

## Прогрессирующее обрушение

Титов А.Л.

(Научный руководитель – Зверев В.Ф.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Тема расчета на прогрессирующее обрушение раскрыта в ТКП 45-3.02-10-2008 «Высотные здания» [1], там же даны следующие определения:

Высотное здание – многоэтажное здание жилого назначения высотой от 75 до 100 м включительно, общественного и многофункционального назначения высотой от 50 до 200 м включительно. Высота здания – разность отметок от поверхности проезжей части ближайшего к зданию проезда до отметки пола верхнего этажа, не считая технического.

Прогрессирующее обрушение – разрушение несущих конструкций здания в пределах трех и более этажей или на одном этаже площадью более 80 м<sup>2</sup>, возникающее в результате разрушения отдельного несущего конструктивного элемента, вызванного особым воздействием.

Аварийная ситуация может быть вызвана деятельностью человека (взрывы газа, теракты, пожары, наезды транспорта, дефекты проектирования и строительства, неквалифицированная реконструкция с пристройкой, надстройкой, перепланировкой помещений, сопровождаемая ослаблением или перегрузкой несущих элементов и оснований) или природными явлениями (землетрясения, ураганы, оползни). Так как исключить вероятность возникновения подобных ситуаций полностью невозможно, необходимо обеспечить некоторую степень безопасности людей и сохранности их имущества за счет уменьшения вероятности прогрессирующего обрушения при локальных разрушениях несущих конструкций.

При проектировании высотных зданий в общем случае следует учитывать следующие особые воздействия:

– нагрузки, характеризующиеся давлением на внешние и внутренние поверхности зданий и их отдельные конструктивные эле-

менты (например, взрывы, давление ветра и другие опасные метеорологические явления);

- нагрузки, вызванные ударом (например, ударные воздействия от транспортных средств, ракеты, попадание осколков);

- вибрационные воздействия в процессе сноса;

- вынужденные деформации конструктивной системы в целом или отдельных конструктивных элементов (при пожарах, осадке опор при образовании карстовых воронок и провалов в основаниях зданий и т. д.).

Основные средства защиты зданий от прогрессирующего обрушения: резервирование прочности несущих элементов, обеспечение несущей способности ригелей колонн, диафрагм, дисков перекрытий и стыков конструкций; создание неразрезности и непрерывности армирования конструкций; повышение пластических свойств связей между конструкциями; включение в работу пространственной системы несущих элементов.

В качестве примера взято 13-ти этажное каркасное здание из монолитного железобетона. В качестве объекта для разрушения была выбрана угловая колонна (см. рис. 1), т.к. при ее удалении наблюдается наиболее значительное увеличение пролета. Расчет был проведен в программном комплексе SCAD.

В основу расчета на прогрессирующее обрушение в ПК SCAD положены следующие положения:

- в качестве исходной модели конструкции здания для расчёта на прогрессирующее обрушение принимается модель, полученная по результатам прочностного анализа и последующего подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций и сечений элементов стальных конструкций;

- элементы расчетной схемы, моделирующие внезапно удаляемые элементы сооружения, объединяются в группы; количество элементов сооружения, одновременно вышедших из строя (обрушившихся), не ограничивается;

- расчёт выполняется для комбинации загружений, включающей постоянные нагрузки и длительные части временных нагрузок с коэффициентом 1;

– для учёта внезапности удаления элементов конструкции и эффекта падения обрушившихся конструкций вводятся коэффициенты динамичности;

– проверка элементов железобетонных и стальных конструкций, входящих в состав расчетной схемы после внезапного удаления элементов, выполняется только с учетом первого предельного состояния;

– расчётные прочностные и деформационные характеристики материалов принимаются равными их нормативным значениям.

План первого этажа на отм. 0.000

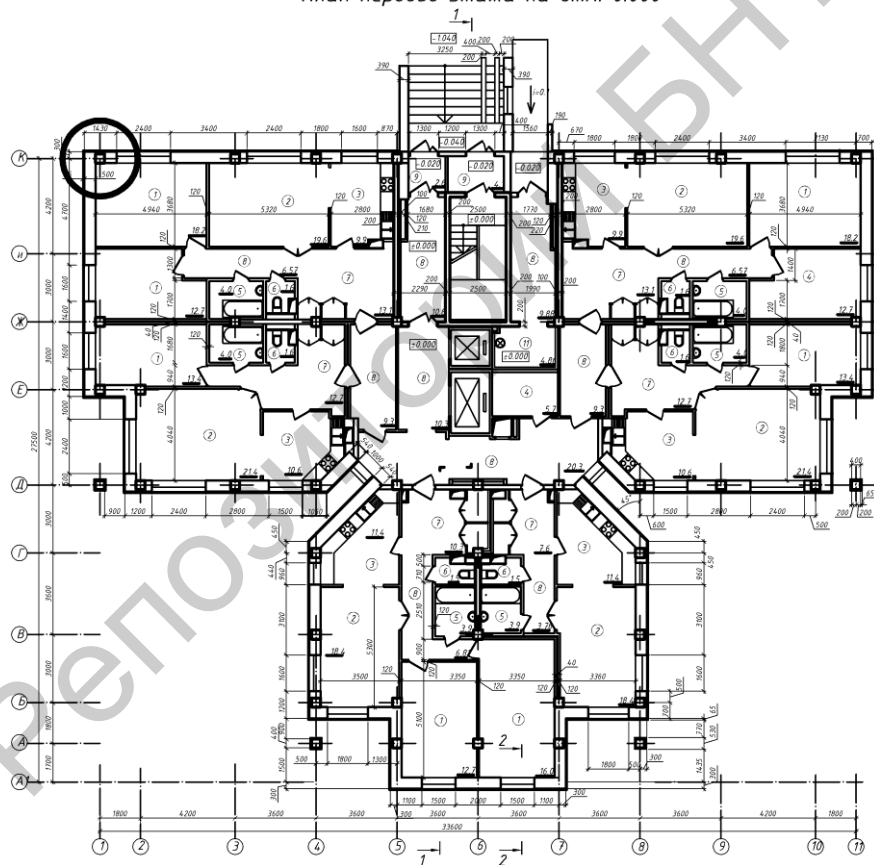


Рисунок 1. Выбор объекта разрушения

Расчет на прогрессирующее обрушение выполняется в два этапа.

Первый этап включает:

- статический и динамический (если это необходимо) расчеты с целью определения напряженно-деформированного состояния конструкции в нормальных условиях эксплуатации;
- определение расчетных сочетаний усилий (PCУ);
- подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций с учетом первого и второго предельных состояний;
- проверка и подбор прокатных сечений элементов стальных конструкций.

Для выполнения второго этапа необходимы дополнительные данные, которые включают:

- список конечных элементов, входящих во внезапно удаляемый фрагмент конструкции;
- проверочную комбинацию нагрузок, в которую входят постоянные нагрузки и длительная часть временных нагрузок с коэффициентом 1;
- группу нагрузок, определяющую вес обрушившихся конструкций;
- коэффициент перегрузки (динамичности) -  $K_f$  для корректировки реакции системы при внезапном удалении элемента конструкции;
- для коэффициента перегрузки -  $K_g$  корректировки реакции системы на обрушение вышедших из строя конструкций (по умолчанию принимается  $K_g = K_f = 2$ );
- значение интервала неопределенности.

Следует отметить, что определение коэффициента перегрузки представляет собой отдельную задачу. Наиболее часто используется методика, приведенная в книге И.Н. Тихонова [2]. Но использование данного метода подразумевает ручное вычисление, из-за чего возможно неточное определение коэффициента перегрузки, что весьма сильно повлияет на результаты расчета.

Модель можно рассчитать линейным и нелинейным методом. Преимуществом первого способа является сравнительно малые затраты компьютерного времени и приемлемая точность вычисления.

Если выполняется нелинейный расчет, то следует назначить метод расчета и задать соответствующие методу параметры (количе-

ство шагов, количество итераций). Расчет будет более точным, однако время, затраченное на расчет, возрастает.

Результаты расчета отображаются в двух- и трехцветной графической интерпретации. Красным цветом маркируются вышедшие из строя элементы, желтым – попавшие в промежуток неопределенности, зеленым – сохранившие работоспособность. При расчете на прогрессирующее обрушение в ПК SCAD используются расчеты только по первой группе предельных состояний, величина прогибов и ширина раскрытия трещин не нормируются.

Многочисленно было проведено исследование на предмет выявления степени влияния жестких блоков на результаты расчета. В качестве жесткого блока был принят последний этаж, выполненный в полностью монолитном варианте (включая наружные стены). Степень влияния оказалась весьма высока – деформации по вертикали при разрушении колонны нижнего этажа уменьшились практически в два раза, также значительно снизилась величина площади разрушения (с  $43 \text{ м}^2$  до  $30 \text{ м}^2$ , в процентном соотношении с 6,1% до 4,3%).

Ограничение размеров области повреждений при удалении внешней колонны или несущей стены приведены в [1] и нормируют площадь разрушения следующим образом:

При удалении наружной колонны или стены требуется, чтобы площадь обрушения покрытия непосредственно над удаленным элементом была не более  $70 \text{ м}^2$  и не более 15% от общей площади покрытия. Перекрытие, располагаемое ниже поврежденного элемента, не должно разрушаться. Любое разрушение не должно распространяться за пределы конструкций, играющих второстепенную роль по отношению к удаленному элементу.

### **Выводы**

1. Рассчитываемое здание показало высокую степень устойчивости к прогрессирующему обрушению;
2. Наличие совмещенного с техническим этажом жесткого блока позволяет значительно уменьшить степень разрушения;
3. Модуль расчета на прогрессирующее обрушение в ПК SCAD требует дальнейшей проработки, т.к. не позволяет оценить величину деформаций, точно определить необходимые коэффициенты, учесть физическую нелинейность работы материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-3.02-108-2008 (02250): Высотные здания. Строительные нормы проектирования.
2. И.Н. Тихонов. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Москва, 2007.

Репозиторий БНТУ