

УДК 624.193

**ЗАЩИТА ВЫСОТНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ ОТ  
ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ**

*Большаков В.И., д.т.н., Савицкий Н.В. д.т.н.,*

*Котов Н.А. асп. Гросман С.О. ст.*

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

**Постановка проблемы.** При возведении зданий, высотой от 25 этажей (75м) и выше, необходимо проводить мероприятия по защите конструкции от прогрессирующего обрушения. Так как при отказе одного несущего элемента конструкции может произойти обрушение как одного фрагмента здания так и полного обрушения всех несущих конструкций. Для усиления каркаса можно использовать пояса из металлоконструкций, диафрагмы жесткости, а также больший процент армирования и применение легированных сталей.

**Изложение основного материала.** Все здания высотой от 25 этажей (75м) должны проектироваться не только для восприятия эксплуатационных и расчетных нагрузок, но также необходимо проверять на устойчивость против прогрессирующего (лавинообразного) обрушения. Которое может возникать в случае локального разрушения части несущих конструкций при возникновении аварийных ситуаций, которые небыли предусмотрены в условиях нормальной эксплуатации здания (взрывы природного газа, пожара, ударное воздействие транспортных средств).

Сам термин «Прогрессирующее обрушение» и возникновение проблемы защиты конструкций зданий в первые возникли в 1986 г., в заключении комиссии о причинах аварии 22-х этажного жилого панельного дома «Роунан Пойнт» в Лондоне. Таким же образом происходили обрушения конструкций таких зданий как: Федеральное здание имени Альфреда Мара 19 апреля 1995 года, здания близнецы торгового центра в Нью Йорке 11 сентября 2001 года, обрушение купола аквапарка «Трансваль парк» в Москве 14 февраля 2004 года.

По результатам этих аварий были начаты исследования и проведены анализы возможных средств защиты от прогрессирующего обрушения, которые сводились к следующему:

1. При проведении профилактических мер защиты самое главное внимание необходимо уделять мерам предупреждения прогрессирующего обрушения.

- Так как ни одна экономически оправданная мера не может полностью исключить возможность обрушения части несущих конструкций.

- Прогрессирующее обрушение приводит к наиболее серьезным последствиям.

- При достаточно небольших местных обрушениях строительные конструкции, снабженные средствами защиты от прогрессирующего обрушения, позволяют предотвратить дальнейшее разрушение.

2. Главный принцип предотвращения прогрессирующего обрушения это повышение большей связанности элементов конструкции, за счет улучшения стыков и связей.

3. Эффективность защиты конструкций зависит от возникновения и развития пластических деформаций в конструктивных элементах и связях между ними.

4. Есть качественное сходство мер защиты, которые рекомендуется применять при прогрессирующем обрушении и мерами защиты от сейсмических воздействий. Существуют многочисленные примеры сейсмостойких зданий, при локальном обрушении части конструктивных элементов прогрессирующее обрушение не наблюдалось.

Стойкость к прогрессирующему обрушению означает, что в случае аварийной воздействий допускаются локальные обрушения отдельных вертикальных несущих элементов в пределах одного этажа или части перекрытия одного этажа, но эти начальные обрушения не должны приводить к обрушению или разрушению конструкций, на которые передается нагрузка, которые раньше воспринимались элементами, поврежденными аварийными воздействиями.

Для расчета на прогрессирующее обрушение анализировались пять расчетных схем (рис. 1). Здания высотой 26 этажей (25 надземных этажей и подвальный этаж). Высота этажа 3.3м, размеры здания в плане 18x18x85,8м.

Сетка колонн 6x6м, колонны трубобетонные, так как трубобетонные колонны являются комплексными материалом, для их задания в расчетный комплекс использовалась методика приведенной жесткости. Сечение колонны приводилось к сечению бетона. Приведенное сечение было больше в среднем на 2-4см, в зависимости от толщины стенки металлической оболочки. Колонны постоянного сечения по высоте, класса бетона В20.

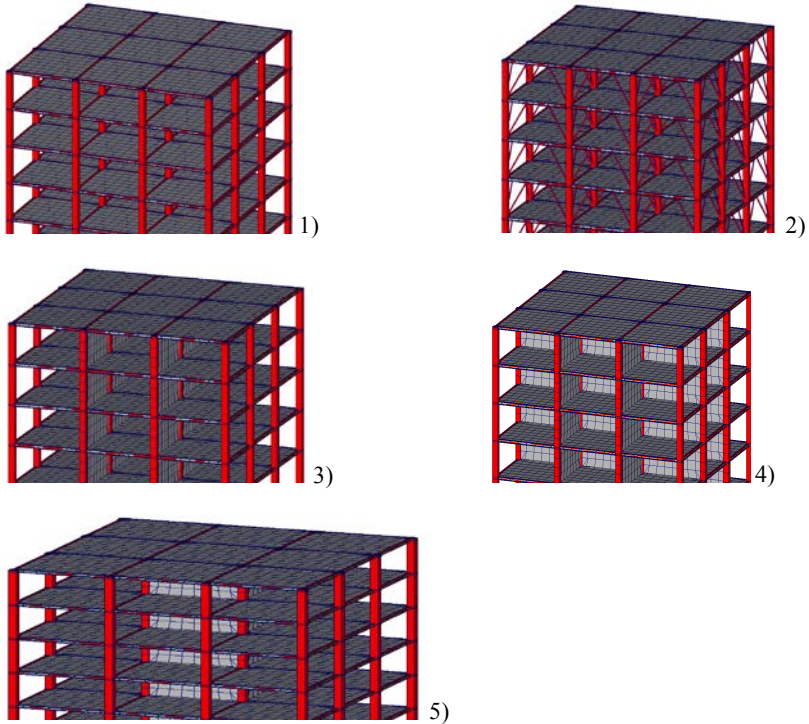
Плиты перекрытия и покрытия приняты из монолитного железобетона сплошного сечения с опиранием на нижние полки ригелей, толщина плиты 160 мм, класс бетона В20. В качестве фундамента принята монолитная плита, толщиной 400мм, класс бетона В20. Ригели выполнены из двутавра по ГОСТ 26020-83 23К2, длиной 6м. Металлические распорки приняты прямоугольного сечения по ТУ 67-2287-80. Диафрагмы жесткости, а также стены подвального этажа принимались толщиной 200мм из бетон класса В20. Для всех металлических конструкций применялась сталь обыкновенного качества, модуль упругости  $E=2,06 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2$ , объемный вес  $77,01 \text{ кН/м}^3$ .

Все нагрузки приняты в соответствии с ДБН В.1.2-2-2006.

Наиболее опасной, с точки зрения вероятностного обрушения, была признана центральная колонна крайнего ряда, в качестве удаляемого элемента был выбран фрагмент колонны на первом этаже длиной 3.3м.

Для расчета на прогрессирующее обрушение, необходимо задать список конечных элементов, которые входят во внезапно удаляемый фрагмент конструкции. задается проверочная комбинация загружений, в которую входят постоянные нагрузки и длительная часть временных нагрузок с коэффициентом равным 1. задается коэффициент динамичности  $K_f$  для корректировки реакции системы при внезапном удалении элемента

конструкции, коэффициент перегрузки  $K_g$  для корректировки реакции системы на обрушение вышедших из строя конструкций, после чего задается интервал неопределенности.



*Рис. 1. Характеристики различных решений конструктивных вариантов: 1 – без дополнительного усиления; 2 - с металлическими распорками; 3- с диафрагмами жесткости в одной плоскости; 4 - с диафрагмами жесткости в двух плоскостях; 5 – диафрагмы жесткости в двух плоскостях в центральной части здания*

После проведения расчета элементы конструкции которые вышли из строя (обрушились) выделяются красным цветом, элементы которые устояли, выделяются зеленым цветом, элементы которые попали в интервал неопределенности выделяются желтым цветом. По результатам расчета задается минимальный процент армирования, то есть то количество арматуры меньше которого в сечении быть не должно, после чего расчет повторяется.

Для анализ результатов расчета на прогрессирующее обрушение коэффициент динамичности  $K_f$  принимался равным коэффициенту перегрузки  $K_g$  и изменялся в диапазоне от 1 до 2, с шагом 0.25. В результате расчетов определялся объем дополнительной арматуры для колонн 1,2,3 ,

диафрагм жесткости, плит перекрытия, а также вес распорок и дополнительных поясов.

Максимальное значение коэффициента динамичности, для каждой рамы, а также необходимые мероприятия по усилению конструкции приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Мероприятия по необходимому усилению*

№ рамы	Kf	Первоначальное усиление	Требуемое дополнительное усиление
1	1.2	Без усиления	Необходимы пояса из металлических профилей в горизонтальной плоскости через каждые пять этажей и в вертикальной плоскости на всю высоту здания с каждой стороны. Необходимо задать минимальный процент армирования для колонн и плит перекрытия.
2	1.2	С металлическими распорками	Необходимы металлические пояса по вертикали с каждой стороны и один на последнем этаже в горизонтальной плоскости. Необходимо задать минимальный процент армирования для колонн и плит перекрытия.
3	2	С диафрагмами жесткости в одной плоскости	Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия.
3а	1.5	С диафрагмами жесткости в одной плоскости (удаляемый элемент находится в плоскости перпендикулярной диафрагмам)	Необходимы дополнительные пояса из металлических профилей через каждые пять этажей в плоскости параллельной диафрагмам жесткости, и по вертикали в той же плоскости. Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия.
4	2	С диафрагмами жесткости в двух плоскостях	Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия
5	1.5	С диафрагмы жесткости в двух плоскостях в центральной части здания	Необходимы дополнительные пояса из металлических профилей по вертикали с каждой стороны. Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия.



На рис 3 приведен общий объем бетона для каждой рамы. Размеры сечения бетонных элементов конструкций не менялись с увеличением коэффициента динамичности, и объем бетона для каждой отдельной рамы оставался постоянным.

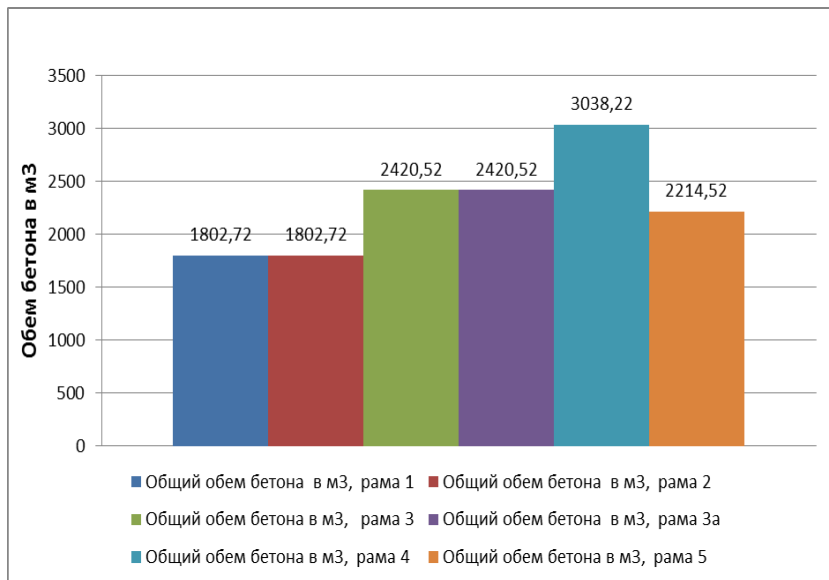


Рис. 3. Общий объем бетона для каждой рамы

Для труб и арматуры трубобетонных колонн также плит перекрытия и других железобетонных элементов, рационально использовать, кроме марок стали обыкновенного качества, таких как Ст3пс, также легированные стали.

Сталь марки 09Г2ФБ хорошо свариваемая сталь углеродный эквивалент  $S_{эк}=0,16\%$ , для Ст3 данный показатель  $S_{эк}=0,17-0,18\%$ . Можно сваривать без подогрева перед сваркой, трещины после сварки не образуются, сварной шов можно обрабатывать режущим инструментом.

Данное качество, особенно важно при монтаже подкосов, и пространственных связей жесткости, которые крепятся к каркасу из трубобетонных колонн за счет сварки. Что позволяет добиться равномерности распределения продольных и поперечных усилий от горизонтальных нагрузок, дает минимальную разность продольных перемещений колонн, а также малые перекосы в ограждающих конструкциях, кроме того выравниваются нагрузки на фундаменты колонн.

Трубу оболочку и арматуру из легированных сталей рационально использовать для зданий, в которых необходимо проводить мероприятия для предотвращения прогрессирующего обрушения. Недоиспользованная

несущая способность такой арматуры включается в работу в случае аварийной ситуации при внезапном отказе одного или нескольких элементов конструкции.

Выполнение каркасных зданий в металлическом каркасе из трубобетонных элементов, с применением легированных сталей, среди таких преимуществ как: большая прочность, коррозионная стойкость, высокая ударная вязкость, привлекает возможностью обеспечения высокой сейсмостойкости сооружения.

#### **Выводы.**

1. Выполнен анализ различных конструктивных схем, при расчете на прогрессирующее обрушение.

2. Наиболее стойкой к прогрессирующему обрушению оказалась рама №4, с диафрагмами жесткости в двух плоскостях, максимальное значение коэффициента динамичности равно 2. Для нее не требуется вводить дополнительных металлических поясов или распорок, достаточно задать минимальный процент армирования.

3. Металлическую оболочку и арматуру из легированных сталей рационально использовать для зданий, в которых необходимо проводить мероприятия для предотвращения прогрессирующего обрушения. Недоиспользованная несущая способность такой арматуры включается в работу в случае аварийной ситуации при внезапном отказе одного или нескольких элементов конструкции.

#### **ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Стороженко Л.И. Стан розробки нормативного документа по проектуванню сталебетонних конструкцій // Зб. наук. ст. Сталезаліобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. Вип. 5. – Кривий Ріг : КТУ, 2002. – С. 11-14.
2. Расчет трубобетонных конструкций / Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный. - К.:Будивэльнык, 1991.-120 с.- (Б-ка проектировщика).
3. ДБН В.2.2-24:2009.
4. ДБН В.1.2-2-2006.
5. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа /А.В.Перельмутер., В.И.Сливкер. - Киев, Изд-во «Сталь», 2002.-600с:ил.