

Рис. 6. Характерные случаи размещения напрягаемых элементов в плане перекрытия при регулярной сетке колонн

УДК 624.012

Тур В.В., Марковский Д.М., Тур А.В.

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Введение. В последние годы пристальное внимание со стороны практикующих инженеров уделяется вопросам защиты зданий от прогрессирующего обрушения. Это связано, с одной стороны, с увеличением случаев появления аномальных воздействий (природных и искусственных) и разработкой соответствующих мероприятий, направленных на снижение рисков в строительстве¹, а с другой – развитием новых конструктивных систем, которые в ряде случаев не достаточно хорошо изучены. Свой вклад в формирование неопределенностей, как на стадии проектирования, так и эксплуатации вносит широкое развитие компьютеризации (см. статью проф. А. В. Перельмутера [26]).

Прогрессирующее обрушение (англ. Progressive Collapse) является относительно новым термином в теории конструкций и имеет ряд определений, содержащихся в научно-технической литературе [4-7, 9-14, 31-35]. Если рассматривать историческую ретроспективу проблемы, выясняется, что основные публикации, в которых впервые появляется термин “прогрессирующее обрушение”, фокусируются на аварии 22-этажного крупнопанельного жилого здания Ronap Point Tower (Canning Town, London, UK), происшедшей в мае 1968 года, после ввода его в эксплуатацию. Причиной аварии, приведшей к прогрессирующему обрушению, явился взрыв природного газа в кухне, расположенной на 18-ом этаже. По результатам работы комиссии был опубликован заключительный отчет [29, 31], рекомендации которого, направленные на предотвращение прогрессирующего обрушения, были включены в нормы проектирования многих стран [9, 10, 15, 16, 18, 21-24], включая МГСН 4.19-05[7] и Рекомендации [3-6, 30], утвержденные Москомархитектуры Правительства Москвы.

В общем случае под **прогрессирующим обрушением** (или точнее, непропорциональным обрушением, обусловленным цепной реакцией повреждений (разрушений) конструктивных элементов системы, распространяющейся вертикально и (или) горизонтально, следует понимать катастрофическое частичное или полное обрушение здания или сооружения, развивающееся после наступления некоторого исходного события (как правило, аномального воздействия), приводящего к локальному повреждению (разрушению) отдельного конструктивного элемента, которое не может быть воспринято или предотвращено за счет начальной неразрезности и деформативности (пластической податливости) конструктивной системы здания.

Главным признаком прогрессирующего обрушения принято считать непропорционально большие масштабы окончательного разрушения здания и соответственно величину окончательного ущерба по отношению к ущербу от локального повреждения (разрушения) отдельного конструктивного элемента (или группы конструктивных элементов), инициировавших цепную реакцию обрушения.

Как следует из анализа работ [29, 30, 32-37], локальные разрушения (повреждения) могут быть инициированы целым рядом аномальных причин (событий), включая как человеческие ошибки, допущенные в процессе проектирования и возведения здания, так и события, которые могут иметь место (произойти с малой вероятностью) после его возведения в процессе эксплуатации и не рассматриваются в традиционных расчетных ситуациях при составлении соответствующих комбинаций воздействий непосредственно на стадии проектирования. Такие события связаны с появлением, как правило, аномальных воздействий, которые традиционно принято

Тур Андрей Викторович, магистрант Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

¹ Риски, связанные с эксплуатацией строительных объектов подробно рассмотрены статье [44], а так же в работах [25, 26].

называть особыми или чрезвычайными. Эти воздействия, к которым относятся взрывы (газа, бомбы и т. д.), удары транспортного средства (грузовика, самолета), крупномасштабные пожары, экстремальные климатические или другие аномальные природные воздействия не рассматриваются в рамках традиционного проектирования.

Анализ, представленный в работах [30, 32-37, 40] показывает, что примерно 15...20% аварий зданий развивались в соответствии со схемой прогрессирующего обрушения. Следует отметить, что в процессе традиционного проектирования, базирующегося на вероятностных методах расчетов, применение системы частных коэффициентов безопасности, позволяет создать некоторые нормируемые резервы (запасы) прочности и деформативности конструктивной системы, что изначально позволяет зданию в определенной мере противостоять аномальным воздействиям и развитию прогрессирующего обрушения.

В настоящей статье представлены теоретические положения, являющиеся основой для построения расчетной стратегии оценки стойкости конструктивных систем к прогрессирующему непропорциональному обрушению.

1. Типы прогрессирующего обрушения и их классификация.

Обобщая данные, приведенные в обзорной статье [46], характерные типы прогрессирующего (непропорционального) обрушения (ПО) могут быть объединены в зависимости от их природы в следующие классы:

- **класс (А):** ПО в результате перераспределения усилий в конструктивной системе при выходе из строя (выключении) её отдельных конструктивных элементов (сечений);
- **класс (Б):** ПО, реализуемое в результате трансформации потенциальной энергии в кинетическую (ударный механизм);
- **класс (В):** ПО в результате потери устойчивости положения (здания в целом) или формы (потеря устойчивости ключевых конструктивных элементов системы);
- **класс (Г):** ПО в результате реализации режимов обрушения перечисленных выше классов в различных комбинациях.

Характерным примером прогрессирующего обрушения класса (А) (или А1, иногда называемый обрушением, ассоциирующимся с эффектом раскрывающегося замка "молнии", англ. zipper-type collapse) может служить обрушение канатного моста, вызванное разрывом соседних канатов в результате резкого возрастания усилий (перегрузки) (рис. 1). Следует отметить, что на этот тип прогрессирующего обрушения следовало бы проверить покрытие Ледового Дворца в Крылатском (г. Москва). Хорошей иллюстрацией этого типа обрушения является последовательное выключение анкеров, крепящих конструктивный элемент к стене (рис. 2). При выходе одного или нескольких анкеров происходит перераспределение усилий на другие анкера, что приводит к их выключению.

Дополнительными примерами может служить разрушение неразрезной балки, в которой разрушение опорных сечений приводит к перераспределению усилий в пролеты и далее к их разрушению [46], а также разрушение неразрезной балки, опирающейся на гибкие стойки (малого сечения и большой длины). В этом случае потеря устойчивости любой одной стойки приводит к перераспределению усилий и потере устойчивости соседних стоек.

Таким образом, данный тип обрушения характеризуется следующими признаками:

- начальное обрушение одного или нескольких конструктивных элементов;
- перераспределение усилий, воспринимаемых ранее обрушенными элементами, на оставшуюся часть конструкции;
- импульсные нагружения в результате внезапности предшествующих отказов;
- динамический отклик оставшейся части конструкции на импульсные нагружения;
- из-за комбинации статических и динамических воздействий происходит концентрация усилий и отказ в элементах, подобных по типу и функциональному назначению и расположенных рядом или в окрестности разрушенных ранее элементов;
- распространение разрушений происходит в направлении, поперечном направлению основного усилия разрушающегося элемента.

Следует отметить, что при этом типе обрушения совершенно не обязательно должны появляться ударные воздействия. Как отмеча-

лось выше, направление воздействий и направление распространения обрушений перпендикулярны (рис. 1). Поэтому конструктивные системы, в которых реализуется данный тип обрушения, можно рассматривать, скорее всего, как параллельные.

В качестве примера разрушения типа А2, относящегося к этому классу можно рассматривать сечение с угловым сварным швом, работающим на продольный сдвиг или соединение внахлест арматурных стержней. В обоих случаях разрушения развиваются, в отличие от типа А1, по направлению действия усилий.

Характерным примером типа Б1, относящегося к классу Б, является обрушение башен Всемирного торгового центра (WTC). В англоязычной литературе этот тип обрушения называется "pancake-type collapse" [46]. Удары от самолетов и последующие пожары спровоцировали локальные разрушения в местах столкновения. Последующие потери несущей способности вертикальными элементами были ограничены несколькими этажами, но они распространялись по всему поперечному сечению зданий. Верхняя часть сооружения начала обрушаться, аккумулируя кинетическую энергию. Дальнейшее разрушение нижних неповрежденных этажей были вызваны динамическими воздействиями, во много раз превышающими несущую способность конструктивных элементов. Так, по очереди выходили из строя несущие конструкции каждого этажа. Схема обрушения при переходе потенциальной энергии в кинетическую, реконструированная Z. Bazant [43], показана на рис. 3.

Данный тип прогрессирующего обрушения характеризуется следующими признаками:

- начальное обрушение вертикальных несущих элементов;
- частичное или полное отделение части конструкции и ее падение как одного жесткого тела;
- трансформация потенциальной энергии в кинетическую;
- удар отделившейся и падающей части конструкции по оставшейся неповрежденной части;
- разрушение оставшихся вертикальных несущих элементов из-за ударной нагрузки;
- распространение разрушений в вертикальном направлении.

Тип обрушения Б2, относящийся к этому классу, называют ещё по-другому – тип домино (англ. domino-type collapse). Механизм обрушения этого типа может быть представлен следующим образом:

- начальное опрокидывание одного элемента;
- падение этого элемента происходит при неизменной его форме (как жесткого тела) путем поворота вокруг точки, располагаемой на нижней грани;
- трансформация потенциальной энергии в кинетическую;
- боковой удар падающего элемента по соседнему элементу;
- опрокидывание соседнего элемента и дальнейшее распространение обрушений в направлении поворотов.

Возникновение ударных усилий указывает на подобие данного типа обрушений типу Б1. С другой стороны, в этом случае главные усилия в падающих элементах ортогональны направлению распространения обрушений, т. е. до начала обрушений это параллельная конструктивная система. Риск опрокидывания предполагает, что конструкции достаточно тонкие и не раскрепленные. Такая ситуация может возникнуть, например, когда установлены в ряд башни опалубки или лесов. Другим примером может служить поочередное падение опор линий электропередач. Только в этом случае воздействие одного элемента на другой передается посредством других элементов, в данном случае это провода. Отличие типа домино от типа А1 заключается в том, что на каждом этапе усилие передается только на один элемент, а не распределяется на всю конструкцию. Это означает большую концентрацию усилий, но вместе с тем и большую предсказуемость реакции системы.

При реализации обрушений, связанных с потерей устойчивости, выделяют следующие характерные признаки:

- начальное обрушение элемента, который стабилизирует несущие сжатые элементы;
- потеря устойчивости сжатых элементов;
- внезапное обрушение дестабилизированных элементов из-за небольших отклонений (случай эксцентриситетов и начальных имперфекций);
- прогресс обрушений.

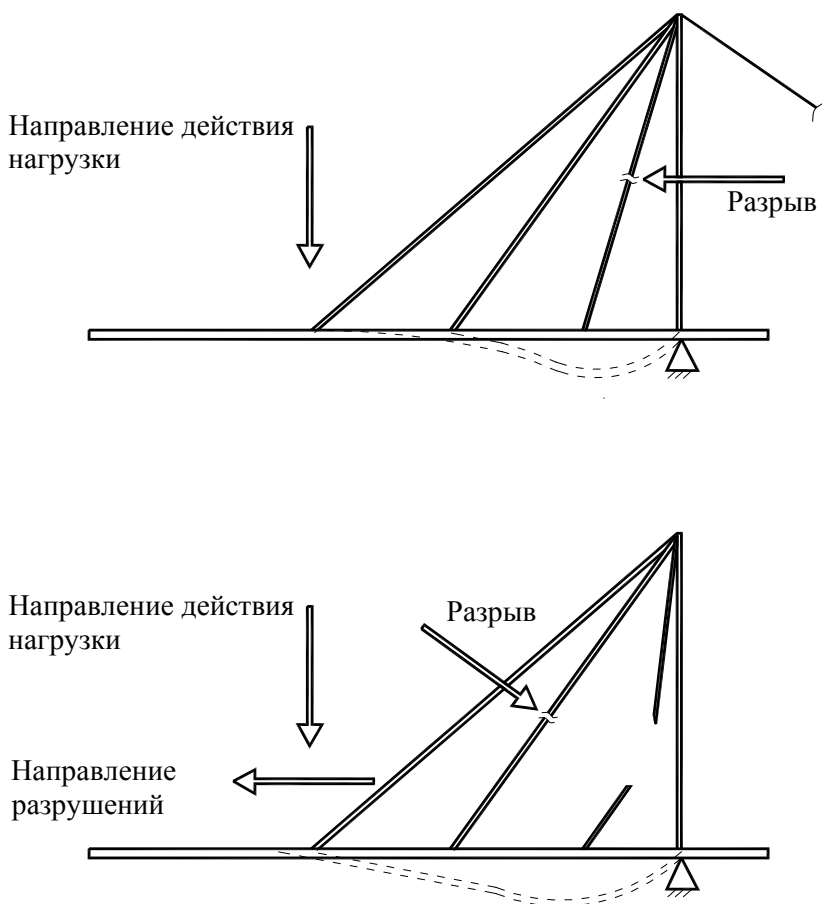


Рис. 1

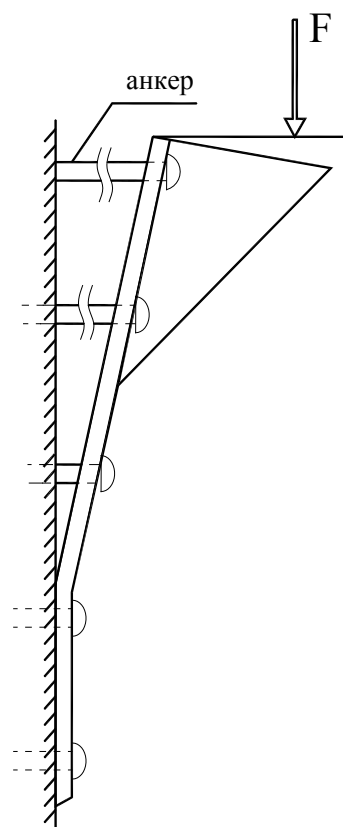


Рис. 2

Примером может служить неразрезная составная балка, в которой пролеты последовательно обрушаются из-за потери устойчивости сжатых поясов. Однако в этом примере разрушаемые элементы отказывают из-за перегрузки вследствие перераспределения усилий, а не из-за разрыва связей. Такое обрушение соответствует типу А1. Также возможно и разрушение в результате непрерывно распространяющейся дестабилизации. Последняя представляет механизм распространения потери устойчивости, который может реализоваться в глубоководных трубопроводах. Однажды начавшись, этот процесс распространяется на большие расстояния. Такое происходит, когда отказ дестабилизированных элементов приводит к нарушению стабилизирующих элементов. Характерные особенности данного типа обрушений – сжатие в связевых элементах, их отказ и отказ элементов, раскрепленных этими связями. Еще одной особенностью является то, что главную роль при таком типе обрушения играют статические силы.

Предложенное разделение на классы и типы может быть полезным при теоретической трактовке режимов обрушений, а также при разработке соответствующих контрмер. Например, если тип Б1 обрушений может рассматриваться только в детерминистической постановке, то обрушение типа А1 можно исследовать применяя вероятностные подходы.

2. Основы стратегии управления рисками прогрессирующего обрушения. В общем случае, стратегия управления рисками прогрессирующего обрушения фокусируется на методах расчета, оценивающих способность поврежденной конструктивной системы сохранять целостность после наступления особого события, связанного с появлением аномального воздействия.

Далее обоснуем представленное утверждение. Если любую из угроз, способную вызвать прогрессирующее обрушение, представить случайным событием H_i , тогда полная вероятность обрушения конструктивной системы может быть записана следующим образом:

$$P(F) = \sum P(F|DH_i)P(DH_i|H_i)P(H_i), \quad (1)$$

где F - событие, определяемое как непропорциональное или прогрессирующее обрушение конструктивной системы;

$P(H_i)$ – вероятность появления особого события, связанного с угрозой;

$P(DH_i|H_i)$ – вероятность локального разрушения отдельного конструктивного элемента при наступлении этого особого события;

$P(F|DH_i)$ – вероятность наступления прогрессирующего непропорционального обрушения конструктивной системы при условии, что произойдет локальное разрушение отдельного элемента при реализации особого события H_i .

Термином $p(F)$ обозначена полная вероятность обрушения здания, которую следует ограничивать некоторым социально приемлемым значением (в большинстве норм $p(F) \approx 10^{-7}/\text{год}$).

При ближайшем рассмотрении ф. (1) несложно заметить, что вероятность наступления прогрессирующего обрушения конструктивной системы может быть понижена при снижении либо каждой отдельной или всех трех вероятностей, входящих в произведение. При этом при проектировании вероятность $P(H_i)$ является независимой. Она может контролироваться собственно объемно-планировочным решением или размещением здания на генплане, снижением возможных рисков, которые могут возникнуть внутри здания при организованных мерах безопасности, обучении персонала и т.д. При реализации таких мер многие риски могут быть эффективно предотвращены (например: террористические атаки). Проектная стратегия, направленная на обеспечение сопротивления локальному разрушению сводится к минимизации вероятности

$P(D|H_i)$. Следует отметить, что эта стратегия может быть труднореализуемой (в силу неопределенности величины особых воздействий), содержать значительные риски или изначально давать заведомо неэкономичные результаты.

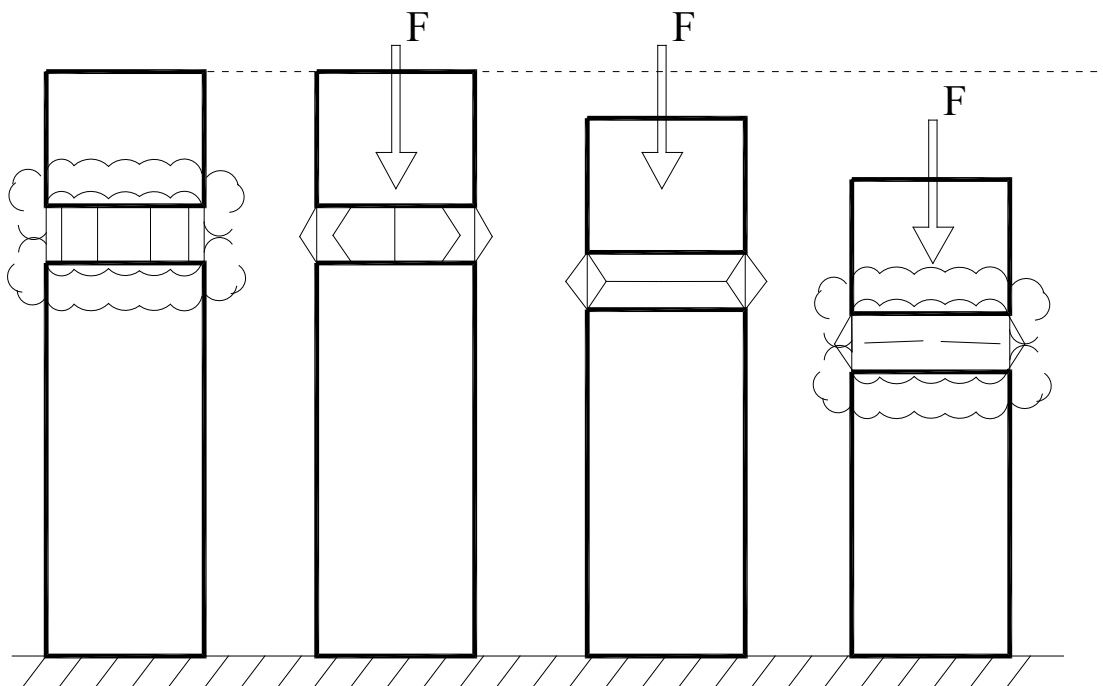


Рис. 3

Принимая ситуацию при которой допускается появление локального разрушения, т.е. $P(DH_i | H_i) \approx 1$, полная вероятность $P(F)$ будет равна:

$$P(F) = P(F | DH_i) P(H_i). \quad (2)$$

Тогда задача проектирования в особой расчетной ситуации сведется, главным образом, к минимизации вероятности $P(F | DH_i)$. Эта стратегия должна реализовываться в широком диапазоне: от конструктивных мер, направленных на создание неразренности и конструктивной целостности системы до полного расчета поврежденной конструктивной системы с учетом эффектов, которые не учитываются при традиционном проектировании (например: мембранные усилия в перекрытиях, большие перемещения и т.д.).

Для того чтобы определить вероятность $P(F | DH_i)$ в общем случае, следует вначале постулировать математическую модель (функцию предельного состояния) $G(X)$, основываясь на принципах теории надежности для конструктивной системы [38].

Базисные переменные, входящие в вектор X , представляют собой стохастические величины, которые описывают соответствующими функциями распределения. Условную вероятность обрушения $P(F | DH_i)$ находят традиционным способом, интегрируя обобщенную (кумулятивную) функцию плотности вероятностей X для области $G(X) < 0$. Как было показано в работе [28], в целом ряде случаев воспользоваться аналитическим методом, основанным на прямом интегрировании функции предельного состояния, не представляется возможным. В этом случае целесообразно использовать численные симуляционные методы (например, симуляцию Монте-Карло и т.д.).

При альтернативном подходе в рамках FORM [38] для оценки может быть использован т.н. обобщенный индекс надежности:

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G}, \quad (3)$$

где μ_G и σ_G - среднее значение, и стандартное отклонение $G(X)$.

Индекс надежности β связан с вероятностью $P(F | DH_i)$ следующей зависимостью:

$$\beta = \Phi^{-1}[P(F | DH_i)]. \quad (4)$$

В этом случае критериальное условие имеет вид: $\beta \leq \beta_{tag}$.

С учетом того, что появление аномального события H_i может моделироваться Пуассоновским (Poisson) процессом с годовой средней частотой появления λ_i , вероятность появления этого события в течение некоторого оценочного периода T для малых λ_i составляет примерно $P(H_i) = \lambda_i T$. Тогда уравнение (4) может быть записано:

$$\beta = \Phi^{-1}[P(F) / \lambda_i T]. \quad (5)$$

В соответствии с полученными решениями вероятность наступления предельного состояния (или индекс надежности) должны рассчитываться для конструктивной системы в целом. Согласно [45] в общем случае рассчитать надежность сложной системы – это значит определить её показатели надежности по известным показателям надежности элементов.

Безусловно, что при современном уровне развития строительной науки и доступных компьютерных ресурсах такая оценка является достаточно трудоемкой и сложной в реализации.

В настоящее время при расчетах надежности сложных систем используются упрощенные методы [45].

Главный вопрос при определении надежности гибридной системы – это выявление режимов обрушения. Расчет вероятности отказа для сложной (гибридной) системы можно значительно упростить, если предположить, что запасы прочности основных несущих элементов полностью коррелированы. Такое допущение оправдано во многих практических случаях, поскольку чаще всего конструкция возводится из материала от одного производителя, поэтому сопротивления элементов коррелированы. Благодаря этому, а так же общей природе большинства действующих нагрузок, случайные границы безопасности элементов также коррелированы. Такое предположение позволяет сделать вывод о том, что вероятность отказа конструкции в соответствии с рассматриваемым режимом обрушения равна наименьшей из вероятностей отказов элементов, задействованных в данной последовательности. Например, если

последовательность элементов k, l, m, n образуют j -режим обрушения конструкции, то приближительная оценка вероятности P_j возникновения данной серии отказов вычисляется как

$$P_j \approx \min\{p_k, p_l, p_m, p_n\}, \quad (6)$$

где p_k, p_l, p_m, p_n - вероятности отказов элементов k, l, m, n соответственно.

Следует отметить, что оценка вероятности возникновения режима обрушения по формуле (6) консервативна и представляет верхнюю границу вероятности отказа для систем с параллельным соединением элементов.

Вторым важным допущением методики является игнорирование очередности отказов элементов. Благодаря этому значительно снижается количество режимов обрушения NM, которые следует рассмотреть, а так же необходимое количество конструктивных расчетов.

Третье допущение состоит в том, чтобы предполагать наличие полной корреляции между различными режимами обрушения конструкции.

Если обозначить через F_i событие, при котором конструкция отказывает по режиму i , а вероятность появления этого события p_i , то в общем виде можно записать выражение для вероятности отказа для всей системы

$$P_{system} = P \left[\bigcup_{i=1}^{NM} F_i \right], \quad (7)$$

где MN – число потенциально возможных режимов обрушения.

Учитывая третье допущение о полной корреляции между различными режимами обрушения, можно упрощенно оценить вероятность отказа системы по формуле

$$P_{system} = \text{Max}[P_1, P_2, \dots, P_{NM}]. \quad (8)$$

Таким образом, можно сформулировать правила для быстрой приближительной оценки вероятности обрушения конструктивной системы.

1. Определить вероятность отказов всех элементов системы и упорядочить их по убыванию $p_1 > p_2 > \dots > p_N$, где p_i - вероятность отказа элемента i , N - количество элементов системы. После упорядочивания вероятность отказа p_1 не обязательно будет соответствовать элементу 1.
2. Определить степень избыточности (степень статической неопределимости) S конструкции или субструктуры.
3. Вероятность отказа системы можно определить по формуле

$$P_{system} = p_{s+1}. \quad (9)$$

Предполагая, что в режиме обрушения конструкции участвует $S+1$ элемент, вероятности отказов которых равны p_1, p_2, \dots, p_{s+1} . Приближительная оценка по формуле (9) представляет собой нижний предел верхней границы вероятности режима отказа.

Заключение

1. Анализ, представленный в настоящей статье, показывает, что в практике проектирования все большее внимание уделяется вопросу защиты зданий от прогрессирующего обрушения. При этом термин "прогрессирующее обрушение" не в полной мере характеризует рассматриваемую проблему ввиду неоднозначности трактовки. Более правильным, по мнению авторов, представляется применение термина "непропорциональное обрушение".
2. Приведенные в кратком виде теоретические основы проблемы позволяют выработать проектные стратегии, направленные на защиту здания от непропорционального обрушения. На современном уровне развития строительной науки основное внимание следует, очевидно, концентрировать на проектных стратегиях первого (предотвращение появления случая особого воздействия через систему соответствующих мер безопасности) или третьего уровня (предотвращение непропорционального обрушения путем реализации расчетно-конструктивных действий в случае наступления локального разрушения отдельного конструктивного элемента).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции. - Мн.: Типпроект, 2003-237с.
2. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. - М.: Стройиздат, 1985-79с.
3. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. Москомархитектура. - М.: ГУП НИАЦ, 2005-71с.
4. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. Москомархитектура. - М.: ГУП НИАЦ, 1999-55с.
5. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. Москомархитектура. - М.: ГУП НИАЦ, 2002-14с.
6. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. - М.: Москомархитектуры: ГУП НИАЦ, 2006. - 60 с.
7. Проектирование высотных зданий: МГСН 4.19-05. - М.: ГУП НИАЦ, 2002. - 97с.
8. СТБ ИСО 2394 (ISO 2394). Общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций (проект)- Мн.: Бел НИИС, 2007-97с.
9. New York City Code: NYC. - 1993.
10. UFC-023-03 (Unified Facilities Criteria) - Design of Building to Resist progressive collapse, January, 2005/
11. UFC3-340-01 Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effect, Dep. Of Defense, Washington, DC, 2002.
12. Minimum Antiterrorism Standards for Buildings: UFC 4-010-01 (Unified Facilities Criteria). - Washington, DC: US. Department Of Defense, 2002.
13. ASI 318-02, Building Code, Requirements for Structural Concrete, P. O. Box 9094, Farmington Hills, 2002.
14. ASI 318-05, Building Code, Requirements for Structural Concrete, ACI, Farmington Hills, Michigan - 2005.
15. ASCE 7-02 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE, Reston, VA 20191-4400, 2000.
16. BS8110-1: 1997 Structural Use of Concrete, Part 1. Code of Practice for Design and Construction, 389 Cheswick High Road, London W4 4AL, 1998.
17. EN 1992-1: 2001(Final draft, October, 2001) Eurocode - 2: Design of concrete structures - Part 1: General Rules and Rules for building - Brussels - 2001, October. - 230 p.
18. EN 1990:2001. Eurocode - Basis of structural design.
19. ENV 1991-1: Eurocode 1 - Actions on Structures, Part 1 - Basic of Design, Brussels, Belgium, 2003.
20. Probabilistic Model Code (12th Draft): Part1 - Basis of Design - Joint Committee of Structural Safety - JCSS - OSTL/DIAVROU - 10-11-2000. - 57 p.
21. Swedish Board of Housing, Building and Planning - Boverket, 1994, Handbook on Vibration, Induced Deformations and Accidental Loads.
22. General Services Administrations (GSA), Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernizations Projects; 2003.
23. National Building Code of Canada (NBCC), part 4, Commentary C, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, 1985.
24. PCI Committee on Precast Concrete Bearing Wall Building to Withstand Abnormal Loads// PCI Journal, vol. 21., №2, March-April, p. p. 18-51.
25. Перельмутер А. В. О нормировании уровня риска// Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. - N2/14(530), апрель - июнь 2007 г - с. 160-169.
26. Перельмутер, А. В. Влияние неопределенности исходных данных на оценку проектных решений// А. В. Перельмутер// Центр новых строительных технологий, материалов и оборудования [Электронный ресурс]. - 2007. - Режим доступа: <http://www.concrete.ru/documents/show/2005/Safe/materials/2.doc>. - Дата доступа: 03.09.2007.
27. Тур, А. В. Разработка предложений по защите каркасных железобетонных зданий от прогрессирующего обрушения: дипл. работа/ А. В. Тур; БрГТУ. - 2007. - 300 с.

28. Тур В. В., Марковский Д. М. Назначение испытательных коэффициентов по результатам статического моделирования// Строительная наука и техника. №5(9), 2006.
29. Д. Д. Сергеев. Краткий обзор отчета об аварии 22-этажного жилого дома в Лондоне. Обзорная информация №2. М., ГлавАПУ, 1969.
30. Разработка и исследование усовершенствованной системы конструктивных связей между сборными элементами панельных зданий унифицированной конструкции с целью повышения их надежности и улучшения технико-экономических характеристик. Научно-технический отчет МНИИТЭП, шифр НИ-1696М, 1976.
31. Report of the Inquiry into the Collapse of Flats at Ronan Point, Canning Town; MSO, 1968 (НИИС, перевод 18736).
32. Ellingwood B. R. Load and Resistance Factor Criteria for Progressive Collapse Design/ Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, 2005.
33. Ellingwood B. R., Leyendecker E. V., Approaches for Design against Progressive Collapse/ J. Struct. Div., ASCE 104 (3); 1978: p. 413-423.
34. Ellingwood B. R. Acceptable risk bases for design of Structures/ Progress in Struct. Engrg. and Mat., 2001, 3(2): 170-179 p.
35. Stewart, M. G., Melchers R., E. Probabilistic risk assessment of engineering system/ Chapman Hall, London, 1997.
36. Starossek U., Wolf M., Design of Collapse – resistant structure, ICSS and IA BSE Workshop on Robustness of Structure, 2005.
37. Progressive Collapse Analysis and design guidelines for new federal office Buildings and major modernization projects, June 2003, U. S. General Service Administration and Applied Research Associates.
38. Milchers, R. E., Structural reliability – analysis and prediction, John Wiley, 1999.
39. National Workshop on Prevention of Progressive Collapse, the UK and European Regulation for Accidental Actions, D. B. Moore, 2002.
40. Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings/ NISTIR/ B. R. Ellingwood, R. Smilowitz, D. Dusenberry, D. Duthinh, August, 2006.
41. Wolinski S. Analiza ryzyka a niezawodnosc konstrukcji budowlanych/ Inzynieria i Budownictwo, №5, 2006 – p. p. 270-274.
42. Li H. X., Yen C. V.: Fuzzy sets and fuzzy decisions – making. CRC Press, Boca Raton, New York, 1995.
43. Bazant Z. Why did the World Trade Center Collapse – Symple Analysis/Journ. Of Engineering Mechanics/January 2002, vol. 128, №1.
44. Тур, В. В., Тур, А. В., Марковский, Д. М. Основы проектных стратегий, применяемых для защиты зданий от прогрессирующего обрушения //Строительная наука и техника.- 2007.- №6.- с. 11-27.
45. Park, S. Efficient method for calculation of system reliability of a complex structure/ S. Park, S. Choi, C. Sikorsky, N. Stubbs// International Journal of Solids and Structures.- 2004. - №41. – p. 5035-5050.
46. Starossek, U. Typology of progressive collapse/ U. Starossek// Engineering Structures. – 2007. – vol. 29. – № 9. – pp. 2302-2307.

Материал поступил в редакцию 31.03.08

TUR V.V., MARKOVSKI D.M., TUR A.V. The strategy of management of risks progressing falls at designing buildings and structures

This paper presents some scientifically justified statements being the basic for development of design strategies directed to protection of buildings from progressive (disproportionate) collapse. The characteristic of abnormal (specific) actions have been given and the classification has been made, the rules of making design combinations when performing check calculations have been considered.

Basic definitions and terms relating to the issues under consideration have been given and provisions showing occasional (probability) character of the progressive collapse have been shortly presented. Indissoluble connections of this phenomenon with structural safety and risks to which constructions are subjected have been shown.

УДК 624.012.45.001.24

Лукша Л.К.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СТАЛЕБЕТОННОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМНОГО РЕАКТОРА АЭС НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МОНТАЖНЫХ УСИЛИЙ

Введение. Двухслойный сталебетонный элемент с предварительным продольным и поперечным напряжением наружного бетонного слоя защитной оболочки может претерпевать два вида напряженного состояния.

Первый вид, когда внутренняя стальная труба испытывает только поперечное (радиальное) обжатие при отсутствии в ней продольных напряжений. Этот случай имеет место в верхней части цилиндрической оболочки вследствие того, что продольное обжатие, передающееся на стальной слой за счет трения, еще не велико.

Второй случай, имеющий место в средней и нижней части защитной цилиндрической оболочки, где действуют продольные силы как в бетоне так и стальном слое.

Рассмотрим расчет прочности двухслойной оболочки для первого случая напряженного состояния (рис. 1).

Цель работы. Цель состоит в разработке метода определения предельного поперечного напряжения σ_0 . Знание этого напряжения необходимо для проверки прочности бетонного и стального слоев, претерпевающих сложное напряженное состояние, и, кроме того, для последующего расчета оболочки на внутреннее рабочее давление.

Действие продольного преднапряжения P_{el} и поперечного предварительного напряжения P_{et} обуславливают появление поперечного напряжения, взаимодействия между слоями элемента σ_0 .

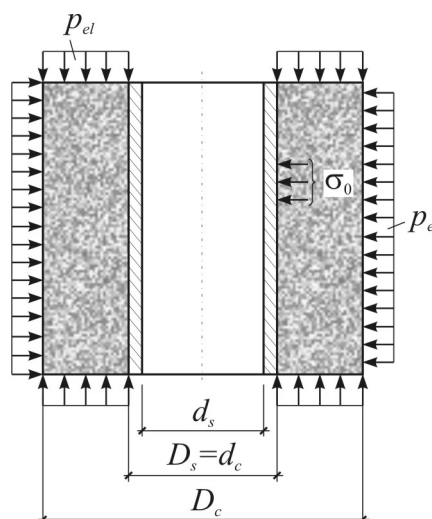


Рис. 1. Действие монтажных сил на двухслойную защитную оболочку

Исходные предположки

- элемент нагружается кратковременными, статическими монтажными силами;
- стальной (внутренний) слой подчиняется линейному критерию текучести;
- бетонный (наружный) слой подчиняется линеаризованному критерию прочности;

Лукша Леонид Константинович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки БССР.