

УСТОЙЧИВОСТЬ ЗДАНИЯ ПРОТИВ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ. МЕТОДИКА РАСЧЕТА В ПК ЛИРА И ПК SCAD

В статье рассматриваются в рамках пространственной задачи результаты расчета 6 моделей в ПК SCAD, 9 моделей с учётом физической и геометрической нелинейности в ПК ЛИРА, 3 расчёта кинематическим методом теории предельного равновесия. Каждая из моделей учитывает обрушение одной из трёх рассматриваемых колонн первого этажа. Анализируется надежность конструкции с учетом использования аутригерных этажей, а также без них. Производится непосредственное сравнение результатов расчета, выполненных в ПК SCAD и ПК ЛИРА.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, надежность, физическая нелинейность, метод конечных элементов.

Проблема. 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 большой его части. Причиной разрушения может быть любая из множества аварийных ситуаций, которые не рассматриваются в обычном проектировании. В то же время, землетрясения, пожары, сильные ветры, включенные в строительные нормы, также не должны приводить к прогрессирующему обрушению.

В то время, как вопросы защиты от прогрессирующего обрушения крупнопанельных зданий изучены, разработаны методики расчёта и рекомендации по конструированию, а многочисленные примеры аварий подтверждают их неэффективность, аналогичных решений для монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений в Украине нет.

Согласно нормам [1], для всех железобетонных монолитных зданий при проектировании рекомендуется выполнять оценку сопротивляемости конструктивной системы прогрессирующему обрушению. Методик проведения оценки ДБН не приводит, однако предписывает производить расчет конструктивных систем методом конечных элементов с использованием специальных сертифицированных в Украине компьютерных программ, согласованных с НИИСП: Лира, Мономах, STARK-ES и других.

Расчет здания в программных комплексах следует выполнять с учётом физической и геометрической нелинейности жесткостных характеристик элементов, что обеспечивает наибольшую достоверность расчёта и снижение дополнительных материалозатрат. Для расчета следует использовать пространственную расчетную модель. Разработчики программных комплексов SCAD и Лира предлагают свои методики расчёта, однако

достоверность получаемых результатов пока не подтверждена и требует проведения исследований в этом направлении.

Нет единого алгоритма по проектированию зданий и сооружений, защищенных от прогрессирующего обрушения. Нет единой методики расчета в программных комплексах.

Практика проектирования свидетельствует об острой необходимости простых инженерных решений, не требующих детального анализа каждой конкретной конструкции.

Постановка и методика исследования. Предлагается следующий алгоритм расчёта конструкций на прогрессирующее обрушение (рис.1). Расчет устойчивости здания против прогрессирующего обрушения необходимо производить на особое сочетание нагрузок, включающих постоянные и длительные нагрузки с их нормативными значениями. Прочностные и деформативные характеристики материалов конструкции принимаются равными их нормативным значениям.

Колонны являются ключевыми элементами сооружений каркасного типа. При регулярной сетке осей разрушение колонны приводит к увеличению пролёта конструкции над разрушенной колонной в два раза. Момент в сечении конструкции над разрушенной колонной может возрасти до четырёх раз.

В качестве способа, позволяющего защитить каркасные здания от обрушения без значительного увеличения расхода материалов, предлагается использование жестких блоков (аутригерных этажей) по высоте здания. Колонны каркаса при этом следует рассчитывать не только на внецентренное сжатие при их нормальной работе, но и на растяжение, возникающее во время ЧС. В таком случае стены жесткого блока начинают работать как балки-стенки, воспринимая усилия от растянутой колонны, а перекрытия этажей оказываются подвешенными. Такой подход позволяет значительно снизить объём разрушаемых конструкций.

В качестве примера рассмотрены две конструктивные схемы здания: обычное 20-этажное каркасное здание с шагом колонн 6 на 6 метров и аналогичное здание, верхний технический этаж которого представляет собой жесткий блок. Общий вид моделей представлен на рис. 2-3.

Произведен расчёт 6 моделей в ПК SCAD, 9 моделей с учётом физической и геометрической нелинейности в ПК ЛИРА, 3 расчёта кинематическим методом теории предельного равновесия. Каждая из моделей учитывает обрушение одной из трёх рассматриваемых колонн первого этажа.

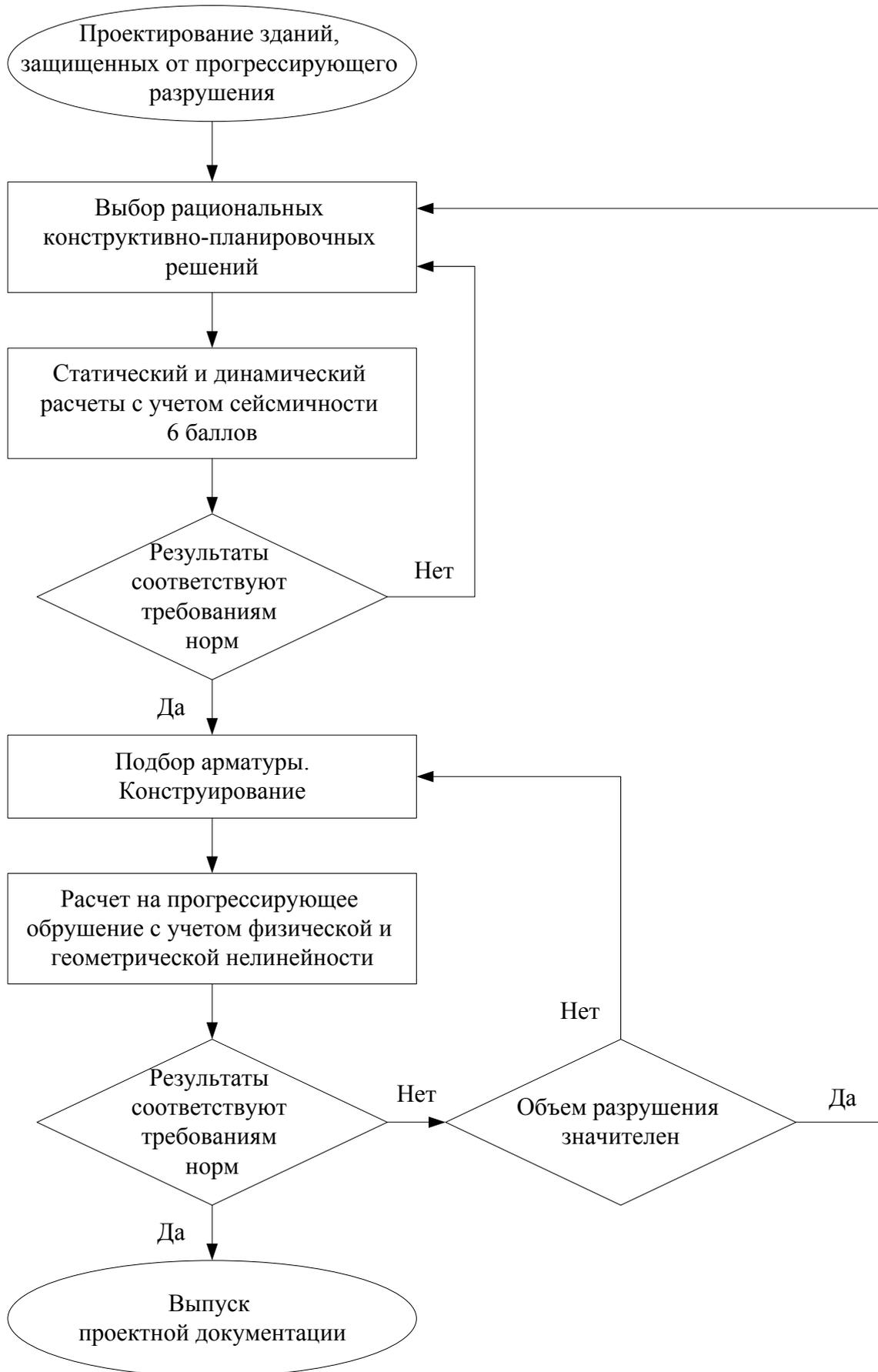


Рис. 1. Алгоритм расчёта конструкций на прогрессирующее обрушение

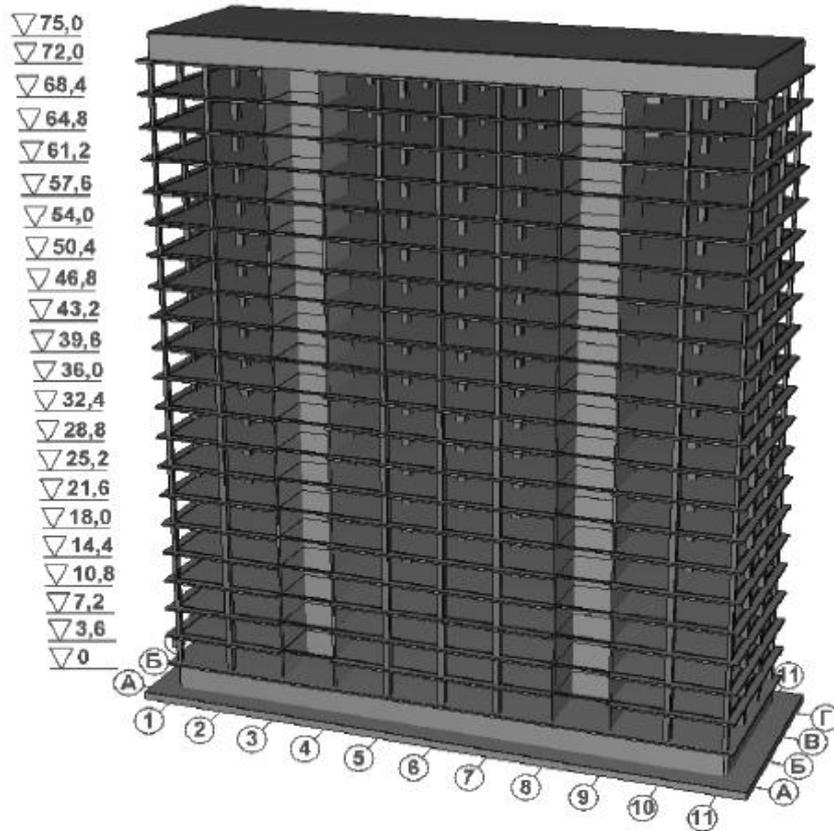


Рис. 2. Модель без жесткого блока

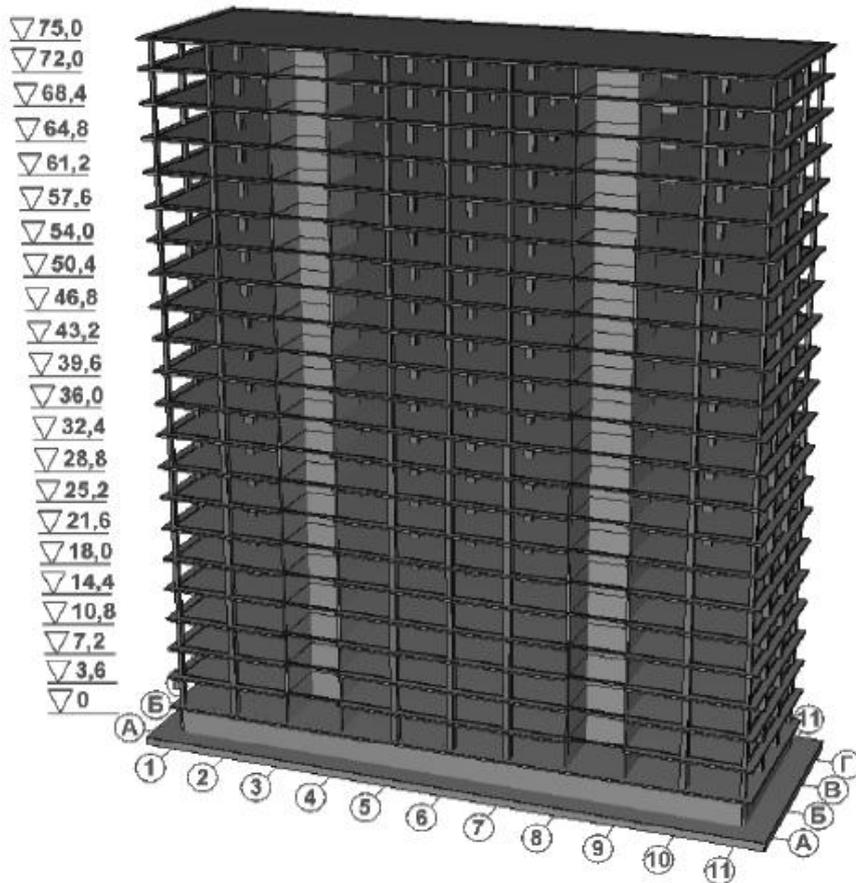


Рис. 3. Модель с жестким блоком

Результаты проверки схем на прогрессирующее обрушение в ПК SCAD отображаются в графической форме в двух- и трехцветной цветовой шкале. В двухцветной шкале элементы разделяются по цвету на работающие, у которых значение максимального по величине коэффициента использования ограничений ($K_{\max} < 1$ – зелёные) и вышедшие из строя ($K_{\max} > 1$ – красные). В трехцветной шкале третий цвет (жёлтый) используется для указания элементов, попавших в интервал неопределенности, то есть таких, которые, по мнению расчетчика, с одинаковой вероятностью могут быть отнесены как к выбывшим из строя, так и к работающим.

Методика расчета конструкций на прогрессирующее обрушение, реализованная в ПК SCAD, требует дальнейшего развития и дополнения, т.к. не позволяет учитывать физическую нелинейность работы материалов железобетонных конструкций, не учитывает мембранный эффект работы арматуры, не позволяет оценить перемещения. ПК отображает только те элементы, которые отказали на первом же шаге процесса распространения обрушения. Для определения элементов, выходящих из строя на втором и последующих шагах, требуются дополнительные действия расчетчика. Расчёт производится в квазистатике – для учёта мгновенности приложения нагрузки от расчетчика требуется указать коэффициенты динамичности, вычисление которых без использования ПК трудоемко и может оказаться неточным.

Главным преимуществом ПК ЛИРА по сравнению с ПК SCAD является реализация расчётов с учётом физической нелинейности работы материала. Методика расчётов на прогрессирующее обрушение в ПК ЛИРА следующая.

1. После формирования расчётной схемы с учётом граничных условий необходимо указать тип конечных элементов и их жесткости. Для учёта физической и геометрической нелинейности выбираются соответствующие типы конечных элементов (например, 410, 442, 444).

2. К расчётной модели прикладываются два нагружения: первое моделирует постоянные и длительные нагрузки на конструкцию, второе позволяет учесть коэффициент динамичности. Для этого в верхний узел разрушенной колонны нужно задать усилие, составляющее часть от усилия в этой колонне, возникающего при действии нагрузок из первого нагружения.

3. С помощью «Монтажных таблиц» моделируются стадии обрушения. Формируется две стадии. В первую входят все элементы конструкции без исключения, во вторую – все, за исключением разрушаемой колонны.

4. Для выполнения нелинейного расчета системы с учетом процесса монтажа необходимо задать количество нелинейных нагружений, равное количеству стадий монтажа. Для второго нелинейного нагружения необходимо учитывать предыдущее нагружение [6].

Результаты и обсуждение. 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.

При применении квазистатического метода расчета определение коэффициента динамичности остаётся на совести инженера. Пример результатов по перемещениям для двух схем при разрушении колонны крайнего ряда представлены на рис. 4-5. Максимальные значения перемещений снизились в 2 раза: 112 мм для схемы без жесткого блока против 56 мм для схемы с жестким блоком.

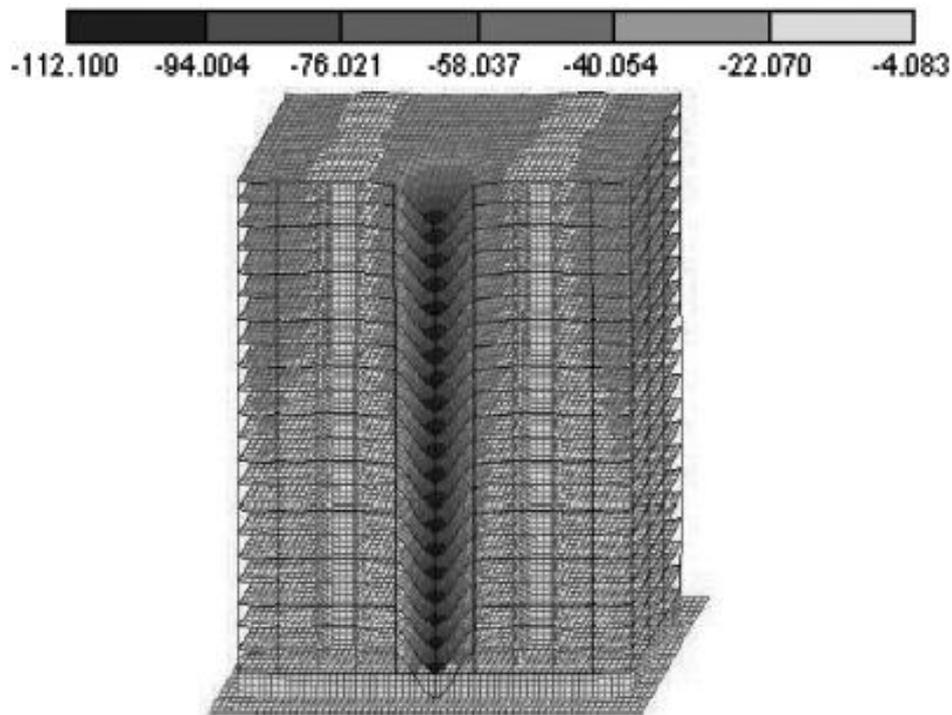


Рис. 4. Деформация по Z схемы без жесткого блока

Результаты расчёта кинематическим методом теории предельного равновесия близки к результатам, полученным в ПК ЛИРА, что подтверждает возможность использования ПК для расчётов такого типа.

В заключение необходимо отметить, что при традиционном проектировании выполняется поэлементный расчет, т.е. обеспечивается требуемая надежность каждого отдельного элемента. Такая поэлементная проверка называется методом наислабейшего элемента и присваивает всей конструкции последовательное соединение элементов, что в действительности

не всегда так и может свидетельствовать об имеющихся запасах несущей способности. Поскольку определить надежность всей конструкции не представляется возможным в виду значительной трудоемкости, то надежность всего сооружения трактуется через надежность ее отдельных элементов.

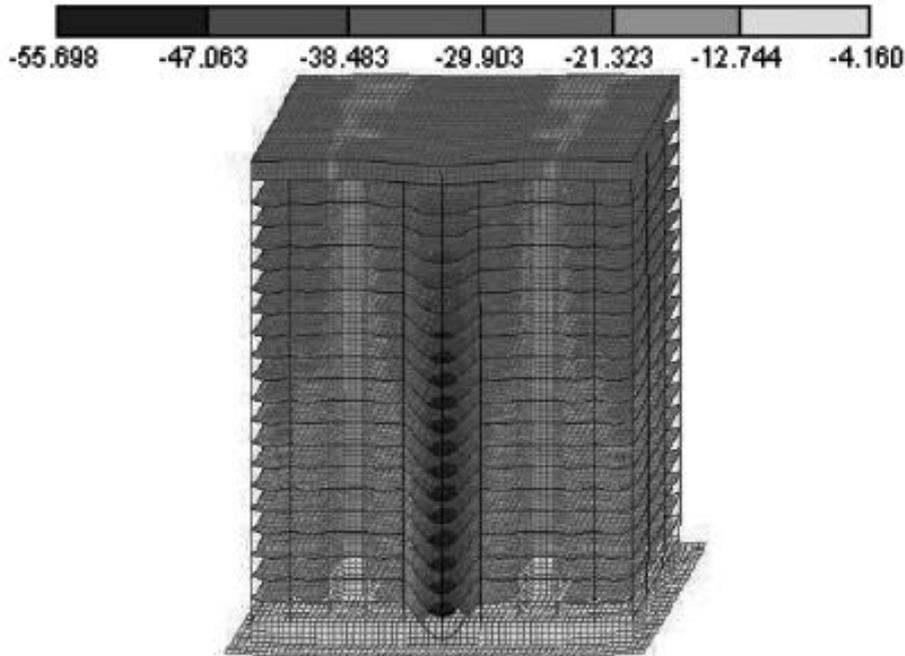


Рис. 5. Деформация по Z схемы с жестким блоком

С распространением ПК на основе МКЭ у рядовых инженеров появился мощный и доступный инструмент для исследования и детального анализа работы конструкции. Есть возможность быстро и без значительных затрат времени сравнить несколько конструктивных схем и выбрать наиболее рациональную. Сегодня необходим пересмотр методологии проектирования с учетом новых возможностей систем автоматизированного проектирования для создания новой четкой концепции нормативной базы [5].

Список использованных источников

1. ДБН Д. 2.2-6-99 Бетонні і залізобетонні конструкції монолітні.
2. Рекомендації про захист монолітних житлових будинків від прогресуючого обвалення. – К., 2005.
3. Тихонов И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. – М., 2007.
4. UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense USA.

5. Кудишин Ю.И., Дробот Д.Ю. Методика расчета строительных конструкций на единичную живучесть. – М., 2009.
6. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К., 2007.

Анотація

У статті розглядаються в рамках просторової задачі результати розрахунку 6 моделей в ПК SCAD, 9 моделей з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності в ПК ЛІРА, 3 розрахунки кінематичним методом теорії граничної рівноваги. Кожна з моделей враховує обвалення однієї з трьох розглянутих колон першого поверху. Аналізується надійність конструкції з використанням аутрігерних поверхів, а також без них. Проводиться безпосереднє порівняння результатів розрахунку, виконаних в ПК SCAD та ПК ЛІРА.

Ключові слова: прогресуюче обвалення, надійність, фізична нелінійність, метод скінченних елементів.

Annotation

In the article 6 models in the PC SCAD, 9 models in the PC LIRA, taking into account physical and geometrical non-linearity, 3 computations by the method of the limit equilibrium kinematic theory. Each model takes into account the collapse of one of the three considered columns of the first floor. The reliability of a design based on the use outrigger floors is analyzed, as well as without them. Made a direct comparison of the results of calculations performed in the PC SCAD and ones in the PC LIRA.

Keywords: progressive collapse, reliability, physical non-linearity, finite elements method