

УДК 624

**ПРОБЛЕМЫ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ  
ЗДАНИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ  
И ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ**

*Соискатель А.Н. Дусткараев БухИУПР,  
к.т.н. доц. Н.А. Дускараев БухИУПР, к.т.н. (PhD)  
и.о. доц. Т.О. Жураев БухИУПР*

**Аннотация:** Проведен анализ причин аварий зданий и сооружений и их обрушений в Средней Азии. Сделан обзор и постановка задач прогрессирующего разрушения, подходов к ним и их решению. Выделены особые сочетания воздействий при чрезвычайных ситуациях, учитываемые при расчете зданий на устойчивость против прогрессирующего разрушения. Сделан обзор методов оценки живучести объектов при различных воздействиях. Проведены классификации задач прогрессирующего разрушения объектов по причинам разрушения в зависимости от воздействий и по типу разрушений. Определены уровни как требований к задачам прогрессирующего разрушения, так и состояний зданий и сооружений в процессе последовательного разрушения.

**Ключевые слова:** прогрессирующее разрушение, использование некачественных материалов, нарушение условий, правил эксплуатации, нормы проектирования, аварии, особые воздействия.

**Введение.** Проблема обеспечения безопасности зданий и сооружений стала особенно актуальной в последние годы. Аварии объектов капитального строительства приводят к существенным экономическим потерям и человеческим жертвам [1,2,3,4].

Аварийные разрушения зданий и сооружений происходят как в России, так и в других странах. За период с 1981 года по 2003 год установлено, что 85% аварий от общего количества приходится на эксплуатируемые здания и сооружения [5]. Основными причинами аварий, как показывает анализ [1], являются грубейшие нарушения правил технической эксплуатации зданий и сооружений (по данным компании ВЕЛД – 26% за 1993 – 2008 годы).

Наиболее вероятными причинами этих разрушений являются:

- недостатки и ошибки проектных решений;
- нарушение технологии изготовления конструкций и низкое качество выполнения строительно-монтажных работ при возведении зданий и сооружений;
- использование некачественных материалов;
- нарушение условий транспортировки и хранения;
- упрощения и нарушения правил эксплуатации сооружения;
- недостатки норм проектирования, правил изготовления и монтажа конструкций;
- локальное аварийное воздействие.

Перечень используемых строительных конструкций, так же как и перечни строительных материалов и действующих нагрузок весьма разнообразны.

Например, особенностями эксплуатации зданий промышленного назначения с металлическими конструкциями являются:

- широкий диапазон температурных воздействий с неравномерным распределением в пространстве и по времени от -60°C до 300°C и выше;
- малоцикловые нагрузки (40–120 циклов/сутки), приводящие к появлению многочисленных трещин усталостного характера;
- механическая и физико-химическая неоднородность в зоне сварных соединений.

Зафиксирован ряд аварий и обрушений сборных железобетонных связевых каркасных зданий от воздействий, не предусмотренных нормативной документацией (террористические акты, бытовые взрывы, пожары, механические удаления опор при наезде автотранспорта и т. д.), которые требуют изменения расчетной схемы сооружения, иначе на практике возможно лавинообразное обрушение, которое называется прогрессирующим.

Наиболее опасными с точки зрения прогрессирующего обрушения являются конструкции большепролетных и высотных (уникальных) систем вследствие отказа конструктивных элементов – опорного контура висячих или выпуклых оболочек, несущих пилонов или колонн высотного здания, подвесок вантовых систем и т. д.

В большинстве случаев катастрофические ситуации становятся результатом комплекса ошибок, в ряду которых первое место занимают просчеты проектировщиков. Поэтому особо следует обратить внимание на недостатки проектных решений отдельных зданий и сооружений, которые в совокупности с низким качеством строительно-монтажных работ могут привести к обрушениям: недостаточное обеспечение пространственной жесткости и устойчивости полнособорных зданий как в процессе монтажа, так и при их эксплуатации; неправильный учет действующих на системы нагрузок и других силовых воздействий; ошибки в расчетах конструкций; изменения проектных решений в процессе строительства; недостаточная проработка отдельных узлов, стыков сопряжений несущих конструкций; отсутствие в проектах указаний о мерах по обеспечению устойчивости конструкций при строительстве зданий на просадочных грунтах и др.

Порой, к обрушению сооружений приводит применение новых конструкций без ясного представления об их работе в процессе возведения и эксплуатации, без должной изученности и экспериментальной проверки. Так, недостаточная жесткость и устойчивость монолитного щедового покрытия, обладающего к тому же свойством последовательного разрушения при потере устойчивости отдельного щеда, в совокупности с нарушениями в процессе производства работ приводят к его обрушению.

Имели место обрушения подкрановых балок в связи с усталостью металла и недостаточным учетом горизонтальных нагрузок от мостовых кранов; обрушение силосов для хранения сыпучих материалов (цемента, зерна) вследствие недостаточной изученности силовых воздействий на стенки силосов; обрушение стальных резервуаров для воды и нефтепродуктов, вызванное неудовлетворительным качеством сварных швов и недостаточным исследованием

работы тонкостенных оболочек; обрушение стальных конструкций конвейерных галерей вследствие недостаточной изученности явлений хрупкого разрушения металла; обрушение железобетонного монолитного шедового покрытия из-за отсутствия своевременной экспериментальной проверки этих конструкций.

Имели случаи деформации инженерных сооружений вследствие грубых дефектов, допущенных при проектировании. Примером может служить авария на складе влажного концентрата горно-обогатительного комбината: вследствие игнорирования законов строительной механики и требований строительных норм и правил по расчету основания штабеля концентрата и фундаментов несущих конструкций на устойчивость.

В настоящее время разработаны АО УзЛИТТИ им. Х.Асамова (доктора техн. наук В.А.Ржевский, И.Ф.Ципенюк (руководители темы), кандидат технических наук Ш.А.Хакимов - ответственный исполнитель темы, кандидаты технических наук Асамов Ю.А. Гамбург, А-М. Камилов, Р.С.Ибрагимов, К.А. Плахтий, С.Т. Узлов, В.Н.Филявич, инженеры Л.А. Мухамедшин, ИМиССАН РУз (академик Т.Р.Рашидов АН РУз - руководитель раздела 4, доктор техн. наук Г.Х.Хожметов ответственный исполнитель раздела 4, академик Я.Н. Мубараков, доктора техн. наук В.Т.Рассказовский, И.Х.Алиев, кандидаты техн. наук В.А. Омельяненко, З.Р. Тешабаев, А.Юсупов); ИС АН РУз (доктор физ.-мат. наук Т.У. Артыков, канд. геол. минер. наук В.А.Исмаилов. рекомендации по защите кирпичных, каркасных и монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения, которые используются в практике расчета и проектирования строительных конструкций. Однако, изложенная в рекомендациях методика не учитывает причины выхода из строя отдельных элементов, динамический характер воздействий, нелинейность процесса деформирования сооружений.

**Основная часть.** В практике строительства имеют место аварии из-за дефектов инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий: недостаточной полноты исследований, что приводит к неполноценным проектным решениям фундаментов зданий и сооружений; недостаточного учета влияния подземных коммуникаций, расположенных вблизи строящихся зданий и др.

Обрушаются конструкции, а порой здания и сооружения в процессе эксплуатации в результате перенапряжения несущих конструкций и их элементов из-за установки дополнительного оборудования, не предусмотренного технологическим проектом, замены одного оборудования другим с большими динамическими нагрузками, дополнительной пробивки отверстий и борозд в конструкциях. Дефекты возникают также вследствие значительной вибрации оборудования.

Большое число обрушений покрытий производственных зданий произошло из-за скопления на кровлях значительного количества пыли, особенно цементной, и несвоевременной ее уборки в процессе эксплуатации (утяжеление конструкций).

Что касается расчетной части, то без четкого представления о работе конструкции увлечения компьютерными расчетами провоцируют появление

грубых ошибок в проектах.

Сложные конструктивные системы рассматриваются без учета физической и геометрической нелинейности, в железобетонных элементах не принимаются во внимание нарастание прогибов от влияния длительной ползучести бетона и образование трещин от вибрационной нагрузки.

Динамические характеристики сооружений не выявляются, хотя в ряде случаев только динамическими расчетами можно выявить недостатки выбранных расчетных схем. В Узбекистане, начиная с 80-х годов, Стругацким Ю.Н. (МНИИТЭП) были начаты работы по разработке рекомендаций по защите крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения. Существующие нормативные методики расчета опираются на рекомендации по защите жилых зданий стеновых конструктивных систем, жилых каркасных зданий, монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения [6–7]. В 1976 году в поселке газовиков Газли в Западном Узбекистане произошло два сильных землетрясения с интервалом в 40 дней. В первый раз район примерно в 100 км от Бухары тряхнуло 8 апреля. Сила подземных толчков составила 8-9 баллов. В результате землетрясения почти все здания Газли оказались частично разрушены. Не обошлось без жертв. Уцелевших людей переселили в палатки рядом с их же домами. Детей по решению руководства Узбекской ССР вывезли в Бухару.

В то время в Газли проживали около 13 тыс. человек. Основную часть населения составляли работники газодобывающей промышленности: Газлинское месторождение газа считалось крупнейшим в мире. Жилой фонд поселка состоял из двух- и трехэтажных строений из сырцового кирпича. Пустыня Центральный Кызылкум считалась слабо активной в сейсмическом отношении, поэтому здания возводились без учета сейсмичности.

За два-три дня до нового землетрясения животные Газли начали проявлять тревогу. Собаки и кошки массово покидали поселок и уходили в противоположную от эпицентра сторону. Тогда никто не обратил внимания на их поведение. Позднее один из местных пастухов рассказывал, что его осел вдруг перестал его слушаться, распластался на земле и не хотел двигаться [Сейсмический эффект в эпицентре достиг 9-10 баллов по 12-балльной шкале. Очаговая область землетрясения располагалась на глубине 20-25 км. При этом прибывшим из Москвы сейсмологам удалось впервые в мировой сейсмологической практике зарегистрировать ускорения смещения грунта, превысившие ускорение силы тяжести. [8,9,10,11,12].

Для обеспечения устойчивости каркасных зданий рамной конструктивной схемы из монолитного, сборного и сборно-монолитного железобетона применяются рамные узлы сопряжения колонн с ригелями или плитами перекрытия для безбалочных систем. При удалении колонны или опоры верхняя и нижняя арматуры сопряжения воспринимают возникающие усилия и предотвращают прогрессирующее обрушение. Горизонтальные соединения несущих элементов сборных связевых каркасов предназначены для восприятия нагрузок при монтаже и ветре. Поэтому в таких конструкциях необходимы конструктивные схемы, трансформирующие их в рамную или рамно-связевую

расчетную схему каркаса.

- неопределенность и большую изменчивость внешних воздействий;
- сложности в постановке задачи расчета;
- нелинейную сущность задачи расчета;
- необходимость учета динамического эффекта.

#### *Подходы к решению задач прогрессирующего разрушения:*

Линейно статический расчет: упругий расчет; метод предельного равновесия. Нелинейно статический расчет: физически нелинейный расчет; геометрически нелинейный расчет; физически и геометрически нелинейный расчет. Нелинейно динамический расчет.

#### *Линейно статический упругий расчет:*

1. Нагрузка, ассоциированная с отказавшим элементом  $g = 2(g_{\text{пост}} + 0,25 g_{\text{врем}})$

Критерии отказа сечений элемента *k-demand-capacity ratio (DCR)*

$$k = \frac{Q}{Q_{\text{пр}}},$$

где  $Q$  – действующее усилие;  $Q_{\text{пр}}$  – предельное усилие, воспринимаемое сечением.

Нормативные значения –  $k = 1 \dots 2$

2. Нагрузка, ассоциированная с отказавшим элементом

$$g = g_{\text{пост}} + 0,5 g_{\text{врем}} + 0,2 g_{\text{ветр}}$$

В результате дальнейших отказов элементов при перераспределении нагрузки ее величина удваивается (динамический эффект). Критерием локализации разрушения является условие  $S \leq 70 \text{ м}^2$  и  $S \leq 0,15 * S_{\text{этажа}}$

По методике GSA:

при отказе крайней колонны  $S = 70 \text{ м}^2$ ;

при отказе средней колонны  $S = 140 \text{ м}^2$ .

3. Возможные критерии прогрессирующего обрушения А. Ограничение, предложенное проф. Я.М. Айзенбергом для сейсмостойкого строительства

$$\alpha \leq \frac{N}{N_{\text{пр}}}$$

$N$  – вертикальная нагрузка на конструкцию;

$N_{\text{пр}}$  – несущая способность конструкции на вертикальную нагрузку. Б. Интегральные деформационные критерии:

- относительное горизонтальное смещение этажей;
- максимальное вертикальное перемещение конструкций над отказавшим элементом.

#### *Нелинейно статический расчет*

Методы решения задач при нелинейно статическом расчете

- 1- Первая группа – это итерационные численные методы, связанные с определением предельной точки  $B$  на кривой равновесных состояний  $P = P(\eta)$  (рис. 1).

- 2- Вторая группа – это приближенные методы, позволяющие

определять значения параметра предельной нагрузки на раму  $P_u$ , например:

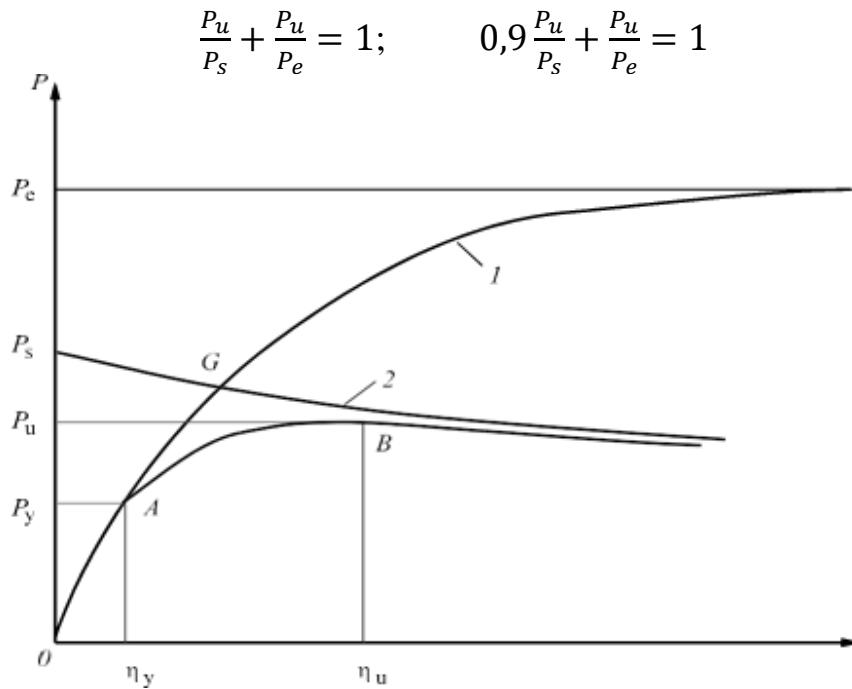


Рис 1. Диаграммы состояний равновесия рамы, выполненной из различных материалов:

1 – кривая равновесных состояний рамы из неограниченно линейно упругого материала; 2 – кривая равновесных состояний рамы из жесткопластического материала;

$P_u$  – искомый параметр предельной нагрузки на раму;

$P_s$  – параметр предельной нагрузки для рамы из жесткопластического материала;

$P_e$  – параметр критической нагрузки для рамы из линейно упругого материала.

#### **Расчет по методу предельного равновесия**

Решение сводится к задаче линейного программирования

$$\begin{aligned}
 F_0 &\rightarrow \max; \\
 [E]\{M\} &\leq \{M_0\} \\
 [E]\{M\} &\leq \{M_0\}; \\
 \{\eta\} - [A]\{M\} &= 0 \\
 \\ 
 \{M_0\}^T (\{\dot{\theta}^+\} + \{\dot{\theta}^-\}) &\rightarrow \min; \\
 [E]\{\dot{\theta}^+\} - \{\dot{\theta}^-\} - [A]^T\{\dot{u}\} &= 0; \\
 \{\eta\}\{\dot{u}\} &= 1; \\
 \{\dot{\theta}^+\} &\geq 0; \{\dot{\theta}^-\} \geq 0.
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \text{-Статическая формулировка} \\ \text{-Кинематическая формулировка} \end{array} \right\}$$

Существующая нормативная методика МГСН основана на кинематической теореме предельного равновесия: *из всех возможных механизмов разрушения*

действительным является тот, для которого параметр предельной нагрузки имеет минимальное значение.

Рассмотрев все возможные механизмы разрушения и составив для них выражение суммы работ внешних и внутренних сил на возможных перемещениях  $\sum_{i=1}^n P_i \Delta_i - \sum_{j=1}^m S_j e_j = 0$ , находится значение предельной нагрузки, что идет в запас прочности.

К недостаткам вышеперечисленных подходов при упругом расчете можно отнести неучет перераспределения усилий в элементах, пластических свойств материала (нелинейная работа материала), работы мембранный группы усилий. При нелинейном расчете возникают проблемы, связанные с неустойчивостью методов при величине нагрузки близкой к предельной (особенно при одновременном учете физической и геометрической нелинейностей); недостаточной мощностью вычислительной техники; чувствительностью решения к граничным условиям, диаграмме работы материалов, выбранному шагу и т.д. При расчете методом предельного равновесия к недостаткам следует отнести неучет продольных усилий в элементах, работы мембранный группы усилий (работа перекрытия как висячей конструкции), неопределенность деформаций и перемещений (определенны скорости деформаций и перемещений); неучет опасности потери устойчивости элементами (например, нагруженные стойки, стены, пилоны нижних этажей многоэтажных зданий).

В итоге получается завышенное (не в запас) значение предельной нагрузки на здание или сооружение. Погрешность возрастает с увеличением количества этажей.

К достоинствам подходов при упругом расчете следует отнести простоту, прозрачность, применение уже хорошо апробированных программных комплексов и сертифицированных в части проведения статических линейных упругих расчетов. Нелинейный подход к решению задачи позволяет построить наиболее достоверную модель поведения конструкции, обладает большей универсальностью, применим при расчете любых типов конструкций, рекомендуется в качестве альтернативного в нормативных документах многих стран. При расчете методом предельного равновесия к достоинствам следует отнести простоту метода, удобство в использовании при расчете панельных зданий, применение методики в отечественных нормах, как единственной и до конца проработанной и целостной.

На основе обобщения зарубежных норм и изучения отечественного опыта сопротивления аварийным воздействиям в работах [13] сформулированы методы противодействия прогрессирующего разрушения. Это:

1. *Снижение уровня риска.* (прямой расчет –риска;; коэффициенты обеспеченности больше 1; дифференцированная надежность); Эффективный, но чрезмерно расходный путь. Основной недостаток – метод дает необходимый, но не достаточный результат – удаление элемента приводит к изменению расчетной схемы, на что метод снижения риска не реагирует.

2. *Увеличение «лишних» неизвестных в каркасе.* (применение более надежных конструктивных схем –дублирование); Этот путь – создание избыточной статической неопределенности и частая расстановка колонн, не

современен и противоречит тенденциям в архитектуре. Но, в некоторых случаях, он является решением проблемы безопасности и может оказаться весьма эффективным при проектировании большепролетных систем с решетчатыми конструкциями.

3. *Расчетно-конструктивные «ответы» на возможные повреждения.* Этот метод предусматривает проектирование систем, способных сопротивляться эксплуатационным и аварийным воздействиям при изменениях расчетной и конструктивной схемы после локального повреждения.

4. Преимущество того или иного направления, в первую очередь, оценивается экономическими показателями: это соотношение затрат на усиление конструкций и потерь, вызванных аварией.

Возможны три уровня требований и, соответственно, три варианта решения проблемы:

- сооружение после аварийного воздействия не получает повреждений запределами локального участка;
- сооружение после аварийного воздействия сохраняет несущую способность, становится непригодным к нормальной эксплуатации;
- сооружение после аварийного воздействия не пригодно к эксплуатации, но сохраняет свою форму настолько, чтобы люди могли безопасно его покинуть.

В соответствии с этим, состояние зданий и сооружений получили классификацию по следующим уровням разрушения:

- 1 уровень – отдельных конструктивных элементов здания.
- 2 уровень – характерных групп конструктивных элементов здания.
- 3 уровень – пространственной системы из нескольких характерных групп конструктивных элементов.

4 уровень - здания в целом как объекта, состоящего из нескольких характерных групп конструктивных элементов пространственной системы, тем или иным способом связанных друг с другом.

Расчеты на особые сочетания нагрузок включают постоянные и временные длительные нагрузки с учетом возможных непроектных нагрузок ( особых, чрезвычайных воздействий).

Согласно рекомендаций и норм [14] при расчете на ЧС производится проверка устойчивости здания против прогрессирующего разрушения на особое сочетание воздействий, в которое включаются:

- *постоянные нагрузки – А* (вес несущих и ограждающих конструкций);
- *временные длительные нагрузки – Б* (вес временных перегородок, вес стационарного оборудования, вес складируемых материалов, пониженное значение нагрузок от людей, пониженное значение снеговой нагрузки);
- *особые нагрузки – В* (сейсмическое воздействие; взрывные воздействия – например, внутренний взрыв газо-воздушной смеси, способен вызвать разрушение капитальной стены, перекрытия над или под очагом взрыва, при этом, интенсивность дополнительного воздействия на элемент перекрытия в соответствии равна  $34 \text{ кН}/\text{м}^2$ ); удаление несущей колонны (участка стены) любого этажа в результате контактного взрыва; удар транспортного средства о колонну (стену) 1-го и подземных этажей с паркингами и проездами к ним силой 3,5 т на

высоте 1 м от уровня пола; нагрузки от карстовых и просадочных явлений, к примеру, карстовая воронка диаметром 6 м, неравномерная осадка основания;

- дополнительные усилия (как нагрузки) возникающие в процессе локальных разрушений, например, одно из гипотетических воздействий (утрата колонны или участка стены), горизонтальная нагрузка на вертикальные несущие элементы 3,5 т для стержневых и 1т/м<sup>2</sup> – для пластинчатых элементов; расчет перекрытия от обрушения перекрытия вышележащего этажа площадью до 80 м<sup>2</sup> с коэффициентом динамичности 1,5 в соответствии с;

- кратковременные нагрузки, которые следует учитывать в высотных зданиях (от аварийно-спасательной кабины пожарного вертолета на покрытие, от транспортных средств, в том числе пожарного автотранспорта на покрытия стилобатных и подземных частей здания).

Постоянные и длительные нагрузки принимаются с учетом уточнений, отражающих специфику высотных зданий. Формула особого сочетания нагрузок при аварийном воздействии имеет вид [15]:

$$\gamma_f(A + 0,95 * Б + В), \quad (1)$$

где:  $A$ ,  $Б$  и  $В$  – нормативные значения нагрузок;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке ( $\gamma_f = 1$ );  $\psi_1 = 0,95$  – коэффициент для длительных нагрузок при особом сочетании нагрузок.

Важной характеристикой сооружения с точки зрения противостояния прогрессирующему обрушению является его «живучесть». «Живучесть» - это свойство конструкции частично или полностью обеспечивать ее функциональное назначение (работоспособность) при отказе отдельных конструктивных элементов, противостоять развитию критических отказов из-за дефектов и повреждений, сохраняя ограниченную работоспособность при выходе из строя некоторых конструктивных компонентов.

В то же время существующие методы для оценки живучести объектов в условиях различных воздействий:

- используют принцип единичного отказа и основаны на рассмотрении практически мгновенного разрушения одного элемента системы в произвольной точке (эти разрушения в данном случае и являются особым воздействием);

- не позволяют рассмотреть утрату несущей способности характерными группами ключевых элементов объекта в различные моменты времени особых воздействий;

- не позволяют оценить время сопротивления объекта особым воздействиям с участием пожара как основного, важнейшего фактора, определяющего уровень безопасности объекта в рассматриваемых условиях;

- не учитывают, что в нормах уже заложена возможность прогрессирующего обрушения объектов в случае распространенном и самом опасном особом воздействии при ЧС, каковым является пожар – комбинированное воздействие на конструкции рабочей нагрузки и высокой температуры пожара;

- не учитывают, что возможность прогрессирующего обрушения объекта при ЧС с участием пожара уже регламентирована в нормах в виде международного показателя «огнестойкость», как времени от начала воздействия пожара до наступления того или иного предельного состояния.

Согласно [16] и другим источникам причинами прогрессирующего разрушения могут служить такие воздействия и их комбинации, как:

1. Землетрясения большой силы.
2. Ураган.
3. Цунами.
4. Осадки и карстовые явления.
5. Пожар.
6. Взрыв (контактный, объемный).
7. Удар.
8. Взрыв +пожар.
9. Удар +пожар.
10. Взрыв +удар +пожар.
11. Удар+взрыв.
12. Удар+взрыв+пожар- (при столкновении летящих объектов).

Ярким примером необходимости учета комбинированных особых воздействий с учетом пожара является прогрессирующее обрушение зданий ВТЦ в Нью Йорке - пожар на двух этажах после удара лайнера - потеря устойчивости колоннами в зоне пожара - движение верхней зоны здания - удар верхней зоны о нижнюю - разрушение оставшейся части здания - удар верхней части здания об остатки нижней части - результат полного разрушения.

Следуя предложению У. Старосека, в работах [17], *обрушения получили классификацию по типу разрушений:*

1. Плоское или «блиничатое» разрушение. (пример – обрушение ВТЦ в Нью Йорке).
2. Прогрессирующего разрушения «молния». (пример – крушение Такомского моста в США, 1940 год,).
3. «Прогрессирующего разрушения сечения». Превращение статически неопределенной системы в статически определимую, а потом и в изменяемую, путем последовательного образования пластических шарниров в сечениях и узлах системы.
4. Прогрессирующего разрушения типа «динамо». Последовательный и безостановочный процесс движения системы с заменой положения и формы равновесия до полного крашения.
5. Прогрессирующего разрушения типа неустойчивости.( примеры – крушения стальных ферм, оболочек покрытия, резервуаров и других тонкостенных пространственных систем,).
6. Прогрессирующего разрушения смешанного типа. Неоднородность формирования структур подсистем полной схемы сооружения. Реальные случаи прогрессирующего разрушения одновременно или последовательно включают один или несколько предыдущих типов.

В частности, авария покрытия аквапарка «Трансвааль» имела последовательную цепь событий, которая и подобные ей содержат несколько типов прогрессирующего разрушения: хрупкое разрушение по сварке или по телу «блумса», выполненного из твердой стали марки «СтальЗО», не рекомендуемой для строительных конструкций; выпадение колонны,

утратившей связь с опорным контуром монолитной железобетонной оболочкой; дальнейшая горизонтальная деформация контурного пояса, лишенного горизонтальной жесткости опорного контура; нелинейные вертикальные деформации оболочки, достигающие 400 - 750 мм, обрушившие большую часть поля оболочки.

**Выводы.** В заключении следует отметить, что все рассмотренные подходы, применяемые к расчету на прогрессирующее обрушение, имеют определенные достоинства и недостатки, а также свою область применения. В области расчета большепролетных сооружений имеется лишь один документ - «Рекомендации по снижению опасности (предотвращению) аварийных воздействий и лавинообразного (прогрессирующего) обрушения для большепролетных зданий», разработанных в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, где даны положения общего характера относительно оценки устойчивости пространственных конструкций к прогрессирующему разрушению.

#### Литературы:

1. Предотвращение аварий зданий и сооружений /Под ред. К.И. Еремина// Сборник научных трудов, выпуск 8. – М.: 2009. – 560 с.
2. Письмо Госстроя России от 05.04.1999 г. № БЕ-1080/19 «О мерах по предотвращению аварий на строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях».
3. Теличенко В.И. Концепция законодательного обеспечения безопасности среды жизнедеятельности: Труды общего собрания РААСН, 2006. В 2 т. – СПб., Т.1. С.236- 241.
4. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. — М.: «НИАЦ», 2005.
5. Отчет «Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 2003 году»/Общероссийский общественный фонд «За качество строительства»//Москва, 2004.
6. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
7. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения (МНИИТЭП) – 2006 г.
8. Cliff Frohlich, Scott D. Davis: *Texas earthquakes*. University of Texas Press, 2003. — 75 с. — ISBN 0292725515.
9. 1976-1990 Архивная копия от 5 июля 2009 на Wayback Machine.
10. Разрушительные землетрясения XX века.
11. Дождётся ли Земля реальной программы своего спасения. Дата обращения: 5 октября 2015. Архивировано 7 января 2022 года.
12. <https://kun.uz/ru/news/2024/04/12/silnogo-zemletryaseniya> на territorii uzbekistana v blijaysheye vremya ne ojidayetsya ekspert].
13. Алмазов В. О. Проблемы прогрессирующего разрушения строительных объектов. // Межотраслевой альманах «Деловая слава России» IV выпуск 2008 г. Стр. 74 - 77.

14. Алмазов В. О. Железобетонные каркасы без прогрессирующего разрушения. Москва МГСУ. 2007 г.
15. Алмазов В. О. Сопротивление прогрессирующему разрушению: Расчетные и конструктивные мероприятия. Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений» (свидетельство Эл №ФС 77-35253 от 16.02.2009 г.)// Сб. научн. статей под ред. д.т.н., профессора Еремина К.И., ООО «ВЕЛД», 2009.
16. Еремеев П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных сооружений. «Строительная механика и расчет сооружений». №1, 2005. с.
17. Еремеев П.Г. Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролетных сооружений при аварийных воздействиях. – Строительная механика и расчет сооружений № 2, 2006 с. 65 – 72.
18. Safarov N.M. M. Kabulov Matematical model of the process of vertical drying of raw cotton in the hot airflow. The Elektrochemikal Society 234rd ECS Meeting with SOFC –XVIII Boston, MA \*May 28-june 2, 2023 Abstract Submission Extended Deadline: December 16. ETESD 2022 IOP Publishing IOP Conf. Series. Earth and Environmental Science <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2388/1/012028>.
19. Nazirjon Safarov, Akbar Abrorov, and Laziz Abdullaev Dynamik analisis of physical and mechanical forces of acting on the needle of a shoe sewing mashine in the process of sewing leather. AAPM-2023 Journal of Phvsics: Conference Series. 2573 012036 View the article online for updates and enhancements 244<sup>th</sup> ECS Meeting Gothenburg, Sweden. Oct.8-12.2023 Register and join us in advancing science 2573(2023) 012036 doi 10.1099/1742-6596/2573/1/012036.
20. Nazirjon Safarov, Ilkhomjon Mirsultonov, Abduvali Majidov. Calculation of change of stock moisture content of the drying agent in the process of drying raw cotton in solar drying equipment. The Elektrochemikal Society 234rd ECS Meeting with SOFC –XVIII Boston, MA \*May 28-june 2, 2023 Abstract Submission Extended Deadiine: December 16. ETESD 2022 IOP Publishing IOP Conf. Series. Earth and Environmental Science 1112(2022)012125. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1112/1/012125>