

ЛАВИНООБРАЗНОЕ РАЗРУШЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ

Ю.А. Ивашенко

AVALANCHING DESTRUCTION OF STRUCTURAL SYSTEMS

Y.A. Ivashenko

Рассматривается проблема разрушения конструктивных систем при техногенных воздействиях. Приводится решение задачи определения размеров аварийной зоны, вызывающей лавинообразное разрушение систем.

Ключевые слова: лавинообразное разрушение, критический объем, аварийные зоны, стесненные условия деформирования.

The problem of destruction of structural systems under man-caused impact is considered. The solution of the problem of dimensioning of a disaster zone, causing avalanching destruction of systems is given.

Keywords: avalanching destruction, critical volume, disaster zones, constrained conditions of distortion.

При некоторых воздействиях на конструктивные системы из железобетона и стали может происходить лавинообразное разрушение. Одним из видов таких воздействий являются техногенные, которые можно классифицировать на силовые, деформационные и коррозионные.

Необходимость расчета конструктивных систем на техногенные воздействия установлена в Федеральном законе № 384-ФЗ (Технический регламент о безопасности зданий и сооружений, статьи 9 и 18), введенном в действие 30.12.2009 г.

Ранее были выпущены документы, направленные на повышение безопасности жилых каркасных зданий от воздействий, вызывающих прогрессирующее (лавинное) разрушение [1, 2].

Лавинообразное разрушение может быть вызвано локальным повреждением грунтового основания или элементов конструктивной системы. Причинами локальных повреждений могут быть следующие: размыв грунтового основания в результате аварий на внутренних или наружных водоотводах, подтопление территорий природными водами; разрушение части элементов конструкций от воздействия взрывов, ударов, а также местной перегрузки вследствие нарушения правил эксплуатации; разрушение отдельных конструкций в результате существенного снижения прочности материалов, дефектов при строительстве и действия коррозии.

В теории надежности проблема безопасности рассматривается с позиции теории вероятности и относится ко всем элементам конструктивной системы, т. е. предполагается, что отклонения параметров, характеризующих элементы системы, будут наблюдаться во всех элементах. При оценке безопасности системы от лавинообразного разру-

шения надо предусматривать появление локальных зон с «большими» отклонениями параметров (аварийных зон).

В связи с такой постановкой возникают следующие задачи:

1. Определение критического объема аварийных зон, вызывающих лавинообразное разрушение.

2. Математическое моделирование деформирования элементов в аварийной зоне с учетом влияния на них всей конструктивной системы.

3. Определение «критического уровня» накопления дефектов в элементах аварийной зоны с учетом влияния всей системы.

4. Оценка влияния всей системы на процессы деформирования и накопления дефектов в элементах аварийной зоны.

5. Определение критического объема с учетом статической изменчивости параметров элементов системы и аварийной зоны.

В соответствии с требованиями Закона № 384-ФЗ решение этих задач, а также все расчеты должны производиться с учетом реологических свойств материалов и грунтов.

Ниже автором статьи предлагается решение задачи определения критического объема аварийных зон.

Рассматривалась модель конструктивной системы в виде определенного количества параллельно расположенных элементов, нагрузка на которые передается через жесткие диски, обеспечивающие равенство перемещений (аналогия – этаж многоэтажного здания). Равенство перемещений принято в первом приближении.

Предполагается, что в указанной выше модели, имеющей размеры в плане $L \times L$ и высоту h , об-

разруется зона разрушения элементов размером L_T . Необходимо определить критический размер L_T , включающий некоторое количество разрушенных элементов (колонн), при котором происходит лавинообразное разрушение всех остальных элементов.

Рассматривается баланс энергий деформирования элементов. Для определения упругой энергии деформирования при одноосном напряженном состоянии используем известные формулы:

$$\mathcal{E}_n = \frac{q^2}{2E}, \quad \mathcal{E}_n = \frac{E\varepsilon^2}{2}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta}{h}, \quad (1)$$

где q – распределенная нагрузка; Δ – перемещение; h – высота стоек; \mathcal{E}_n – энергия деформирования; E – модуль упругости; ε – относительное перемещение.

При разрушении элементов выделяется упругая энергия U и затрачивается энергия A на продолжение разрушения.

Выделяемая упругая энергия при разрушении элементов в аварийной зоне (разгрузка разрушенных элементов)

$$U = \frac{q^2}{2E} \cdot 2\pi L_T^2 \cdot h. \quad (2)$$

Затрату энергии (увеличение) на разрушение аварийной зоны можно представить в виде

$$A = L_T h \cdot \gamma, \quad (3)$$

где γ – коэффициент пропорциональности (коэффициент удельной энергии).

Лавинообразное разрушение (неустойчивость) возникает, когда разность $U = A - U \rightarrow \max$ (при $q = \text{const}$).

Критическое значение $L_{T, \text{кр}}$ определяется из уравнения $dU/dL_T = 0$. Учитывая следующие зависимости: $N = L^2 \cdot q$ – общая нагрузка, $V = L^2 \cdot h$ – объем модели, $C = \frac{EL^2}{h}$ – коэффициент жесткости модели в направлении действия нагрузки, получаем формулу

$$L_{T, \text{кр}} = \frac{\gamma}{\pi} \cdot \frac{V}{N^2} C. \quad (4)$$

Коэффициент γ определяется на основании испытаний или на основе теоретического моделирования процесса разрушения с учетом реологических свойств элементов конструктивной системы.

Формула (4) логически правдоподобна и соответствует физической сущности процесса, так как из нее следует, что критический размер $L_{T, \text{кр}}$

увеличивается с ростом объема конструктивной системы и его жесткости и уменьшается с увеличением общей нагрузки.

По аналогичной схеме можно рассмотреть более сложную систему, состоящую, например, из вертикальных и горизонтальных элементов (колонна, ригели, плиты). Тогда в состав аварийной зоны включаются узлы и другие элементы.

Указанные выше задачи могут быть решены путем моделирования процесса разрушения элементов конструктивной системы.

Одной из задач моделирования является учет влияния конструктивной системы на процесс деформирования и разрушения. Система оказывает влияние, создавая «стесненные» условия, меняющие скорость деформирования [3] и приводящие к появлению «нисходящего участка» на диаграммах «напряжение – деформация» или «усилие – перемещение». Эти участки появляются не только в бетонных и железобетонных элементах, а также в элементах из металла, если менять скорость деформирования [4]. Это явление также наблюдается при разрушении в виде потери устойчивости: при изменении скорости роста перемещений на диаграмме «усилие – перемещение» появляется нисходящий участок. Появление нисходящих участков на диаграммах свидетельствует о необходимости затрат дополнительной энергии на разрушение и накопление внутренних повреждений в элементах системы, что соответственно увеличивает размер аварийной зоны, при достижении которой наступает лавинообразное разрушение.

Литература

1. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. – М.: Москомархитектура, 2002.
2. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: Москомархитектура, 2006.
3. Ивашенко, Ю.А. Деформационная теория разрушения бетона / Ю.А. Ивашенко // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 1. – С. 33–38.
4. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов / Я.Б. Фридман. – М.: Машиностроение, 1974.

Поступила в редакцию 9 марта 2012 г.