

УДК 624.046; 69.059.2

**ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЗДАНИЙ  
ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ С ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ КАРКАСОМ,  
РАСПОЛОЖЕННЫХ В СЕЙМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РАЙОНАХ**

*асп. Кореньков П.А.*

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства  
г. Симферополь*

**Введение.** Участвовавшие в последнее время аварии зданий и сооружений в результате ошибок проектирования, возведения, нарушения правил эксплуатации, а так же обрушения жилых домов вследствие взрывов, (взрывы бытового газа, террористические акты) на первый план выходят вопросы обеспечения безопасности эксплуатации зданий и сооружений.

Анализ аварий показывает, что масштабные разрушения, как правило, инициируют локальные аварийные воздействия на отдельные элементы несущей системы здания или сооружения. Локальные воздействия, повлекшие за собой обрушение всего здания или большей его части называют прогрессирующим (лавинообразным) обрушением [1].

**Анализ публикаций.** Исследованию вопросов живучести в контексте стойкости к прогрессирующему обрушению посвящены работы А.С. Городецкого, Немчинова Ю. В., Г.И. Шапиро, В.И. Травуша, А.В. Перельмутера, В.В. Кулябко, П.Г. Еремеева, В.О Алмазова, Б.С.Расторгуева, А.Г.Тамразяна Г.А. Гениева, В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко, В.И. Колчунова, В.К. Вострова, Н.В. Ключевой и др.

Действующий в Украине ДБН В.1.2-14-2009 напрямую трактует вопрос живучести как один из методов недопущения «прогрессирующего» обрушения, что встречается и в ряде американских и европейских норм.

Этот документ [2] предъявляет следующие требования к строительным конструкциям:

- воспринимать без обрушений и недопустимых деформаций воздействия, которые возникают во время их возведения и на протяжении установленного срока эксплуатации;
- иметь достаточную живучесть по отношению к локальным обрушениям и предусмотренным нормами аварийным воздействиям (пожар, взрыв, наезд транспортных средств и т.д.), включая при этом явления прогрессирующего обрушения «ПО».

Далее, нормы [2] предписывают обеспечить живучесть для объектов классов ответственности СС3 и СС2, т.е. тех, при обрушении которых уровень возможных материальных убытков и социальных потерь будет значительным.

**Цель и постановка задач.** Целью данной работы является оценка стойкости к прогрессирующему обрушению на примере каркаса здания повышенной этажности (16 этажей), расположенного в сейсмически опасном районе (7, 8, 9 баллов).

**Методика исследования.** Численный эксперимент с пространственными моделями железобетонных рамно-связевых каркасов зданий повышенной этажности средствами ПК ЛИРА [3,4,5].

**Результаты и их анализ.** Планы для исследуемых зданий приняты с регулярным шагом колонн в продольном и поперечном направлении 4,5 и 3 метра (рис.1) Общие размеры плана 12х21 метр. Каркас рамно-связевый, диафрагмы размещены в плане симметрично, образуя ядро жесткости, расположенный в осях «З-4/Б-В», «З-4/В». Таким образом, для исследования принято планировочное решение, наиболее часто используемое для массового применения при проектировании зданий повышенной этажности.

Высота типового этажа 3 метра. Сечения элементов, классы бетона и арматуры (бетон С20/25, арматура А400С) приняты так же наиболее широко применяемые при возведении зданий повышенной этажности на территории Украины и АР Крым.

Сечение колонн принималось на основании предварительных расчетов конструкции. В первом приближении все колонны каркаса были приняты одинакового сечения (одинаковой жесткости). Однако, усилия, возникающих в колоннах с грузовой площадью  $17 \text{ м}^2$  значительно отличались, а, следовательно, отличались и деформации элементов. С целью выравнивания деформаций элементов и снижению материалоемкости конструкции было принято решение заменить их пилонами, размером  $1500 \times 1500 \text{ мм}$  и толщиной  $400 \text{ мм}$ . Для остальных колонн сечение -  $400 \times 400 \text{ мм}$ . Сечение ригелей принято  $400 \times 400 \text{ мм}$ . Толщина плит перекрытий и покрытия -  $200 \text{ мм}$ . Толщина диафрагм  $200 \text{ мм}$ . Основанием здания была принята фундаментная плита толщиной  $1000 \text{ мм}$ , с коэффициентами постели  $C_1=50000 \text{ кН/м}^3$  и  $C_2=100000 \text{ кН/м}$ .

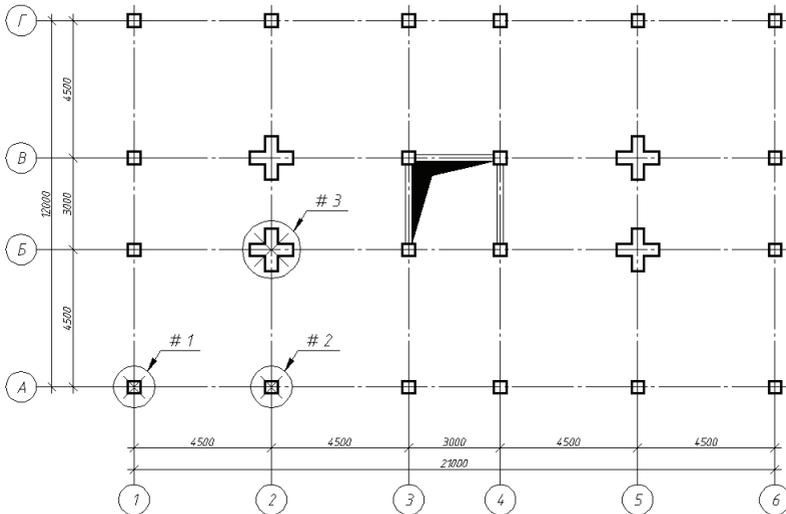


Рис.1. План этажа с размещением локальных повреждений

Расчетные схемы построены с учетом возможностей ПК ЛИРА пространственными (рис.2). В этих схемах присутствуют все фактические несущие элементы пространственной несущей системы.

Нагрузки и воздействия на здание определены согласно [6]. В ПК ЛИРА прикладываются полные расчётные нагрузки. С помощью комбинации загрузжений и модуля РСУ учитывается система коэффициентов для расчета по I и II группам предельных состояний.

Значения принятых нагрузок:

1. Постоянные:
  - собственный вес конструкций (учитывается автоматически);
  - собственный вес конструкций пола -  $1 \text{ кН/м}^2$ ;
  - собственный вес ограждения -  $5 \text{ кН/м}$ ;
2. Длительные -  $2,5 \text{ кН/м}^2$ ;
3. Кратковременные -  $1,5 \text{ кН/м}^2$ ;
4. Ветер вдоль оси X;
5. Ветер вдоль оси Y.
6. Сеймика вдоль оси X;
7. Сеймика вдоль оси Y.

В ПК ЛИРА предусмотрена возможность автоматической генерации нелинейных типов жесткости по результатам расчета унифицированных групп элементов [5], а именно: характеристики материала бетона и арматуры, а также площади и размещение арматурных сеток и стержней.

При помощи «Монтажных таблиц» моделируются стадии обрушения. Формируется две стадии: в первую входят все элементы конструкции без исключения; во второй в качестве демонтируемого элемента принимается разрушаемая колонна (пилон).

В расчетной модели нагружения заданы следующим образом:

- первое нагружение моделирует все постоянные и длительные нагрузки согласно их нормативным значениям [6];
- второе нагружение учитывает коэффициент динамичности  $K_{dv} = 1,2$  согласно [7]. Для этого в верхний узел разрушенной колонны (пилона) приложено усилие, составляющее определенную часть от продольного усилия в этой колонне, возникающего при действии нагрузок из первого нагружения. К этому можно добавить, что западные инженеры при анализе опасности прогрессирующего обрушения принимают  $K_{dv}=2$  [8].

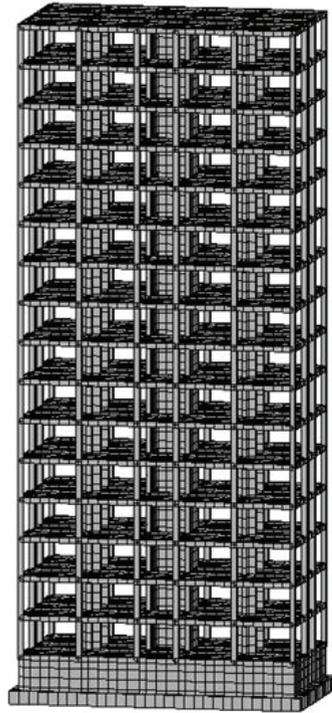


Рис. 2 Общий вид расчетной модели

Проведенные на численных моделях исследования показали, что здания с исследуемой конструктивной схемой, расположенные в районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов устойчивы к явлениям прогрессирующего обрушения, однако, перемещения конструкций, расположенных вблизи от удаленной колонны (пилона) делают невозможной его дальнейшую эксплуатацию.

Приемом, позволяющим значительно снизить возможность возникновения прогрессирующего обрушения, являются связевые (аутригерные) этажи. Так, при расположении его на верхнем этаже здания перемещения снижаются в среднем на 53 %, а именно (для здания, расположенного в зоне, с сейсмичностью 7 баллов):

- при удалении колонны #1 – с 69 мм до 48 мм,
- при удалении колонны #2 – с 53 мм до 35 мм,
- при удалении пилона #3 – с 45 мм до 27 мм,

Перемещения конструкций (с жестким блоком и без него) при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению представлены на рис.3.

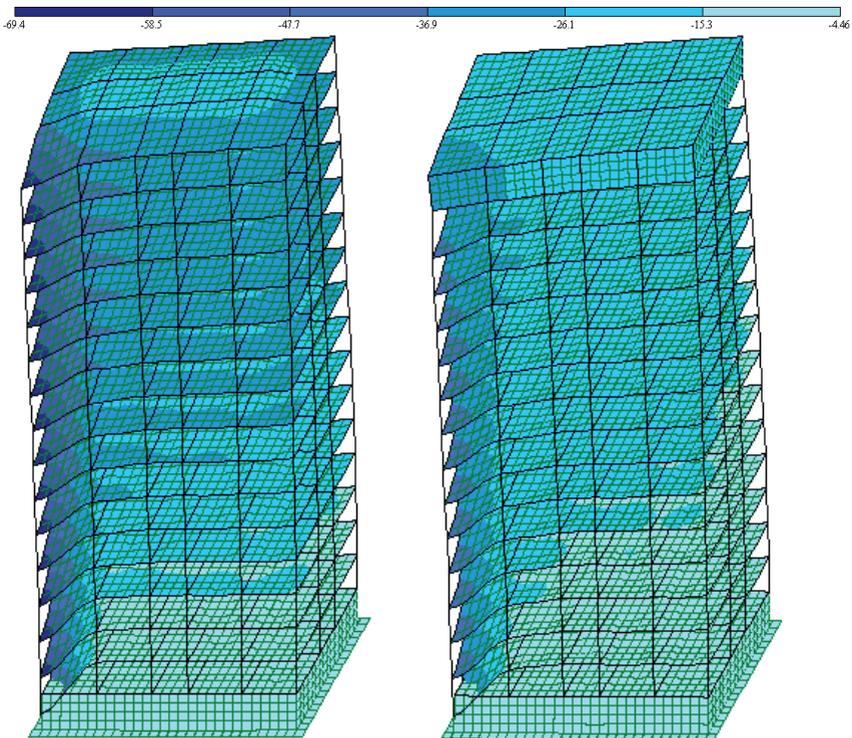


Рис.3. Изополя перемещений по Z при удалении колонны #1 для схем без жесткого блока (слева) и схем с жестким блоком (справа).

На основании проведенных исследований можно сделать ряд **выводов**:

1. Здания с рассмотренной конструктивной схемой, расположенные в районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов защищены от прогрессирующего обрушения (при обеспечении пластического характера разрушения).

2. Применение связевых (аутригерных) этажей позволяет при расчете численной модели снизить риск возникновения прогрессирующего обрушения или значительно уменьшить объемы разрушаемых конструкций.

3. Для проверки эффективности применения и описания действительного характера работы связевых (аутригерных) этажей необходимо проведение натурных испытаний.

Очевидно, что вопрос защиты конструкций зданий, расположенных, в том числе и в сейсмоопасных районах, от прогрессирующего обрушения является актуальным и требует проведения дальнейших исследований в этом направлении.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алмазов В.О. Железобетонные каркасы без прогрессирующего разрушения. МГСУ. М., 2008. – 32с.
2. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К., Мінрегіонбуд України. 2009. – 32 с.
3. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. // Справочно-теоретическое пособие под ред. Академика АИН Украины А.С. Городецкого. – К.-М.: издательство «Факт», 2003. – 464 с.
4. Барабаш М.С. ЛИРА 9.2. Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. / М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский, Д.В. Марченко, В.П. Титок. – К.: издательство «Факт», 2005. – 106 с.
5. Гензерский Ю.В. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к учебному пособию ЛИРА 9.2. / Ю.В. Гензерский, А.Н. Куценко, Д.В. Марченко, и др. – К.: издательство НИИАСС, 2006. – 124 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия./ Минстрой Украины. – К.: Издательство «Сталь», 2006. – 60 с.
7. ДБН В.2.2-24 2009 Проектування висотних житлових і громадських будинків. К., Укрархбудинформ, 2006. – 105 с.
8. Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Expansion Projects, prepared by Applied Research Associates for GSA, Washington, D.C., 2003. – 119 p.