

УДК 624.073.136

Соколов Б.С. – доктор технических наук, профессор

E-mail: zips03@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Трошков Е.О. – аспирант

E-mail: troshkoveo@mail.ru

Поволжский государственный технологический университет

Адрес организации: 424000, Россия, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

**Сравнение результатов статического расчета
железобетонной каркасной несущей системы здания
с безбалочными бескапитальными перекрытиями,
полученных по разным методикам**

Аннотация

На основании анализа отечественной и зарубежной литературы для сравнения результатов расчета приняты рекомендации Eurocode 2, метод заменяющих рам и метод конечных элементов, реализованный в программных комплексах ЛИРА и SCAD. Установлено их соответствие и расхождение при определении изгибающих моментов в элементах каркаса, сделаны выводы для разработки рабочей программы опытов.

Ключевые слова: каркасная железобетонная несущая система, безбалочные бескапитальные перекрытия, методы статического расчета, определение усилий в каркасе, штепсельное соединение.

В стадии разработки находится Универсальная индустриальная каркасная система строительства (УИКСС) [1] для зданий различного функционального назначения. Её отличительной особенностью является конструктивное решение узла сопряжения колонны с надколонной плитой, выполненное в виде штепсельного соединения [2]. Для планирования и проведения физических экспериментов необходимо определение усилий, действующих в этом узле от невыгодных сочетаний нагрузок, что является целью работы.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что существует ряд предложений по определению усилий в рассматриваемой системе. К ним относятся метод А.Ф. Лолейта, М.Я. Штаермана [3], метод упругой сетки, тригонометрических рядов (метод Лева), бигармонических рядов (метод Б.Г. Галеркина), метод заменяющих рам (решения А.Д. Глуховского, А.Э. Дорфмана, Л.Н. Левонтина [4], А.С. Залесова и др.).

Главной задачей работы ставилось сравнение значений изгибающих моментов в перекрытии, определенных по разным подходам метода заменяющих рам (МЗР) и методу конечных элементов (МКЭ), который реализован в различных программных комплексах.

При проведении расчета с использованием МКЭ предпочтение отдано программным комплексам SCAD версия 11.5 и ЛИРА версия 9.6 (R9), применяемым проектировщиками в России.

Расчет методом заменяющих рам проводился по рекомендациям, описанным в альбоме конструкций «КУБ 2.5» [5], по исследованиям А.С. Залесова и А. Иванова [6, 7], а также по нормам Eurocode 2 [8].

Вышеперечисленные подходы в методе заменяющих рам отличаются значениями пролетных и опорных изгибающих моментов (табл. 1, 2).

В качестве базовой модели для выполнения сравнительного анализа взят пример из альбома конструкций «КУБ 2.5», представляющий собой двухэтажное здание. Для расчета по МЗР принята средняя поперечная рама каркаса (рис. 1). Схема перекрытия рассчитываемой модели и нумерация плит, анализируемых при сравнении методик расчета, показана на рис. 1.

Таблица 1

Определение изгибающих моментов по разным методикам

Методика	Определение моментов в условном ригеле заменяющей рамы каркаса (M)	Переход от усилий в условном ригеле к пролетным и опорным моментам
Залесов А.С.	По общим правилам расчета рам как упругих систем	$M_n(M_o) = K \cdot M \cdot \frac{l_{2i}}{l_{2,1} + l_{2,2}}, \quad (1)$ <p>где K – коэффициент распределения моментов по полосам (табл. 2); $l_{2,1}$ и $l_{2,2}$ – расстояние между осями рассматриваемой заменяющей рамы и соседними с каждой её стороны; l_{2i} – расстояние $l_{2,1}$ или $l_{2,2}$ в зависимости от положения рассматриваемой полуполосы условного ригеля заменяющей рамы.</p>
«КУБ 2.5»	<p>1. По общим правилам расчета рам как упругих систем;</p> <p>2. Переход от моментов в раме к опорным и пролетным моментам:</p> $M = K_1 \cdot K_2 \cdot M_p^e, \quad (2)$ <p>где M_p^e – изгибающий момент, полученный из расчета рамы на вертикальную нагрузку; K_1 – коэффициент, учитывающий пространственное распределение нагрузки; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние временной нагрузки;</p>	$M_n(M_o) = K \cdot M, \quad (3)$ <p>где K – коэффициент распределения моментов по полосам (табл. 2).</p>
Eurocode 2	<p>1. По общим правилам расчета рам как упругих систем;</p> <p>2. Моменты, передающиеся на крайнюю и угловую колонну ограничиваются значением</p> $M = 0.17 \cdot b_e \cdot d^2 \cdot f_{ck}, \quad (4)$ <p>где b_e – эффективная ширина плоского перекрытия; d – полезная высота сечения; f_{ck} – цилиндрическая прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток;</p> <p>3. Уточняется положительный момент в крайнем пролете.</p>	$M_n(M_o) = K \cdot M, \quad (5)$ <p>где K – коэффициент распределения моментов по полосам (табл. 2).</p>

Таблица 2

Коэффициенты K при определении изгибающих моментов в перекрытии (рис. 1)

Методика	Опорный момент		Пролетный момент		Момент на крайних опорах	
	Надколонная полоса. Плита № 3	Пролетная полоса. Плита № 4	Надколонная полоса. Плита № 5	Пролетная полоса. Плита № 6	Надколонная полоса. Плита № 1	Пролетная полоса. Плита № 2
Залесов А.С.	0,75	0,25	0,6	0,4	1	0
«КУБ 2.5»	0,7	0,3	0,6	0,4	0,7	0,3
Eurocode 2	0,6 – 0,8	0,4 – 0,2	0,5-0,7	0,5-0,3	0,6-0,8	0,4-0,2

Расчетная схема заменяющей рамы каркаса представлена на рис. 2. Расчетная нагрузка на покрытие $0,95 \text{ т/м}^2$, на перекрытие 1 т/м^2 . К раме приложена нагрузка от стенового ограждения. Толщина перекрытия принята равной $0,16 \text{ м}$, угловые колонны каркаса имеют сечение $0,4 \times 0,4 \text{ м}$, а крайние и средние – $0,2 \times 0,4 \text{ м}$.

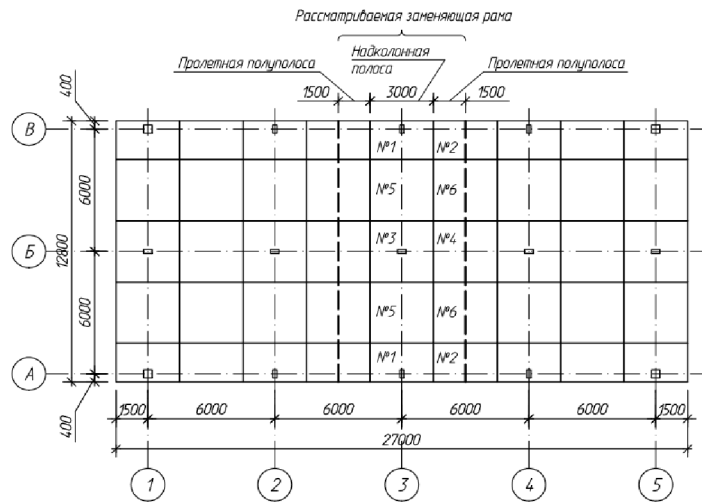


Рис. 1. Схема перекрытия и нумерация плит рассчитываемой модели

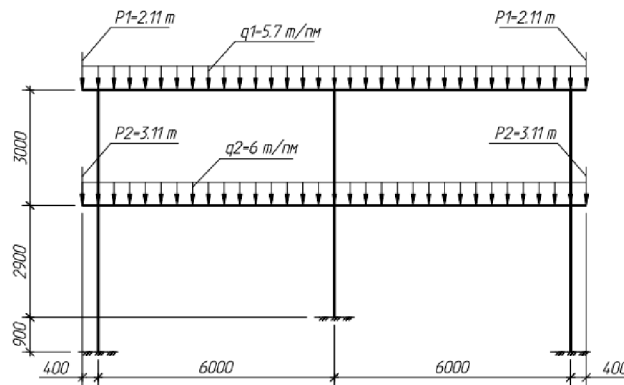


Рис. 2. Расчетная схема заменяющей рамы каркаса

На рис. 3 показан характер распределения и значения изгибающих моментов в поперечной заменяющей раме, определенные по альбому конструкций «КУБ 2.5», которые подтверждены авторским расчетом.

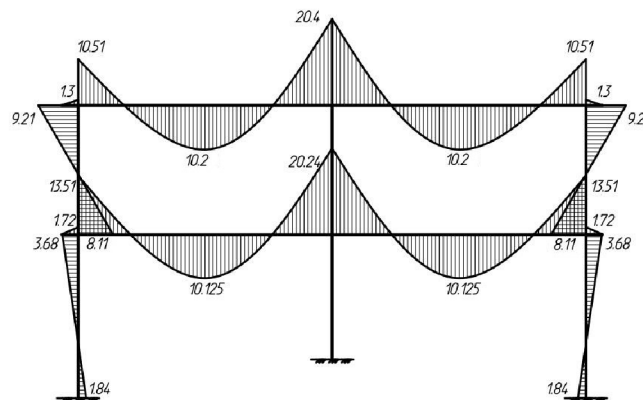


Рис. 3. Значения изгибающих моментов в заменяющей раме каркаса (т×м)

Определение значений изгибающих моментов в плитах перекрытия базовой модели (№ 1-6) по методу заменяющих рам производилось с учетом особенностей анализируемых подходов (табл. 1, 2). Результаты расчета представлены в табл. 3.

Конечно-элементная расчетная схема каркаса для расчета в комплексе SCAD версии 11.5 создана в специализированном приложении «Форум». Плиты перекрытия представляют собой пластины размером 0,2×0,2 м, колонны заданы стержнями. Узел сопряжения колонны с плитой перекрытия смоделирован стандартными средствами данной программы – в зоне опирания плит введено сгущение сетки, а в сечении колонны автоматически созданы стержневые элементы повышенной жесткости.

В узлах соединения колонн с фундаментом принято жесткое закрепление. Жесткость элементов и схема загрузки при расчете принята в соответствии с базовой моделью.

В программном комплексе ЛИРА версия 9.6 (R9) произведен расчет двух схем каркаса, отличающихся моделированием узла соединения колонн с плитами перекрытия, так как рассматриваемые программы предлагают разный подход к их созданию.

Схема № 1 импортирована из SCAD, то есть полностью идентична описанной выше расчетной схеме.

Схема № 2 создана непосредственно в программном комплексе ЛИРА. Соединение плиты с колонной смоделировано с помощью установки абсолютно жестких тел (АЖТ), имитирующих сечение колонны. В остальном схема соответствовала предыдущим. Физическая нелинейность материалов конструкций не учитывалась.

Результаты расчетов представлены в виде эпюр изгибающих моментов в надколонной полосе перекрытия (рис. 4) и в табличной форме (табл. 3). Изгибающие моменты, определенные по методу заменяющих рам, на эпюре отмечены в виде максимальных значений в пролете и на опоре.

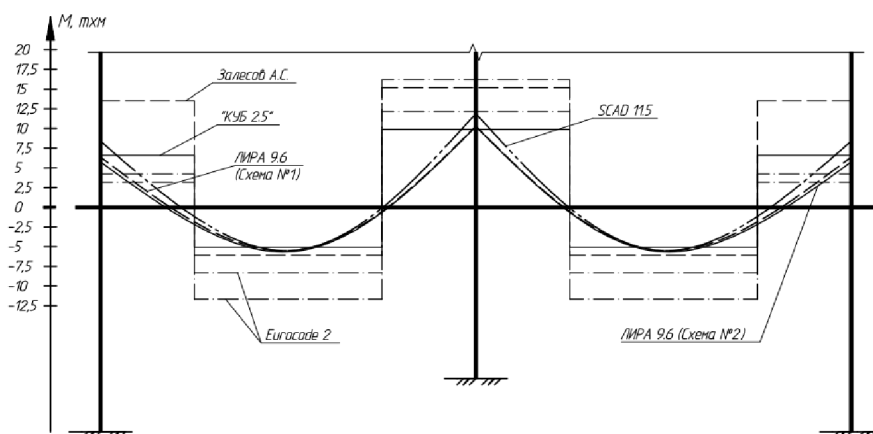


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов в надколонной полосе перекрытия, определенные по разным методикам

Таблица 3

Средние значения изгибающих моментов в элементах перекрытия

Методика	Значение изгибающих моментов в плитах, т×м					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
МЗР (Залесов А.С.)	-13,51	0	-15,18	-5,06	6,08	4,05
МЗР («КУБ 2.5»)	-6,6	-2,83	-9,88	-4,24	5,085	3,39
МЗР (Eurocode 2)	-3,17...-4,22	-2,8...-1,4	-12,14...-16,19	-8,1...-4,05	8,32...11,65	8,32...5
МКЭ (SCAD 11.5)	-8,39	-0,201	-11,9	-3,94	5,51	4,56
МКЭ (ЛИРА 9.6) Схема №1	-6,38	-0,141	-10,29	-3,88	5,51	4,55
МКЭ (ЛИРА 9.6) Схема №2	-5,75	-0,159	-10,25	-3,86	5,66	4,76

Приведенное сравнение позволяет сделать вывод, что метод заменяющих рам не обеспечивает необходимой точности определения изгибающих моментов для проведения физических экспериментов.

Таким образом, при планировании опытов используется метод конечных элементов, реализованный в рассмотренных программных комплексах ЛИРА и SCAD.

Список библиографических ссылок

1. Универсальная индустриальная каркасная система строительства. Татарстан (УИКСС-Татарстан): пат. 141473 Российская Федерация: МПК E04B1/20/ Соколов Б.С.; заявитель и патентообладатель Соколов Б.С. №2013128714/03; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014.
2. Соколов Б.С., Поздеев В.М., Трошков Е.О. Технично-экономическое обоснование целесообразности использования нового решения узла сопряжения колонн с надколонной плитой в сборных железобетонных безбалочных перекрытиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит., 2013, Вып. 31 (50), Ч. 2. Строительные науки. – С. 58-61.
3. Штаерман М.Я. Безбалочные перекрытия. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. – 336 с.
4. Дорфман А.Э., Левонтин Л.Н. Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий. – М.: Стройиздат, 1975. – 124 с.
5. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса / НПСО «Монолит», ЦНИИПИ «Монолит». – М.: 1990. – 491 с.
6. Иванов А., Залесов А.С. Методы расчета конструктивных систем каркасных монолитных зданий с плоскими перекрытиями // Сб. «Железобетонные конструкции зданий большой этажности». – М.: МГСУ, 2004. – С. 28-36.
7. Иванов А. Расчет конструктивных систем каркасных монолитных зданий методом заменяющих рам // Бетон и железобетон, 2003, № 4. – С. 12-15.
8. Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1.1: General rules and rules for buildings. BrusselsCEN. April, 2003. – 225 p.

Sokolov B.S. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: zips03@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Troshkov E.O. – post-graduate student

E-mail: troshkoveo@mail.ru

Volga State Technological University

The organization address: 424000, Russia, Yoshkar-Ola, Lenina sqr., 3

Comparison of the static calculation results of reinforced concrete flat plate floor system obtained by different methods

Resume

Universal industrial construction frame system (UICFS) is under development. Its distinguishing feature is a constructive solution of the slab-column connection, constructed as a plug connection. For planning and conducting physical experiments the determination of the forces in this connection is necessary. That is the purpose of work. Analysis of domestic and foreign literature has shown that there are a number of proposals on the definition of effort in the system.

The main objective of the work was the comparison of the values of the bending moments in slabs obtained by Eurocode 2, equivalent frame method and finite element analysis, implemented in different software systems. Established their conformity and divergence in determining forces in elements of the frame and draw conclusions for the development of the work program of experiments. The comparison suggests that the equivalent frame method does not provide a required accuracy of determination of bending moments for physical experiments.

Keywords: reinforced concrete framework, flat slab floor system, static calculation methods, forces determination in the frame, bullet connection.

Reference list

1. Universal industrial construction frame system. Tatarstan (UICFS – Tatarstan): the patent 141473 Russian Federation. № 2013128714/03; It is declared 24.06.2013; it is published 10.06.2014.
2. Sokolov B.S., Pozdeev V.M., Troshkov E.O. Feasibility study of the usage reasonability of the new type of columns and slabs connection in the prefabricated reinforced concrete frameworks with the flat plate floor system // Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture, 2013, 31 (50), Part 2. Construction sciences. – P. 58-61.
3. Shtaerman M.Y. Flat slab floor system. – M.: Gosudarstvennoe izdatelstvo literatury po stroitelstvu i architecture, 1953. – 336 p.
4. Dorfman A.E., Levontin L.N. Design of flat slab floor system. – M.: Stroyizdat, 1975. – 124 p.
5. The unified system of precast-monolithic flat slab floor system / NPSO «Monolit», CNIPI «Monolit». – M., 1990. – 491 p.
6. Ivanov A., Zalesov A.S. Methods for calculating the structural systems monolithic frame buildings with flat ceilings // The collection of proceedings «Reinforced concrete structure of the building a large number of storeys». – M., MGSU, 2004. – P. 28-36.
7. Ivanov A. Calculation of structural frame monolithic building systems by equivalent frame method // Concrete and reinforced concrete, 2003, № 4. – P. 12-15.
8. Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1.1: General rules and rules for buildings. BrusselsCEN, April, 2003. – 225 p.