

М. В. МОЗГОЛОВ
Е. В. КОЗЛОВА

О РАЗГРУЖАЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ В БАЛКАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КЕССОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

**ON THE UNLOADING ACTION OF TORQUES
IN BEAMS REINFORCED CONCRETE COFFERED FLOORS**

Целью работы является качественное и количественное выявление разгружающего эффекта в балках прямых кессонных перекрытий от действия крутящих моментов. Для решения поставленной задачи в вычислительном комплексе SCAD определены изгибающие и крутящие моменты в балках прямого шарнирно-опертого по контуру кессонного перекрытия размером в плане $8,0 \times 8,0$ м при различной ширине балок, установленных с шагом 1,0 м. В качестве компьютерной модели применена стержневая конечно-элементная модель из балок прямоугольного сечения с непосредственным приложением к ним погонной нагрузки по закону треугольника. Выполнен аналитический расчет конструкции. Данные расчетов компьютерных моделей показали, что по мере увеличения ширины балок в них увеличиваются крутящие моменты, при этом пролетные изгибающие моменты уменьшаются. Ширина балки опорного контура влияет на опорный изгибающий момент пролетных балок, возникающий в месте их стыковки. В работе приводятся графики зависимости величин пролетного изгибающего момента, опорного момента и крутящего момента от ширины балок кессонов. Сделан вывод, что аналитический способ расчета кессонных перекрытий не учитывает жесткость опорного контура, наличие крутящих моментов в балках, их влияние на изгибающие пролетные моменты и прогибы конструкции. Это является одной из причин расхождения сравниваемых исследователями данных.

Ключевые слова: железобетонные кессонные перекрытия, конечно-элементная расчетная модель, изгибающие моменты, крутящие моменты, жесткость опорного контура

Введение. Анализ имеющихся в литературе данных напряженно-деформированного состояния балок железобетонных кессонных перекрытий, полученных известным аналитическим методом и при помощи компьютерных моделей метода конечных элементов в зависимости от геометрии конструкции и типа моделей, показывает их значительные расхождения. Известно, что крутящие моменты в сплошных

The purpose of this work is the qualitative and quantitative identification of the unloading effect in the beams of direct coffered floors from the action of torques. To solve the problem in the computer complex SCAD, the bending and torsional moments in the beams of a direct coffered floor hinged along the contour with a plan size of 8.0×8.0 m with different widths of the beams installed with a step of 1.0 m were determined. As a computer model, a rod finite element model of beams of rectangular section with a direct application of a linear load to them according to the law of a triangle was used, as the most accurate finite element method. Analytical calculation of the structure is carried out. The calculation data of computer models showed that as the width of the beams increases, the torques in them increase, while the span bending moments decrease. The width of the support contour beam affects the support bending moment of the span beams, which occurs at the point of their joining. The paper presents graphs of the dependence of the values of the span bending moment, the support moment and the torque on the width of the caisson beams. The analytical method for calculating coffered floors does not take into account the rigidity of the support contour, the presence of torques in the beams, their effect on bending span moments and deflections of the structure. This is one of the reasons for the discrepancy between the data compared by the researchers.

Keywords: reinforced concrete coffered floors, finite element calculation model, bending moments, torques, stiffness of the support contour

плитах перекрытий, опертых по контуру, оказывают разгружающее действие на конструкцию в виде уменьшения пролетного момента и прогиба. В часторестриком монолитном железобетонном перекрытии следует ожидать подобного эффекта. Железобетонные кессонные перекрытия являются одними из самых эффективных с конструктивной точки зрения и необычными по архитектуре [1–9]. При их возведении в со-

временном строительстве используются как импортные, так и российского производства опалубочные системы: SKYDOME, HOLEDECK, ПОБЕДА, U-boot beton и др.

При расчете конструкций на ЭВМ МКЭ монолитное балочное железобетонное перекрытие можно смоделировать различными способами [8–17], при этом все они имеют свои достоинства и недостатки.

При проектировании инженер должен быть уверен, что созданная расчетная модель соответствует проектируемой конструкции, удовлетворяет требованиям надежности, экономичности и безопасности. В работе [17] представлены значения изгибающих моментов в балках кессонного перекрытия размером 11,55 x 9,0 м с кессонами 1,65 x 1,5 м, рассчитанные при помощи различных конечно-элементных моделей ВК SCAD. Полученные данные сравниваются с данными аналитического расчета примера 15 [6], при этом различия в изгибающих моментах составляют от -6,3 до +61,9 %. О существенных отклонениях усилий в балках кессонных перекрытий, вычисленных аналитическими и компьютерными методами, говорится в работах [8] (50 %), [9] (453 %).

Крутящие моменты в сплошных плитах перекрытий, опертых по контуру, оказывают значительное разгружающее действие на конструкцию в виде уменьшения пролетного момента и прогиба [3,4]. Данный эффект был учтен в 1925 г. в Германских технических условиях для железобетонных сооружений при помощи поправочных коэффициентов, предложенных Маркусом: $\nu = 1 - \frac{5 \cdot l_x^2 \cdot l_y^2}{6 \cdot (l_x^4 + l_y^4)}$, $\nu = 1 - \frac{5 \cdot l_x^2 \cdot l_y^2}{18 \cdot (l_x^4 + l_y^4)}$ – для свободно опертой и заделанной по контуру плиты соответственно [5]. В часторебристом монолитном железобетонном перекрытии следует ожидать подобного эффекта.

Предмет и методы исследования. С методикой аналитического определения усилий в балках кессонных перекрытий, опертых по контуру, можно ознакомиться в работах [1–10].

Целью данной работы является выявление разгружающего эффекта в балках прямых кессонных перекрытий от действия крутящих моментов. Для решения задачи определяются изгибающие и крутящие моменты в балках при различной их ширине при помощи компьютерного расчета методом конечных элементов, реализованным в вычислительном комплексе SCAD.

Наиболее простой аналитический расчет можно осуществить для кессонной конструкции, квадратной в плане с квадратными кессонами, так как упрощается определение коэффициентов, от которых зависит распределение нагрузки на ортогональные балки. При

квадратных размерах конструкции, квадратных кессонах, одинаковой геометрии балок, свойствах материала и условиях опирания нагрузка на балки вдоль осей X и Y распределяется поровну: $q_x = q_y = 0,5 \cdot q$.

Для анализа выбрано шарнирно-опертое по контуру перекрытие, квадратное в плане 8,0 x 8,0 м с квадратными кессонами 1,0 x 1,0 м, работающее на равномерно-распределенную нагрузку 1,0 Т/м² (рис. 1). В методе конечных элементов считается, что при статическом расчете точные решения получаются для стержней постоянной жесткости по их длине и постановка

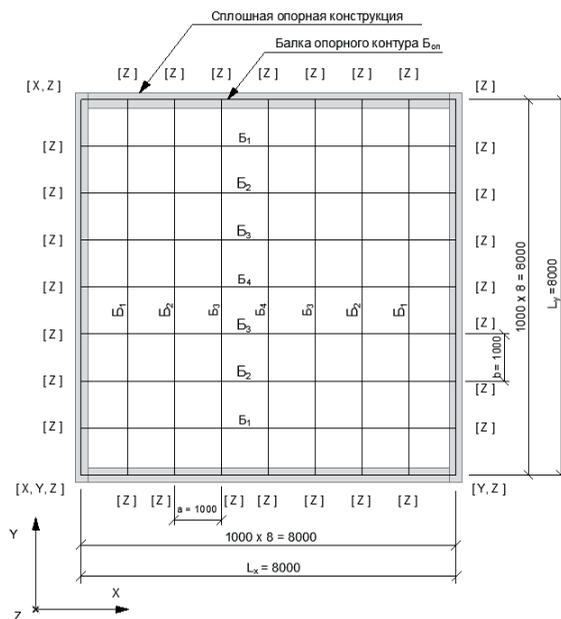


Рис. 1. Схема кессонного перекрытия: Б₁, Б₂, Б₃, Б₄ – рассчитываемые балки; [X, Y, Z] – связи, установленные в узлах балки опорного контура

задачи о сходимости МКЭ часто лишена смысла [15]. Поэтому в соответствии с геометрией перекрытия в качестве конечного элемента принят стержень-балка с рекомендуемой высотой $h = \left(\frac{L}{20} \div \frac{L}{25}\right) = 350$ мм и различной шириной ребра от 10 до 1000 мм из бетона класса В25. Расчет выполнялся в упругой постановке задачи, так как одинаковое для всех балок изменение модуля упругости бетона не влияет на их напряженное состояние. Погонная нагрузка прикладывалась непосредственно на балки по закону треугольника [3], собираемая с двух смежных отсеков: $q = 2 \cdot 1,0 \cdot \frac{1,0}{2} = 1,0$ Т/м.

Для сравнения данных выполним аналитический расчет. Так как конструкция симметричная в плане с одинаковой ортогональной жесткостью, рассматриваем 4 балки: B_1 , B_2 , B_3 , B_4 расположенные вдоль оси X на расстоянии

от опорного контура 1,0 м, 2,0 м, 3,0 м, 4,0 м по оси Y.

Расчет начинаем с центральной балки B_4 , так как ее усилия являются базовыми для дальнейшего расчета.

Изгибающий момент в середине пролета:

$$M_{B_4}^{max} = 0,125 \cdot 0,5 \cdot q \cdot b \cdot L_x^2 = 0,125 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 8^2 = 4,0 \text{ Тм}, \quad (1)$$

Поперечная сила в приопорной зоне:

$$Q_{B_4}^{max} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot q \cdot b \cdot L_x = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 8 = 2,0 \text{ Т}. \quad (2)$$

Балка B_3

Для вычисления изгибающих моментов и поперечных сил в промежуточных балках определяем коэффициенты пропорциональности n_x зависящие от расположения балок относительно опорного контура вдоль оси Y.

$$\eta_y = \frac{y}{L_y} = \frac{3}{8} = 0,375, \quad (3)$$

$$n_x = \frac{16}{5} \cdot (\eta_y - 2 \cdot \eta_y^3 + \eta_y^4) = \frac{16}{5} \cdot (0,375 - 2 \cdot 0,375^3 + 0,375^4) = 0,926, \quad (4)$$

$$M_{B_3}^{max} = n_x \cdot M_{B_4}^{max} = 0,926 \cdot 4,0 = 3,7 \text{ Тм}, \quad (5)$$

$$Q_{B_3}^{max} = n_x \cdot Q_{B_4}^{max} = 0,926 \cdot 2,0 = 1,85 \text{ Т}. \quad (6)$$

Балка B_2

$$\eta_y = \frac{2}{8} = 0,25, \quad (7)$$

$$n_x = \frac{16}{5} \cdot (0,25 - 2 \cdot 0,25^3 + 0,25^4) = 0,713, \quad (8)$$

$$M_{B_2}^{max} = n_x \cdot M_{B_4}^{max} = 0,713 \cdot 4,0 = 2,85 \text{ Тм}, \quad (9)$$

$$Q_{B_2}^{max} = n_x \cdot Q_{B_4}^{max} = 0,713 \cdot 2,0 = 1,43 \text{ Т}. \quad (10)$$

Балка B_1

$$\eta_y = \frac{1}{8} = 0,125, \quad (11)$$

$$n_x = \frac{16}{5} \cdot (0,125 - 2 \cdot 0,125^3 + 0,125^4) = 0,388, \quad (12)$$

$$M_{B_1}^{max} = n_x \cdot M_{B_4}^{max} = 0,388 \cdot 4,0 = 1,553 \text{ Тм}, \quad (13)$$

$$Q_{B_1}^{max} = n_x \cdot Q_{B_4}^{max} = 0,388 \cdot 2,0 = 0,78 \text{ Т}. \quad (14)$$

Полученные данные при расчете конструкций в ВК SCAD представлены на рис. 2–6.

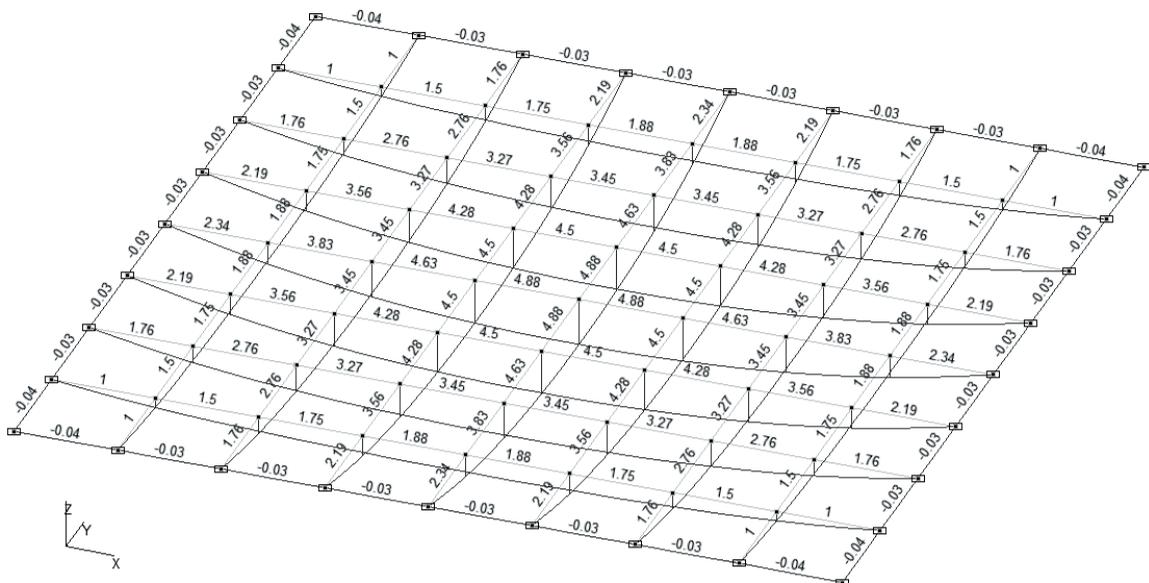


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов M_u, M_m в балках модели SCAD при $b = 10$ мм

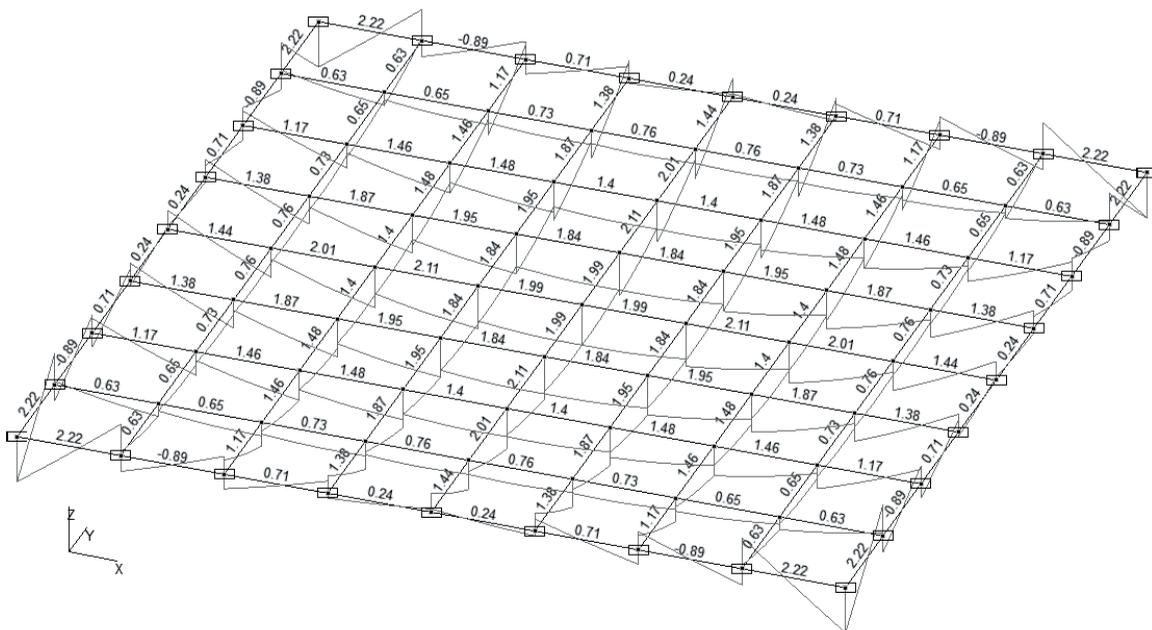


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов M_u, M_m в балках модели SCAD при $b = 1000$ мм

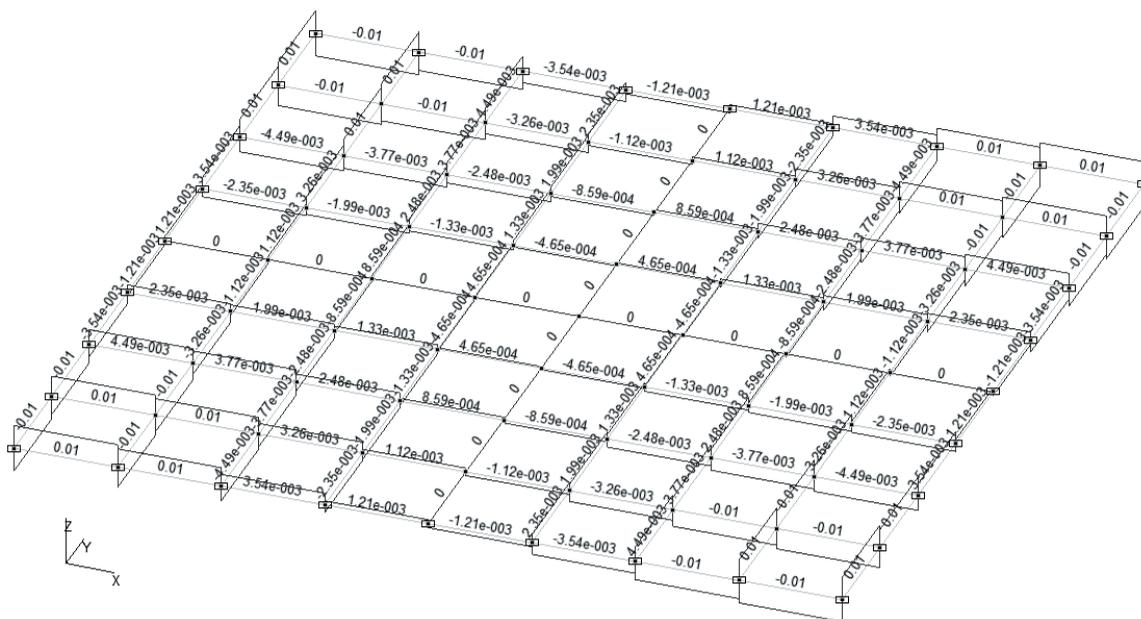


Рис. 4. Эпюры крутящих моментов $M_{кр}$, T_m в балках модели SCAD при $b = 10$ мм

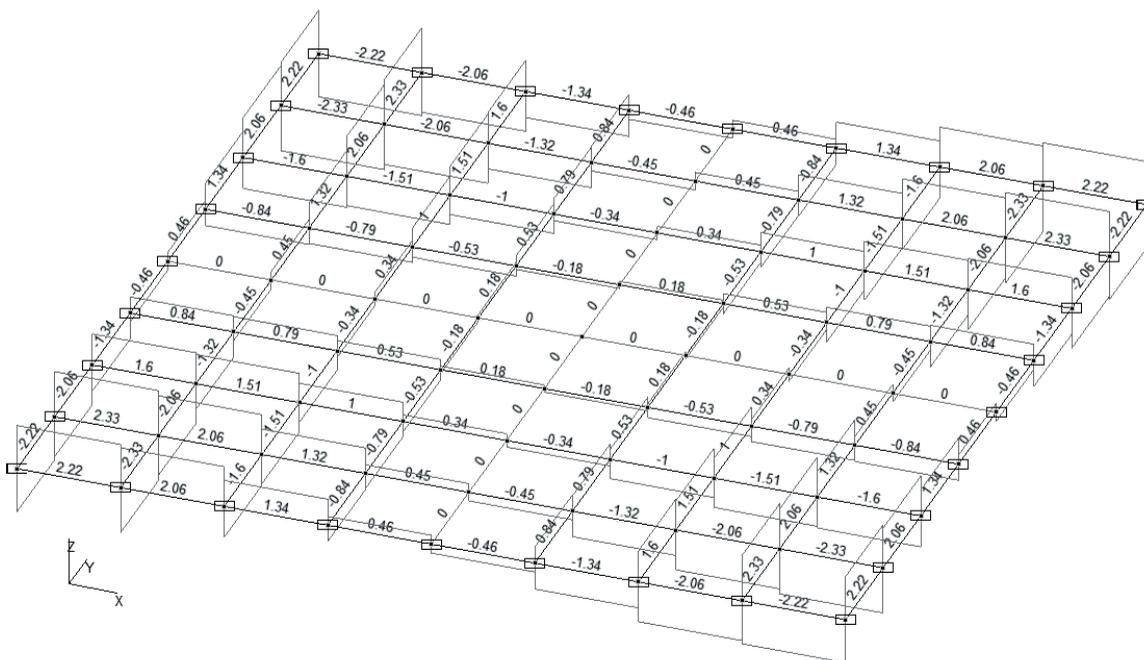


Рис. 5. Эпюры крутящих моментов $M_{кр}$, T_m в балках модели SCAD при $b = 1000$ мм

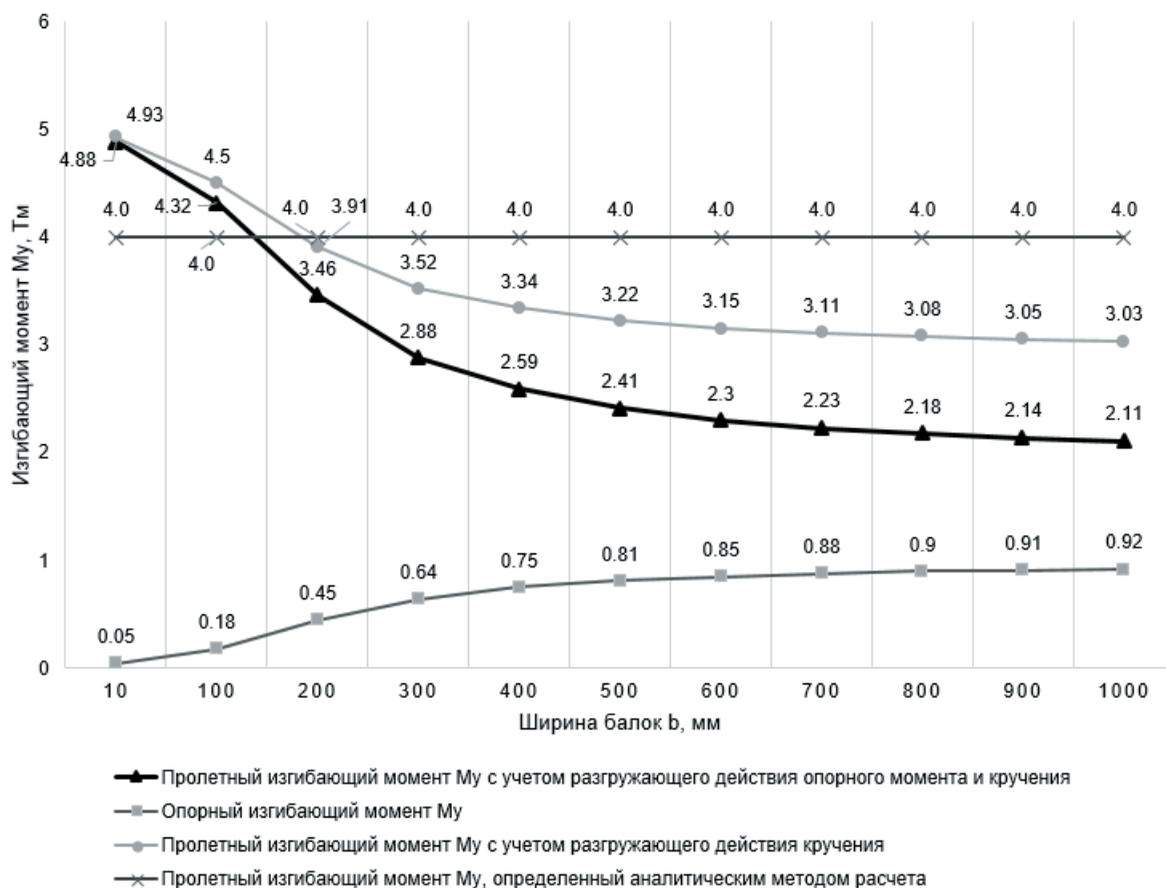


Рис. 6. Графики зависимости максимальных изгибающих моментов M_u, T_m в центральной балке Б4 кессонного перекрытия в зависимости от ширины балок b

Данные аналитического расчета и компьютерных моделей представлены в таблице.

Усилия в балках кессонного перекрытия

Методика	Усилие	$B_{оп}$	B_1	B_2	B_3	B_4
Аналитический расчет	M_y, T_m		1,55	2,85	3,7	4,0
	Q_z, T		0,78	1,43	1,85	2,0
SCAD $b = 10$ мм	M_y, T_m		1,88	3,45	4,5	4,88
	$M_y^{оп}, T_m$		0	0	0	0
	$M_{кр}^{max}, T_m$	0,01	0,01	0	0	0
	Q_z, T		1,25	2,01	2,45	2,59
SCAD $b = 100$ мм	M_y, T_m		1,66	3,05	3,99	4,32
	$M_y^{оп}, T_m$		0,08	0,15	0,17	0,18
	$M_{кр}^{max}, T_m$	0,49	0,46	0,33	0,17	0
	Q_z, T		1,26	2,02	2,44	2,58
SCAD $b = 200$ мм	M_y, T_m		1,33	2,44	3,19	3,46
	$M_y^{оп}, T_m$		0,17	0,37	0,44	0,45
	$M_{кр}^{max}, T_m$	1,2	1,15	0,82	0,43	0
	Q_z, T		1,23	2,04	2,44	2,57

Окончание таблицы

Методика	Усилие	$B_{он}$	B_1	B_2	B_3	B_4
SCAD b = 300 мм	M_y , ТМ		1,11	2,03	2,66	2,88
	$M_y^{он}$, ТМ		0,19	0,51	0,61	0,64
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	1,63	1,61	1,14	0,6	0
	Q_z , Т		1,18	2,07	2,46	2,57
SCAD b = 400 мм	M_y , ТМ		0,98	1,8/1,82	2,35/2,39	2,55/2,59
	$M_y^{он}$, ТМ		0,19	0,59	0,72	0,75
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	1,87	1,88	1,32	0,69	0
	Q_z , Т		1,14	2,09	2,47	2,59
SCAD b = 500 мм	M_y , ТМ		0,9	1,65/1,7	2,16/2,23	2,34/2,41
	$M_y^{он}$, ТМ		0,18	0,64	0,78	0,81
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	2	2,05	1,42	0,75	0
	Q_z , Т		1,11	2,1	2,49	2,59
SCAD b = 600 мм	M_y , ТМ		0,85	1,56/1,62	2,04/2,13	2,22/2,3
	$M_y^{он}$, ТМ		0,18	0,66	0,82	0,85
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	2,09	2,15	1,49	0,78	0
	Q_z , Т		1,09	2,11	2,5	2,6
SCAD b = 700 мм	M_y , ТМ		0,82	1,5/1,57	1,97/2,06	2,13/2,23
	$M_y^{он}$, ТМ		0,17	0,68	0,84	0,88
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	2,14	2,22	1,53	0,8	0
	Q_z , Т		1,07	2,12	2,5	2,61
SCAD b = 800 мм	M_y , ТМ		0,79	1,46/1,53	1,91/2,01	2,07/2,18
	$M_y^{он}$, ТМ		0,17	0,7	0,86	0,9
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	2,18	2,27	1,56	0,82	0
	Q_z , Т		1,06	2,12	2,51	2,61
SCAD b = 900 мм	M_y , ТМ		0,78	1,43/1,5	1,87/1,98	2,03/2,14
	$M_y^{он}$, ТМ		0,17	0,71	0,87	0,91
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	2,2	2,3	1,58	0,83	0
	Q_z , Т		1,05	2,13	2,51	2,61
SCAD b = 1000 мм	M_y , ТМ		0,76	1,4/1,48	1,84/1,95	1,99/2,11
	$M_y^{он}$, ТМ		0,17	0,71	0,88	0,92
	$M_{кр}^{max}$, ТМ	2,22	2,33	1,6	0,84	0
	Q_z , Т		1,05	2,13	2,52	2,62

Примечание. Для M_y – над чертой представлены значения изгибающего момента в середине пролета балки, под чертой – его максимальное значение по длине балки. Проверим равновесие расчетных схем. Грузовая площадь балок $A = 8,0 \times 8,0 - (1,0 \times 0,5 \times 0,5 \times 32) = 56 \text{ м}^2$. Суммарная нагрузка на балки $F = q \times A = 1,0 \times 56 = 56 \text{ Т}$. Аналитический расчет: $Q = 0,78 \times 8 + 1,43 \times 8 + 1,85 \times 8 + 2,0 \times 4 = 40,48 \text{ Т}$. Ошибка: $56 - 40,48 = 15,52 \text{ Т}$ (-27,7 %), равновесие не соблюдается. Модель SCAD при $b = 200 \text{ мм}$: $Q = 1,23 \times 8 + 2,04 \times 8 + 2,44 \times 8 + 2,57 \times 4 = 55,96 \text{ Т}$. Совпадение 99,9 %, равновесие соблюдается.

Выводы. 1. Аналитический метод определения усилий в балках прямых кессонных железобетонных перекрытий является неточным, что необходимо учитывать при верификационных вычислениях. Аналитический метод расчета не учитывает наличие крутящих

моментов в балках, жесткость опорного контура, их влияние на изгибающие пролетные моменты и прогибы конструкции. Равновесие аналитической расчетной схемы из условия распределения опорных реакций не соблюдается.

2. При вычислении пролетных изгибающих моментов с шириной балок $b \cong \frac{h}{2,5}$, квадратных в плане перекрытий с квадратными кессонами, аналитический метод определения усилий дает удовлетворительные результаты.

3. При ширине балок менее $\frac{h}{2,5}$ изгибающие пролетные моменты, вычисленные на ЭВМ МКЭ, превышают моменты, определенные аналитическим способом.

4. Жесткость шарнирно опертого по контуру кессонного перекрытия можно повысить путем увеличения ширины балки опорного контура. Это приводит к увеличению в опорном контуре разгружающего крутящего момента, возникновению в пролетных балках опорного изгибающего момента и соответственно снижению пролетного момента.

5. Для использования эффекта разгружающего действия крутящих моментов и повышения надежности работы кессонного перекрытия балки должны армироваться пространственными арматурными каркасами с замкнутыми хомутами. В случае армирования балок кессонных перекрытий плоскими каркасами в балках возможно появление косых трещин, обусловленных наличием крутящих моментов.

6. Разгружающее действие крутящего момента и жесткость опорного контура, не учитываемые аналитическим методом расчета при определении усилий в балках кессонных перекрытий стандартной геометрии, не являются основной причиной значительных отклонений при определении усилий «ручным» способом и методом конечных элементов на ЭВМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахненко П.Ф., Хилобок В.Г., Андрейко Н.Т., Яровой М.Л. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий: справочник проектировщика. К.: Будівельник, 1987. 424 с. [Vahnenko P.F., Hilobok V.G., Andrejko N.T., Jarovoj M.L. Raschet i konstruirovaniye chastej zhilyh i obshhestvennyh zdaniy. Spravochnik proektirovshhika. Kiev, Builder Publ, 1987.]
2. Давыдов С.С., Жиров А.С., Иванова И.И. Руководство по железобетонным и каменным конструкциям. М.: МИИТ, 1975. 248 с. [Davydov S.S., Zhironov A.S., Ivanova I.I. Rukovodstvo po zhelezobetonnyim i kamennym konstruksiyam. Moscow, MIIT, 1975. (In Russ).]
3. Иванов-Дятлов И.Г. Железобетонные конструкции. М.-Л.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1950. 296 с. [Ivanov-Dyatlov I.G. Zhelezobetonnye konstruksii. Moscow, Leningrad.: Ministry of Public Utilities of the RSFSR, 1950. (In Russ).]
4. Карпухин Н.С. Железобетонные конструкции. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957. 442 с. [Karpuhin N.S. Zhelezobetonnye konstrukcii. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'-stvo literatury po stroitel'stvu i arhitekture, 1957.]
5. Залигер Р. Железобетон его расчет и проектирование. Перевод с немецкого под ред. проф. П.Я. Каменцева. М.-Л.: Изд-во ГНТИ, 1931. 671 с. [Zaliger R. Zhelezobeton ego raschet i proektirovaniye. Perevod s nemeckogo pod red. prof. P.Ya. Kamenceva. Publishing house GNTI, 1931.]
6. Линович Л.Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий. К.: Будівельник, 1972. 664 с. [Linovich L.E. Raschet i konstruirovaniye chastej grazhdanskih zdaniy Kiev, Builder Publ, 1972.]
7. Улицкий И.И., Ривкин С.А., Самолетов М.В., Дыховичный А.А., Френкель М.М., Кретов В.И. Железобетонные конструкции. К.: Будівельник, 1972. 992 с. [Ulitskiy I.I., Rivkin S.A., Samoletov M.V., Dykhovichnyy A.A., Frenkel' M.M., Kretov V.I. Zhelezobetonnye konstruksii. Kiev, Builder Publ, 1972.]
8. Малахова А.Н. Монолитные кессонные перекрытия зданий // Вестник МГСУ. 2013. №1. С. 79–86. [Malakhova A.N. Monolitnye kessonnye perekrytija zdaniy. Bulletin of the MGSU. 2013; 1: 79-86. (In Russ).]
9. Мозголов М.В., Туранова А.В. Об эффективности косых кессонных железобетонных перекрытий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11. №3. С. 20–25. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.03. [Mozgolov M.V., Turanova A.V. Ob effektivnosti kosykh kessonnykh zhelezobetonnykh perekrytiy. 2021;11(3):20-25 (In Russ).] DOI: 10.17673/Vestnik. 2021.03.03. Доступно по: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/83462>
10. Мозголов М.В., Козлова Е.В. К вопросу создания верификационной модели для расчета кессонного железобетонного перекрытия в вычислительном комплексе SCAD // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. №32 (1). С. 128–140. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-1(32)-128-140.
11. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2019. 464 с. [Aljamovskij A.A. Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation. 2019. Moscow, DMK Press Publ, 2007. (In Russ).]
12. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Факт, 2005. 344 с. [Gorodetskiy A.S., Evzerov I.D. Komp'yuternye modeli konstruksiy. Kiev, Fakt Publ, 2005.]
13. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. М.: АСВ, 2016. 337 с. [Gorodetskiy A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. Komp'yuternoe modelirovaniye v zadachakh stroitel'noy mekhaniki. Moscow, ACB Publ, 2016. (In Russ).]
14. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD ++. М.: СКАД СОФТ, 2015. 848 с. [Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Fialko S.Yu., Perel'muter A.V., Perel'muter M.A. SCAD

Office. Versiya 21. Vychislitel'nyy kompleks SCAD ++. Moscow, SCUD SOFTWARE Publ, 2015. (In Russ.)]

15. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с. [Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza. Moscow, DMK Press Publ, 2007. (In Russ.)]

16. Скорук Л. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий // CADmaster. 2004. Т23. № 3. С.78–83. [Skoruk L. Poisk effektivnykh raschetnykh modeley rebristykh zhelezobetonnykh plit i perekrytiy. CADmaster. 2004;23(3): 78 – 83.] Доступно по: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_23_scad.html

17. Лоскутов И.С. Монолитные железобетонные кессонные перекрытия [Электронный ресурс]. Доступ от 24.09.2016. Доступ по ссылке: <https://dwg.ru/lib/2046>

REFERENCES

1. Vakhnenko P.F., Khilobok V.G., Andreyko N.T., Yarovoy M.L. *Raschet i konstruirovaniye chastey zhilykh i obshchestvennykh zdaniy: spravochnik proektirovshchika* [Calculation and construction of parts of residential and public buildings: designer's handbook]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1987. 424 p.

2. Davydov S.S, Zhiron A.S., Ivanova I.I. *Rukovodstvo po zhelezobetonnyim i kamennym konstruksiyam* [Guide to reinforced concrete and stone structures]. Moscow, MIIT Publ., 1975. 248 p.

3. Ivanov-Dyatlov I.G. *Zhelezobetonnye konstruksii* [Reinforced concrete structures]. Moscow, Leningrad, Ministerstvo kommunal'nogo khozyaystva RSFSR Publ., 1950. 296 p.

4. Karpukhin N.S. *Zhelezobetonnye konstruksii* [Reinforced concrete structures]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture Publ., 1957. 442 p.

5. Zaliger R. *Zhelezobeton, ego raschet i proektirovaniye. Perevod s nemetskogo pod red. prof. P.Ya. Kamentseva* [Reinforced concrete, its calculation and design. Translation from German by professor P. Kamentsev]. Moscow, Leningrad, GNTI Publ., 1931. 671 p.

6. Linovich L.E. *Raschet i konstruirovaniye chastey grazhdanskikh zdaniy* [Calculation and design of parts of civil buildings]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1972. 664 p.

7. Ulitskiy I.I., Rivkin S.A., Samoletov M.V., Dykhovichnyy A.A., Frenkel' M.M., Kretov V.I. *Zhelezobetonnye konstruksii* [Reinforced concrete structures]. Kyiv, Budivelnik Publ., 1972. 992 p.

8. Malakhova A.N. Monolithic Waffle Slab Floors of Buildings. *Vestnik MGSU*, 2013, no.1, pp. 79 – 86. (in Russian)

9. Mozgolov M.V., Turanova A.V. On the effectiveness of oblique caisson reinforced concrete floors. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 20-25. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik. 2021.03.03.

10. Mozgolov M.V., Kozlova E.V. Creation of a SCAD verification model for the design calculations of a reinforced-concrete waffle slab floor system. *Vestnik NIC «Stroitel'stvo»* [Bulletin of Science and Research Center of Construction], 2022, vol. 32, no. 1, pp. 128-140. (in Russian.)] DOI:10.37538/2224-9494-2022-1(32)-128-140

11. Alyamovskiy A.A. *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* [Engineering calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow, DMK Press Publ., 2019. 464 p.

12. Gorodetskiy A.S., Evzerov I.D. *Komp'yuternye modeli konstruksiy* [Computer models of structures]. Kyiv, Fakt Publ., 2005. 344 p.

13. Gorodetskiy A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. *Komp'yuternoe modelirovaniye v zadachakh stroitel'noy mekhaniki* [Computer modeling in tasks of constructions]. Moscow, ASV Publ., 2016. 337 p.

14. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Fialko S.Yu., Perel'muter A.V., Perel'muter M.A. *SCAD Office. Versiya 21. Vychislitel'nyy kompleks SCAD ++* [SCAD Office. Version 21. Computing system SCAD ++]. Moscow, SKAD SOFT Publ., 2015. 848 p.

15. Perel'muter A.V., Slivker V.I. *Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza* [Design models of structures and the possibility of their analysis]. Moscow, DMK Press Publ., 2007. 600 p.

16. Skoruk L. Search for effective design models if ribbed reinforced concrete slabs and ceilings. *Journal of CADmaster*, 2004, vol. 23. no. 3, pp. 78-83. (in Russian) Available at: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_23_scad.html (accessed 6 April 2022)

17. Loskutov I.S. *Monolitnye zhelezobetonnye kessonnye perekrytiya* [Monolithic reinforced concrete coffered floors]. Available at: <https://dwg.ru/lib/2046> (accessed 6 April 2022)

Об авторах:

МОЗГОЛОВ Михаил Валентинович

кандидат технических наук, доцент кафедры
строительного производства
Московский политехнический университет
Коломенский институт
140402, Россия, г. Коломна, ул. Октябрьской
революции, 408
E-mail: mvmozgolov@yandex.ru

MOZGOLOV Mikhail V.

PhD in Rngineering Science, Associate Professor
Moscow Polytechnic University
Kolomna Institute (branch)
140402, Moscow Region, Kolomna, October Revolution
str., 408
E-mail: mvmozgolov@yandex.ru

КОЗЛОВА Елизавета Вадимовна

студентка 3-го года обучения направления
«Строительство»
Московский политехнический университет
Коломенский институт
140402, Россия, г. Коломна, ул. Октябрьской
революции, 408
E-mail: lizakozlova2014@gmail.com

KOZLOVA Elizaveta V.

Student
Moscow Polytechnic University
Kolomna Institute (branch)
140402, Moscow Region, Kolomna, October Revolution
str., 408
E-mail: lizakozlova2014@gmail.com

Для цитирования: *Мозголов М.В., Козлова Е.В. О разгружающем действии крутящих моментов в балках железобетонных кессонных перекрытий // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 3. С. 11–20. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.2.*

For citation: *Mozgolov M.V., Kozlova E.V. On the Unloading Action of Torque Moments in the Beams of Reinforced Concrete Casson Floors. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 11–20. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.2.*