenko A. L., Kopsha S. P., Bikbau M. Ja. Stroitel'no-industrial'nyj klaster – peredovyje tehnologii i mashinostroenie dlja stroitel'stva [Construction and industrial cluster - advanced technologies and mechanical engineering for construction]. *Tehnologii betonov*. 2013; 8: 28-30. (In Russ.)

13. Bikbau M. Ja. Arhitekturno-stroitel'naja sistema IMJeT – novaja tehnologicheskaja osnova domostroeniya [Architectural and construction system IMET - a new technological basis of house construction]. *ZhBl i konstrukcii*. 2012; 2: 64-71. (In Russ.)

14. Bikbau M. Ja., Blinov V. P. Dom rossijanina dolzhen byt' krepost'ju [The house of a Russian should be a fortress]. *ZhBl i konstrukcii*. 2012; 3:64-70. (In Russ.)

15. Bikbau M. Ja. Novye cementy i betony. Otkrytie javlenija nanokapsuljatsii dispersnykh veshhestv [Discovery of the phenomenon of nanocapsulation of dispersed substances]. *ZhBl i konstrukcii*. 2012; 4:67-72. (In Russ.)

16. Baranova T. I., Sil'vanovich T. G., Viktorov V. G., Bormotov A. N. Pustotnaja panel' pokrytij proizvodstvennykh zdaniy [Hollow panel of coatings of industrial buildings]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 1995; 11: 3–6. (In Russ.)

17. Baranova T. I., Sil'vanovich T. G., Bormotov A. N. Oblegchennaja pustotnaja panel' pokrytija [Lightweight hollow coating panel]. *Inzhenernye problemy sovremennogo zhelezobetona*. Ivanovo. 1995: 42-47. (In Russ.)

18. Baranova T. I., Sil'vanovich T. G., Bormotov A. N., Selivanov M. Ju. Realizacija konstrukcionno-tehnologicheskikh osobennostej zhelezobetona pri razrabotke novykh tipov panelej perekrytij [Implementation of structural and technological features of reinforced concrete in the development of new types of floor panels]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 1997; 4: 7–9. (In Russ.)

19. Fardiev R. F., Ashrapov A. H., Mustafin A. I. Issledovanie nesushhej sposobnosti pustotnykh plit perekrytija pri snizhennoj velichine opiraniya na rigeli [Investigation of the bearing capacity of hollow floor slabs with a reduced amount of support on the crossbars]. *Izvestija KGASU*. 2014; 4 (30): 172-177. (In Russ.)

20. Bosakov B. V., Belevich V. N., Shhet'ko N. S., Rajchev V. P. Raschet i jeksperimental'naja ocenka prochnosti mnogopustotnykh plit bezopalubochnogo formovaniya s uchedom trebovanij EN [Calculation and experimental evaluation of the strength of hollow plates of formwork molding taking into account the requirements of EN]. *Stroitel'naja nauka i tehnika*. 2010; 6 (33): 47-54. (In Russ.)

21. Bosakov B. V., Belevich V. N., Shhet'ko N. S. Teoreticheskie issledovanija po opredeleniju polozhenija naklonnoj treshhiny v priopornoj zone prednaprjazhennykh plit bezopalubochnogo formovaniya [Theoretical studies on determining the position of an inclined crack in the support zone of prestressed slabs of formwork molding]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2011; 2 (31):127-133. (In Russ.)

22. Bosakov B. V., Belevich V. N., Shhet'ko N. S. Opredelenie velichiny vtjagivaniya kanatov v izgibaemykh prednaprjazhennykh zhelezobetonnykh plitah bezopalubochnogo formovaniya [Determination of the amount of rope retraction in bent prestressed reinforced concrete slabs without formwork molding]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2010; (61): 46-50. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Селиванов А. В. Подготовка и проведение компьютерного моделирования, обработка полученных результатов, оформление статьи. Вклад соавтора составляет 40%.

Регер Ф. Ф. Руководство и участие в подготовке и проведении компьютерного моделирования, анализ полученных результатов, редактирование статьи. Вклад соавтора составляет 40%.

Чакурин И. А. Редактирование и оформление статьи. Вклад соавтора составляет 20%.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Anton V. Selivanov. Preparation and implementation of computer modelling, processing of the results obtained, design of the article. The co-author contribution is 40%.

Fedor F. Reger. Management and participation in the preparation and conduct of computer modelling, analysis of the results obtained, editing of the article. The co-author contribution is 40%.

Chakurin I. A. Editing and design of the article. The co-author contribution is 20%.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Селиванов Антон Валерьевич – инженер.
Регер Федор Федорович – канд. с.-х. наук.
Чакурин Иван Алексеевич – канд. техн. наук,
доц. кафедры «Строительные конструкции».*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Anton V. Selivanov – engineer.
Fedor F. Reger – Cand. of Sci.
Ivan A. Chakurin – Cand. of Sci, Associate
Professor, Building Structures Department.*