

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И РАСЧЕТ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ РАЗРУШЕНИЕ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Ольга Игоревна Глушкова

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, Россия, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, студент, тел. (983)132-38-68, e-mail: glushkova.oi@yandex.ru

Представлена важность использования трехмерного моделирования для решения прикладных задач в строительстве, обоснована необходимость учета прогрессирующего разрушения в расчетах строительных конструкций. Приводится обзор существующей методики моделирования и расчета прогрессирующего разрушения строительных конструкций на примере программных комплексов SCAD Office и ЛИРА-САПР и сравнение полученных результатов. Выявлены особенности работы каждого программного комплекса.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, информационная модель, прогрессирующее разрушение, строительные конструкции, расчет, программный комплекс.

MODELING OF CONSTRUCTION SITES AND PROGRAM CALCULATION OF PROGRESSIVE DESTRUCTION

Olga I. Glushkova

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 113, Leningradskaya St., Novosibirsk, 630008, Russia, Student, phone: (983)132-38-68, e-mail: glushkova.oi@yandex.ru

The importance of the use of three-dimensional modeling for solving applied problems in construction is presented, the necessity of taking into account the progressive destruction in the calculations of building structures is substantiated. An overview of the existing methods of modeling and calculating the progressive destruction of building structures on the example of software systems SCAD Office and LIRA-CAD and comparison of the results. Special features of each software package.

Key words: three-dimensional modeling, information model, progressive destruction, building structures, calculation, software package.

Трехмерное моделирование является наиболее эффективным, современным и удобным источником информации об объекте, содержащим полную картину свойств и особенностей объекта. Трехмерное моделирование прочно вошло в нашу жизнь и количество программных комплексов в рамках одной отрасли может быть множество, поэтому будут рассматриваться наиболее доступные, распространенные, используемые также в учебных целях программно-вычислительные комплексы, а именно SCAD Office и ЛИРА-САПР. Целью статьи является обзор существующей методики моделирования и расчета прогрессирующего разрушения в данных программных комплексах.

Моделирование представляет собой широкий спектр возможностей для работы, создания, решения прикладных и научных задач, а также расширяет границы возможностей в различных областях науки и бизнеса.

В строительстве зачастую используются методы промышленного проектирования, которые называются: САПР (Система Автоматизированного Проектирования) или CAD (Computer-Aided Design). Данный тип моделирования принципиально отличается от полигонального моделирования, который встречается нам каждый день – фильмы, анимация, компьютерные игры. При полигональном моделировании мы получаем визуальный образ, в CAD мы получаем электронно-геометрическую модель изделия.

Базовым типом в CAD является твердотельное моделирование. Твердотельное моделирование есть в любой CAD-системе. Цель этого метода — получить не только визуальный образ, но также измеримую и рабочую информацию о будущем изделии, которая может быть представлена в виде чертежей, точных параметров, данных для расчетов и самих расчетов, 3D-модели, изготовленной на 3D-принтере и т. д.

На сегодняшний день уже можно говорить о полном внедрении информационных моделей в сферу строительства, так были приняты ряд нормативных документов [1-3], которые содержат требования к информационным моделям объектов массового строительства и их разработке на различных стадиях жизненного цикла, направленные на повышение обоснованности и качества проектных решений, повышение уровня безопасности при строительстве и эксплуатации, базовые требования к созданию и эксплуатации информационных систем, взаимодействующих между собой в течение всего жизненного цикла здания или сооружения и реализующих технологию информационного моделирования объекта, устанавливает требования к компонентам их информационных моделей.

Моделирование в ПК SCAD и ЛИРА, как правило, является инструментом для расчета строительных конструкций и представляет собой контроль правильности принятых проектировщиком решений, их корректировки и выпуск готового проекта для реализации.

Лири-САПР - данный программный комплекс предназначен для численного исследования прочности и устойчивости конструкций, а также для автоматизированного выполнения ряда процессов конструирования. ПК «Лири-САПР» обеспечивает исследование широкого класса конструкций: пространственные стержневые и оболочечные системы, массивные тела, комбинированные системы.

SCAD Office - программный комплекс нового поколения - позволяет проводить расчет и проектирование стальных и железобетонных конструкций. В состав комплекса входят универсальная программа конечно-элементного анализа SCAD, а также ряд функционально независимых проектно-расчетных и вспомогательных программ. Программа SCAD предназначена для расчета сооружения в целом. Другие проектно-расчетные программы ориентированы на выполнение детальных проверочных расчетов несущих строительных конструкций (отдельных балок, колонн, плит) в соответствии с действующими нормами.

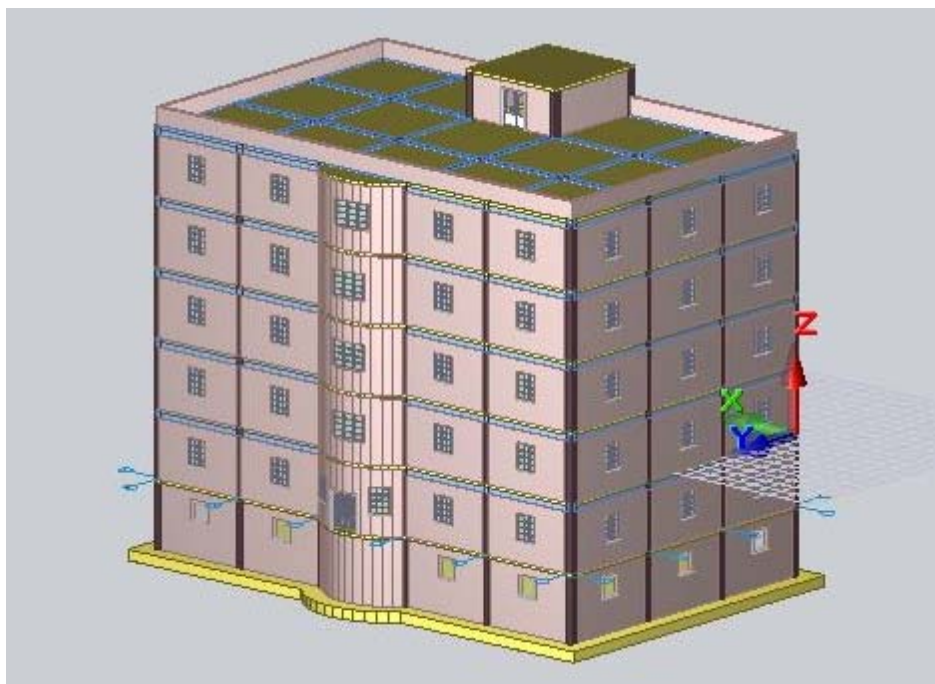


Рис. 1. Модель здания в ПК Лира

Расчет строительных конструкций в любых программных комплексах должен обеспечивать наибольшую достоверность, что достигается учётом физической и геометрической нелинейности жёсткостных характеристик элементов, должны быть проверены все возможные схемы разрушений отдельных элементов конструкций. Результатом расчёта являются усилия, напряжения и перемещения на каждом из этапов приложения нагрузки, картины трещин в стенах и плитах, места образования пластических шарниров, информация об элементах, разрушающихся в первую очередь. Имеется также возможность определить нагрузку, при которой разрушается первый элемент конструкции и по ней можно судить об имеющихся запасах по несущей способности.

Все представленные в электронном виде документы, графические и текстовые данные по объекту строительства на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла образуют информационную модель, которая представляет собой также объединённую форму цифровой информационной модели строительства и инженерной цифровой модели местности. Любая создаваемая модель служит целям координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех стадиях жизненного цикла. Проверка и оценка технических решений информационной модели способствует повышению обоснованности и качества принимаемых технических решений.

Большой интерес к прогрессирующему разрушению вызван возникающими аварийными ситуациями как природного, так и техногенного характера и связан со значительными экономическими потерями и социальными негативными последствиями, а также человеческими жертвами.

Прогрессирующее разрушение является особым видом аварийных ситуаций, причиной которого могут быть такие воздействия и их комбинации, которые не предусматриваются в стандартном расчете. Под прогрессирующим (лавинообразным) обрушением понимается распространение начального локального повреждения в виде цепной реакции от элемента к элементу, которое, в конечном счете, приводит к обрушению всего сооружения или непропорционально большей его части [4].

Необходимость выполнения расчета обусловлена законодательными и нормативными правовыми актами [5, 6], а основными положениями проектирования зданий, защищенных от прогрессирующего обрушения являются:

1. Анализ конструктивной системы здания, архитектурно-планировочных решений и системы связей.

2. Расчетные нагрузки и воздействия (особое сочетание): нормативные величины постоянных и длительно действующих временных вертикальных нагрузок, а также гипотетическое локальное разрушение.

3. Соппротивление материалов: нормативные значения.

4. Методики расчета:

- кинематический метод предельного равновесия;
- расчет с использованием программных комплексов (метод конечного элемента) с учетом физической и геометрической нелинейности.

5. Принципы конструирования:

- использование ненесущих (в эксплуатации) элементов;
- перевязка вертикальных стыков стен;
- система пластичных связей;
- междуэтажные связи.

Особенностью и преимуществом программных комплексов является использование расчетной модели, учитывающей работу не отдельной конструкции, а поведение здания в целом как в случае чрезвычайной ситуации, так и при эксплуатации в нормальных условиях.

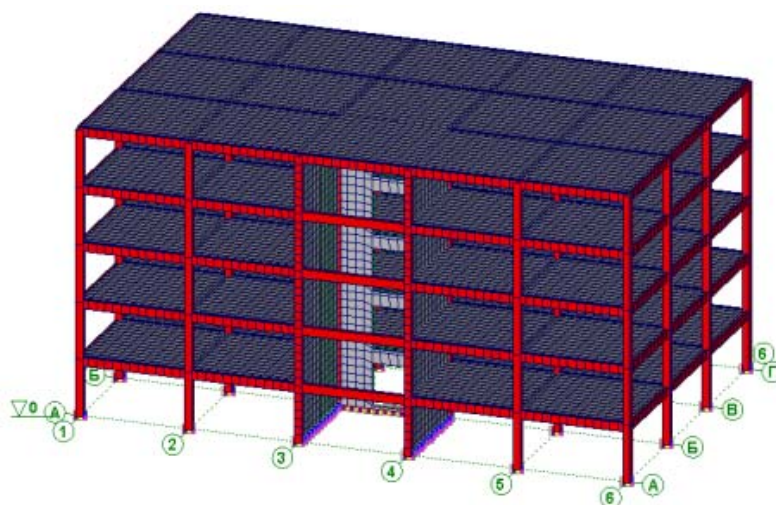


Рис. 2. Расчетная модель в SCAD Office

Основные особенности расчета строительных конструкций на прогрессирующее обрушение в программных комплексах и основная идея заключаются в реализации нескольких стадий расчета [7, 8]. На первой стадии выполняется линейный расчет. На втором этапе в линейной схеме исключаются из работы отдельные несущие элементы: обычно колонны, или фрагменты несущих стен. Рассматривается несколько вариантов расположения удаляемых конструкций. По результатам этих расчетов назначается армирование для расчета модели в нелинейной постановке. На третьем этапе производится расчет здания с учетом физической и геометрической нелинейности, с учетом коэффициента, учитывающий динамику процесса. Расчет проводят с пошаговой корректировкой армирования элементов конструкции до состояния разрушения конструкции. Критериями разрушения конструкций могут служить геометрическая изменяемость системы на n -ом шаге; лавинообразный рост деформаций и перемещений системы.

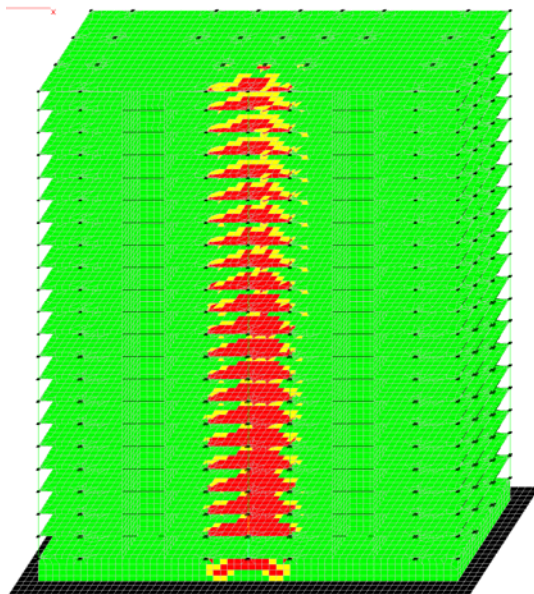


Рис. 3. Моделирование разрушения колонны крайнего ряда
в ПК SCAD Office

ПК SCAD Office выполняет расчет на прогрессирующее разрушение следующим образом[9]: определяются реакции в узлах вышедших из строя элементов, примыкающих к остальной части схемы, от проверочной комбинации нагрузок; затем полученные значения реакций добавляются в расчетную комбинацию с коэффициентом K_f ; в проверочную комбинацию добавляется группа нагрузок от веса обрушившихся конструкций с коэффициентом K_g . После этого формируется новая расчетная схема, в которой разрушенные элементы будут неактивны; выполняется расчет полученной схемы на проверочную комбинацию; формируются расчетные сочетания усилий и выполняется экспертиза несущей способности элементов стальных и железобетонных конструкций.

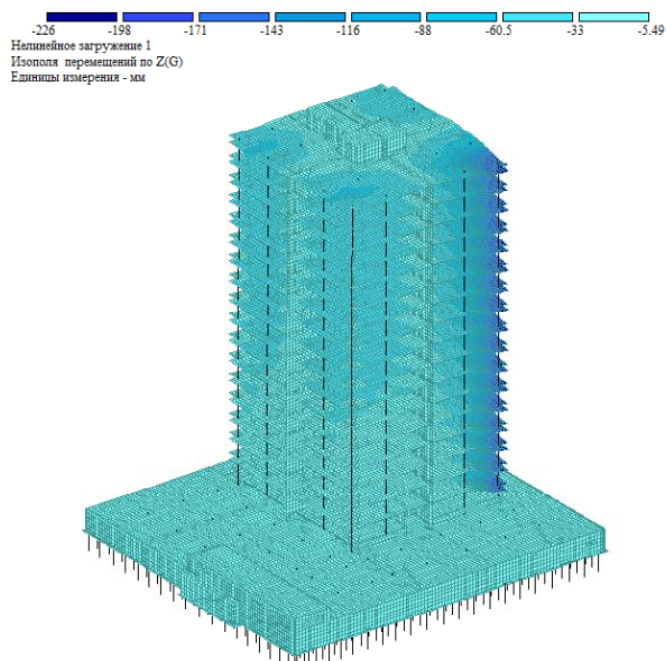


Рис. 4. Моделирование разрушения крайней колонны
в ПК ЛИРА-САПР

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение отображаются в графической форме. В ПК SCAD отображаются только те элементы, которые выходят из строя на первой ступени (шаге) обрушения, для определения элементов, которые будут выходить из строя в последующем, требуется дополнительный расчет. Также в ПК SCAD Office, не учитывается нелинейность работы материалов железобетонных конструкций, не учитывает мембранный эффект работы арматуры, не позволяет оценить перемещения. В ПК ЛИРА расчеты осуществляются с учетом физической нелинейности работы материала. Результатом расчёта являются усилия, напряжения и перемещения на каждом из этапов приложения нагрузки, картины трещин в стенах и плитах, места образования пластических шарниров, информация об элементах, разрушающихся в первую очередь. Также имеется возможность определить нагрузку, при которой разрушается первый элемент конструкции и по ней судить об имеющихся запасах по несущей способности.

В результате численного моделирования можно получить качественную оценку характеристик устойчивости конструкции по отношению к прогрессирующему обрушению, а также сопоставить несколько возможных сценариев обрушения с целью выявления слабых мест конструкции.

Несмотря на возможность расчета прогрессирующего разрушения с помощью различных методик, предлагаемые ПК SCAD Office и ЛИРА-САПР, достоверность получаемых результатов еще не подтверждена, также следует учитывать, что любой расчет на прогрессирующее разрушение имеет условный характер из-за прогнозируемости аварийной ситуации, характере протекания и поведения конструкций в данных условиях.

Использование 3D-модели позволяет сформировать и оформить конструкторскую документацию, необходимую для производства, изготовления, эксплуатации, ремонта и утилизации объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 333.1325800.2017. Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла (утв. приказом Минстроя РФ от 18.09.2017 г. № 1227, введ. 19.03.2018).
2. СП 331.1325800.2017. Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах (утв. приказом Минстроя РФ от 18.09.2017 г. № 1230, введ. 19.03.2018).
3. СП 328.1325800.2017. Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели (утв. приказом Минстроя РФ от 15.12.2017 г. № 1674, введ. 16.06.2018).
4. Руденко Д. В. Защита каркасных зданий от прогрессирующего разрушения / Д.В. Руденко, В.В. Руденко // Инженерно-строительный журнал. – №3 – 2009. – С. 38-41.
5. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 11.12.2018).
6. СП 118.13330.2012. Свод правил. Общие здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (утв. приказом Минрегиона России от 29.12.2011 г., введ. 01.01.2013).
7. М. Барабаш. Методика моделирования прогрессирующего обрушения на примере реальных высотных зданий // MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA 2014 6(5)/ pp.520–530.
8. В.О. Алмазов, Кхой Као Зуй. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. – М.: АСВ, 2013. – 128 с.
9. SCAD Office Help [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://scadsoft.com/help/SCAD/ru/index.htm#t=SCAD1049%2Fprogressive_collapse_calculation.htm (дата обращения: 10.12.2018).

© О. И. Глушкова, 2019