

Список цитированных источников

1. Курлапов, Д. В. Сравнительный анализ результатов инженерного расчета с расчетом в программном комплексе SCAD OFFICE / Д. В. Курлапов, Р. В. Терещенко, И. Н. Волос // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: материалы XVIII научно-методической конференции ВИТУ (13 марта 2014 года). ВИ(ИТ) ВА МТО (ВИТУ) – Санкт-Петербург, 2014. – С. 160–165.
2. Талапов, В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. – Москва, 2016.
3. План внедрения технологий информационного моделирования зданий (BIM – Building Information Modeling) в области промышленного и гражданского строительства – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.minstroyrf.ru/press/3d-proektirovanie-budet-ispolzovatsya-v-oblastipromyshlennogo-i-grazhdanskogo-stroitelstva>
4. Аханов, В. С. Справочник строителя / В. С. Аханов, Г. А. Ткаченко. – Москва : Издательство «Феникс», 2004.
5. Козлов, И. М. Оценка экономической эффективности внедрения BIM – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.integralsib.ru/articles/vnedrenie_bim/economy

УДК 539.3+624.012.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ДРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Курлапов Д. В., Дудурич Б. Б., Шок П. В., Гришук А. П.

Введение. При проектировании и строительстве всё большего количества объектов используются перспективные современные технологии и средства. Одним из способов, позволяющих эффективно снизить габариты, материалоемкость и стоимость, а также повысить эксплуатационные характеристики, является возведение монолитных железобетонных зданий и сооружений с безбалочными перекрытиями и предварительно напряженной канатной арматурой без сцепления с бетоном.

Существует несколько проверенных методик по расчёту и проектированию подобных конструкций, однако ни одна из них не учитывает влияние предварительного напряжения одной конструкции на другую. Как правило, конструкции рассчитываются отдельно, что не даёт полной картины.

Для определения влияния предварительного напряжения арматуры перекрытия на другие элементы конструкции была создана конечно-элементная модель монолитного железобетонного здания в программном комплексе SCAD Office 11.5. Данная расчетная программа выбрана из-за ее доступности, широты распространения, соответствия СП и ГОСТ, кроме того, именно она предназначена для расчета сооружения в целом. Другие многофункциональные проектно-расчетные системы ориентированы на выполнение детальных проверочных расчетов отдельных несущих строительных конструкций в соответствии с действующими нормами [1].

Прочность преднапряженных железобетонных конструкций не зависит от величин предварительного напряжения арматуры. Поэтому расчет таких конструкций ничем не отличается от расчета на прочность железобетонных кон-

струкций без предварительного напряжения, а силы обжатия являются внешними силами наряду с полезной нагрузкой.

Моделирование плит производится оболочечными элементами. При этом натяжение моделируется двумя способами: температурной нагрузкой на стержень и сосредоточенной нагрузкой, приложенной к анкеру. Расчет преднапряженной системы без сцепления конструкции задаётся путем приложения к расчетной схеме внешних сил в соответствии с геометрией раскладки каната.

В расчетной схеме колонны задаются конечными элементами – стержнями, для которых предусмотрена работа по обычным правилам сопротивления материалов. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат. Стержни присоединены к узлам плит посредством дополнительных вставок, жесткостью на порядок больше, чем жесткость колонн, с помощью которых учитываются эксцентриситеты узловых примыканий. Тогда ось X1 ориентирована вдоль упругой части, а оси Y1 и Z1 — вдоль главных осей инерции поперечного сечения.

Стержень работает по пространственной схеме и воспринимает продольную силу N , изгибающие моменты M_y и M_z , поперечные силы Q_z и Q_y , а также крутящий момент M_k .

Вычисление расчетных сочетаний усилий производится на основании критериев, характерных для соответствующих типов конечных элементов – стержней, плит, оболочек, массивных тел. В их качестве приняты экстремальные значения напряжений в характерных точках поперечного сечения элемента. При расчете учитываются требования нормативных документов и логические связи между загрузками.

Расчёт колонн выполнялся в программном комплексе SCAD, (армирование вычисляется инструментом «Сопротивление железобетонных сечений» подпрограммы АРБАТ) по заранее вычисленным расчётным сочетаниям усилий (см. рис. 1).










Проверка	Коэффициент	
Прочность по предельному моменту сечения	0,351	
Продольная сила при учете прогиба при гибкости $L_0/i > 14$	0,061	
Момент, воспринимаемый сечением, при образовании трещин	4,818e-013	
Прочность по предельной продольной силе с учетом арматуры по высоте сечения	0,245	
Прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами	4,476e-004	
Прочность по наклонной трещине	0,001	
Поперечная сила при отсутствии наклонных трещин	0,003	
Предельная гибкость в плоскости X ₀ Y	0,163	
Предельная гибкость в плоскости X ₀ Z	0,163	

Рисунок 1 – Диаграмма критических факторов, возникающих в колонне без предварительного напряжения плит перекрытия и покрытия

При выполнении расчётов было обнаружено, что в крайнем ряду колонн возникают большие изгибающие моменты, которые не могут быть восприняты колонной сечением 350x350 мм, армированной продольными стержнями

A400 Ø16 (коэффициент использования прочности по предельному моменту 1,045; по предельной продольной силе 1,022 (рис. 2)). Однако по результатам расчёта исходной модели (рис. 1) видно, что в случае отсутствия предварительно-напряжённых канатов, колонны воспринимают и момент, и продольную силу (коэффициент использования прочности по предельному моменту 0,351; по предельной продольной силе 0,238). Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что устройство предварительно-напряжённой арматуры без сцепления с бетоном приводит к ухудшению работы колонны крайнего ряда колонн в среднем в 3 раза.

Проверка	Коэффициент	
Прочность по предельной продольной силе сечения	1,022	
Прочность по предельному моменту сечения	1,045	
Продольная сила при учете прогиба при гибкости $L0/i > 14$	0,061	
Момент, воспринимаемый сечением, при образовании трещин	1,711	
Прочность по предельной продольной силе с учетом арматуры по высоте сечения	0,246	
Прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами	4,642e-004	
Прочность по наклонной трещине	0,002	
Поперечная сила при отсутствии наклонных трещин	0,003	
Предельная гибкость в плоскости XoY	0,163	
Предельная гибкость в плоскости XoZ	0,163	

Рисунок 2 – Диаграмма критических факторов, возникающих в колонне при предварительном напряжении плит перекрытия и покрытия

Данное явление вполне логично. Присутствующие в канатах сжимающие напряжения передаются плитам перекрытия и покрытия, которые, будучи жёстко соединены с колоннами, сжимаясь, буквально «стягивают» крайние ряды колонн «внутри» здания. Из-за жёсткого узла соединения плит с колоннами в них возникает изгибающий момент, который, как следует из законов строительной механики, увеличивается по направлению к нижнему сечению элементов. Это влияние может быть воспринято продольной арматурой, однако требует увеличения процента армирования. В данной экспериментальной модели увеличение продольной арматуры для восприятия увеличивающегося момента несущественно (с 8,044 см² до 10,18 см²), однако при этом увеличении коэффициенты использования остаются в 2...3 раза больше коэффициентов в исходной модели. Сам собой возникает вопрос о возможности восприятия отрицательного влияния изгибающего момента без увеличения продольной арматуры.

Данная проблема была решена экспериментально, в ходе проведения расчётов. В исходную модель был введён шарнирный узел в основании каждой колонны. При задании шарнира в нижнем сечении колонны момент в этой точке не возникает, одновременно с этим по высоте колонны он уменьшается в связи с уменьшением плеча приложения нагрузки от сжатия плит перекрытия и покрытия.

Введение шарнира в нижнем сечении колонны обеспечивает уменьшение коэффициентов использования на 5...10% (рис 3). Данного снижения хватает для обеспечения нормальной эксплуатации, однако, как и при увеличении армирования, коэффициент использования остаётся в несколько раз больше, чем в исходной модели.

Проверка	Коэффициент	
Прочность по предельной продольной силе сечения	0,941	
Прочность по предельному моменту сечения	0,98	
Продольная сила при учете прогиба при гибкости $L_0/i > 14$	0,06	
Момент, воспринимаемый сечением, при образовании трещин	1,604	
Прочность по предельной продольной силе с учетом арматуры по высоте сечения	0,239	
Предельная гибкость в плоскости XoY	0,163	
Предельная гибкость в плоскости XoZ	0,163	

Рисунок 3 – Диаграмма критических факторов, возникающих в колонне с шарнирным узлом закрепления в нижнем сечении, при предварительном напряжении плит перекрытия и покрытия

Заключение. Стоит отметить, что устройство шарнирного узла соединения колонны с плитой в нижнем сечении не требует дополнительных капиталовложений, в отличие от увеличения рабочей арматуры. Экономический эффект от данного решения является очевидным.

При проведении данного анализа вопрос о восприятии сечением колонны момента при образовании трещин не затрагивался. Повысить прочность элемента по данному конкретному параметру можно тремя путями: увеличением его сечения; увеличением количества рабочей продольной арматуры; использованием бетона более высокого класса. Для примера можно провести дополнительный расчёт анализируемой ранее конструкции, с использованием расчётных сочетаний усилий, полученных при расчёте модели с предварительно напряженными плитами перекрытия и покрытия, а также шарнирами в нижнем сечении колонн.

Список цитированных источников

1. Курлапов, Д. В. Железобетонные и каменные конструкции: учебник для курсантов и студентов / Д. В. Курлапов, В. В. Тюкаев. – Санкт-Петербург : ВИ(ИТ) ВАМТО, 2015. – С. 191–202.
2. Демичев, Д. С. Численное моделирование сооружений из монолитного железобетона для обеспечения качества проектирования / Д. С. Демичев, А. Д. Иванов // Молодые учёные – промышленности Северо-западного региона: материалы семинаров политехнического симпозиума, декабрь 2004 года. – Санкт – Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2004.
3. Портаев, Д. В. Опыт расчета монолитных преднапряженных конструкций в программном комплексе SCAD с использованием метода эквивалентных нагрузок. – Москва : МГУ, 2012.