

4. ДБН В. 1.2 – 2:2006. Нагрузки и воздействия / Минстрой Украины.
5. СНиП 2.03.11 – 85. Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП, 1986. – 48 с.
6. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А.С. Залесов, Э.Н. Кодыш, Л.Л. Лемыш, И.К. Никитин. – М.: Стройиздат, 1988. – 220 с.
7. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
8. Габрусенко В.В. К расчету железобетонных изгибаемых элементов на поперечную силу // Известия вузов. Строительство, 1994. - № 5,6. – С. 115-117.
9. Маклакова Т.Г. Архитектура гражданских и промышленных зданий : Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1981. – 368 с.

УДК 624.21.01

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**Завадская Т.А., студентка гр. ПГС-306, Ажермачёв С.Г., к.т.н., доцент  
Национальная академия природоохранного и курортного строительства**

**Рассматриваются подходы к оценке безопасности и надежности зданий и сооружений. Проведен анализ причин возникновения аварийных ситуаций. Приводятся меры по предотвращению разрушения конструкций.**

Надежность, безопасность, риск, экстремальные воздействия, расчетная схема, конструктивный элемент, запредельное состояние, несущая способность.

Проблема безопасности и экономичности зданий и сооружений относится к числу основных проблем, выдвинутых на первый план непрерывно увеличивающимся объемом строительства. В динамически развивающейся городской среде, характеризующейся ростом техногенных нагрузок на строительные объекты, достоверная информация о величине риска зданий и сооружений является необходимым условием устойчивого развития мегаполиса.

Вопросы обеспечения безопасности строительных проектов являются в настоящее время одними из наиболее актуальных и важнейших задач государственной политики в области национальной безопасности. Механизмом практической реализации такой политики должна стать система управления проектными рисками на всех стадиях жизненного цикла проекта.

Использование в строительстве методики нормирования, основанной на коэффициентах надежности, теоретически обеспечивает безопасность строительных конструкций. Однако опыт эксплуатации конструкций показывает, что надежность является необходимым, но не достаточным условием безопасности.

Конструкции зданий и сооружений первой категории ответственности рассчитываются с учетом таких экстремальных природных воздействий как максимальное расчетное землетрясение; ураганы; экстремальные ветровые, снеговые нагрузки. Помимо того, учитываются воздействия, вызываемые деятельностью человека: максимальная проектная авария, падение на здание самолета, воздушная ударная волна при взрыве твердых веществ или газопаровоздушных смесей внутри здания или за ее пределами (рис.1).

Другой способ применяется, когда может быть установлена вероятность реализации событий. В некоторых странах достаточно «осторожным» значением считается величина  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup> на одно здание. Другой уровень вероятности, начиная с которого событие обязательно должно учитываться, является проектная вероятность. Обычно она примерно на порядок больше, чем отобранный уровень. Если вероятность реализации лежит между ними, то решение о необходимости учета данного события принимает регулирующий

орган, (как нам представляется в общей системе управления проектом – это Управляющая компания, специализирующаяся, в частности, на риск-менеджменте) на основе оценки общей вероятности последовательности событий, с учетом всех видов риска, связанного с возможными экстремальными событиями (как внутренними, так и внешними).

В последнее время актуальными стали вопросы стойкости многоэтажных зданий прогрессирующему обрушению. Специалисты ряда известных научно-исследовательских учреждений на протяжении нескольких десятилетий активно занимаются проблематикой подобных вопросов и разработан ряд рекомендаций по защите различных жилых зданий при чрезвычайных ситуациях. Очевидно, что выполнение этих рекомендаций требует материальных вложений, в большей или меньшей степени удорожающих стоимость строительства. При этом часто неизвестна пропорция «доза-эффект».



Рис.1. Взрыв газопаровоздушных смесей внутри здания

Принято, что для каждого строительного объекта существует вероятность возникновения аварийных воздействий и их различных сочетаний. Анализ, проведенный в данном направлении, показал, что основными причинами этого является:

- отсутствие нормативно-технической базы анализа и оценки риска;
- усложнение технических систем и, как следствие, увеличение количества отказов;
- упрощенный подход к безопасности при проектировании, реконструкции, что не соответствует современным требованиям;
- неэффективная методика реагирования на чрезвычайные ситуации, сводящаяся, в основном, к ликвидации последствий, а не к профилактике и предупреждений;
- увеличение числа особых динамических воздействий и т.п.

Только методами анализа риска на основе использовании ряда принципов можно выбрать рациональные меры защиты:

1. Принцип обоснования;
2. Принцип оптимизации;
3. Принцип избирательности;
4. Принцип достаточности;

5. Принцип эффективности;
6. Принцип оправданного риска.

Прогнозирование безопасности сооружений заключается в определении зоны риска и скорости ее роста до допустимой величины, установленного для каждого конкретного случая.

Ключевым вопросом является выбор нормативных значений для показателей риска и безопасности объектов различного назначения. Это — трудная техническая и социально-экономическая задача, для решения которой в настоящее время предлагаются различные подходы.

Для объектов с неэкономической ответственностью (многофункциональные высотные здания, ответственные инженерные и другие уникальные сооружения) предложены значения приемлемого риска порядка  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  год<sup>-1</sup>. Нормативный риск ( $10^{-6}$ - $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>). Оптимизационные подходы к назначению показателей уровня риска применяют как в форме оптимизационных критериев, так и в форме оценки "платы за спасение одной человеческой жизни".

Обрушение сооружений может происходить по двум схемам: либо с постепенным накоплением напряжений и деформаций и последующим обрушением несущих конструкций, либо быстро (прогрессирующее обрушение) при возможно даже кратковременном, но существенном перегрузе важного несущего элемента конструкций, при разрушении которого и возможно последующее прогрессирующее обрушение.

При первом способе обрушения, как показывает многолетний опыт обследований и мониторинга зданий и сооружений, нет необходимости вести непрерывный контроль деформаций конструкций, достаточно его вести регулярно периодически, что и заложено в разрабатываемые нормы многофункциональных зданий.

Защитой от второго способа обрушения может быть надежный расчет несущих элементов конструкций только на основе риск-анализа и разработка



Рис. 2. Разрушение многоэтажного каркасного здания соответствующих конструктивных мероприятий, обеспечивающих недопустимость прогрессирующего обрушения, поскольку при такой схеме обрушения не могут помочь какие-либо системы контроля деформаций строительных конструкций, так как если процесс начался, то в силу его скоротечности равносильной взрыву даже предварительное обнаружение не дает возможности предпринять какие-либо предотвращения или спасения людей и оборудования.

Существующие подходы по оценке живучести высотных зданий рассчитаны лишь на отдельные воздействия, но обычно всегда происходит комбинированное воздействие. В ряде случаев они могут приводить к возникновению гораздо опасных эффектов, чем просто суммарный эффект от нескольких воздействий (пример обрушения зданий-близнецов в Нью-Йорке 11 сентября 2001 года).

Катастрофическое воздействие может вызывать принципиальное изменение расчетной схемы сооружения и, одновременно с этим – работу конструктивных элементов в запредельном состоянии, не предусмотренном действующими нормативами.

Современное проектирование основано на принципе равнонадежности всех конструктивных элементов здания. Очевидно, что такой подход в задачах жизнеобеспечения неприемлем. Понятно также, что детерминистический подход к подобным задачам также неприемлем. Возможен лишь вероятностный подход, в котором вероятность разрушения каждого элемента дифференцирована и назначена в зависимости от ожидаемых последствий.

Для количественной оценки риска конструктивных элементов и сооружения в целом целесообразно ранжирование форм и последствий разрушения.

С помощью известных путей и методов можно приблизиться к решению этой задачи. Для этого нужно уточнять нагрузки, обоснованно повышать коэффициенты безопасности, совершенствовать методы расчета.

Так как ущербы, возникающие вследствие отказов имеют стоимостное выражение, нами даны решения вероятностно-оптимизационной задачи определения максимума целевой функции полезности конструкции и коэффициенты экономической ответственности в зависимости от уровня риска. При таком подходе возможно при задании уровня риска определить ответственность любой конструкции, его, значимость, весомость и вклад в общую безопасность.

Следует отметить, что живучесть является одной из форм проявления безопасности.

Монолитные железобетонные конструкции в силу многих причин обладают достаточным запасом «живучести». Одной из причин этого является значительный запас за пределом несущей способности, предельных прогибов и углов поворотов.

Фундаментальные представления о резервах несущих конструкций, в частности, железобетонных, содержатся в нормативах гражданской обороны.

При ЧС природного и техногенного характера задача сохранения эксплуатационных качеств сооружения часто оказывается нереальной. С другой стороны, монолитные железобетонные конструкции, после преодоления 2-й и 1-й групп предельных состояний при прогибах по 1/2 метра и более и при трещинах с раскрытием по 5-10 см, могут сохранить объемы помещений, при этом перекрытия не сходят с опор, колонны и стены не теряют устойчивости, конструкции не «складываются». Все это означает, что у людей сохраняется шанс выжить.

Наблюдения за конструкциями неоднократно показывали, что нередко они обладают значительным резервом несущей способности по сравнению с тем, что прогнозируют расчеты. Хорошо изучены резервы, обеспечиваемые пластическими свойствами арматуры и бетона. Особенно интересно поведение мягких арматурных сталей. В расчетах, как правило, используется только 70% резерва прочности такой арматуры и 5% резерва деформативности.

На этом подходе основаны предложения о расчетах сопротивления прогрессирующему разрушению. Решение основано на предположении, что после раздробления бетона балки хорошо заанкеренная арматура продолжает и за пределом текучести работать как гибкая нить.

В многоэтажном каркасе (рис.2) при потере несущей способности отдельных колонн происходит перераспределение нагрузки на оставшиеся колонны: в каждом ярусе и в колоннах, расположенных над удаленной, остается только нагрузка от их собственного веса. Соответственно, нагрузка на оставшиеся колонны возрастает. Очевидно, что

распределение нагрузки между колоннами отличается от распределения, полученного «по площадям».

Расчеты показывают, что и плоская и пространственная модели 2-х пролетного многоэтажного каркаса способны удержать систему от прогрессирующего разрушения после превращения перекрытия над разрушенной колонной в висячую систему.

Дальнейшее исследование этого вопроса позволяет утверждать, что необходимо последовательное изучение моделей многоэтажных монолитных каркасов на основе разработки сценарных воздействий при удалении одного из вертикальных несущих элементов с целью уточнения НДС в плитах перекрытий, колоннах и стенах при росте числа этажей.

Необходимо производить динамический расчет конструкций зданий от прогрессирующего обрушения при аварийных ударных и взрывных воздействиях.

Эффект действия динамических нагрузок на строительные конструкции должен оцениваться на всех этапах их деформирования вплоть до разрушения.

Общее условие расчёта в локальных зонах конструкции вантовой системы определяет предельный провис ванта из условия достижения предельной деформации стали.

При проектировании и возведении монолитных железобетонных каркасов зданий и сооружений с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению помимо возможного увеличения сечений бетона и арматуры, необходимо, чтобы было обеспечено сохранение расчетных схем не только до достижения предельного состояния по несущей способности. Требуется, чтобы как в стадии предельного равновесия, так и в стадии запредельного сопротивления сохранялась возможность достижения арматурой предельных деформаций и предельного сопротивления.

Специалистами разработаны конструктивные мероприятия, обеспечивающие сопротивление поврежденного каркаса при различных сценариях выхода из строя несущих конструкций.

## **ВЫВОДЫ**

1. Предлагаемые меры по предотвращению прогрессирующего разрушения развивают и конкретизируют задачи, позволяя на основании надежных гипотез обеспечить достижение гарантированной безопасности при минимальных затратах.

2. Для обоснования существующих методик обеспечения устойчивости элементов зданий против прогрессирующего обрушения необходимо проведение экспериментальных исследований, как на моделях, так и на крупномасштабных фрагментах зданий.

3. Безопасно-ориентированные расчеты и подходы предполагают значительный экономический эффект, так как ориентированы на снижение ущерба от аварий и катастроф, критериев экономической эффективности, внедрение новых безопасных технологий, повышение инвестиционной привлекательности и безопасности проекта.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. - М.: Высшая школа, 1991. - 288с.

2. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. - М.: Высшая школа, 1987. - 528 с

3. Коллинз Д. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. - М.: Мир, 1984. - 624 с.

4. Грассник А., Грюн Э., Фикс В. и др. Предупреждение дефектов в строительстве. Защита материалов и конструкций. - М.: Стройиздат, 1989. - 216 с.

5. Гордон С.С. Прогноз долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. - 1992. - № 6. - С. 23-25.

6. Гохфельд Д.А., Черневский О.Ф. Несущая способность конструкций при повторных нагружениях. - М.: Машиностроение, 1979. - 263 с.