

УДК 624,69.04

О. Ю. Куликова, А. С. Васильев**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕБРИСТЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ
В СИСТЕМЕ ЛИРА САПР**

В статье приводится моделирование ребристой плиты перекрытия в программном комплексе ЛИРА САПР. Проверен оптимизированный метод проектирования ребристых плит в ПК ЛИРА САПР с использованием абсолютно жёстких тел (АЖТ). В результате моделирования ребристая плита проецируется на форму тавровой балки с помощью совместной работы стержневых и пластинчатых конечных элементов. Ребро тавра смоделировано стержневым конечным элементом, полки тавра — пластинчатыми конечными элементами. Выполненные расчёты сопоставляются с результатами аналитического расчёта по первой группе предельных состояний.

Ключевые слова: численный расчёт, аналитический расчёт, метод конечных элементов, моделирование, проектирование.

Введение

В настоящее время федеральные и региональные органы экспертизы уделяют повышенное внимание качеству расчётных обоснований проектных решений строительных конструкций. Актуальность данной проблемы определяется следующими факторами: усложнением проектных решений в связи с переходом от типового к индивидуальному проектированию зданий и сооружений разнообразной архитектурной формы, повышенной этажности, возводимых по новым технологиям строительства; возрастанием риска необоснованного снижения запасов прочности конструкций из-за спешки в проектировании и т. д. [1].

ПК ЛИРА предназначен для проектирования таких строительных объектов, как сборные (каркасные и панельные) монолитные железобетонные конструкции, покрытия и перекрытия больших пролётов, мембраны, подпорные стены, комбинированные системы (рамно-связевые конструкции высотных зданий, плиты на упругом основании, ребристые и многослойные конструкции), отдельные элементы (колонны, балки, фермы, плиты); при создании сооружений специального назначения — для разработки конструкций башен и мачт, магистральных трубопроводов, котлов, конструкций атомной промышленности, гидротехнических сооружений [1].

Куликова Олеся Юрьевна — магистрант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: kulikova-olesya@list.ru.

Васильев Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, старший преподаватель (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vasil-grunt@mail.ru.

© Куликова О. Ю., Васильев А. С., 2018

Расчёт выполняется на сосредоточенные и распределённые статические нагрузки, температурные воздействия, заданные перемещения, на динамические нагрузки – пульсирующие ветровые, ударные, импульсные, вибрационные, сейсмические, в том числе по акселерограммам. В результате расчёта определяется напряжённо-деформированное состояние конструкции, наличие трещин и пластических шарниров, форма потери устойчивости сооружения, эквивалентные напряжения по различным теориям прочности, геометрические характеристики сечения, нагрузки на фундамент, площадь сечения арматуры по прочности и трещиностойкости железобетонных сечений; выполняется конструирование железобетонных элементов, проверка сечения элементов стальных конструкций и подбор профиля из сортамента металлопроката [1].

Аналитический расчёт ребристых плит перекрытий

Требуется усилить ребристую плиту перекрытия в пролёте (рис. 1) для последующей эксплуатации при новых увеличенных нагрузках.

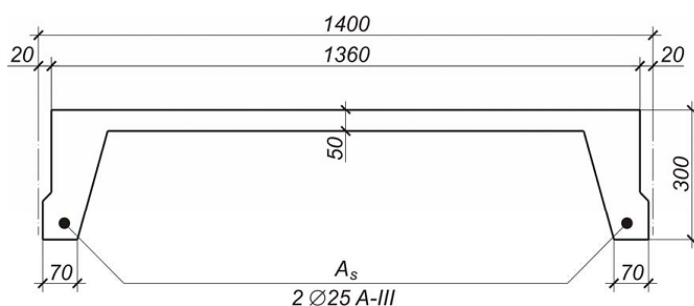


Рис. 1. Действительное поперечное сечение плиты

Исходные данные. Параметры плиты до усиления: номинальные размеры плиты в плане $1,4 \times 6,0$ м; высота сечения $h = 300$ мм; ширина продольного ребра $b_1 = 70$ мм; толщина полки $h'_f = 50$ мм; бетон тяжёлый, подвергнутый тепловой обработке, класса В20 ($R_b = 11,5$ МПа); рабочая продольная арматура стержневая $2\text{Ø} 25A - III$ ($R_s = 365$ МПа). Полезная нагрузка на плиту после усиления $v = 13,0$ кПа, в том числе длительная составляющая $0,7 \cdot v = 0,7 \cdot 13,0 = 9,1$ кПа. Нагрузка от массы пола $g = 1,0$ кПа.

Решение:

1. Определяем нагрузку на перекрытие в новых условиях эксплуатации.

Вычисляем полную расчётную нагрузку на 1 м длины при номинальной ширине плиты $B = 1,4$ м:

$$q = q_1 \cdot B = 19,69 \cdot 1,4 = 27,57 \text{ кН/м},$$

где q_1 – расчётная нагрузка по таблице.

Таблица

Нагрузка на 1 м² перекрытия

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м ²	Коэффициент надёжности по нагрузке γ_f	Расчётная нагрузка, кН/м ²
Постоянная: от массы плиты ($\delta = 0,105 \text{ м}, \rho = 25 \text{ кН/м}^3$)	2,63	1,1	2,89
от массы пола	1,0	1,2	1,2
Итого:	3,63		4,09
Временная: в том числе длительно действующая	13,0 9,1	1,2 1,2	15,6 10,92
Всего: в том числе постоянная и длительно действующая	16,63 12,73		19,69 15,01

2. Находим расчётный максимальный изгибающий момент от полной нагрузки.

$$M_1 = \frac{q \cdot l_0^2}{8} = \frac{27,57 \cdot (5,875)^2}{8} = 118,95 \text{ кН},$$

где $l_0 = l - \frac{b_{\text{ригг}}}{2} = 6,0 - \frac{0,25}{2} = 5,875$

(l – номинальный пролет плиты, $b_{\text{ригг}}$ – ширина сечения ригеля).

3. Определяем несущую способность нормального сечения ребристой плиты.

$$b'_f = B - 40 = 1360 \text{ мм}; b = 1360 - 2 \cdot 70 = 1220 \text{ мм}.$$

Рабочая высота сечения плиты

$$h_0 = h - a = 300 - 40 = 260 \text{ мм}.$$

Проверяем условие: $R_s \cdot A_s \leq R_b \cdot \gamma_{b1} \cdot b'_f \cdot h'_f$

$$365 \cdot 10^3 \cdot 982 \cdot 10^{-6} = 358,43 \text{ кН} < 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 1,36 \cdot 0,05 = 887,4 \text{ кН}$$

Условие выполняется; следовательно, нейтральная ось находится в полке [3, с. 16]. Определяем высоту сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot \gamma_{b1} \cdot b'_f} = \frac{365 \cdot 982}{11,5 \cdot 0,9 \cdot 1360} = 25,5 \text{ мм}.$$

Относительная высота сжатой зоны сечения:

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{25,5}{260} = 0,098 < \xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{R_s}{700}} = \frac{0,8}{1 + \frac{365}{700}} = 0,526$$

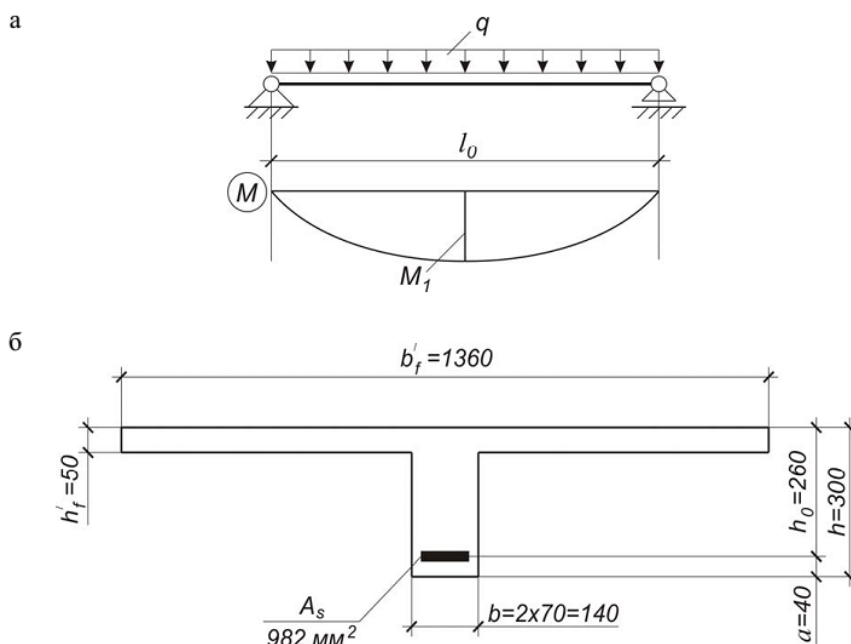


Рис. 2. К определению несущей способности нормального сечения плиты:
а – расчётная схема плиты; б – расчётное поперечное сечение

Несущая способность нормального сечения:

$$M = R_b \cdot \gamma_{b1} \cdot b'_f \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) =$$

$$= 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 1,36 \cdot 0,0255 \cdot (0,26 - 0,5 \cdot 0,0255) = 88,75 \text{ кНм}$$

Численный расчёт ребристых плит перекрытий

Численный расчёт ребристых плит выполнялся в ПК ЛИРА на основе метода конечных элементов. Один из важнейших вопросов при проектировании – как правильно спроектировать ребристую плиту в расчётной программе для получения достоверного адекватного результата. Согласно [2], наиболее достоверно будет использование абсолютно жёстких тел, связывающих ребро и саму плиту воедино. При этом для моделирования ребра плиты используется конечный элемент (КЭ) № 10 – универсальный пространственный стержневой конечный элемент. Для элементов самой плиты – КЭ № 11 – прямоугольный конечный элемент плиты. Конечно-элементная модель плиты представлена на рисунке 3.

Следует отметить, что крайние узлы пластин со стороны стержня и узлы стержня образовывали абсолютно-жёсткие тела.

На рисунке 4 представлена пространственная модель ребристой плиты. Нагрузка на плиту задаётся только на пластины, поэтому нагрузка в $1,93 \text{ т/м}^2$ должна увеличиться пропорционально уменьшению нагружаемой площади. Поэтому в программе задаём нагрузку $2,16 \text{ т/м}^2$.

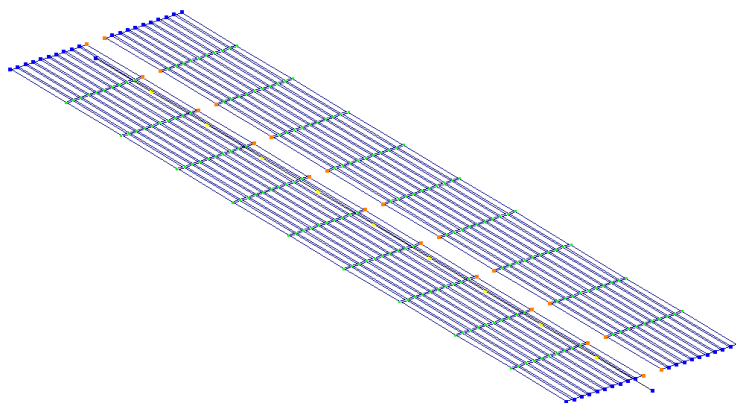


Рис. 3. Дискретная модель плиты

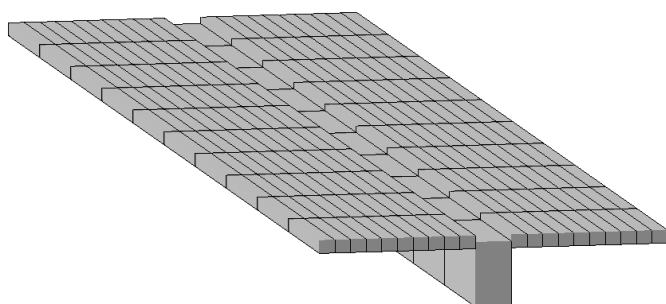


Рис. 4. Пространственная модель плиты

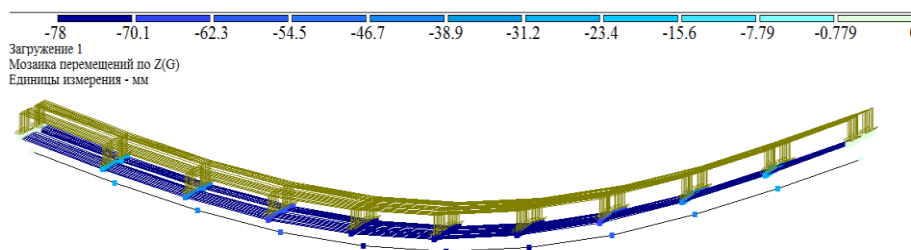


Рис. 5. Прогибы плиты при заданной 2,16 т/м²

Максимальные перемещения для данной расчётной схемы и схемы армирования составили 78 мм, что значительно превышает допустимый прогиб по второй группе предельных состояний. Значит, плита нуждается в усилении.

Изгибающий момент при расчёте составил около 108 кН. Отклонение полученного изгибающего момента в ПК ЛИРА от значения изгибающего момента, исходя из аналитического расчёта, составляет около 8,7 %.

Заключение

Исходя из сопоставлений полученных изгибающих моментов, можно сделать вывод, что применение АЖТ позволяет спроектировать ребристую плиту с приемлемой геометрией. Однако все же есть необходимость в улучшении и дальнейшем совершенствовании способов проектирования усиления железобетонных конструкций, в том числе ребристых плит перекрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Городецкий А. С., Назаров Ю. П., Жук Ю. Н., Симбиркин В. Н. Повышение качества расчётов строительных конструкций на основе совместного использования программных комплексов STARK ES и ЛИРА // Информационный вестник Мособлгосэкспертизы. 2005. № 1 (8). С. 42–49.
2. Каманин А. Обучающее видео – LIRA SAPR Расчёт монолитного ребристого перекрытия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=1NM0k5wX1DQ&t=139s>.
3. Муленкова В. И., Артюшин Д.В. Расчёт и конструирование усиления железобетонных и каменных конструкций: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2014. 118 с.

* * *

Kulikova Olesya Y., Vasiliev Alexei S.
MODELING A RIBBED FLOOR SLABS IN THE SYSTEM LIRA CAD
 (Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

The article gives modeling a ribbed floor slab in the software system LIRA CAD. Verified the optimized design method of ribbed slabs in LIRA SAPR, with the use of absolutely rigid bodies (TWA). As a result of modeling, the ribbed plate is projected onto the shape of the t-beam by means of joint work of rod and plate finite elements. The edge brand is modeled core finite element, shelf brand – plate finite elements. The calculations performed are compared with the results of analytical calculations for the first group of limit States.

Keywords: numerical calculation, analytical calculation, finite element method, modeling, design.

REFERENCES

1. Gorodetskiy A. S., Nazarov Yu. P., Zhuk Yu. N., Simbirkin V. N. Improving calculations of building structures based on the sharing of software systems STARK ES and LIRA [Povyshenie kachestva raschetov stroitel'nykh konstruktsey na osnove sovmestnogo ispol'zovaniya programmnykh kompleksov STARK ES i LIRA], *Informatsionniy vestnik Mosoblgosekspertizy*, 2005, no. 1 (8), pp. 42–49.
2. Kamanin A. *Obuchayushchee video – LIRA SAPR Raschet monolitnogo rebristogo perekrytiya* (Training video - LIRA SAPR design of monolithic ribbed ceiling), Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=1NM0k5wX1DQ&t=139s>.
3. Mulenkova V. I., Artyushin D.V. *Raschet i konstruirovaniye usileniya zhelezobetonnykh i kamennykh konstruktsey* (Calculation and design of strengthening reinforced concrete and stone, and structures), Penza, PGAS Publ., 2014. 118 p.

* * *