

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/58SAVN120.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Васильев А.С., Плеханова Е.А. Влияние армирования диафрагм ребристых панелей на несущую способность // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/58SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Vasilyev A.S., Plehanova E.A. (2020). The effect of reinforcing diaphragms of ribbed panels on the bearing capacity. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/58SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 624.04

ГРНТИ 67.11.31; 30.19.53

Васильев Алексей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема», Биробиджан, Россия
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: Vasil-grunt@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7783-0000>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=896244

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57203895897>

Плеханова Екатерина Александровна

ФГБОУ ВО «Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема», Биробиджан, Россия
Студент

E-mail: Plehanova.ekaterina1407@yandex.ru

Влияние армирования диафрагм ребристых панелей на несущую способность

Аннотация. На сегодняшний день строительная отрасль изобилует перекрытиями разных типов, однако чаще всего прибегают к монтажу ребристых плит перекрытия. Ребристое перекрытие выпускается в виде цельнолитой плиты со вспомогательным продольным элементом, выполняющим функцию балки, которая работает на изгиб. Известно, что при расчетах ребристых панелей по прочности нормальных сечений, их представляют в форме железобетонных тавровых или двутавровых балок. Однако, такой подход не позволяет учесть влияние поперечных ребер (диафрагм), на результаты расчетов по двум группам предельных состояний. Как правило, поперечные ребра используются в плитах с большей шириной и служат главным образом для обеспечения ее прочности на изгиб по ширине в поперечном направлении.

Следует отметить, что в любом направлении по нормальным сечениям плита рассчитывается по балочной теории на основе моделей строительной механики, описывающих ее поведение приближенно. Более точно поведение при статической нагрузке такой плиты может описать теория пластин и оболочек. Однако, с учетом работы арматуры в нескольких направлениях, а также наличием физической нелинейности в модели, применение этой теории сопряжено с определенными трудностями.

В работе исследованы ребристые панели перекрытий, смоделированные в современном программном комплексе. Исследовались образцы с предварительно напряженной и ненапрягаемой арматурой, с наличием и отсутствием поперечных ребер. В результате

установлено, что в расчетах на прочность по нормальным сечениям по длине плиты, целесообразно учитывать наличие поперечных ребер с учетом их армирования. Это поможет при разработке поправочных коэффициентов и уточнении раздела теории расчета строительных конструкций. Получены оригинальные результаты.

Ключевые слова: численный эксперимент; диафрагма; железобетонная конструкция; напряженно-деформированное состояние; прогиб

Введение

На сегодняшний день строительная отрасль изобилует перекрытиями разных типов, однако чаще всего прибегают к монтажу ребристых плит перекрытия. Ребристое перекрытие выпускается в виде цельнолитой плиты со вспомогательным продольным элементом, выполняющим функцию балки, которая работает на изгиб. Если необходимо минимизировать действие очень высокой нагрузки, прибегают к поперечным ребрам. При этом плита рассчитывается в двух направлениях: в продольном и поперечном. Однако, стандартные способы расчета ребристых плит не позволяют учесть влияние поперечных ребер (диафрагм) на их несущую способность в продольном направлении.

Авторами проведено численное исследование несущей способности ребристых плит в расчетном комплексе ANSYS. Исследование моделей железобетона для численных исследований на основе метода конечных элементов предложены в работах Карпенко Н.И. [1; 2], Клованича С.Ф. [3; 4]. Также расчетами железобетонных конструкций, в том числе ребристых плит, занималось множество зарубежных авторов.

Moyeda [5] предложил в своей работе новый многослойный пластинчатый элемент, для расчета ребристых панелей с учетом предварительного напряжения. В работе [6] представлен упрощенный метод проектирования для сборных бетонных ребристых панелей. Этими же авторами в статье [7] установлено, что плиты с предварительно напряженными ребристыми панелями Т-типа могут демонстрировать такое же сопротивление усталости при изгибе, что и монолитные плиты. Al-Azzawi, Adel A анализирует поведение армированных плит на легком заполнителе [8].

Рассматриваемая задача об армировании диафрагм плиты в данной работе решена на основе метода конечных элементов с использованием моделей прочности структурно-неоднородных материалов, на основе программного комплекса ANSYS. Установлено, что в расчетах на прочность по нормальным сечениям по длине плиты, целесообразно учитывать наличие поперечных ребер с учетом их армирования.

1. Методы и материалы

В данной работе рассматривалась ребристая панель по типу П2, усиленная поперечными ребрами (диафрагмами). Расчетная схема панели представлена на рисунке 1.

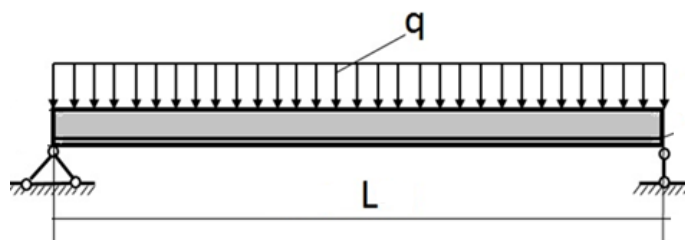


Рисунок 1. Расчетная схема плиты (составлено авторами)

На плиту перекрытия действуют постоянные и временные нагрузки. Расчётная нагрузка на перекрытие составила 15.82 кН/м^2 . В результате аналитического расчета установлено, что для обеспечения несущей способности, продольные ребра панели армировались в нижней части арматурой А600 с диаметром $d = 22 \text{ мм}$. Расчеты велись как для предварительно-напряженной арматуры, так и для арматуры без предварительного напряжения. Отметим, что предварительное напряжение не увеличивает несущую и в первую очередь увеличивает жесткость железобетонного элемента. Величина усилий предварительного обжатия бетона, согласно аналитическому расчету, составила около 250 кН. Также рассматривались модели ребристых панелей с учетом в расчете наличия армированных и неармированных поперечных ребер. Всего было рассчитано 6 образцов: с предварительно напряженной арматурой без учета поперечных ребер в расчете (образец 1.1), с ненапрягаемой арматурой без учета поперечных ребер в расчете (образец 1.2), с предварительно напряженной арматурой без учета арматуры в поперечных ребрах (образец 2.1), с ненапрягаемой арматурой без учета арматуры в поперечных ребрах (образец 2.2), с предварительно напряженной арматурой и армированными поперечными ребрами (образец 3.1), с ненапрягаемой арматурой. Поперечные ребра армировались, согласно предварительному аналитическому расчету, арматурой А240 диаметром $d = 12 \text{ мм}$. Толщина защитного слоя бетона составила 30 мм.

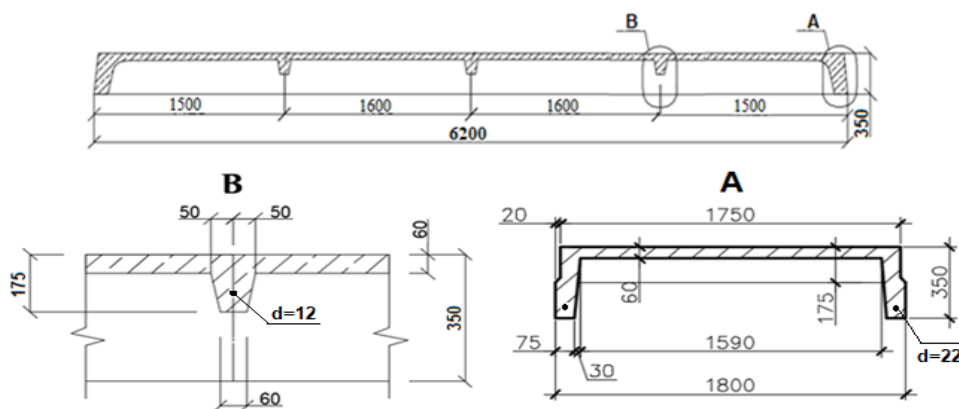


Рисунок 2. Проектная схема ребристой панели (составлено авторами)

Современные программные комплексы выполняют расчеты и проектирование строительных конструкций с использованием метода конечных элементов, на основе современных теорий прочности; методами строительной механики и механики деформированного твердого тела. В этой статье исследователи провели численные эксперименты с применением программного обеспечения ANSYS Workbench 17.2. Конечно-элементная модель представлена на рисунке 3 и имеет около 600000 узлов и около 700000 конечных элементов.

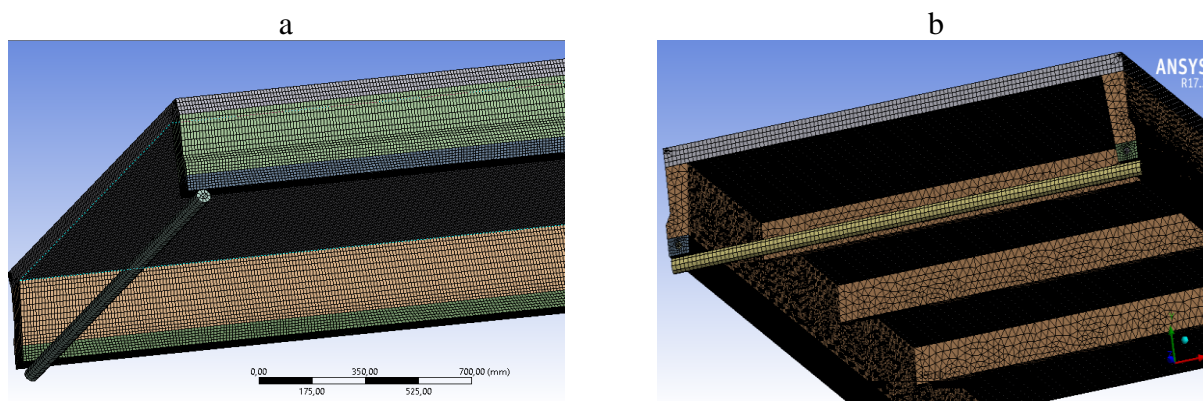


Рисунок 3. Фрагмент конечно-элементной модели в программном комплексе ANSYS: а – плиты без поперечных ребер, б – плиты с поперечными ребрами (составлено авторами)

В ходе проведения численного исследования, образцы нагружались равномерно-распределенной последовательной нагрузкой с шагом 0.899 kN/m^2 от нулевой нагрузки до разрушающей. За критерий разрушения конструкции принято достижение арматурой предела текучести в растянутой зоне продольных ребер. Потеря несущей способности при этом происходило при достижении изгибающего момента в середине пролета плиты. На каждом шаге фиксировались нормальные напряжения в бетоне и арматуре, а также величины максимальных прогибов.

Исследование железобетонных конструкций на основе нелинейной деформационной модели в программном комплексе ANSYS представлено в нескольких работах [9–12].

Конечный элемент для льда – SOLID 65, реализует расчетную модель Виллама-Варнке [13], применяемую для хрупких, структурно-неоднородных материалов. Данная модель допускает образование трещин по площадке, нормальной к действующим главным напряжениям при превышении ими заданного предела прочности при растяжении, а также учитывает объемное напряженное состояние. Разрушение бетона и потеря жесткости конечных элементов происходит, согласно критерию прочности, упомянутого выше.

Для проведения численных экспериментов взяты ребристые плиты со следующими механическими характеристиками: тяжелый бетон, термически обработанный, класс В30 (расчетное сопротивление бетона сжатию $M\text{Pa}$, расчетное сопротивление бетона растяжению $R_{bt} = 1.15 \text{ MPa}$, начальный модуль упругости бетона $E_b = 32.5 \cdot 10^3 \text{ MPa}$. Характеристики рабочей арматуры в продольных ребрах: арматура класса А600 (расчетное сопротивление арматуры растяжению $R_s = 520 \text{ MPa}$, модуль упругости арматуры составил $E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. Поперечные ребра в образцах 3.1 и 3.2 армировались стержнями А240 ($E_s = 2.0 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $R_s = 210 \text{ MPa}$). Ненапрягаемая арматура в полке панели В_p-I (В500) $E_s = 1.7 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $R_s = 435 \text{ MPa}$, в продольных ребрах – А240 ($E_s = 2.0 \cdot 10^5 \text{ MPa}$, $R_s = 210 \text{ MPa}$). Для образцов 1.1, 2.1, 3.1. использовалась напрягаемая арматура, для образцов 1.2, 2.2, 3.2. – ненапрягаемая. Напрягаемая арматура класса А600 натягивается электротермическим способом на упоры. Технология изготовления панелей перекрытия агрегатно-поточная.

Следует отметить, что во всех случаях адгезия между арматурой и бетоном класса В30 принята идеальной. Для визуализации трещин в ПК ANSYS были использованы пользовательские функции, в частности, критерий деформации Базанта [14], который позволяет учитывать трещины в плитах и визуализировать этот процесс с помощью ANSYS. Бетон работает в сжатой зоне, а сталь в этой зоне выдерживает нагрузку до тех пор, пока не достигнет предела текучести при растяжении, согласно стандартной теорией упругости и пластичности [15; 16]. Фактор разрушения конструкции был вызван увеличением деформации арматуры по сравнению с ее расчетным сопротивлением [17]. Разрушающая нагрузка фиксировалась на стадии нагружения, где арматура достигла предела текучести при растяжении.

2. Результаты исследования

Результаты исследования представлены в таблице 1. Результаты расчетов плит с естественной формой поперечного сечения взяты в качестве эталона, относительно которого считается отклонение плит в форме двутавра.

В таблице 1 представлены результаты численного расчета. Результаты предварительного аналитического расчета проводились по стандартным методам расчета ребристой плиты с предварительно-напряженной арматурой, путем представления в форме тавровой балки. При этом учесть влияние поперечных ребер на эти результаты не

представляется возможным. В результате аналитического расчета максимальный прогиб в середине пролета w составил 7,93 мм при разрушающей нагрузке 14,61 кН/м².

Таблица 1

Результаты численных расчетов ребристых плит

	Тестируемые образцы	Предел текучести арматуры, МПа	Максимальный прогиб, мм	Разрушающая нагрузка, кН/м ²
Образцы с предварительно напряженной арматурой	Образец 1.1	551	6.45	14.38
	Образец 2.1	532	11.73	16.18
	Образец 3.1	535	10.852	17.08
Образцы с ненапрягаемой арматурой	Образец 1.2	551	36.131	14.38
	Образец 2.2	532	41.103	16.18
	Образец 3.2	535	30.64	17.08

Составлено авторами

На рисунке 4 представлены основные результаты исследований ребристых плит. На рисунке 4а видна зависимость прогибов от нагрузки для образцов с напрягаемой арматурой. Как видно из графиков, еще до нагружения плиты имели начальные перемещения в сторону, противоположную действию нагрузки (под действием сил предварительного обжатия плиты выгнуты вверх). Из рисунка видно, что учет в расчете поперечных ребер с конструктивной арматурой влияет на расчетную жесткость и несущую способность ребристой плиты.

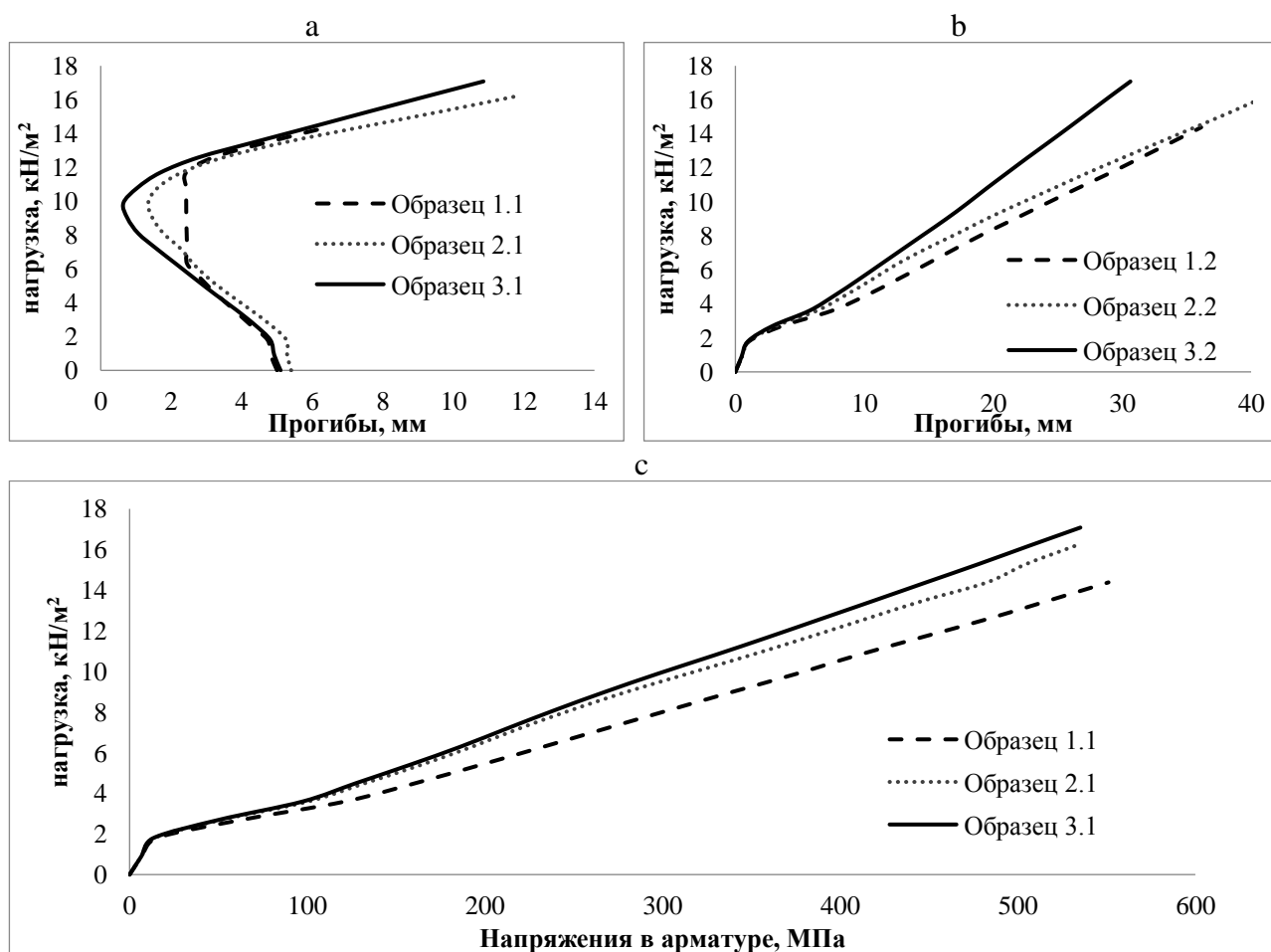


Рисунок 4. Результаты расчетов ребристых панелей: а – графики зависимости прогиба от нагрузки для плит с предварительно напряженной арматурой, б – графики зависимости прогиба от нагрузки для аналогичных образцов с ненапрягаемой арматурой; с – графики зависимости осевых напряжений в арматуре от нагрузки (составлено авторами)

Рисунок 4b иллюстрирует зависимость прогиба от нагрузки для образцов с ненапрягаемой арматурой. Здесь также видна тенденция увеличения несущей способности и жесткости ребристой панели при учете армированных поперечных ребер (диафрагм) в плите. На рисунке 4c представлен рост осевых напряжений в рабочей арматуре в нижней части продольных ребер. Как можно заметить, в образце 3.1 арматура А600 наиболее поздно достигала предела текучести (напряжения $R_s = 520$ МПа), по сравнению с образцами 1.1 и 2.1.

На основе данных из графиков и таблицы 1 видно, что образцы 3.1 и 3.2 имеют большую жесткость и несущую способность, чем образцы без учета армированных поперечных ребер плиты. Максимальный прогиб образца 3.1. (с учетом предварительно напряженной арматуры в поперечных ребрах) на 40 % выше, а несущая способность на 16 % выше, чем для образца 1.1 (без учета поперечных ребер в расчете). Однако максимальный прогиб образца 3.2. (с учетом ненапрягаемой арматуры в поперечных ребрах) на 18 % ниже, а несущая способность на 16 % выше, чем для образца 1.2 (без учета поперечных ребер в расчете). Несущая способность образцов 2.1 и 2.2 (с поперечными ребрами без учета их армирования), также превышает несущую способность образцов 1.1 и 1.2 по прочности нормальных сечений.

Выводы

На основе выполненного исследования получены следующие выводы:

- Исходя из полученных результатов, очевидно, что в расчетах ребристых плит по прочности нормальных сечений, на результаты расчетов оказывает влияние не только напрягаемая или ненапрягаемая рабочая арматура в продольных ребрах, но также диафрагмы с расположенной в них поперечной арматурой.
- Уточненная несущая способность ребристых плит, как предварительно напряженных, так и с ненапрягаемой арматурой, приблизительно на 16 % выше, при учете поперечных ребер с арматурой.
- Исследование требует дальнейшего уточнения с учетом изменения размеров рассматриваемых плит, а также количества диафрагм в пролете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. М.: НИИЖБ, 1986. С. 7–25.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / М.И. Карпенко. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
3. Клованич С.Ф., Мироненко И.Н. Метод конечных элементов в механике железобетона. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2007. 111 с.
4. Клованич С.Ф., Безушко Д.И. Метод конечных элементов в расчетах пространственных железобетонных конструкций. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2009. 89 с.
5. Moyeda A., Fish J. Multiscale analysis of solid, waffle, ribbed and hollow core reinforced concrete slabs Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 348. 2019, pp. 139–156.
6. Huang H., Li J., Zeng C., Zhu M., Zhang M. Simplified elastic design method using equivalent span ratio for two-way concrete composite slabs with precast ribbed panels. Structural Concrete 20 (1). 2019. pp. 213–224.

7. Huang H., Zhu M., Zeng C., Lyu W. Influence of T-type rib on flexural fatigue behavior of concrete composite slab with precast prestressed ribbed panel. *Tumu Jianzhu yu Huanjing Gongcheng. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering* 38 (2). 2016. pp. 11–20.
8. Al-Azzawi, Adel A. Behavior of reinforced lightweight aggregate concrete hollow-core slabs / Al-Azzawi, Adel A., Al-Aziz, M. Abdul. *Computers and Concrete. An International Journal*, ISSN: 1598-8198. 21 (2). 2018. pp. 117–126.
9. Васильев А.С., Бойчин Р.Е., Земляк В.Л. Численное моделирование и расчёт выступа колонны в современных программных комплексах. *Вестник приамурского государственного университета им. Шолом-aleyхема*. № 1 (26). 2017. С. 79–89.
10. Vasilyev A.S., Bazhenov R.I., Gorbunova T.N. The Influence of Cross Section Shape on Strengthening of Hollow Core Slabs / *Materials Science Forum* 931 MSF 931. 2018. pp. 24–29.
11. Васильев А.С., Назарова В.П. Численное исследование напряженного состояния усиленных пустотных железобетонных плит при появлении трещин. *Вестник евразийской науки*. Т. 11. № 2. 2019. 60 с.
12. Земляк В.Л., Козин В.М., Васильев А.С., Ипатов К.И. Экспериментальное и численное исследование влияния армирования на несущую способность ледовых переправ. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. № 1. 2019. С. 14–19.
13. Willam K.J., Warnke K.J. Constitutive model for the triaxial behavior of concrete, *Seminar of concrete structures subjected to triaxial stresses*, Bergamo. 1974.
14. Bazant Z.P., Cedolin L. Fracture mechanics of reinforced concrete, *ASCE J Eng Mech Div* 106 (6). 1980. P. 1287–1306.
15. Burgess I. Yield-line plasticity and tensile membrane action in lightly reinforced rectangular concrete slabs. *Engineering structures* 138. 2017. P. 195–214.
16. Cashell K.A., Elghazouli A.Y., Izzuddin B.A. Experimental and analytical assessment of ductility in lightly reinforced concrete members. *Engineering structures* 32 (9). 2010. pp. 2729–2743.
17. Hognestad E. Yield-line theory for the ultimate flexural strength of reinforced concrete slabs, *Journal Proceedings* 49 (3). 1953. pp. 637–656.

Vasilyev Alexey Sergeevich

Sholom-Aleichem Priamursky state university, Birobidzhan, Russia
E-mail: Vasil-grunt@mail.ru

Plehanova Ekaterina Aleksandrovna

Sholom-Aleichem Priamursky state university, Birobidzhan, Russia
E-mail: Plehanova.ekaterina1407@yandex.ru

The effect of reinforcing diaphragms of ribbed panels on the bearing capacity

Abstract. It has been established that structural analysis of ribbed panels on the carrying capacity of standard cross-sections is presented as reinforced concrete T-shaped or I-beams. However, this approach does not allow factoring in the effect of transversal ribs (diaphragms) on the accounting result for two groups of limit states. As a rule, transversal ribs are used in slabs with a greater width and serve mainly to provide its bending strength across the width mode transversely.

It should be mentioned that a slab is calculated according to the beam theory based on structural mechanics models that characterize its behavior approximately in either direction along standard cross-sections. The theory of plate and shell can define the behavior under steady load of such a slab more precisely. However, applying this theory is attended with certain difficulties because of steel collaboration in multiple directions, as well as having material nonlinearity in the model.

The work investigates ribbed floor panels which are modeled using modern software. The authors studied samples with prestressed and nonprestressed reinforcing as well as with or without transversal ribs. Finally, the authors find out that it is worth considering transversal ribs with regard to their reinforcement in stress calculations for standard cross-sections along a slab length. It can contribute to the development of correcting coefficients and specification of the section of the calculating theory of building constructions. The authors obtained innovative outcomes.

Keywords: numerical experiment; diaphragm; reinforced concrete structure; stress-strain state; deflection