



УДК: 624.1

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.9

EDN: HMMVJO

## Сопротивление плит-оболочек статической нагрузке

Илшат Т. Мирсяяпов<sup>1</sup>, А.В. Селиванов<sup>2</sup>, Ф.Ф. Регер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,  
г. Омск, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* Сборные железобетонные ребристые плиты перекрытий изготавливаются в силовых формах по агрегатно-поточной технологии, требующей больших затрат ручного труда и энергоресурсов. Наличие в них арматурных каркасов и сеток не позволяет отказаться от использования агрегатно-поточной технологии, требующей больших затрат материальных и энергоресурсов. Заменой ребристой плите может являться плита-оболочка с цилиндрической в поперечном направлении нижней поверхностью и плоской верхней, имеющая пустоты в полке, находящаяся в поперечном направлении при действии равномерно распределенной нагрузки в напряженном состоянии, близком к безмоментному, что позволяет армировать ее только продольной рабочей арматурой и изготавливать методом безопалубочного формования. Плиты-оболочки с пустотами в полке мало исследованы и для разработки методик их расчетов необходимо выполнить экспериментальное исследование их работы под нагрузкой. Цель работы заключается в определении экспериментальных изгибающих моментов, действующих на нижней грани ее полки в поперечном направлении, в районе середины пролета, а также в изучении ее трещинообразования и работы в стадии предельного равновесия. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: проведены испытания моделей исследуемой конструкции; выполнены расчеты экспериментальных значений поперечных изгибающих моментов, возникающих в середине пролета натурной конструкции; произведено сопоставление поперечных изгибающих моментов, возникающих в середине пролета различных плит-оболочек; изучено трещинообразование исследуемой конструкции, и ее работа в стадии предельного равновесия.

*Результаты.* В работе представлены результаты экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции, ее трещинообразования и работы в стадии предельного равновесия.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что предложен вариант железобетонной плиты-оболочки перекрытия, имеющей высокую несущую способность, требующей меньших затрат материалов, имеющей меньшую стоимость изготовления.

**Ключевые слова:** железобетонная плита-оболочка, перекрытие, экспериментальное исследование

**Для цитирования:** Мирсяяпов Илшат Т., Селиванов А.В., Регер Ф.Ф. Сопротивление плит-оболочек статической нагрузке // Известия КГАСУ, 2024, № 3 (69), с. 88-105, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.9, EDN: HMMVJO

## Resistance of shell slabs to static load

Ishat T. Mirsayapov<sup>1</sup>, A.V. Selivanov<sup>2</sup>, F.F. Reger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation

**Abstract:** *Problem statement.* Prefabricated reinforced concrete ribbed floor slabs are manufactured in power forms using aggregate-flow technology, which requires large amounts of manual labor and energy resources. The presence of reinforcement frames and meshes in them does not allow one to abandon the use of aggregate-flow technology, which requires large expenditures of material and energy resources. A replacement for a ribbed slab can be a shell slab with a cylindrical bottom surface in the transverse direction and a flat top surface, having voids in the flange, located in the transverse direction under the action of a uniformly distributed load in a stress state close to momentless, which allows it to be reinforced only with longitudinal working reinforcement and manufactured using the formless molding method. Shell slabs with voids in the flange have been little studied, and in order to develop methods for their calculations, it is necessary to carry out an experimental study of their operation under load. The goal of the work is to determine the experimental bending moments acting on the lower edge of its flange in the transverse direction, in the middle of the span, as well as to study its cracking and operation at the stage of limit equilibrium. To achieve this goal, the following tasks were solved: tests of models of the structure under study were carried out; calculations of experimental values of transverse bending moments occurring in the middle of the span of a full-scale structure were performed; a comparison of transverse bending moments arising in the middle of the span of various shell slabs was made; the cracking of the structure under study and its operation at the stage of limit equilibrium were studied.

*Results.* The paper presents the results of an experimental research of the stress-strain state of the structure under study, its cracking and operation at the stage of limit equilibrium.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that a variant of a reinforced concrete floor shell-slab is proposed, which has a high load-bearing capacity, requires less material input, and has a lower manufacturing cost.

**Keywords:** Reinforced concrete shell-slab, Floor slab, Experimental study

**For citation:** Mirsayapov Ishat T., Selivanov A.V., Reger F.F. Resistance of shell slabs to static load // News KSUAE, 2024, No. 3 (69), p. 88-105, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.9, EDN: HMMVJO

### 1. Введение

Сборные железобетонные ребристые плиты длительное время использовались в перекрытиях и покрытиях различных зданий. В девяностые годы XX века в связи с сокращением объемов промышленного строительства эти конструкции на многих заводах были сняты с производства.

В настоящее время в связи с возрождением и модернизацией промышленных предприятий в Российской Федерации потребность в ребристых плитах возникла вновь. При возобновлении их производства возникает ряд вопросов, связанных, прежде всего с технологией изготовления.

Результаты теоретических [1, 2] и экспериментальных [3, 4] исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) пустотных плит перекрытий подтвердили возможность отказа от использования в них арматурных каркасов и сеток и изготовления их по безопасной технологии [5-7], позволяющей уменьшить численность обслуживающего персонала в 2-2,5 раза, энергоёмкость на 50-70%, повысить производительность производства по сравнению с агрегатно-поточной технологией [8-10], требующей больших затрат ручного труда, энергоресурсов и использования силовых форм. В то же время безопасная технология имеет ряд ограничений (невозможность

установки поперечной арматуры, а также устройства поперечных и торцовых ребер), не позволяющих изготавливать ребристые плиты [11-13].

Заменой ребристой плите, может являться плита-оболочка [14-16] или вспарушенная плита [17-19] с цилиндрической в поперечном направлении нижней поверхностью и плоской верхней, находящаяся при равномерной нагрузке в напряженном состоянии, близком к безмоментному, оптимальная по несущей способности и по расходу материалов, что позволяет армировать ее только продольной рабочей арматурой и изготавливать методом безопалубочного формования.

На основании анализа опыта конструирования и строительства пологих оболочек перекрытий и покрытий малых размеров нами была предложена железобетонная плита-оболочка [20-22] (рис. 1),

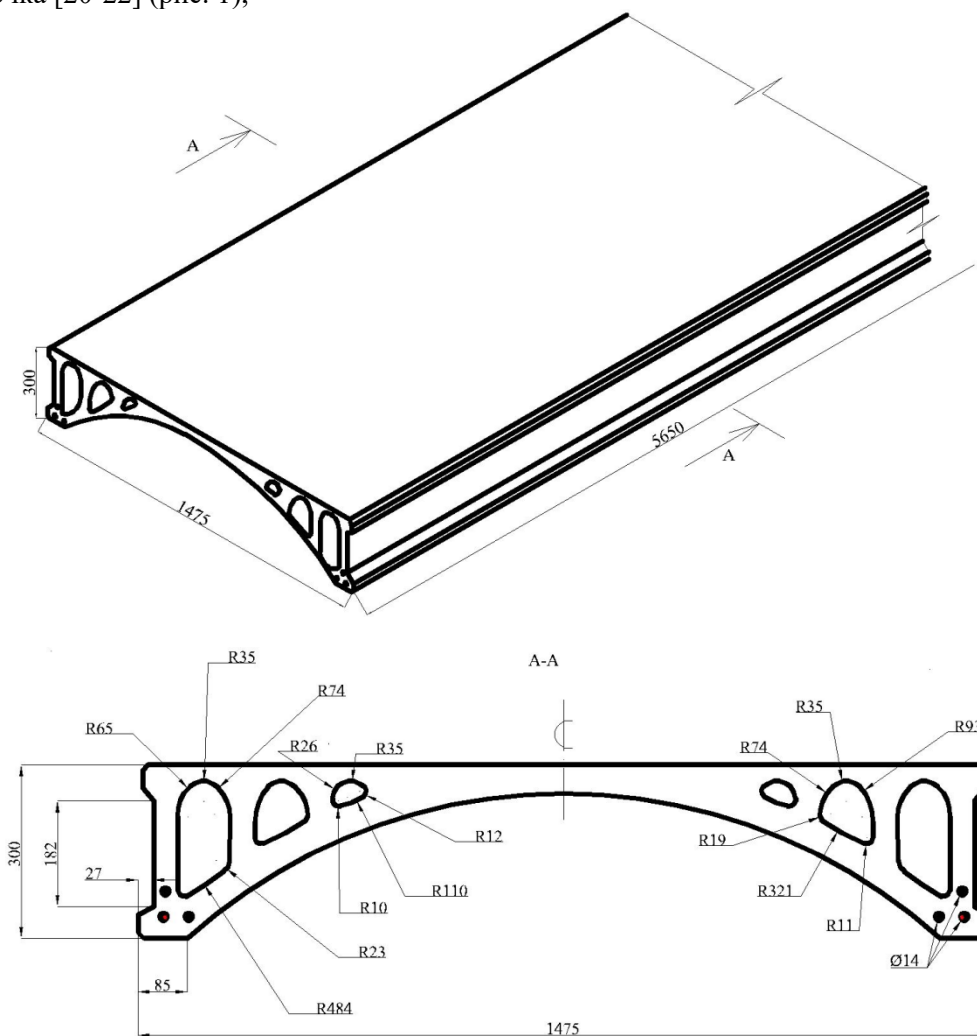


Рис. 1. Конструктивное решение плиты-оболочки (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Structural solution of the shell slab (illustration by the authors)

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.

Целью данной работы является экспериментальное исследование предлагаемой плиты-оболочки перекрытия.

Объектом исследования является железобетонная плита-оболочка с пустотами для перекрытий различных зданий, изготавливаемая по технологии безопалубочного формования. Предмет исследования – схема ее трещинообразования и характер работы исследуемой плиты-оболочки в стадии предельного равновесия, а также изгибающие моменты, возникающие в ней при действии равномерно распределенной нагрузки.

Задачами исследования являются:

- испытание моделей исследуемой конструкции нагрузками, постепенно возрастающими от их собственного веса, до разрушающих;
- экспериментальное исследование трещинообразования и предельного равновесия плиты-оболочки с пустотами;
- расчеты по результатам испытаний поперечных изгибающих моментов, возникающих в натурной плите-оболочке в районе середины пролета;
- сопоставление изгибающих моментов, полученных различными авторами экспериментально и при компьютерном моделировании напряженно-деформированного состояния.

## 2. Материалы и методы

Экспериментальное исследование выполнялось на железобетонных моделях, показанных на рис. 2, изготовленных с соблюдением единого масштабного коэффициента 1:5 в отношении генеральных размеров и размеров отдельных деталей конструкции.

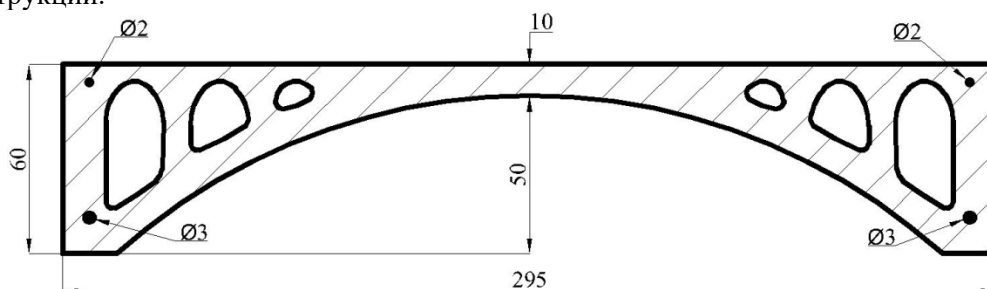
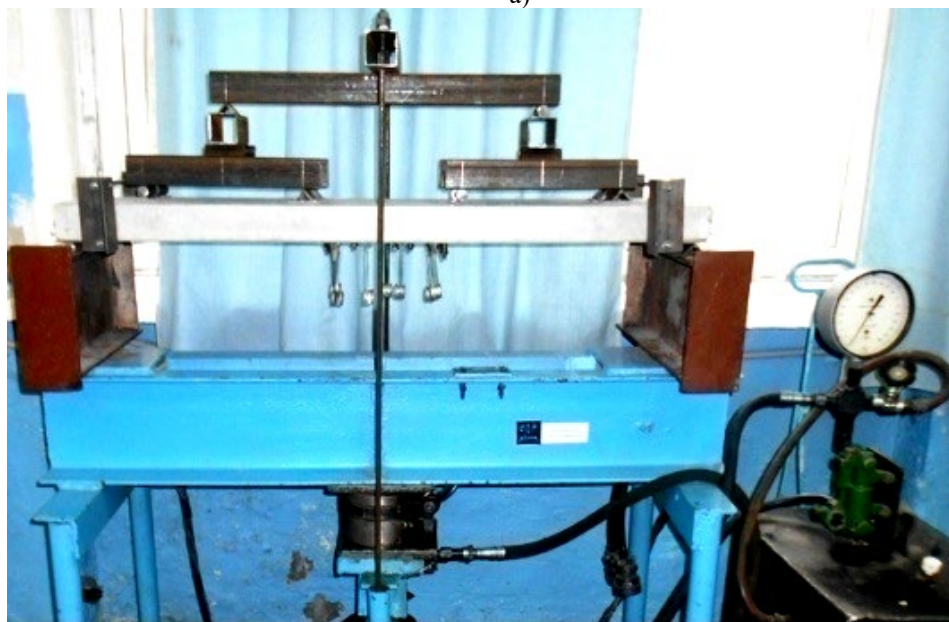


Рис. 2. Модель плиты-оболочки (иллюстрация авторов)  
Fig. 2. Shell-slab model (illustration by the authors)

В соответствии с указаниями п. 8.2.10 ГОСТ 8829-2018 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости» и положений из [23-25] модели нагружались при помощи испытательной установки, приведенной на рис. 3, в которой равномерно распределенная нагрузка заменялась эквивалентными нагрузками, создаваемыми четырьмя равными сосредоточенными силами, расположенными в два ряда по ширине.

а)



б)

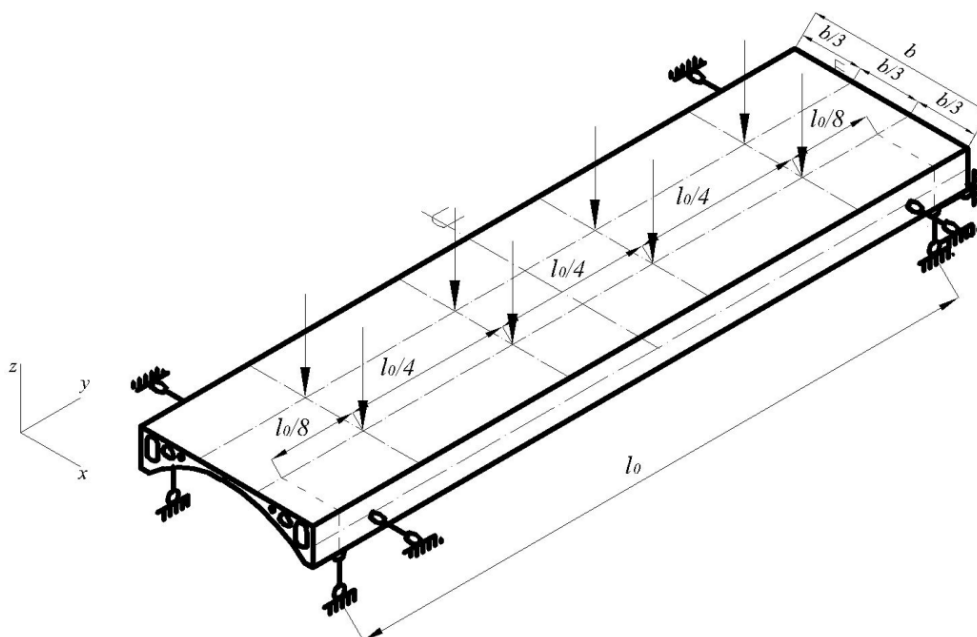


Рис. 3. Испытательная установка: а). фото, б). схема (иллюстрация авторов)  
 Fig. 3 Testing plant: a). photo, b). scheme (illustration by the authors)

В процессе испытаний моделей при помощи рычажных тензометров системы Гугенбергера фиксировались поперечные деформации, возникающие на нижней грани полки в районе середины их пролета (рис. 4);

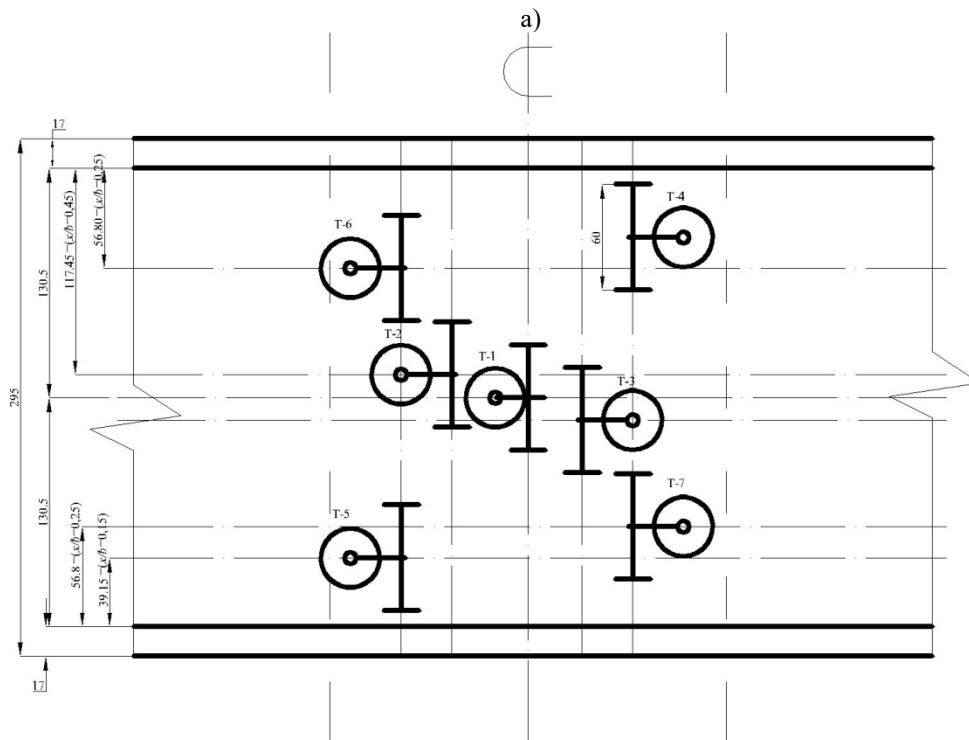






Рис. 4. Крепление рычажных тензометров Т-1 – Т-7 к нижней грани полки модели плиты-оболочки: а). схема, б). фото  
(иллюстрация авторов)

Fig. 4. Attaching lever strain gauges T-1 – T-7 to the bottom edge of the shelf of the shell-slab model:  
a). scheme; b). photo  
(illustration by the authors)

изучалась последовательность образования трещин в ребрах и в полке; выявлялся характер работы конструкции в стадии предельного равновесия.

Для сравнения с результатами экспериментального исследования разработанной конструкции выполнялось компьютерное моделирование ее напряженно-деформированного состояния.

Одним из программных продуктов, позволяющих решать задачи расчета тонкостенных конструкций, применяемым в строительстве в основном в исследовательских целях, является программный комплекс Ansys [26-28], конечно-элементные схемы в котором создаются автоматически [29].

Конечно-элементная схема исследуемой плиты-оболочки, используемая при ее расчете в программном комплексе Ansys состоит из 345992 конечных элементов. Бетон моделируется шестиузловыми и восьмиузловыми конечными элементами.

В ней размещена продольная рабочая арматура, в которое действует усилие предварительного напряжения, приложенное в виде температурного воздействия.

К верхней грани полки рассчитываемой плиты-оболочки приложена равномерно распределенная нагрузка, равная 24100 Па, а по всему объему конструкции действует нагрузка от ее собственного веса.

В углу конструкции и в середине ее полки наложены связи, моделирующие ее шарнирно неподвижное закрепление на опоре в нижней угловой точке, и отсеченную часть полки.

Другими программными продуктами, используемыми в настоящее время для исследования и проектирования строительных конструкций являются многофункциональные программные комплексы ЛИРА-САПР, ЛИРА-Soft, ScadOffice [30-32], конечно-элементные схемы в которых создаются авторами исследований.

При моделировании исследуемой конструкции в программном комплексе ЛИРА использовались следующие типы конечных элементов: бетон – тип 236 – физически нелинейный универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический

конечный элемент; арматурные стержни – тип 10 – универсальный пространственный стержневой конечный элемент с горизонтальными жесткими вставками. Восьмиузловые конечные элементы имеют различные размеры поперечного сечения, для стержневых – принят диаметр 14 мм.

Используемые законы деформирования материалов: бетон – 18 нелинейный закон деформирования Гениева; стальная арматура – 11 экспоненциальный закон деформирования.

### 3. Результаты и обсуждение

Испытания исследуемой плиты-оболочки, выполненные авторами, а также аналогичных конструкций, выполненные другими авторами, показали следующие результаты.

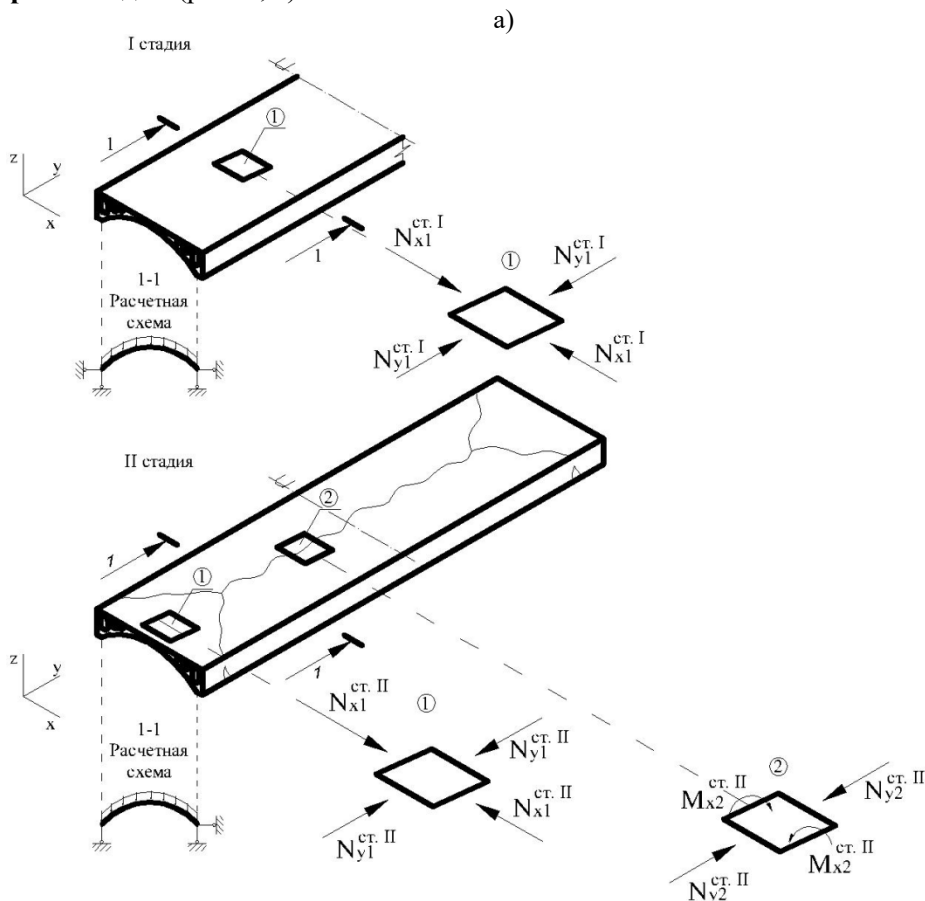
При испытаниях моделей исследуемой конструкции нами было установлено [33], что аналогично изгибаемым элементам прямоугольного сечения по мере роста нагрузки плита-оболочка проходит три стадии напряженно-деформированного состояния:

первая стадия – упругая стадия работы бетона на растяжение в нижней части продольных контурных ребер;

вторая стадия – стадия образования и раскрытия трещин;

третья стадия – стадия разрушения.

**Первая стадия** (рис. 5, а):



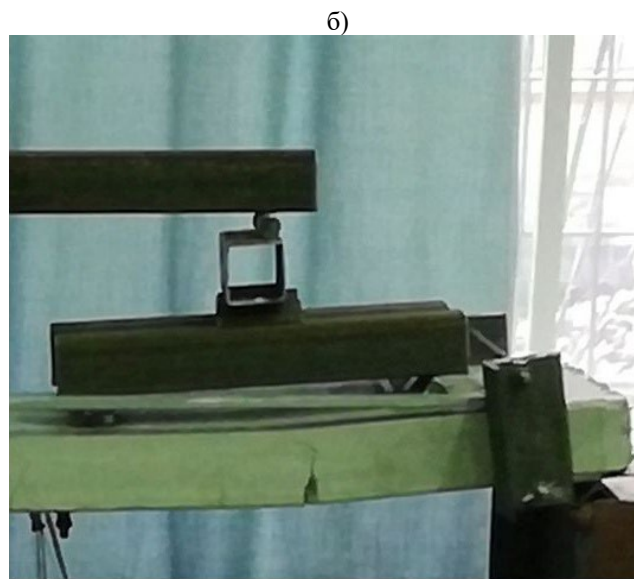


Рис. 5. Схемы развития нормальных усилий, изгибающих моментов и трещин в исследуемой плите-оболочке на первой и второй стадиях напряженно-деформированного состояния:

а – рисунок, б – фото (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Schemes of the development of normal forces, bending moments and cracks in the studied shell-slab at the first and second stages of the stress-strain state: a – drawing, b – photo (illustration by the authors)

наблюдается при нагрузке

$$q_0 \leq q_1 < q_{crc}, (1)$$

где  $q_0$  – суммарная нагрузка, складывающаяся из нагрузки от собственной массы модели и нагрузки от собственной массы испытательной установки, опирающейся на нее;  $q_{crc}$  – нагрузка, соответствующая моменту образования трещины в продольных ребрах, составляющая согласно экспериментам  $q_{crc} = (0.51 \dots 0.62) \cdot q_u$ ;

здесь  $q_u$  – предельная (разрушающая) нагрузка, составляющая в среднем  $q_u = 13,8$  кПа.

**Вторая стадия:**

установлена при нагрузке

$$q_{crc} \leq q_2 < q_u, (2)$$

Исследования деформаций показали, что на этой стадии происходит изменение напряженно-деформированного состояния плиты-оболочки: в приопорной зоне продольного контурного ребра с появлением трещин появляется пластический шарнир (см. рис. 5, а, б), что приводит к постепенному отключению распора и постепенному разделению полки плиты-оболочки на две области (см. рис. 5, а).

На этой стадии в области № 2 возникает поперечный изгибающий момент  $M_{x2}^{ст. II}$ , величина которого остается незначительной практически до разрушения конструкции. При этом установлена прямая связь между шириной раскрытия трещины в продольном контурном ребре и величиной поперечного изгибающего момента.

**Третья стадия:**

установлена при нагрузке

$$q_3 \cong q_u. (3)$$

Разрушение модели плиты-оболочки начинается с разрушения продольных контурных ребер вследствие нарушения анкеровки арматуры с последующим ее продергиванием (рис. 6) [34].





Рис. 6. Магистральная нормальная трещина в продольном контурном ребре  
(иллюстрация авторов)

Fig. 6. Main normal crack in longitudinal contour rib  
(illustration by the authors)

Далее, происходит разрушение бетона в полке (рис. 7), начинающееся с образования сквозных диагональных трещин, заканчивающееся образованием сквозной продольной трещины в середине полки по ширине.

а)



б)



Рис. 7. Сквозные продольные трещины, образующиеся в исследуемой плите-оболочке в стадии предельного равновесия:

а – на верхней поверхности полки; б – на нижней поверхности полки

(иллюстрация авторов)

Fig. 7. Through longitudinal cracks formed in the test material shell-slab at the stage of limit equilibrium:

a – on the upper surface of the flange; b – on the bottom surface of the flange

(illustration by the authors)

В Пензенском государственном архитектурно-строительном университете при испытаниях моделей пустотной панели покрытия с торцевыми ребрами с ненапрягаемой арматурой, с размерами в плане 0,745 x 1,495 м установлено [35], что первые нормальные трещины в средней части ребер появились при нагрузке, составляющей 0,63 контрольной по прочности и в дальнейшем развивались очень незначительно, продольные трещины в тонкой части полки отсутствовали.

Незадолго до разрушения конструкции в угловых зонах полки появились диагональные трещины, характерные для угловых зон цилиндрических оболочек и плит, опертых по контуру.

Одна из моделей разрушилась от проскальзывания продольной арматуры в приопорной зоне ребер, другая – от разрыва продольной арматуры в середине пролета. Разрушения полки в поперечном направлении достигнуть не удалось.

Описанные выше схемы образования трещин близки со схемой их образования в большепролетной цилиндрической оболочке, описанной в п. 9.7 СП 387.1325800.2018 «Железобетонные пространственные конструкции перекрытий и перекрытий. Правила проектирования», где говорится, что расчет этой конструкции по прочности, жесткости и трещиностойкости следует производить с учетом образования трещин в бортовых элементах и в плите, и трещин вдоль образующих в плите или трещин поперечных ребрах в соответствии с методиками, изложенными в СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003». Допускается не учитывать при расчете косые трещины в углах.

При компьютерном моделировании напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции было установлено, что в направлении пролета она работает по схеме предварительно напряженной балки.

Вблизи опоры под действием усилия предварительного напряжения и влияния элементов, сдерживающих поперечные деформации продольных контурных ребер, в ее полке возникают главные напряжения, направленные диагонально, являющиеся на нижней грани полки сжимающими, а на верхней грани – растягивающими, превышающими расчетное сопротивление бетона растяжению  $R_{bt}$ .

По мере приближения к середине пролета конструкции она прогибается вниз, и незначительные продольные сжимающие напряжения возникают по всей толщине ее полки.

В середине пролета конструкции на нижней грани полки вблизи линии ее сопряжения с продольным контурным ребром возникают максимальные растягивающие напряжения, значительно превосходящие расчетное сопротивление  $R_{bt}$ , а на верхней грани полки – максимальные сжимающие напряжения, не превышающие расчетное сопротивление бетона сжатию  $R_b$ .

В поперечном направлении исследуемая плита-оболочка работает на изгиб между продольными контурными ребрами, что приводит к сжатию ее полки почти по всему объему конструкции.

Растягивающие напряжения, незначительно превосходящие расчетное сопротивление  $R_{bt}$ , появляются только на нижней грани тонкого участка полки в районе середины конструкции по ширине.

В середине пролета конструкции по всей ширине нижней грани полки возникают растягивающие напряжения  $\left(\sigma_{x/2}^{\text{полка}}\right)$ , превосходящие расчетное сопротивление  $R_{bt}$  в районе центра полки, уменьшающиеся по мере приближения к ребрам, напрямую зависящие от толщины плиты в каждом сечении.

Такая стабильность обусловлена наличием закрепления плиты-оболочки в поперечном направлении на опорах и высокой жесткостью предварительно напряженных продольных контурных ребер, позволяющих ограничивать его перемещения в поперечном направлении от опоры до середины пролета.

Исходя из описанного выше характера напряженно-деформированного состояния исследуемой конструкции можно сделать вывод о том, что разрушение плиты-оболочки начинается после того как продольные напряжения  $\sigma_y$ , возникающие в конечных

элементах, расположенных на нижней грани ее продольного контурного ребра в середине пролета достигают значения расчетного сопротивления бетона растяжению  $R_{bt}$ .

После этого происходит перераспределение предельных напряжений  $\sigma_y$  по длине продольного контурного ребра, и предельные продольные и поперечные напряжения возникают в полке конструкции вблизи ее опоры, приводя к возникновению в этой зоне главных растягивающих и сжимающих напряжений, превосходящих расчетные сопротивления  $R_b$  и  $R_{bt}$ , действующих по диагонали.

Разрушение конечно-элементной модели завершается после того, как предельные напряжения  $\sigma_x$  развиваются по всей длине полки в ее средней части по ширине.

Сопоставление эпюр изгибающих моментов  $M_{x, l/2}^{полка}$ , полученных авторами для исследуемой плиты-оболочки экспериментально, и при компьютерном моделировании ее напряженно-деформированного состояния, а также другими исследователями для аналогичных конструкций выполнено на рис. 8, а их численных значений – в таблице 1.

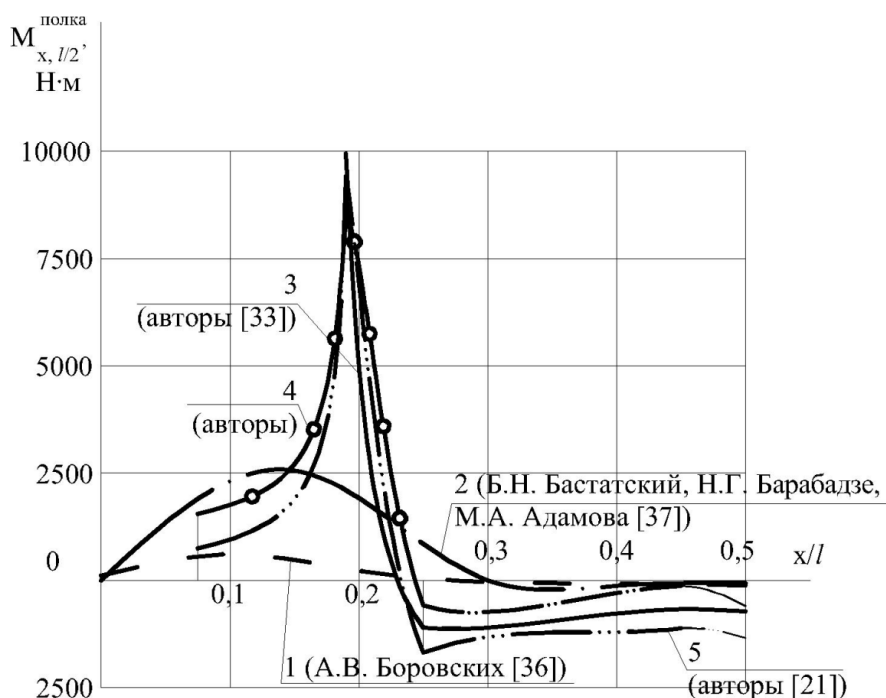


Рис. 8. Сравнение эпюр изгибающих моментов  $M_{x, l/2}^{полка}$ , полученных разными авторами

(иллюстрация авторов)

Fig. 8. Comparison of diagrams of bending moments  $M_{x, l/2}^{полка}$  obtained by different authors

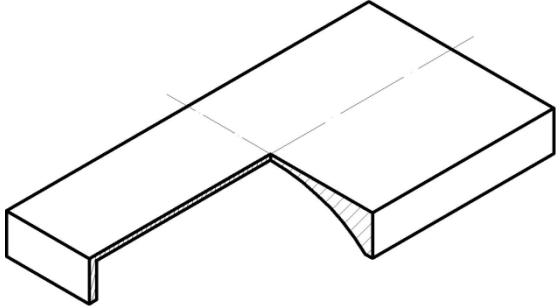
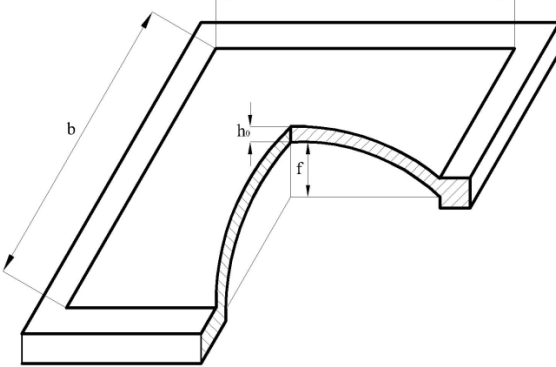
(illustration by the authors)

Анализ представленных эпюр изгибающих моментов  $M_{x, l/2}^{полка}$  и их численных значений, возникающих в исследуемой плите-оболочке, свидетельствует о том, что они характеризуются двумя экстремальными точками, одна из которых соответствует максимальным значениям отрицательных моментов, концентрирующихся в угловых зонах, а другая – положительных, имеющих место в четвертях и центре конструкции.

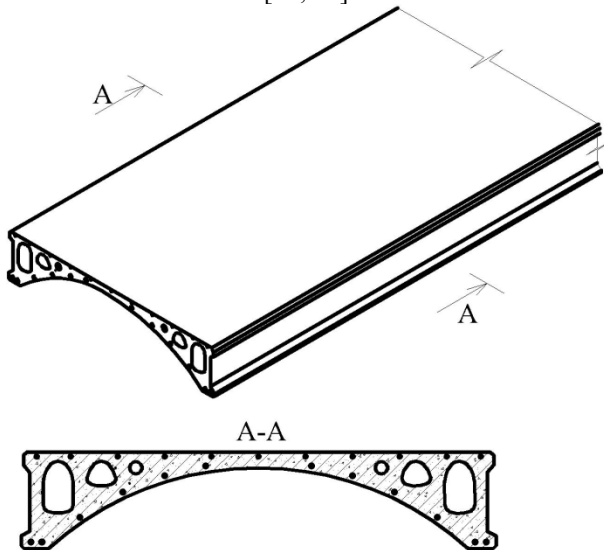
Как видно из рис. 8 и из таблицы 1, сопоставление результатов, полученных в данной работе, с результатами, полученными другими авторами для аналогичных конструкций, показало схожую качественную картину деформаций, при этом значения существенно отличались, что связано с различиями в размерах конструкций в плане, условиях их опирания, величинах нагрузок.

Таблица 1

Численные значения поперечных изгибающих моментов  $M_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ , полученные разными авторами

№ эшоры на рис. 8	Метод получения результатов	Источники и описание конструкции						
1	Расчет	<p style="text-align: center;">Боровских А.В. [36]</p> 						
		Результаты из [36]						
		Изгибающий момент	Относительные расстояния от линии сопряжения полки с продольным контурным ребром $x_i/b_{\text{полка}}$					
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$M_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	-100	-600	-220	-40	80	120		
2	Расчет	Источники и описание конструкции						
		Бастатский Б.Н., Барабадзе Н.Г., Адамова М.А. [37]						
								
		Результаты из [37]						
Изгибающий момент	$x_i/b_{\text{полка}}$							
	0	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4		
$M_{x, \frac{l}{2}}^{\text{полка}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	0	-1794,8	-2564	-1923	0	128,2		
64,1								

Окончание таблицы 1

		Источники и описание конструкции								
		Исследуемая плита-оболочка [21, 33]								
										
		Результаты из [21, 29, 34]								
		Изгибающий момент	$x_i/b_{полка}$							
			0	0,075	0,16	0,186	0,19	0,25	0,45	0,5
3	Эксперимент [33]	$\left(M_{x_i/l}^{полка}\right)_{эксп.}$ , Н·м	...	...	...	...	-9969,4	1102	709,3	725,5
4	Расчет в ПП ANSYS	$\left(\left(M_{x_i/l}^{полка}\right)_{ANSYS}\right)$ , Н·м	...	-1290,3	-2926,9	-6724,1	-8222,2	848,8	397,1	859,1
5	Расчет в ПП Lira [21]	$\left(\left(M_{x_i/l}^{полка}\right)_{ЛИРА}\right)$ , Н·м	...	-1264,5	-2885,6	-6993,1	-9961,1	1170,7	597,5	825,4

**4. Заключение**

1. Во введении указывается, что исследуемая плита-оболочка перекрытия при равномерной нагрузке находится в поперечном направлении в напряженном состоянии, близком к безмоментному, что позволяет армировать ее только продольной рабочей арматурой и изготавливать методом безопалубочного формования.
2. Выполнены испытания моделей предложенной конструкции, позволившие выявить характер ее работы на всех стадиях работы от начала нагружения до разрушения.
3. Экспериментально изучены ее трещинообразование и работа в стадии предельного равновесия, показавшие, что разрушение начинается с образования нормальных трещин в продольных контурных ребрах с последующим образованием сквозных диагональных трещин в углах полки и

заканчивается после образования сквозной продольной трещины в середине полки по ширине.

4. На основании результатов испытаний определены поперечные изгибающие моменты, возникающие в середине пролета натурной конструкции и выполнено их сопоставление с результатами, полученными при ее расчетах в ПП Ansys и ЛИРА, а также с результатами, полученными другими авторами для аналогичных конструкций, показавшее схожую качественную картину деформаций, при существенном отличии значений, связанном с различиями в размерах конструкций, условиях их опирания, величинах нагрузок.

#### Список литературы/References

1. Шустов С.А. Общие сведения о шпоночном соединении пустотных плит перекрытия // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 3. С. 592-597. [Shustov S.A. General information on the keyway connection of hollow-core floor slabs // Issues of sustainable development of society. 2022. No. 3. P. 592-597.].
2. Шустов С.А. Оценка НДС шпоночного соединения пустотных плит перекрытия // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 7. С. 823-839. [Shustov S.A. Assessment of the stress-strain state of a keyed connection of hollow-core floor slabs // Issues of sustainable development of society. 2022. No. 7. P. 823-839.].
3. Белов А.В., Тишков Н.Л., Осипов П.П. Экспериментальное исследование платформенного стыка двухстороннего опирания пустотных плит перекрытия с учетом возможных отклонений при возведении // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2023. № 1 (43). С. 20-25. [Belov A.V., Tishkov N.L., Osipov P.P. Experimental study of the platform joint of double-sided support of hollow-core floor slabs taking into account possible deviations during construction // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. 2023. No. 1 (43). P. 20-25.].
4. Зайцев А.М., Ларионов С.Г., Панфилов Д.В. Несущая способность типовой пустотной плиты перекрытия при объемном взрыве внутри помещения // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 2 (70). С. 11-22. [Zaitsev A.M., Larionov S.G., Panfilov D.V. Bearing capacity of a typical hollow-core slab during a volumetric explosion inside the premises // Scientific journal of construction and architecture. 2023. No. 2 (70). P. 11-22.].
5. Белгородское решение – железобетонные плиты перекрытий из керамзитобетона, изготавливаемые по стендовой безопалубочной технологии (информация) // Строительные материалы. 2022. № 3. С. 9-11. [Belgorod solution – reinforced concrete floor slabs made of expanded clay concrete, manufactured using bench-type formwork-free technology (information) // Construction materials. 2022. No. 3. P. 9-11.].
6. Шаховал Н.С., Лавневич Т.С. Решение вопросов организации и планирования производства пустотных плит по технологии безопалубочного формования // Техника и технологии строительства. 2022. № 4 (32). С. 55-61. [Shakhoval N.S., Lavnevich T.S. Solution of issues of organization and planning of production of hollow-core slabs using formwork-free molding technology // Construction engineering and technologies. 2022. No. 4 (32). P. 55-61.].
7. Умаров К.С., Усманходжаева Л.А., Адхамов О. Выбор технологии и оборудования для непрерывного безопалубочного формования на длинном стенде в условиях Центрально-Азиатского региона // Universum: технические науки. 2022. № 12-3 (105). С. 14-20. [Umarov K.S., Usmankhodjaeva L.A., Adkhamov O. Selection of technology and equipment for continuous formwork-free molding on a long stand in the conditions of the Central Asian region // Universum: technical sciences. 2022. No. 12-3 (105). P. 14-20.].
8. Хошафян С.О. Проблемы современного производства бетонных и железобетонных конструкций заводского изготовления // Энигма. 2020. № 26. С. 143-146. [Khoshafyan S.O. Problems of modern production of factory-made concrete and reinforced concrete structures // Enigma. 2020. No. 26. P. 143-146.].



9. Саргсян О.Т. Проблемы современного производства железобетонных конструкций // Студенческий вестник. 2021. № 47-7 (192). С. 89-90. [Sargsyan O.T. Problems of modern production of reinforced concrete structures // Student Bulletin. 2021. No. 47-7 (192). P. 89-90.].
10. Блажко В.П., Смирнова Л.Н. Технические решения сборно-монолитного здания для заводов ЖБИ с ограниченными технологическими возможностями // Бетон и железобетон. 2023. № 4 (618). С. 28-35. [Blazhko V.P., Smirnova L.N. Technical solutions for a precast-monolithic building for reinforced concrete plants with limited technological capabilities // Concrete and reinforced concrete. 2023. No. 4 (618). P. 28-35.].
11. Выставкина Е.В. Ребристое монолитное железобетонное перекрытие с балочными плитами и его применение // Colloquium-Journal. 2019. № 10-1 (34). С. 66-67. [Vystavkina E.V. Ribbed monolithic reinforced concrete floor slab with beam slabs and its application // Colloquium-Journal. 2019. No. 10-1 (34). P. 66-67.].
12. Хапин А.В., Махиев Б.Е., Верёвкин Д.В. К расчету сборных железобетонных плит на продавливание // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2020. № 2 (113). С. 10-17. [Khapin A.V., Makhiev B.E., Verevkin D.V. On the calculation of precast reinforced concrete slabs for punching // Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyspaev. 2020. No. 2 (113). P. 10-17.].
13. Терехов И.А., Такташкина О.Л. Ликвидация дефектов ребристых плит перекрытий и покрытий // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 11-2 (74). С. 167-172. [Terekhov I.A., Taktashkina O.L. Elimination of defects in ribbed floor and roof slabs // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2022. No. 11-2 (74). P. 167-172.].
14. Сейфуллаев Х.К., Джебраилова Г.Х. Напряженно-деформированное состояние плит-оболочек переменной толщины с верхним плоским основанием // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 1 (270). С. 37-41. [Seyfullaev H.K., Dzhebrailova G.Kh. Stress-strain state of shell slabs of variable thickness with an upper flat base // Structural mechanics and calculation of structures. 2017. No. 1 (270). P. 37-41.].
15. Пасхин Д. В., Соколов Б. С. Большепролетные сегментные своды из крупногабаритных железобетонных сводчатых панелей-оболочек // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 4. С. 51-56. doi: 10.33622/0869-7019.2022.04.51-56. [Pashin D. V., Sokolov B. S. Large-span segmental vaults made of large-sized reinforced concrete vaulted shell panels // Industrial and civil engineering. 2022. No. 4. P. 51-56. doi: 10.33622/0869-7019.2022.04.51-56].
16. Пасхин Д. В., Соколов Б. С. Анализ технических параметров сборного большепролетного сегментного свода из панелей-оболочек КЖС // Бетон и железобетон. 2020. № 2(602). С. 19-27. [Pashin D. V., Sokolov B. S. Analysis of technical parameters of a precast large-span segmental vault made of reinforced concrete shell panels // Concrete and reinforced concrete. 2020. No. 2 (602). P. 19-27.].
17. Корчагина Е.И. Изучение методики расчета вспарушенных монолитных железобетонных плит перекрытий с предварительным напряжением арматуры // В сборнике «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» по материалам 72-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2016 год. 2017. С. 281-283. [Korchagina E.I. Study of the calculation methodology for raised monolithic reinforced concrete floor slabs with prestressed reinforcement // In the collection "Scientific support of the agro-industrial complex" based on the materials of the 72nd scientific and practical conference of students on the results of research for 2016. 2017. P. 281-283.].
18. Соколов Б.С., Титаев В.А., Пасхин Д.В. Проектирование железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий в пособии к СП 387.1325800 // Вестник НИЦ Строительство. 2020. № 4 (27). С. 97-106. [Sokolov B.S., Titaev V.A., Pashin D.V. Design of reinforced concrete spatial structures of roofs

- and floors in the manual to SP 387.1325800 // Bulletin of the Research Center for Construction. 2020. No. 4 (27). P. 97-106.].
19. Соколов Б.С. Развитие норм проектирования железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий в России // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1 (16). С. 92-100. [Sokolov B.S. Development of standards for the design of reinforced concrete spatial structures of roofs and floors in Russia // Bulletin of the Research Center for Construction. 2018. No. 1 (16). P. 92-100.].
  20. Железобетонная плита-оболочка : патент на полез. модель Рос. Федерация. № 2016131534/03 ; заявл. 01.08.2016 ; опубл. 27.11.2016, Бюл. №33. 12 с. [Reinforced concrete shell slab : utility patent. model of the Rus. Federation. № 2016131534/03 ; decl. 08/01/2016; publ. 11/27/2016. Bull. in № 33. 12 p.].
  21. Селиванов А.В., Регер Ф.Ф. Результаты экспериментальных исследований железобетонной плиты-оболочки // Вестник СибАДИ. 2019. 16(3). С. 378-392. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-378-392>. [Selivanov A.V., Reger F.F. Results of experimental studies of reinforced concrete shell-slab // Bulletin of SibADI. 2019. 16(3). P. 378-392. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-378-392>.].
  22. 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>. [Selivanov A.V., Reger F.F., Chakurin I.A. On the influence of design features on the stress-strain state (SSS) of a reinforced concrete shell-slab floor // Vestnik SibADI. 2022. T.19. No. 3 (85). P. 446-460. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460>.].
  23. Мирсаяпов Ил-т. Т. Выявление зон концентрации напряжений в железобетонных конструкциях методом тепловизионного контроля // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 6. С. 16-18. [Mirsayapov Il-t. T. Identification of stress concentration zones in reinforced concrete structures by thermal imaging control // Earthquake-resistant construction. Safety of structures. 2007. No. 6. P. 16-18.]
  24. Мирсаяпов Ил-т. Т. Способ выявления зон концентрации в строительных конструкциях // Патент на изобретение №2315271. 2008. 14 с. [Mirsayapov Il-t. T. A method for detecting concentration zones in building structures // Patent for invention No.2315271. 2008. 14 p.]
  25. Мирсаяпов Ил. Т. Предел выносливости анкеровки арматуры // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. №1. С. 37-42. [Mirsayapov, Il. T. The limit of endurance of reinforcement anchoring // Earthquake-resistant construction. Safety of structures. 2016. No.1. P. 37-42.]
  26. Черпаков А.В., Шиляева О.В., Зеньковский И.А., Пономаренко А.В., Пономаренко К.В., Кокарева Я.А. Параметрическое моделирование плиты перекрытия в комплексе Ansys // Инженерный вестник Дона. 2019. № 7 (58). С. 40. [Cherpakov A.V., Shilyaeva O.V., Zenkovsky I.A., Ponomarenko A.V., Ponomarenko K.V., Kokareva Ya.A. Parametric modeling of a floor slab in the Ansys complex // Engineering Bulletin of the Don. 2019. No. 7 (58). P. 40.]
  27. Мостовских Д.С., Беляева З.В. Расчет огнестойкости нестандартных сечений элементов железобетонных конструкций с использованием программного комплекса Ansys // Русский журнал строительных наук и технологий. 2022. Т. 8. № 1. С. 5-19. [Mostovskikh D.S., Belyaeva Z.V. Calculation of fire resistance of non-standard sections of reinforced concrete structure elements using the Ansys software package // Russian Journal of Construction Sciences and Technologies. 2022. Vol. 8. No. 1. P. 5-19.]
  28. Derkach V. Numerical studies of the coefficient of the degree of pinching of hollow-core precast slabs in stone walls // Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete. 2019. № 11. С. 25-35.
  29. Мирсаяпов Илшат Т., Апхадзе Г.Т., Симаков В.Д. Численный анализ нелинейного поведения железобетонных конструкций на твердотельных моделях: Монография. Казань. 2023. 211с. [Mirsayapov Ilshat T., Uphadze G.T., Simakov V.D. Numerical analysis of the nonlinear behavior of reinforced concrete structures on solid models: Monograph. Kazan. 2023. 211p.]

- Simakov V.D. Numerical analysis of the nonlinear behavior of reinforced concrete structures on solid-state models: Monograph. Kazan. 2023. 211p.]
30. Соколов Б. С., Пасхин Д. В., Пшеничников А. В. Современные конструктивные решения сборных железобетонных большепролетных сводов покрытий // Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения А. Ф. Лолейта (Москва, 30 ноября 2018 г.). М. : МИСИ- МГСУ. 2018. С. 398-404. [Sokolov B. S., Paskhin D. V., Pshenichnikov A. V. Modern design solutions for precast reinforced concrete large-span roof vaults // Modern methods for calculating reinforced concrete and masonry structures for limit states: Coll. reports. Int. scientific and practical. conf., dedicated to the 150th anniversary of the birth of A. F. Loleit (Moscow, November 30, 2018). M.: MISI-MGSU. 2018. P. 398-404.]
  31. Аверина Т.А. Моделирование схем развития трещин в плитах и пологих оболочках на основе траектории наибольших растягивающих напряжений // Системы управления и информационные технологии. 2022. № 2 (88). С. 4-8. [Averina T.A. Modeling of crack development patterns in slabs and shallow shells based on the trajectory of the greatest tensile stresses // Control Systems and Information Technologies. 2022. No. 2 (88). P. 4-8.]
  32. Колесников А.Г., Осадчая А.В., Спасских И.А. Программа для расчета пологих оболочек покрытия с дефектами // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023615443, 15.03.2023. Заявка № 2023611123 от 26.01.2023. [Kolesnikov A.G., Osadchaya A.V., Spasskikh I.A. Program for calculating shallow coating shells with defects // Certificate of registration of computer program RU 2023615443, 03/15/2023. Application No. 2023611123 dated 01/26/2023.]
  33. Селиванов А.В., Регер Ф.Ф., Чакурин И.А. Исследование трещинообразования и предельного равновесия железобетонной плиты-оболочки перекрытия // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19. № 5 (87). С. 762-776. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-762-776>. [Selivanov A.V., Reger F.F., Chakurin I.A. Study of cracking and limit equilibrium of a reinforced concrete shell-slab floor // Bulletin of SibADI. 2022. Vol.19. No. 5 (87). P. 762-776. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-5-762-776>.]
  34. Мирсаяпов Ил. Т. Напряженно-деформированное состояние в заделке арматуры при многократно повторяющихся нагрузках // Вестник МГСУ. 2016. №5. С. 28-36. [Mirsayapov Il. T. Stress-strain state in reinforcement embedment under repeated loads // Bulletin of MGSU. 2016. No. 5. P. 28-36]
  35. 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. [Baranova T.I., Silvanovich T.G., Viktorov V.G., Vormotov A.N. Hollow panel coverings of industrial buildings // News of universities. Construction. 1995. No. 11. P. 3–6.]
  36. Боровских А.В. К вопросу о проектировании железобетонных перекрытий зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. №12(83). С.67–70. [Borovskikh A.V. On the issue of designing reinforced concrete floors of buildings // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2005. No. 12(83). P. 67–70.]
  37. Бастатский Б.Н., Барабадзе Н.Г., Адамова М.А. О выборе формы поперечного сечения впарушенных плит / Сб. ст. НИИ бетона и железобетона, ЦНИИ строительных конструкций им. В. А. Кучеренко – Пространственные конструкции зданий и сооружений / Стройиздат. Москва, 1985. Вып. 5. с. 128-133. [Bastatsky B.N., Barabadze N.G., Adamova M.A. On the choice of cross-sectional shape of curved slabs / Sat. Art. Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete, Central Research Institute of Building Structures named after. V. A. Kucherenko – Spatial structures of buildings and structures / Stroyizdat. Moscow, 1985. Issue. 5. P. 128-133.]

**Информация об авторах**

**Мирсаяпов Илшат Талгатович**, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

E-mail: mirsayapovit@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4902-6167

**Селиванов Антон Валерьевич**, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, Российская Федерация.

E-mail: ant.seliwanov@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6073-2690

**Регер Федор Федорович**, кандидат сельскохозяйственных наук, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, Российская Федерация.

E-mail: fedorreger@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3288-7457

**Information about the authors**

**Pshat T. Mirsayapov**, doctor of technical sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mirsayapovit@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4902-6167

**Anton V. Selivanov**, Siberian Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation

E-mail: ant.seliwanov@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6073-2690

**Fedor F. Reger**, candidate of agricultural sciences, Siberian Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation

E-mail: fedorreger@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3288-7457