

УДК 69.059.28

Максименко В.П., к.т.н.,²⁸
ст.начн, сотр., НИИ
строительного
производства,
Роман А.А., магистр, ООО
«ЛИРА САПР»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ СЕМЕЙСТВА ЛИРА

Аннотация. Актуальной задачей для проектирования зданий и сооружений является расчет на прогрессирующее обрушение. Рассчитать возводимый объект на нагрузки, которые будут действовать на него в течение срока его эксплуатации не достаточно; требуется производить ряд расчетов связанных с форс-мажорными ситуациями, которые могут привести к необратимым последствиям. В данной статье приведены рекомендации для прогрессирующего обрушения и рассматриваются расчетные схемы уже возведенных зданий с учетом обрушения несущих конструктивных элементов.

Ключевые слова: строительство, прогрессирующее обрушение, ПК «Мономах-САПР», ПК «ЛИРА-САПР».

1. **Введение.** На сегодняшний день человечество накопило огромный опыт в возведении конструкций различных уровней сложности. Здания высотой в 50 этажей никого уже не удивляют, за рубежом это считается нормой для строительства. Большепролетные мосты, гигантские торговые центры, небоскребы, достигающие высоты одного километра, сложнейшие объекты различных направлений промышленности, все эти сооружения представляют собой результат прогрессивного строительства.

²⁸ © Максименко В.П., Роман А.

Перед началом строительства учитывается множество факторов, которые будут влиять на дальнейшее существование построенного объекта. Перед началом строительства производится анализ местности, геологических и климатических условий, выполняется предпроектная подготовка. Затем выполняется прочностной расчет сооружения на все виды нагрузок, в том числе динамические воздействия и форс-мажорные ситуации. Под такими ситуациями можно подразумевать все что угодно, начиная от внезапных толчков землетрясения и заканчивая взрывами и террористическими атаками. Эти факторы могут значительно изменить ситуацию с построенным сооружением в худшую сторону, либо вовсе разрушить его. Чтобы здание или какой-то иной объект смог выдержать нагрузки от непредвиденных факторов, необходимо выполнять расчет на прогрессирующее обрушение. Прогрессирующее обрушение подразумевает под собой обрушение несущих конструкций здания, потерявших опору в результате локального разрушения какого-либо этажа или несущего элемента. Расчет на данный тип разрушения в основном выполняется в компьютерных программных комплексах с учетом физической и геометрической нелинейности параметров материалов. Чтобы проверить эффективность и правильность расчета, достаточно удалить один или несколько наиболее нагруженных несущих элементов здания и посмотреть на результат. Если здание выдерживает такие изменения и несущая способность других элементов компенсирует утрату разрушенных, то расчет на прогрессирующее обрушение будет успешным. В данной статье рассматривается пример расчета на прогрессирующее

разрушение многоэтажного здания с использованием программных комплексов семейства ЛИРА.

2. Анализ прогрессирующего обрушения. С введением в действие нового нормативного документа ДБН-В.2.2.-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків», сформирован ряд требований, по которым должен осуществляться процесс проектирования здания. Одним из таких требований является расчет здания на прогрессирующее обрушение. В соответствии с новым ДБН такой расчет относится к аварийной ситуации, и подразумевает под собой локальное разрушение или повреждение отдельных элементов несущих конструкций в пределах одного этажа или части перекрытия (ограниченной площадью до 80м² или диаметром до 10м), которое не ведет к полному разрушению всей конструкции и здания в целом. При этом в отдельных элементах конструкций допускается развитие трещин и пластических деформаций в арматуре. Расчет прочности и устойчивости каркаса сооружения проводится на аварийное сочетание нагрузок. При этом в соответствии с п.Е.2 по [ДБН 2009] – предельные перемещения конструкций не регламентируются, необходимо оценить общую устойчивость здания в целом.

Аварийные воздействия могут быть вызваны деятельностью человека при пожаре, взрыве газа, терактов, наездов транспорта и др. или могут быть вызваны природными явлениями такими как: землетрясения, ураганы, оползни, неравномерные деформации оснований. Так как полностью невозможно исключить вероятность возникновения таких ситуаций, необходимо обеспечить определенную степень безопасности людей и сохранности их имущества за счет уменьшения вероятности

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (12) 2014

прогрессирующего обрушения при локальных разрушениях несущих конструкций.

Как правило, рассматривается несколько способов проектирования зданий с защитными мероприятиями от прогрессирующего обрушения: общее упрочнение всего здания (как правило, дорогостоящее мероприятие, требует повышенного расхода материалов); местное усиление выявленных наиболее слабых узлов и элементов; проектирование соединений элементов таким образом, чтобы они препятствовали прогрессирующему обрушению. К таким можно отнести применение неравнопрочных элементов, которые обеспечивают наибольшие пластические деформации, и они должны быть наименее прочными.

Так как предусмотреть все сценарии прогрессирующего обрушения невозможно то, ключевым пунктом в расчетах на аварийное обрушение является выбор и утверждение совместно с конструктором и заказчиком возможных сценариев обрушения, максимально приближенных к реальным условиям расположения объекта на местности, например: при расположении здания рядом с транспортными путями расчет сооружения выполняется при удалении крайних колонн; при наличии вертолетной площадки, расчет выполняется на обрушение участка плиты; при наличии в сооружении или рядом газо-распределительных станций выполняется расчет на взрыв газа; при наличии подпорных стен и других защитных сооружений – расчет выполняется на разрушение участка этих сооружений.

При этом учитывая требования ДБН В.2.2-24:2009 (Додаток Е) – допускается разрушение отдельных элементов на площади до 80м²:

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (12) 2014

- сечение удаляемых ЖБ элементов не должно быть более 0.9м^2 ;
- сечение удаляемых фибробетонных элементов должно быть не более 0.7м^2 ;
- сечение удаляемой жесткой арматуры не должно быть более 15%.
- перекрытие высотного сооружения должно быть рассчитано на восприятие участка вышерасположенного перекрытия площадью до 80м^2 с коэффициентом динамичности $=1.5$.

Так как во многих исследованиях отмечается, что невозможно запроектировать и построить сооружение абсолютно безопасным и при этом не учитывать стоимость предотвращения аварийных ситуаций, необходимо стремиться решать эти вопросы наиболее экономичными способами, в том числе: применением рациональных конструктивно-планировочных решений с учетом возможных аварийных ситуаций. Например, установкой газоанализирующих датчиков и клапанов сброса возможного избыточного давления и др.); использованием специальных технических решений определяющих огнестойкость (достаточный защитный слой бетона, применение специальных термостойких покрытий конструкций), обеспечением сейсмической устойчивости сооружения за счет применения демпфирующих устройств и др.; использованием материалов и конструктивных решений, обеспечивающих развитие в элементах конструкций и соединений пластических деформаций; обеспечением минимальной площади продольной и поперечной арматуры в

покрытиях и перекрытиях, которая должна быть не менее 0.25% от площади бетона.

3. Расчет и анализ прогрессирующего обрушения в ПК «МОНОМАХ-САПР». Рассмотрим реальный пример выполнения дублирующего расчета конструкций высотного жилого комплекса с подземным паркингом по проспекту Героев Сталинграда, 2 в Оболонском районе г. Киева. Общая высота здания $H=+110\text{м}$, $H_{\text{подвала}}=-4.3\text{м}$, фундаментная плита 1.35м, 486 буро-инъекционных свай диаметром 62см. Расчетная схема здания создана в подсистеме «КОМПОНОВКА» ПК «МОНОМАХ» (общий вид и схема МКЭ см. рис.1). Для получения достоверных данных о напряженно-деформированном состоянии (НДС) высотного здания, расчет выполняется с учетом поэтапности монтажа (см. рис.2).

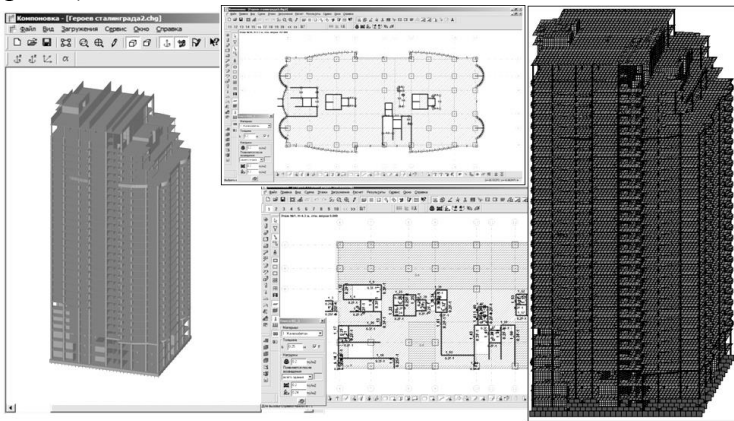


Рис.1. Пространственная схема здания, планы этажей и схема МКЭ в подсистеме «Композит»

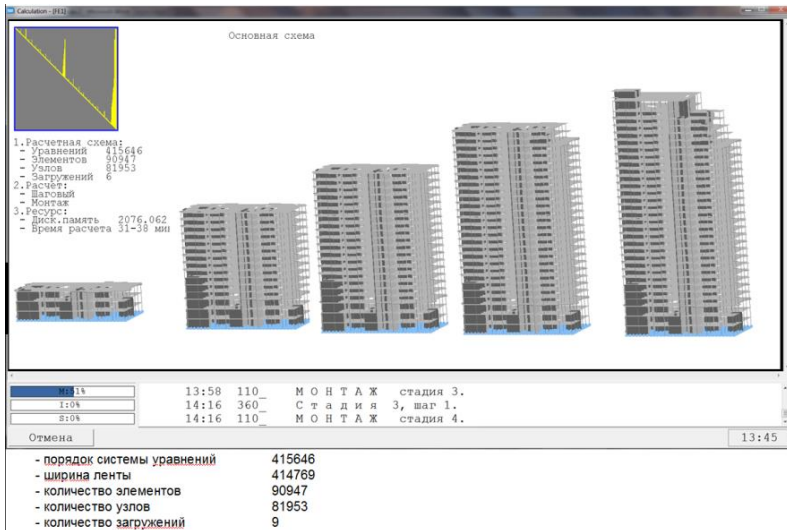


Рис.2 Учет стадий монтажа каркаса в подсистеме «КОМПОНОВКА» или ПК «ЛИРА-МОНТАЖ»

Для оценки устойчивости здания против прогрессирующего обрушения рассмотрены вариант разрушения одной из колон сечением 60x60см в средней части здания с максимальным пролетом плиты (см. рис.3)

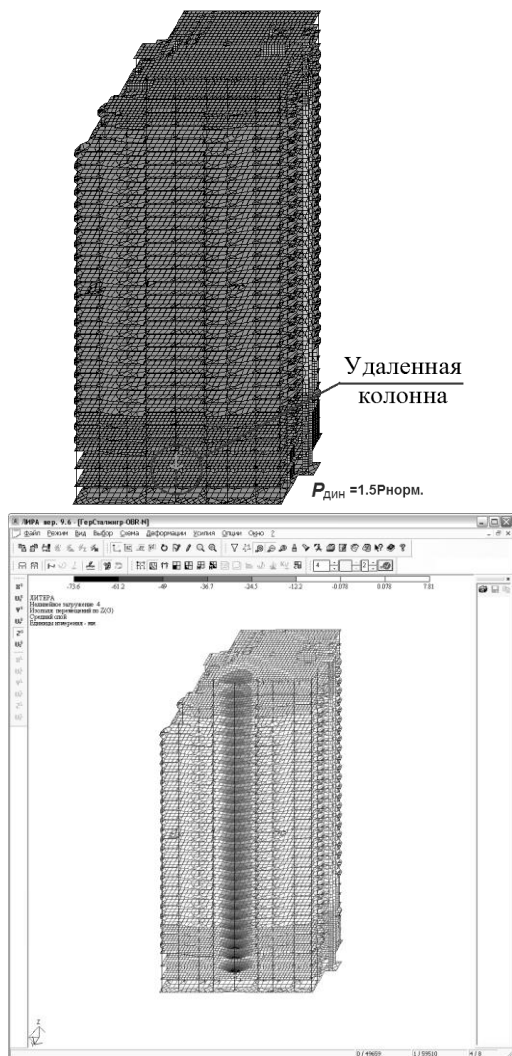


Рис.3 МКЭ- схема каркаса и неупругие деформации при обрушении колонны в ПК «ЛИРА-МОНТАЖ+»

После удаления колоны выполняется проверка здания на опрокидывание (рис. 4). После приложений к зданию ветровых нагрузок выполняется расчет и анализ перемещений и ускорений перемещений и если условия удовлетворяются ($1/250H$), то здание может выдержать критические напряжения. $K_{запаса}$ должен быть более 2.0. Результаты расчета приведены в таблице 1.

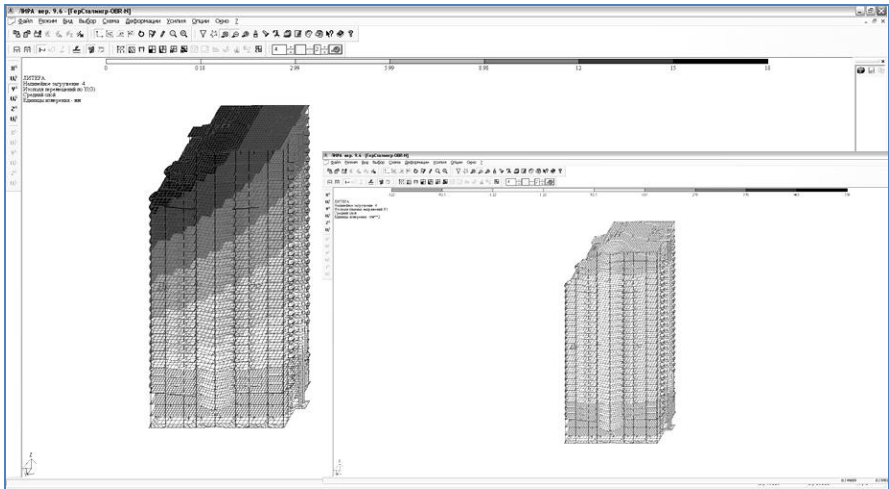


Рис.4 Проверка на общую устойчивость каркаса против опрокидывания

4. Расчет и анализ прогрессирующего обрушения в ПК «ЛИРА-САПР». В качестве примера рассмотрим существующее здание торгово-офисного комплекса «ГУЛИВЕР» с объектами общественного назначения и паркингом по адресу: Спортивная пл.1 в Печерском р-не г. Киева. Фундаментная плита 1.8м на -15.8м; сваи $d=82\text{см}$ – 223шт, $R_{рас.}=530\text{тс}$; монолитный каркас +138.9м.

Производится расчет на прогрессирующее обрушение плиты перекрытия верхнего технического этажа. Так как здание размещает вертолетную площадку, то расчет плиты

выполняется на аварийную посадку либо крушение вертолета о плиту перекрытия. Участок перекрытия верхнего этажа был разрушен и обломки с частями перекрытия оказались на нижерасположенном этаже. В программном комплексе «ЛИРА-САПР» было замоделировано и рассчитано два верхних этажа здания (рис. 5). Далее проводится анализ трещинообразования на участке обрушения верхнего перекрытия (рис. 6). На изображениях видно, активное трещинообразование расположено в наиболее загруженном участке плиты.

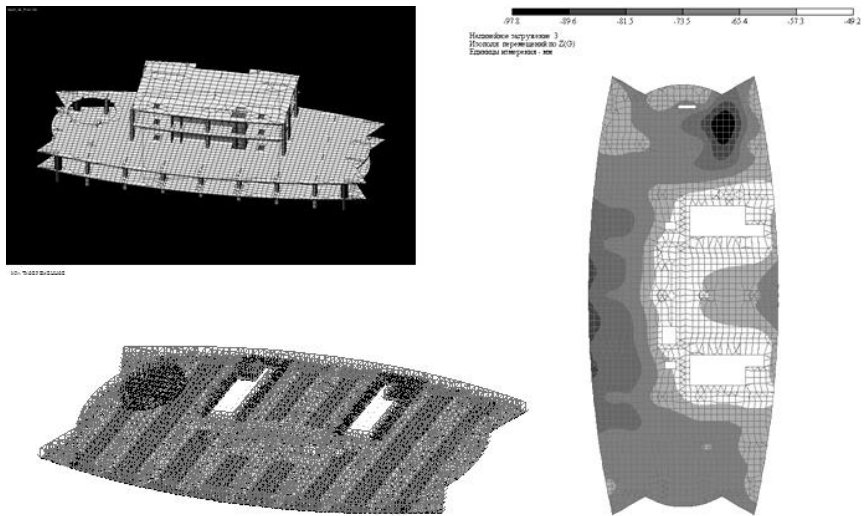


Рис. 5 Расчетная модель и результаты расчета плиты перекрытия

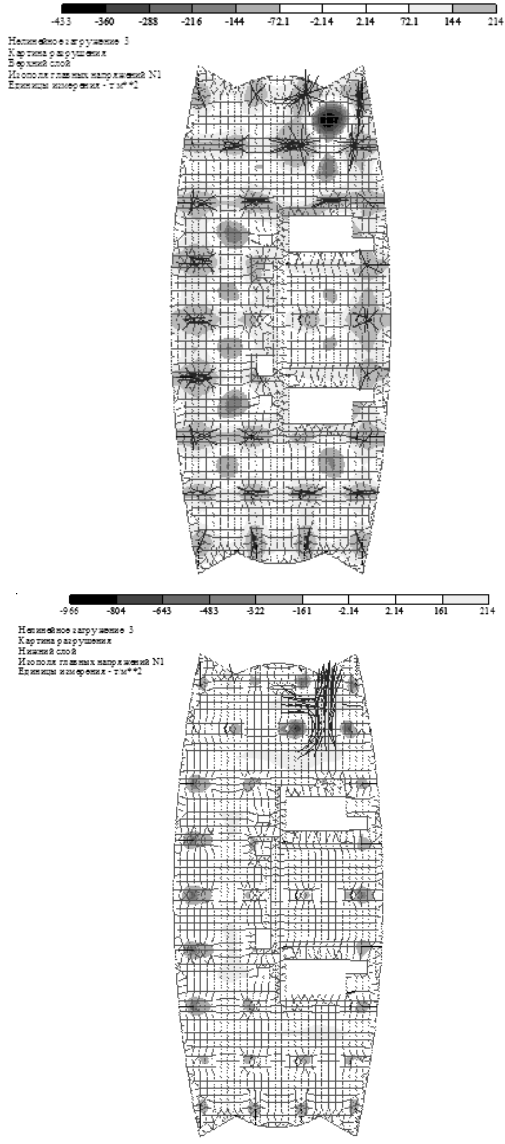


Рис. 6 Трещинообразование в местах обрушения вышележащего перекрытия

Приведенный расчет плиты перекрытия над техническим верхним этажом на отм. +127.2 м на прогрессирующее обрушение при дополнительной нагрузке от части верхней плиты площадью 80м^2 на нормативные нагрузки при коэффициенте динамичности 1.2 в физически нелинейной постановке показывает, что в плите развиваются зоны трещин и образуются пластические шарниры. Максимальные деформации плиты могут достигать 50мм. В нижней арматуре плиты в центре пролета зафиксирована текучесть арматуры. При этом в верхней зоне плиты над пилонами и колоннами также развиваются верхние трещины, но разрывов арматуры в плите не зафиксировано. Это свидетельствует, что эксплуатационная пригодность плиты не обеспечивается, но дальнейшее прогрессирующее обрушение плит не происходит при обеспечении армирования в нижнем слое плиты в середине пролета, и над опорами в верхней зоне плиты не менее $15.4\text{см}^2/\text{пм}$ (О14 шаг 100мм).

Выводы. Главным преимуществом ПК ЛИРА-САПР является реализация расчётов с учётом 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.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (12) 2014

При применении квазистатического метода расчета, определение коэффициента динамичности остаётся на совести инженера.

Литература

1. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М.:НИИЦ, 2005.

2. ТСН 31-332-2006. Жилые и общественные высотные здания. Санкт-Петербург., 2006.

3.ДБН В.2.2-24:2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків. Мінрегіонбуд України, Київ, 2009.

4. ДБН-В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. К., 2006.

5. ДБН-В.1.1-12:2006. Будівництво в сейсмічних районах України. К.,2006.

6.ДБН-В.1.2-14. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К., 2008.

7.ДБН-В.2.1.10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. К.,2009.

8.ДБН В.1.1-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. К., 2007.

9.ДБН В.1.1-5:2000. Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просадочних ґрунтах. К., 2000.

10. ASCE 7-02 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2002 edition. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002.

11. Максименко В.П., Воскресенская Ю.В., Марьенков Н.Г. Инженерные методики оценки предельного состояния диафрагм жесткости при сейсмических воздействиях.//Будівельні конструкції. К.: НДІБК, 2008. - Вип.69. - с.637-645.

12. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты.,М.Стройиздат, 1985.

13.СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. ,М.Стройиздат, 2003.

Annotation. An urgent task for the design of buildings and structures is the calculation for progressive collapse. Calculate erected object on loads that will act on it during its lifetime is not enough; there are required series of calculations related to force majeure situations that may lead to irreversible

consequences. This article provides guidelines for progressive collapse and discusses design models of already constructed buildings taking into account collapse of bearing elements.

Key words: construction, progressive failure, РС «Мономах-САПР», РС «ЛИРА-САПР»

Анотація. Актуальним завданням для проектування будівель і споруд є розрахунок на прогресуюче обвалення. Розрахувати об'єкт який будується на навантаження, які будуть діяти на нього протягом строку його експлуатації не достатньо; потрібно робити ряд розрахунків пов'язаних з форс-мажорними ситуаціями, які можуть призвести до незворотних наслідків. У даній статті наведені рекомендації для прогресуючого обвалення і розглядаються розрахункові схеми вже зведених будівель з урахуванням обвалення несучих конструктивних елементів.

Стаття надійшла до редакції у грудні 2013р.

УДК 624.137:539.3

Кириак К.К., к.т.н.²⁹
ЦНТУ «Инжзащита»,
г. Ялта, Украина,

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В статье рассматривается механизм деформирования оползневой системы, характерные особенности ее оползания. Определение коэффициента устойчивости, исходя из структурных особенностей массива. Вероятность потери устойчивости.

Ключевые слова: оползень, оползневая система, устойчивость склона, метод РЕМ/FEM, вероятность потери устойчивости.

²⁹ © Кириак К.К.