Марчук Н.И., Фроловская А.В., Прасоленко Е.В., Шириев Т.Т., Беянина Т.А.
Расчет многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение

*Сибирский Федеральный университет
(Россия, Красноярск)*

doi: 10.18411/lj-02-2019-131

idsp: ljjournal-02-2019-131

Аннотация

В статье рассматривается расчет 25-этажного монолитного железобетонного здания на прогрессирующее обрушение с использованием ПК SCAD. Исследуется три наиболее опасных сценария разрушения несущих элементов. По полученным результатам выбраны способы усиления здания с помощью связевых этажей и дана качественная оценка их влияния на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение; локальное повреждение, отказ колонны, качественная оценка, связевой (аутригерный) этаж.

Abstract

The article provides a calculation of a 25-storey monolithic reinforced concrete building on the progressing collapse with use of the PC SCAD. The three most dangerous scenarios of destruction of the elements are investigated. According to the results there was a description of ways to strengthen of the building by binding floors and the article provided a qualitative assessment of their influence on resistance to the progressing collapse.

Keywords: the progressing collapse; local damage, refusal of a column, qualitative assessment, binding (autrigerny) floors.

Значительный интерес к прогрессирующему обрушению связан с большими экономическими потерями и социальными негативными последствиями. В связи с этим возрастает требование к надежности несущих конструкций многоэтажных и высотных зданий и их проверка на сопротивляемость прогрессирующему разрушению в аварийных ситуациях. За аварийную ситуацию принимается полное разрушение одной из колонн или участка монолитной стены лестничной клетки, диафрагм жесткости или лифтовых шахт, в пределах высоты одного этажа. Обычно исследуют сопротивляемость прогрессирующему разрушению здания при возникновении аварийных ситуаций в нижних и подвальных этажах [1].

Нормами предусматривают расчет с использованием сертифицированных на территории РФ систем автоматизированного проектирования: Лира, SCAD и др.

Рассматривается 25-этажное монолитное железобетонное здание общежития, имеющее в плане крестообразную форму с размерами в плане 27,6х27,6 м, состоящее из надземной и подземной части. Высота этажа 2,8 м. Внутренние колонны сечением 0,4х0,4 м, наружные колонны сечением 0,5х0,5 м, пилоны сечением 0,4х1,9 м.

Несущие вертикальные конструкции дома – монолитные колонны и диафрагмы, выполненные на всю ширину здания. Диафрагмы толщиной 0,22 м. жестко связаны с колоннами. Толщина междуэтажных плит перекрытий 0,18 м.

По периметру здания выполнены монолитные контурные ригели жесткости высотой 0,4 м.

Толщина наружных самонесущих кирпичных стен, опирающихся на перекрытия 0,25 м.

Наружные стены подвала монолитные толщиной 0,3 м. Перекрытие подземной части монолитное железобетонное толщиной 0,18 м. Все конструкции из бетона – В30.

Геометрическая и конечно-элементная пространственная модель здания создана в расчетном программном комплексе (ПК) SCAD [2] с использованием программного модуля Форум.

Горизонтальные и вертикальные распределенные конструкции здания моделировались конечными элементами – тонкие плиты. Колонны и ригели аппроксимированы пространственными стержневыми элементами.

Для плит перекрытия и несущих стен диафрагм жесткости размер сеточной области составляет $0,5 \times 0,5$ м, а в местах присоединения колонн к плитам перекрытия выполнено местное сгущение конечно-элементной сетки. Разработанная конечно-элементная модель здания состоит из 146487 элементов.

Рисунок 1. –Конечно-элементная модель 25 этажного здания

Вначале для определения напряженно-деформированного состояния конструкции в нормальных условиях эксплуатации был выполнен статический линейный расчет здания в ПК SCAD на действие постоянной, кратковременной, снеговой и ветровой нагрузок. По полученным результатам прочностного анализа выполнен подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций.

Затем, используя режим «прогрессирующее разрушение» [2], расчетом на особое сочетание нагрузок, включающее постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций здания, проверяется устойчивость здания против прогрессирующего обрушения. При этом для учета динамического эффекта, возникающего при мгновенной утрате несущего элемента, коэффициент динамичности по нагрузке принимается равный двум.

Для расчета на прогрессирующее обрушение рассматривается три наиболее опасных сценария разрушения несущих элементов, отмеченных на плане подвального этажа крестиком, получаемые на базе рассматриваемого монолитного каркасного 25-этажного здания с поочередным удалением колонн (рисунок 2.).

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение представлены на рисунках 3-5 с использованием трехцветной цветовой шкалы [2] (элементы разделяются по цвету на работающие, у которых значение максимального по величине коэффициента использования ограничений $K_{\max} < 1$ – по умолчанию для них принят зеленый цвет, вышедшие из строя элементы, $K_{\max} \geq 1$ – красный цвет и третий цвет – по умолчанию желтый, используется для указания элементов, попавших в интервал неопределенности, которые, по мнению расчетчика, с одинаковой вероятностью могут быть отнесены и к вышедшим из строя, и к работающим элементам).

Рисунок 2– План подвального этажа (места расположения удаляемых колонн обозначены кругом и крестиком).

Рисунок 3–Результаты расчета на прогрессирующее обрушение сценария №1 с удаленной угловой колонной подвального этажа в осях В-3

Рисунок 4—Результаты расчета на прогрессирующее обрушение сценария №2 с удаленной колонной подвального этажа в осях Б-6

Рисунок 5—Результаты расчета на прогрессирующее обрушение сценария №3 с удаленной колонной подвального этажа в осях И-8

Выполненные расчёты показывают устойчивость большей части 25 этажного здания, для каждого из рассмотренных сценариев отказа несущих элементов к прогрессирующему обрушению, при этом имеет место локальные разрушения частей здания над удаляемой колонной, которые уменьшаются и затухают с увеличением расстояния по высоте от удаляемой колонны.

Для уменьшения влияния прогрессирующего обрушения необходимо усиление несущих конструкций здания. При этом было рассмотрено два варианта конструктивных решений по усилению многоэтажного здания в виде устройства связевых (аутригерных) этажей, рассматриваемых в [3]. В первом варианте связевой этаж размещается на 12 этаже здания, во втором - на 25-ом - техническом этаже (рисунок 6).

Применение связевых этажей позволяет снизить вертикальные перемещения, локализовать зоны повреждений, перераспределить усилия поврежденного здания и реализовать пластические свойства железобетона [3], при отказе одного из конструктивных элементов.

Рисунок 6 – Расчетные схемы 25-этажного здания со связевым этажом;
а – в уровне 12-го этажа; б – в уровне 25-го этажа;

Связевый (аутригерный) этаж в уровне 25-го этажа представляет собой жесткий блок, состоящий из монолитной сплошной (без проемов) диафрагмы толщиной 0,16 м из бетона класса В30, в уровне 12-го этажа состоит из монолитной диафрагмы такой же толщины, только с проемом (рисунок 7 а, б).

Рисунок 7 – Схемы связевых этажей в виде жестких блоков:
а – в уровне 12-го этажа; б – в уровне 25-го этажа/

Результаты расчета на прогрессирующее разрушение с применением связевых этажей представлены на рисунках 8-11.

Рисунок 8 – Результаты расчета на прогрессирующее обрушение с жестким блоком в уровне 12-го этажа при удалении колонны в осях В-3

Рисунок 9– Результаты расчета на прогрессирующее обрушение с жестким блоком в уровне 25-го этажа при удалении колонны в осях В-3

Рисунок 10– Результаты расчета на прогрессирующее обрушение с жестким блоком в уровне 25-го этажа при удалении колонны в осях Б-6

Рисунок 11– Результаты расчета на прогрессирующее обрушение с жестким блоком в уровне 25-го этажа при удалении колонны в осях И-8

Выполненные расчеты 25 этажного здания с различными вариантами усиления связевыми этажами в виде жестких блоков показывают, что при усилении здания в уровне 12-го этажа последствия прогрессирующего разрушения уменьшаются по сравнению с вариантом без усиления (рисунки 3,8), но при этом незначительно отличаются от варианта усиления на 25-м этаже здания (рисунок 8, 9 – при отказе угловой колонны). Аналогичные результаты имеют место и при других сценариях отказа колон. Для рассматриваемого многоэтажного здания более предпочтительным является вариант усиления здания с расположением жесткого блока в уровне 25-го, технического этажа, поэтому результаты расчетов на прогрессирующее обрушение для сценариев №2, №3 приведены для варианта технического связевого этажа (рисунок 10, 11).

Для схем прогрессирующего обрушения по 2-му и 3-му сценариям имеет место уменьшения зоны обрушения здания (рисунок 4,5,10,11).

Анализ результатов работы рассмотренных моделей прогрессирующего разрушения многоэтажного здания, выполненной в ПК SCAD, позволяют получить качественную оценку устойчивости здания к прогрессирующему обрушению, спрогнозировать объемы разрушений, сопоставить наиболее опасные сценарии обрушения с целью выявления слабых мест конструкции для их дальнейшего усиления.

1. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М., 2006. – 34 с.
2. Карпиловский В.С., Криксунов Э. З., Маляренко А.А., Фиалко С. Ю., Перельмутер А. В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD M.: Издательство «СКАД СОФТ». 2006. С. 309-311.
3. Алмазов В.О., Кхой Као Зуй. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов: монография / В.О.Алмазов, Кхой Као Зуй. – Москва: АСВ, 2013. – 128 с.

Шамутдинов А.Х.

Разработка математической модели колебаний оригинального манипулятора

*Омский автобронетанковый инженерный институт
(Россия, Омск)*

doi: 10.18411/lj-02-2019-132

idsp: ljjournal-02-2019-132

Аннотация

В работе изложена разработка математической модели динамики колебаний оригинальной части манипулятора на основе использования энергии деформации его приводов, представленных в виде стержней, и составлена система дифференциальных уравнений колебаний в матричном виде. Составлена расчетная схема оригинальной части манипулятора и на основе классических уравнений динамики системы составлено выражение для определения кинетической и потенциальной энергий манипулятора. Предложенная методика динамики колебаний манипулятора позволяет на предварительном, теоретическом, этапе представить математическое описание поведения системы и оценки его динамических характеристик, в частности собственных частот колебаний.

Ключевые слова и фразы: жёсткость стержня; кинетическая и потенциальная энергия; матрица инерции и жёсткости; оригинальная часть манипулятора; теорема Кёнига; энергия деформации.

Abstract

The paper describes the development of a mathematical model of the oscillation dynamics of the original part of the manipulator based on the use of the deformation energy of its drives, represented in the form of rods, and a system of differential equations of oscillations in a matrix form is composed. A design diagram of the original part of the manipulator was compiled and an expression for determining the kinetic and potential energies of the manipulator was compiled on the basis of the classical equations of system dynamics. The proposed methodology for the dynamics of oscillations of a manipulator makes it possible to present at a preliminary,