

УДК 004.942:624.078+699.841

*Киселёв Дмитрий Валерьевич,**старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,**ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,**e-mail: pgs@angtu.ru**Бержинская Лидия Петровна,**к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»,**ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**Горбач Павел Сергеевич,**к.т.н. доцент, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»,**ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,**e-mail: gorbachps@mail.ru*

УЧЕТ ПОДАТЛИВОСТИ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАСЧЕТАХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПК SCAD OFFICE

Kiselev D.V., Berzhinskaya L.P., Gorbach P.S.

ACCOUNTING FOR THE MALLEABILITY OF PRECAST REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WHEN CALCULATING BUILDINGS USING PC SCAD OFFICE

Аннотация: В статье рассмотрены основные проблемы учета податливости соединений при расчетах зданий из сборного железобетона.

Ключевые слова: каркасное здание, податливость соединений, математическое моделирование, конечные элементы, горизонтальные перемещения.

Abstract. The article discusses the main problems of accounting for the malleability of joints in the calculations of buildings from precast concrete.

Keywords: frame building, malleability of joints, mathematical modeling, finite elements, horizontal displacements.

Введение. Многоэтажные здания являются наиболее ответственными сооружениями, поскольку от их конструктивных решений и качества возведения зависят пространственная устойчивость, надежность и жизнеспособность самих сооружений. Кроме того, многоэтажные здания – это на сегодня, самые массовые строения среди объектов капитального строительства. В современной практике в качестве основного строительного материала для возведения несущих систем многоэтажных зданий традиционно применяется монолитный, сборный и сборно-монолитный железобетон, обеспечивающий оптимальное сочетание надежности, экономичности, технологичности при производстве работ и последующими относительно невысокими эксплуатационными затратами.

Особенности расчета при проектировании. Одна из основных задач на стадии проектирования относится к выполнению расчетов несущей системы здания, корректности создания расчетной схемы, в том числе к полноте учета в них необходимых факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкций (НДС).

Напряженно-деформированное состояние – это результат отклика несущих конструкций на взаимодействие с внешней средой. Оно изменяется в зависимости от состояния внешней среды, оказывающей воздействие в виде нагрузок на несущие конструкции, а также совокупностью параметров самих конструкций, определяющих их несущую способность (форму и размеры зданий, способы соединения и величины податливости узлов, характеристики поперечных сечений элементов, физико-механические характеристики материалов и т.п.).

Податливость системы или материала, в свою очередь, характеризуется зависимостью упругого перемещения элементов системы от величины, приложенной к ним нагрузки. Податливость увеличивается при уменьшении модуля упругости, либо при изменении размеров конструкции или формы и оказывает сильное влияние на кинетику деформации и процесс разрушения. Податливость – величина, обратная жесткости системы. Повышение податливости может быть фактором, как полезным для системы, например, повышается «приспосабливаемость» сооружения к задаваемым перемещениям,

так и вредным, например, приведет к увеличению скорости развития трещин.

Рост податливости может быть вызван рядом причин, в частности:

- концентрацией напряжений, вследствие уменьшения расчетной площади сечения при сжатии разных по жесткости стыкуемых элементов;

- повышенной деформативностью одного из соединяемых узлов или элементов;

- наличием растворного шва меньшей прочности;

- развитием неупругих деформаций в элементах сопряжения в связи с ростом нагрузки.

При проектировании зданий из сборных железобетонных конструкций проводят пространственные расчеты здания с учетом податливости узлов соединения сборных конструкций, согласно рекомендациям к вычислительному комплексу SCAD [1]. При создании расчетной модели здания из сборных конструкций перед расчетчиками встает проблема – каким образом в расчетной схеме отразить податливую работу узлов соединений?

Существует несколько способов учета податливости соединений в расчетной модели здания:

1. Объединение перемещений узлов плит и ригелей по основным направлениям x , y , z .

2. Снижение модуля упругости элементов расчетной модели (плит перекрытий, диафрагм жесткости) за счет введения понижающих коэффициентов (таблица 9 [2]).

3. Введение упругого твердого тела между узлами плит перекрытий и ригелями; диафрагмами жесткости и колоннами; диафрагмами жесткости и ригелями и т.д.

4. Введение упругой связи (55 КЭ) между узлами плит перекрытий и ригелями; диафрагмами жесткости и колоннами; диафрагмами жесткости и ригелями и т.д.

5. Введение шарниров с определенной жесткостью для стержневых конечных элементов (КЭ) при моделировании узла сопряжения ригелей (балок) с колоннами или диафрагмами, а также при моделировании узла сопряжения сборных железобетонных колонн между собой.

Математическое моделирование.

Сравнение результатов расчета, полученных с помощью математического моделирования одноэтажного фрагмента каркасного здания,

приведенного на рисунке 1, было выполнено путем задания податливости узлов соединенной сборной плиты перекрытия относительно железобетонного ригеля разными способами. Кроме того, сравнение результатов расчета производилось также по двум схемам – для плоской рамы и пространственной схемы.

Исходные данные для расчета:

- размер конструктивной ячейки $6,0 \times 6,0$ м;

- высота схемы (этажа) 3 м;

- сечение колонн – 400×400 мм, класс бетона для колонн В20;

- сечение ригеля – 400×400 мм, класс бетона ригелей В20;

- плиты перекрытия толщиной $\delta=160$ мм, класс бетона В20;

- нагрузка равномерно распределенная $q=1$ т/м².

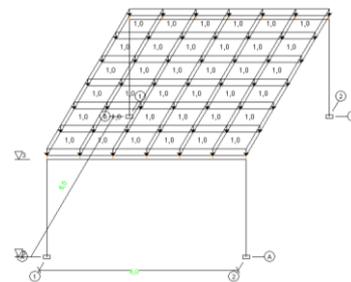


Рисунок 1 – Расчетная схема со сборным перекрытием

Анализ результатов серии расчетов с учетом различных вариантов показал, что при моделировании 55 КЭ податливости узлов при бесконечно большой жесткости и объединении перемещений узлов плиты и ригеля, в конечных элементах расчетной модели были получены одинаковые усилия (таблица 1), следовательно, армирование конструктивных элементов также будет одинаковым (таблица 2).

На основании анализа результатов расчета, полученных при разных вариантах учета податливости, и сравнение их с расчетом плоской рамы, можно сделать выводы:

1. Наиболее приближенным к расчету плоской рамы являются 1-й и 4-й варианты пространственного расчета здания.

2. В 1-м и 4-м вариантах пространственного расчета для железобетонной балки получено меньшее значение площади продольной арматуры (в пролете – нижняя, а на опоре – верхняя) по сравнению с расчетом рамы по плоской схеме. Это можно объяс-

нить за счет перераспределения плитой перекрытия части усилий между балками.

3. Вариант с понижающими коэффициентами для плиты перекрытия показал завышенное армирование балки, что связано с уменьшением жесткости плиты перекрытия при распределении усилий, а также с увеличением крутильной составляющей в балках от большего прогиба плиты

Таблица 1 – Сравнение усилий в несущих элементах рамы

Нагрузка	Вариант моделирования путем объединения перемещений	Вариант моделирования при помощи 55 КЭ
N (т)		
M _y (тМ)		
Q _z (т)		

На основании анализа результатов расчета, полученных при разных вариантах учета податливости, и сравнение их с расчетом плоской рамы, можно сделать выводы:

1. Наиболее приближенным к расчету плоской рамы являются 1-й и 4-й варианты пространственного расчета здания.

2. В 1-м и 4-м вариантах пространственного расчета для железобетонной балки получено меньшее значение площади продольной арматуры (в пролете – нижняя, а на опоре – верхняя) по сравнению с расчетом рамы по плоской схеме. Это можно объяснить за счет перераспределения плитой перекрытия части усилий между балками.

3. Вариант с понижающими коэффициентами для плиты перекрытия показал завышенное армирование балки, что связано с уменьшением жесткости плиты перекрытия при распределении усилий, а также с увеличением крутильной составляющей в балках от большего прогиба плиты

Моделирование узлов при расчете каркасных зданий из сборных железобетонных

колонн с разрывом бетона (рисунки 3, 4), выполняется несколькими способами:

1. С помощью объемных КЭ выполняется моделирование бетонного сечения колонны, а стержневые КЭ моделируют работу арматуры в месте «разрыва» бетона. При этом, разрыв бетона моделируется путем разделения объемных КЭ в узле, а стержневые КЭ (арматура) связаны в данном узле. Таким образом, при расчете работает только арматура.

2. Моделирование всей колонны выполняется в виде стержневого КЭ, а моделирование узла в месте разрыва бетона – путем введения линейного горизонтального шарнира с определенной жесткостью. Однако следует учитывать, что при таком способе моделирования увеличивается горизонтальная податливость колонны в данном узле.

Таблица 2 – Сравнение данных, полученных при разных вариантах моделирования учета опирания сборных плит перекрытия

Тип соединения	Армирование балки в пролете $A_{s1}, \text{см}^2$		Армирование балки на опоре $A_{s2}, \text{см}^2$	
	нижняя	верхняя	нижняя	верхняя
Объединение перемещений узлов плиты и ригеля по x, y, z.	2,41	1,56	1,58	2,98
Снижение модуля упругости плиты коэф.0,6.	3,96	2,85	3,74	4,11
Ввод твердых тел между узлами плиты и ригеля по x, y, z.	3,59	2,38	1,54	2,06
Ввод упругой связи между узлами плиты и ригеля	2,41	1,56	1,58	2,98
Плоская рама	3,22	1,58	1,61	3,95

Учет податливости в узлах соединения сборных плит перекрытий с помощью 55 КЭ является актуальным при расчетах зданий с большим количеством элементов, где ввод объединения перемещений узлов будет более трудоемким по сравнению с вводом в узлы упругой связи. На практике применения упругой связи было реализовано при моделировании расчетной схемы здания зимнего дворца спорта «Ермак» в г. Ангарске (рисунок 2). Это уникальное спортивное здание запроектировано в конструкциях серии ИИС.04, где сборные железобетонные плиты перекрытий объединены в единую пространственную систему, воспринимающую верти-

кальные и горизонтальные, в том числе, сейсмические нагрузки. Количество элементов расчетной модели здания – 95426, количество узлов – 74858.

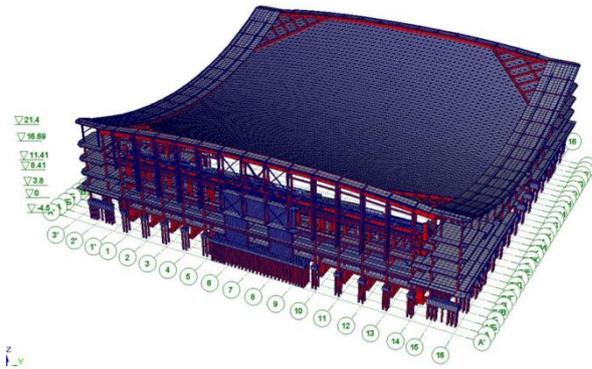


Рисунок 2 – Расчетная математическая модель здания зимнего дворца спорта «Ермак» в г. Ангарске

Для анализа результатов на горизонтальные смещения элементов колонны в уроне разрыва бетона было выполнено моделирование и произведены сопоставительные расчеты цельной колонны и колонны с разрывом бетона. В расчетах использовались следующие исходные данные: двухъярусные колонны сечением 400×400 мм, диаметр арматуры Ø28 А400, класс бетона В25; высота этажа 3,0 м. Расчетная горизонтальная нагрузка на колонну (для наглядности) принята 1000 т, горизонтальная жесткость шарнира 1500 т/м.



Рисунок 3 – Монтаж колонн с разрывом бетона



Рисунок 4 – Шов бетонирования колонн в месте разрыва бетона

Результаты перемещений, полученные по разным вариантам расчетных схем (из объемных КЭ и стержневых КЭ) показали, что величина горизонтального смещения в колонне из стержневых КЭ с разрывом бетона дает максимальное значение по отношению ко всем другим расчетным схемам. А увеличение перемещений в месте разрыва бетона почти в 1,5 раза выше по отношению к аналогичной колонне цельного сечения (рисунок 5).

Заключение. В результате проведенного математического исследования зданий со сборным железобетонным каркасом проанализированы подходы к математическому моделированию конструктивных особенностей в расчетных схемах многоэтажных зданий. Данный анализ позволил:

- определить степень влияния на напряженно-деформированное состояние узлов соединений и прилегающих конструкций;
- определить значимость влияния податливости узлов соединений при различных типах каркаса;
- оценить критерии жесткого и податливого соединений элементов каркаса;
- оценить влияние смежных (прилегающих к узлам) элементов на жесткость узлов и на усилия в смежных элементах каркаса.

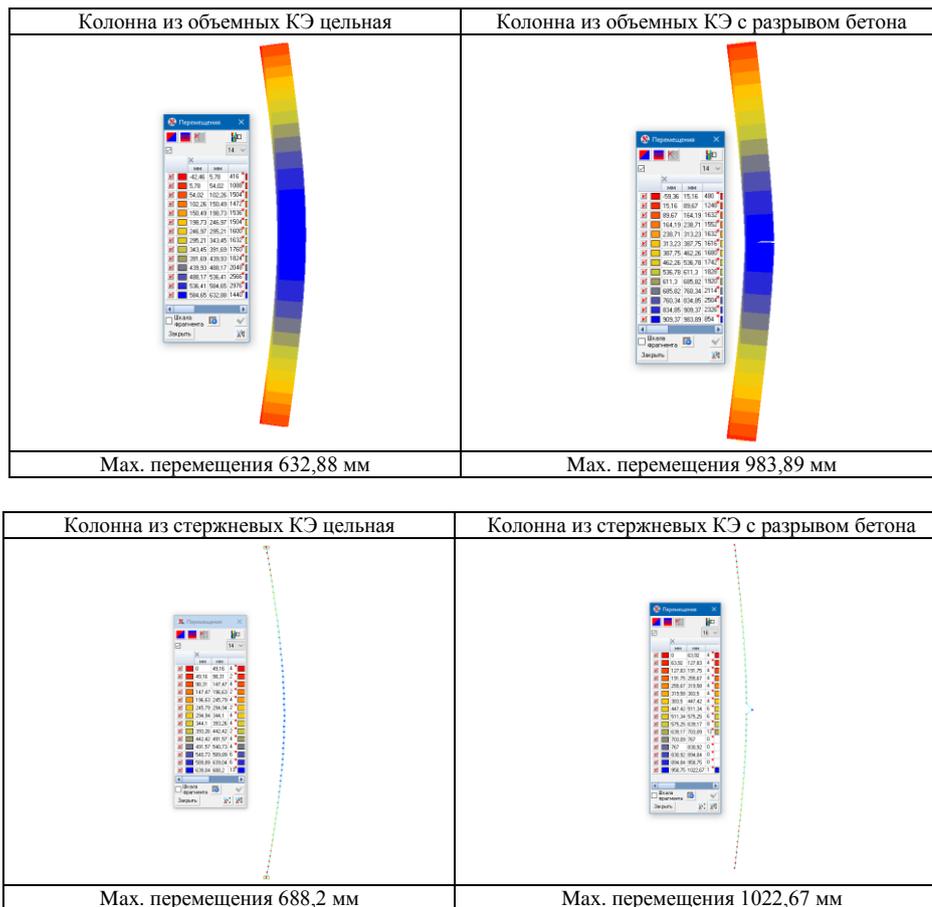


Рисунок 5 – Горизонтальные перемещения колонн от нагрузки 1000 т

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпиловский, В.С., Криксунов, Э.З., Маляренко, А.А. и др. SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD / ООО СКАД СОФТ (SCAD Soft). – Москва: Издательство АСВ, 2007.

2. Егупов, В. К. Пространственные расчеты зданий [Текст]: Пособие по проектированию / В.К. Егупов, Т.А. Командрина, В.Н. Голобородько. – Киев: Будівельник, 1976. – 264 с.