

05.23.01
4-342

На правах рукописи

Чебоксаров Дмитрий Владимирович

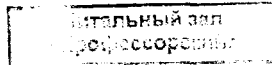
**ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность 05.23.01 – «Строительные конструкции,
здания и сооружения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2011



Работа выполнена на кафедре «Строительная механика» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор,
советник Российской академии архитектуры и
строительных наук
Мельчаков Анатолий Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
советник Российской академии архитектуры и
строительных наук
Тамразян Ашот Георгиевич

кандидат технических наук
Шматков Сергей Борисович

Ведущая организация : ООО «ВЕЛД», г. Магнитогорск

Защита состоится «19» мая 2011 г., в 16⁰⁰, на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76, Южно-Уральский государственный университет, главный корпус, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан «__» апреля 2011 г.

Отзыв на автореферат (2 экз.), заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76, ЮУрГУ, диссертационный совет ДМ 212.298.08.

Ученый секретарь
диссертационного совета

д.т.н., проф., советник РААСН

Б. Я. Трофимов

6806611

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В 2003 г. в законодательном порядке введено понятие «риск», закрепленное в качестве предмета технического регулирования. В строительной сфере основным критерием безаварийности является конструкционная безопасность. Ее показателем служит величина риска аварии, напрямую зависящая от количества и степени опасности ошибок, допущенных при создании и эксплуатации здания. По статистике в 80% случаев причиной строительных аварий являются грубые человеческие ошибки, допускаемые при проектировании, изготовлении и монтаже несущих конструкций, которые при невыгодном сочетании с непредсказуемыми внешними воздействиями становятся причинами обрушений строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений.

Обеспечить конструкционную безопасность зданий можно лишь через систему управления риском аварии на всех стадиях их жизненного цикла. Поэтому разработка методик, позволяющих определять риск аварии эксплуатируемых зданий и по величине этого риска оценивать их остаточный ресурс, является актуальной задачей и насущной потребностью строительного комплекса РФ.

В настоящее время, в Российской Федерации, существуют несколько методик оценки риска аварии. Например, методика МЧС основанная на динамической модели оценки инженерного риска обрушения зданий, методика оценки риска аварии гидротехнических сооружений Государственного комитета РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, методика оценки риска, предложенная профессором МГСУ доктором техн. наук Тамразяном А.Г. Все эти методики обладают существенным недостатком – они не в полной мере учитывают человеческие ошибки, которые являются главными рисковыми факторами. Также существующие методики ориентированы на апостериорный характер оценки риска, то есть риск оценивается на основании уже имеющихся данных о поведении зданий и авариях, эти методики ориентированы на статистику. В реальности каждое здание является уникальным объектом, и имеющиеся данные об уже построенных зданиях могут быть неполными и недостаточными. Поэтому оценку риска следует производить априорно.

Цель диссертационной работы – предложить метод оценки конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие основные задачи:

- разработать метод определения фактического риска аварии эксплуатируемого здания на конкретный момент времени его эксплуатации;
- определить значение критического риска аварии, при достижении которого эксплуатируемое здание начинает переход в недопустимое состояние;
- разработать методику оценки конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий;

Объект исследования – эксплуатируемые здания нормального уровня ответственности.

Предмет исследования – конструкционная безопасность эксплуатируемых зданий.

Теоретическая и методологическая основа исследования – системный подход с применением сравнительного анализа и сопоставления, методы теории вероятностей, теории размытых множеств и приемы нечеткой логики, методы строительной механики и методы анализа конструкций.

Эмпирическую базу диссертационного исследования составили данные статистического учета аварий зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения на территории РФ, материалы научно-практических конференций по качеству и безопасности строительной продукции, практическая деятельность кафедры “Строительная механика” ЮУрГУ и кафедры “Строительство” ЮУрГУ филиал в г. Миассе и автора в области обследования и оценки технического состояния зданий, данные, собранные из печатных изданий и электронных источников информации.

Достоверность полученных результатов обеспечивается системным характером исследований, базирующимся на общенаучной методологии, общепринятых научных теориях вероятности, надежности и математической статистики, результатами обследований эксплуатируемых зданий, а также сопоставлением теоретических результатов исследований и практических данных, показавшим удовлетворительную сходимость.

Научная новизна диссертационного исследования:

- предложена и обоснована модель закона деградации групп однотипных несущих конструкций эксплуатируемых зданий;
- предложена и обоснована модель закона деградации здания в целом;
- определены пороговые значения риска, являющиеся критерием для оценки технического состояния и безопасного остаточного ресурса здания;
- разработана методика по оценке конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий;

На защиту выносятся следующие положения

1. Интегральным показателем конструкционной безопасности эксплуатируемого здания является гистограмма распределения его риска аварии. Получить гистограмму можно из виртуальных статистических испытаний риска аварии исследуемого здания. Для построения гистограммы необходимо располагать информацией о физическом состоянии групп однотипных несущих конструкций здания, полученной из модели закона деградации группы конструкций.

2. Оценка вида технического состояния эксплуатируемого здания осуществляется на основе модели закона деградации эксплуатируемого здания, связывающей конструкционный износ несущих конструкций здания и среднее значение его риска аварии. На диаграмме в обязательном порядке указывается критическое значение риска аварии, при достижении которого эксплуатируемое здание начинает переход в недопустимое состояние. Такая величина риска является критерием для оценки безопасного остаточного ресурса эксплуатируемого здания.

Практическая значимость работы состоит:

- предложена методика позволяющая быстро и эффективно оценить техническое состояние эксплуатируемого здания по величине риска аварии.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные положения исследования доложены на научно-практических конференциях:

- III Международная конференция «Предотвращение аварий зданий и сооружений» 2008 год, г. Москва.
- II Международная конференция «Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации» в рамках I Национального конгресса “Комплексная безопасность” 2010 год, г. Москва.
- 10-я Европейская конференция по неразрушающему контролю “ECNDT 2010”, 2010 год г. Москва.

– V Международная конференция «Предотвращение аварий зданий и сооружений» 2010 год, г. Москва.

– Ежегодные научно-практические конференции Южно-Уральского государственного университета и его филиала в г. Миассе, 2006–2009 гг.

Разработанные методические рекомендации использовались при оценке конструкционной безопасности зданий нормального уровня ответственности на территории городов Миасс, Сатка, Куса Челябинской обл., что подтверждено письмами организаций, ответственных за эксплуатацию зданий.

Разработанные методические рекомендации вошли в свод правил по оценке и регулированию риска аварии зданий и сооружений, одобренного и рекомендованного к применению Управлением государственного строительного надзора Министерства строительства, инфраструктуры и дорожного хозяйства Челябинской области и Рабочей группой при КЧС Челябинской области по предупреждению аварий зданий и сооружений с массовым пребыванием людей.

Публикации. Основные результаты исследования опубликованы в 10 научных работах, две из которых опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, и одной монографии (в соавторстве).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и 4 приложений, изложена на 175 страницах, содержит 27 рисунков и 17 таблиц, библиографический список состоит из 137 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненных исследований и отмечается, что оценка конструкционной безопасности зданий имеет давнюю историю, не теряет свою актуальность, но требует совершенствования. Во введении также содержится общая характеристика работы.

Первая глава содержит краткий исторический обзор, посвященный оценке конструкционной безопасности зданий и обоснование исследований в области риска.

Теоретические основы конструкционной надежности зданий заложены трудами Н. С. Стрелецкого, В. В. Болотина, А. Р. Ржаницина. Введенное ими и согласованное с вероятностными основами строительных норм понятие надежности, как свойства здания сохранять во времени в установленных пределах значения прочности, жёсткости, устойчивости и долговечности, получила развитие в работах Махутова Н.А., Тимашева С.А., Райзера В.Д., Тамразяна А.Г., Губайдуллина Р.Г. и многих других. Однако, вне поля зрения теории надежности остался человеческий фактор – главная причина катастрофических обрушений зданий. Известно, что ошибки людей возникают с большей частотой, чем отклонения прочности материалов или нагрузок от расчетных значений. Поэтому, понимая, что они неизбежны, важно уметь учитывать их влияние на надежность сооружений. Это и есть важнейший элемент при переходе от надёжности к безопасности. В нашей стране основателем теории риска следует считать академика Легасова В.А. Из его последователей можно выделить работы Еремина К.И., Мельчакова А.П., Никонова Н.Н., и др. Из зарубежных ученых существенный вклад в развитие теории безопасности внесли фундаментальные труды исследователей из США и Японии Э. Дж. Хенли и Х. Кумамото. Доминирующая роль грубых ошибок отмечается в работах Г. Аугусти, А. Баратта и Ф. Кашиати, посвященных применению вероятностных методов в строительном проектировании.

Динамическая модель оценки инженерного риска обрушения зданий (методика МЧС РФ) опирается на расчетные методы строительной механики при определении

теоретических показателей частот и периодов собственных по нескольким тонам. Однако приблизительная оценка нормативных значений периода собственных колебаний вносит в методику определенную погрешность. Методика вызывает сомнения в части соотношения между изменением периода собственных колебаний и видом технического состояния объекта.

Методика оценки риска аварии Государственного комитета РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу имеет существенные недостатки. Основным методологическим недостатком инструкции является ее основное утверждение о том, что «оценка риска аварии проводится на основании экспертного анализа степени опасности и степени уязвимости гидротехнических сооружений (ГТС)». Предлагается оценивать степень риска аварии «по принципу пересечения этих событий». Но ни опасность, ни уязвимость не есть события, а являются свойствами исследуемого объекта. Но даже если допустить возможность рассмотрения неких событий «опасность» и «уязвимость», то предположение об их независимости несостоятельно, т.к. уязвимость – всего лишь одна из многих составляющих опасности. Следует отметить и узость применения данной методики (только объекты ГТС).

Возникает необходимость в разработке методики оценки конструкционной безопасности, которая позволит быстро и эффективно оценить техническое состояние эксплуатируемых зданий и принять правильное управленческое решение об их дальнейшей эксплуатации.

Во второй главе рассмотрена технология априорной оценки риска аварии эксплуатируемых зданий. Получена модель закона деградации групп однотипных конструкций. Приведены правила назначения показателей надежности.

В основу математического аппарата положена риск-модель, в которой риск аварии представлен в относительной форме. То есть риск аварии трактуется как число, которое показывает, во сколько раз фактическая вероятность аварии превышает теоретическую. Риск-модель разработана под руководством д.т.н., проф. Мельчакова. Риск-модель связывает случайную величину риска аварии r исследуемого здания с показателями надежности p всех групп однотипных конструкций этого здания.

$$r = \frac{1}{\prod_{i=1}^n p_i}, \quad (1)$$

где r – риск аварии, p_i – показатели надежности i -ой группы конструкций.

Показатели надежности конструкций трактуются как степень принадлежности конструкции к множеству аналогичных конструкций, в которых выполнены все требования проекта (термин теории множеств). Необходимо отметить, что показатель надежности конструкций нельзя трактовать как общепринятую надежность, т.е. как вероятность безотказной работы.

На текущий момент времени эксплуатации здания «интегральным» показателем его конструкционной безопасности является статистическое распределение вероятностей риска аварии (гистограмма). Входными параметрами для построения гистограммы является формализованная экспертная информация о показателях надежности конструкций в группах однотипных конструкций. Построение статистического распределения фактического риска аварии основано на методе статистических испытаний (метод Монте-Карло) риск-модели (1).

Объем экспертных работ для определения входных параметров риск-модели сокра-

тятся, если в основу технологии диагностики положить принципы теории квалиметрии. С этой целью несущие конструкции здания представляется в виде совокупности последовательно возводимых групп однотипных несущих конструкций (рис. 1).

Рассмотрим 4-х этажное здание АБК ЗАО "АМС" в г. Миассе, выполненное по серии ИИ-04. Здание – каркасное, размеры в плане 30х12м. в осях, высота здания 13,2м., высота этажа 3,3 м. Фундаменты сборные ж/б стаканного типа. Колонны сборные ж/б сечением 300х300мм. армированы четырьмя стержнями диаметром 20мм. Сетка колонн бхбм. Ригели сборные ж/б высотой 450 мм. тавровой формы с полкой понизу, с одним или двумя свесами для опирания плит перекрытия. В плоскости рам каркаса горизонтальные нагрузки воспринимаются сборными ж/б диафрагмами жесткости толщиной 140мм. с одной или двумя полками для опирания плит перекрытия и бесполочные.



Рис. 1. Дерево несущих конструкций здания АБК

В каждой группе отыскиваются наиболее и наименее дефектные конструкции с последующей оценкой их соответствия проекту. Для остальных конструкций принимается линейно-переменный закон распределения плотности вероятности показателей надежности (рис. 2) с функцией плотности вероятности (2).

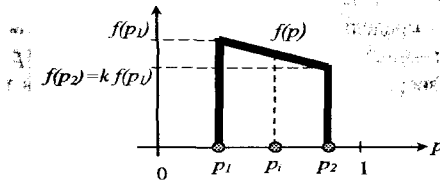


Рис. 2. Модель закона деградации несущих конструкций

$$f(p) = 2 \cdot \frac{pk + p_2 - p - p_1 \cdot k}{(k+1) \cdot (p_2 - p_1)^2}, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 – показатели надежности (степени соответствия) наиболее и наименее дефектной конструкции в группе, k – коэффициент, характеризующий различие в значениях плотности вероятности показателей надежности наиболее и наименее дефектных конструкций в группе. Для его определения можно воспользоваться формулой $k = 1 - s^*/S$, где S – общая площадь, занимаемая группой однотипных конструкций или общее число конструкций в группе, а s^* – часть конструкций, подверженная в процессе эксплуатации объекта какому-либо негативному воздействию.

Для назначения наиболее и наименее дефектных конструкций в группе проводится обследование здания. Рассмотрим группу конструкций “плиты перекрытия 1-го этажа” здания АБК. По проекту приняты пустотные плиты перекрытий по серии

ИИ-04: ПК8-58-12 (рядовые), ПК8-58-6 (пристенные) и ПК8-58-12а (связевые). Плиты должны быть выполнены из бетона М200, рабочая арматура – 4 стержня класса А-IV диаметром 12мм. по ГОСТ 5781-61. При обследовании проводились следующие работы: визуальный осмотр конструкций, контроль узлов опирания, исследование свойств бетона плит неразрушающими методами контроля, вскрытие арматуры плит с контролем соответствия рабочей арматуры требованиям серии.

По результатам обследования группы конструкций “плиты перекрытия 1-го этажа” выявлена наиболее дефектная плита (рядовая), имеющая следующие дефекты: класс бетона плиты В10 (по серии принят бетон М200); трещины в растянутой зоне с раскрытием до 0,25 мм.; местные разрушения защитного слоя бетона и незначительная коррозия рабочей арматуры. Коэффициент k принят 0,3.

Наименее дефектная плита, имеет следующие дефекты: местные незначительные сколы защитного слоя бетона, следов коррозии арматуры не обнаружено.

Показатели надежности p_1 , p_2 и коэффициент k принимаются за «единичные» показатели конструкционной безопасности здания. Для определения «единичных» показателей технического состояния групп несущих конструкций эксперт, при обследовании, на основе существующих нормативных документов, опыта и интуиции, должен назначить наиболее и наименее дефектную конструкцию в группе однотипных конструкций. В качестве математической модели, устанавливающей степень принадлежности (показатель надежности) дефектной конструкции к множеству бездефектных конструкций, можно воспользоваться модифицированной формулой примерного равенства, описанной в работе Резника Л.К. “Использование нечеткой информации для повышения точности измеряемых величин”:

$$p = e^{-\frac{(x-c)^2}{(t-u)^2}} \quad (3)$$

где x – фактическое числовое значение параметра дефектной конструкции; c – проектное значение величины; u – предельное значение величины x , соответствующее одному из предельных состояний; t – число, равное значению, при котором $p = 0,5$, если $x = u$.

Модель (3) отражает известную закономерность, состоящую в том, что при малых отклонениях x от c величина p мало отличается от единицы; с увеличением этого отклонения p начинает снижаться до своего предельного значения, равного 0,5.

Назначим показатели надежности группе однотипных конструкций “плиты перекрытия 1-го этажа”, рассмотренной выше. Обследованная ж/б плита ПК8-58-12 по серии ИИ-04 имеет значительное отклонение по классу бетона от требований серии. В качестве контролируемого параметра примем изгибающий момент в середине плиты.

1. Определение параметра x . При снижении расчетного сопротивления бетона до величины 6,0 МПа плита может воспринять момент: $M_x = 4336$ кН·см
2. Определение параметра c . Проектное значение момента: $M_c = 6129$ кН·см
3. Определение параметра u . Согласно серии разрыв арматуры должен происходить при нагрузке не менее 1857 кг/м². Предельный момент: $M_x = 9370$ кН·см
4. Определение параметра t .

При $p = 0,5$, если $x = u$, имеем: $0,5 = e^{-\left(\frac{93,7-61,29}{t-93,7}\right)^2} \Rightarrow t = 0,415$

5. Подставив все значения в (3), имеем: $p = e^{-\left(\frac{43.36-61.29}{0.415 \cdot 93.7}\right)^2} = 0,808$

Менее дефектная плита имеет практически полное соответствие проекту. Показатель надежности $p_2=0,994$.

Модель закона деградации группы конструкций “плиты перекрытия 1-го этажа” представлена на рис.3.

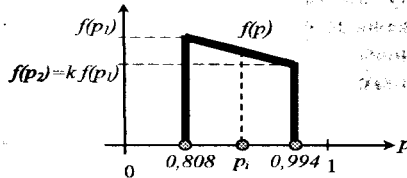


Рис. 3. Модель закона деградации группы конструкций “плиты перекрытия 1-го этажа” здания АБК

Показатели надежности остальных групп конструкций назначены аналогично приведенному примеру (табл. 1).

Таблица 1

Показатели надежности групп конструкций здания АБК

№ п/п	Наименование группы конструкций	p_1	p_2	k
1	Основание	0,975	0,994	0,95
2	Фундамент	0,969	0,994	0,95
3	Фундаментные балки	0,744	0,882	0,3
4	Колонны 1-го эт.	0,942	0,994	0,9
5	Диафрагмы жесткости 1-го эт.	0,983	0,994	0,95
6	Ригели перекрытия 1-го эт.	0,867	0,994	0,8
7	Плиты перекрытия 1-го эт.	0,808	0,994	0,3
8	Наружные стеновые панели 1-го эт.	0,672	0,994	0,4
9	Колонны 2-го эт.	0,953	0,994	0,95
10	Диафрагмы жесткости 2-го эт.	0,950	0,994	0,95
11	Ригели перекрытия 2-го эт.	0,969	0,994	0,95
12	Плиты перекрытия 2-го эт.	0,824	0,994	0,9
13	Наружные стеновые панели 2-го эт.	0,789	0,994	0,95
14	Колонны 3-го эт.	0,953	0,994	0,95
15	Диафрагмы жесткости 3-го эт.	0,950	0,994	0,95
16	Ригели перекрытия 3-го эт.	0,610	0,994	0,9
17	Плиты перекрытия 3-го эт.	0,941	0,994	0,95
18	Наружные стеновые панели 3-го эт.	0,923	0,994	0,95
19	Колонны 4-го эт.	0,953	0,994	0,95
20	Диафрагмы жесткости 4-го эт.	0,950	0,994	0,95
21	Ригели покрытия	0,570	0,994	0,1
22	Плиты покрытия	0,522	0,994	0,1
23	Наружные стеновые панели 1-го эт.	0,923	0,994	0,95

Для назначения «единичных» показателей можно использовать правило предложенное проф. Мельчаковым. Это правило основано на использовании лингвистической переменной “очень”, предложенной Л. Заде в работе “Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений”. Математическая модель (3) дает более точные значения, поэтому при числе групп однотипных конструк-

ций более 20 необходимо применять математическую модель.

«Комплексные» показатели конструкционной безопасности здания p_i формируются по значениям «единичных» показателей, зафиксированных на момент процедуры диагностики технического состояния несущих конструкций здания. Случайные наборы представителей p_i от групп формируются по закону деградации группы после подстановки в него «единичных» показателей p_1 , p_2 и k . Каждый набор моделирует одну из возможных аварийных ситуаций здания. В итоге задача по построению статистического распределения риска аварии здания сводится к разыгрыванию в каждой группе конструкций случайной величины p на основе закона ее распределения на конкретный момент времени эксплуатации исследуемого здания. Для целей разыгрывания применяется равномерный закон распределения случайной величины q . По сути, величина q – площадь области ограниченной значением p_1 слева и случайным значением искомой величины p_i справа на графике закона деградации (рис. 4).

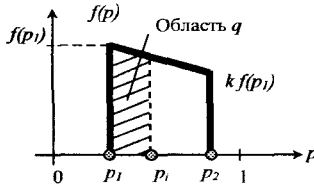


Рис. 4. Графический смысл величины q

Общая формула для разыгрывания отыскивается из решения интеграла:

$$\int_{p_1}^{p_i} f(p) dp = q \quad (4)$$

После подстановки (2) в (4) и решения относительно p_i имеем:

$$p_i = \frac{k \cdot p_1 - p_2 + (p_2 - p_1) \cdot \sqrt{q \cdot k^2 - q + 1}}{k - 1} \quad (5)$$

Для каждой группы однотипных конструкций в (5) подставляются минимум 10^5 значений q (q изменяется от 0 до 1 по равномерному закону) и соответствующие группе конструкций значения «единичных» показателей p_1 , p_2 и k . В результате для каждой группы однотипных конструкций получаем 10^5 значений p_i . Из (1), получаем 10^5 значений r . Статистический ряд случайной величины риска аварии r позволяет построить для исследуемого здания на текущий момент времени его эксплуатации гистограмму распределения риска. По гистограмме несложно определить статистические характеристики риска аварии.

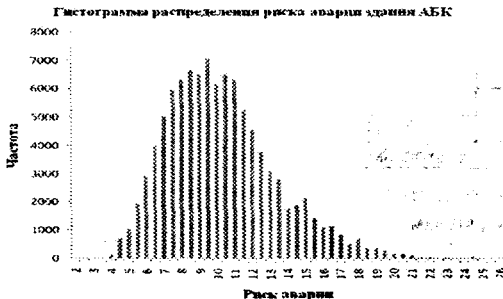


Рис. 5. Гистограмма распределения риска аварии здания АБК

Для здания АБК ЗАО «АМС» после подстановки данных из табл. 1 в (5), а затем (5) в (1), получена гистограмма распределения риска аварии (рис. 5), включающая в себе 10^5 значений. Анализ гистограммы позволяет утверждать, что риск аварии здания АБК ЗАО «АМС» с обеспеченностью 0,95 равен 17,6.

Третья глава посвящена оценке конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий. В ней приводится способ назначения пороговых значений риска аварии и модель деградации здания.

Закон распределения плотности вероятности риска аварии здания в процессе эксплуатации размывается (деградирует). При этом увеличивается информационная энтропия (неопределенность). В общем случае информационная энтропия закона распределения определяется:

$$H = -\sum P(A_i) \cdot \log_2 P(A_i), \quad (6)$$

где $P(A_i)$ – вероятность, что риск аварии находится в i -м диапазоне значений.

График функции $H(R)$ показывает зависимость информационной энтропии от роста величины математического ожидания закона распределения риска аварии. График аппроксимирован уравнением $H(R) = \log_{2,15} R$, он является законом деградации несущих конструкций здания. Всякое изменение интенсивности роста скорости энтропии информирует об изменении вида технического состояния. Полученные по этому уравнению графики зависимости скорости и интенсивности скорости роста энтропии показаны на рис. 6. Из рисунка видно, что после значения риска аварии $R=15$ интенсивность скорости роста энтропии начинает снижаться. Этот факт означает, что здание начинает переход из работоспособного состояния в недопустимое. Интенсивность скорости роста энтропии вновь претерпевает изменение при значении риска, равного 83. При превышении риском аварии величины 83 техническое состояние здания считается аварийным.

Анализ информации, содержащейся на рис. 6, позволяет сделать следующие выводы по рассматриваемой задаче:

1. Существуют пороговые значения риска аварии, при достижении которых здание переходит в качественно иное состояние – из работоспособного в недопустимое, а из недопустимого в аварийное.
2. Пороговые риски аварии не зависят ни от конструктивного типа здания, ни от его этажности. Они являются инвариантами, что вытекает из способа доказательства их существования.

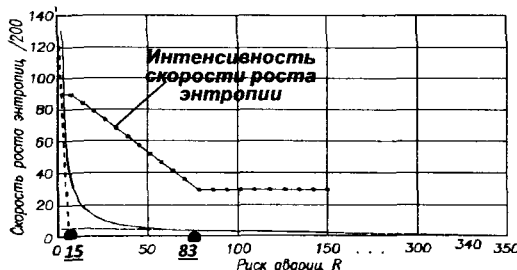


Рис. 6. Зависимость скорости и интенсивности скорости роста энтропии от величины среднего риска аварии здания

Существует физический аналог понятия «энтропия» – конструкционный износ, который характеризует степень деградации несущих конструкций. Для построения математической модели оценки конструкционного износа здания вводятся две гипотезы.

Первая из них утверждает, что рост износа конструкций здания во время эксплуатации выражается экспонентой, а ее представительным параметром служит величина среднего риска аварии здания R . Вторая гипотеза предполагает, что в момент перехода здания в аварийное состояние, ресурс его несущих конструкций по износу составляет 5%. Принятым гипотезам отвечает следующая математическая модель:

$$J(R) = 1 - e^{-j \cdot (R-1)}, \quad (7)$$

где $J(R)$ – физический износ несущих конструкций здания, R – риск аварии, j – коэффициент равный 0,0365.

В интервале между пороговыми значениями риска аварии интенсивность скорости роста энтропии, а, следовательно, и износа, изменяется по линейному закону. В пределах этого интервала техническое состояние здания считается недопустимым, но в зависимости от величины риска аварии имеет различную степень опасности. Целесообразно интервал между пороговыми значениями риска аварии разделить на два участка: ограниченно работоспособное и недопустимое состояние. Для определения положения стыковой точки этих участков следует обратиться к накопленному опыту обследования строительных объектов сотрудниками кафедр “Строительная механика” ЮУрГУ и кафедры “Строительство” филиала ЮУрГУ в г. Миассе в период 1997–2011 гг. При проведении обследования экспертам выдавалось задание оценить техническое состояние здания на основании собственных наблюдений и интуиции. В некоторых случаях эксперты затруднялись с оценкой без расчетов и обработки результатов обследования. Затем рассчитывался риск аварии, и проводилось соответствие между предварительной оценкой эксперта и полученным риском. Проведенный эксперимент показал, что в случае сомнения эксперта в оценке технического состояния, полученный риск аварии здания находился в пределах 30–37 (интервал “сомнения”).

Так же для определения границы ограниченно работоспособного и недопустимого состояния можно использовать накопленный опыт эксплуатации зданий. Такой опыт обобщен, например, в книге «Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки» (авторы Попов Г.Т. и Бурак Л.Я.) и в нормативном документе ВСН 53-86 (р), где приведены значения физического износа несущих конструкций зданий, при которых необходимо их капитальный ремонт. Из этих источников следует, что величина конструкционного износа, при которой здания признаются аварийными, укладывается в интервал от 60% до 76%. Среднее значение износа при переходе здания в недопустимое состояние составляет 68%. Подстановка значения $J(R) = 0,68$ в (7) дает для критического риска аварии здания значение, равное 32, что попадает в интервал, приведенный выше. Это значение риска – среднее, для зданий различного уровня ответственности данное значение может колебаться. Но для зданий нормального уровня ответственности, риск равный 32, как и пороговые значения риска аварии, следует признать инвариантом, то есть не зависящим от конструктивного типа здания и его этажности.

При наличии пороговых значений риска аварии для построения модели деградации несущих конструкций здания достаточно по (7) изобразить кривую, связывающую конструкционный износ конструкций с величиной среднего значения риска аварии, нанести на нее точки, соответствующие пороговым значениям риска, и соединить их отрезками прямых линий. При этом любое значение износа в пределах одного интервала не превышает правого порогового значения, следовательно, погрешность, получаемая “спрямлением” участков – незначительна (максимальная погрешность на первом участке – 11,7 %, на втором – 3,9 %, на третьем – 7,1 %). В

окончательном виде модель деградации показана на рис. 7.

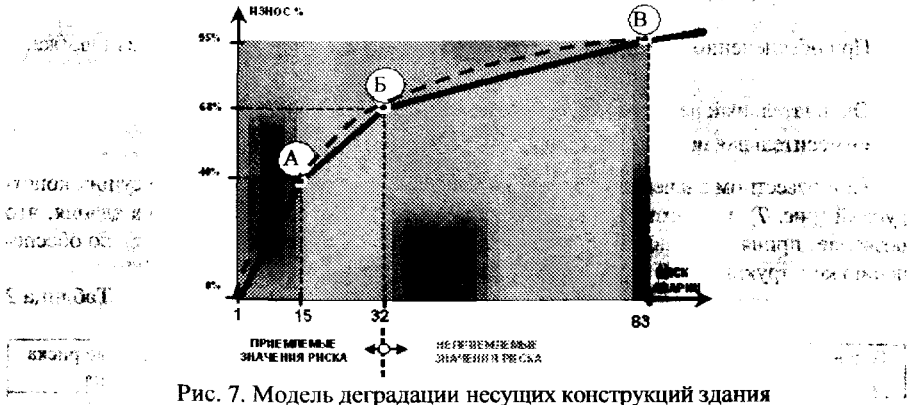


Рис. 7. Модель деградации несущих конструкций здания

Модель деградации позволяет произвести оценку вида технического состояния здания по величине риска аварии и определить критическую величину риска аварии. Модель деградации несущих конструкций здания утверждает следующее.

1. В период эксплуатации здания с момента окончания его строительства до достижения риском аварии точки А, здание способно сопротивляться не только проектным воздействиям, но и большинству не учтенных при проектировании нагрузкам. Техническое состояние здания – исправное или работоспособное.

2. Время эксплуатации здания с момента окончания его строительства до достижения риском аварии точки Б определяет безопасный ресурс. Техническое состояние – ограниченно работоспособное.

3. К моменту достижения значения риска, равного 83 (точка В), способность несущих конструкций сопротивляться любым нагрузкам теоретически исчерпывается.

На рис. 8 приведены значения риска аварии 38 зданий, 7 из которых попали в интервал “сомнения”.

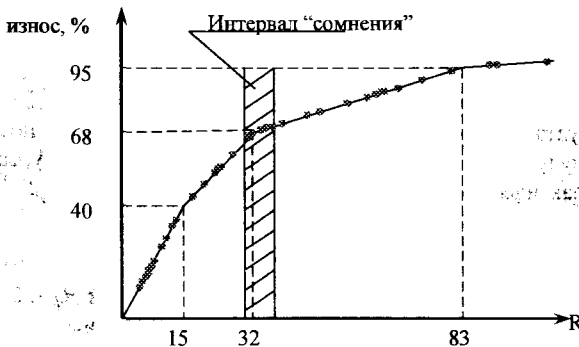


Рис. 8. Экспериментально полученные значения риска аварии (38 объектов)

Принят за критическое значение риска аварии величину, равную 32 имеем:

$$\bar{x} = 32 \Rightarrow S_r = \sqrt{\frac{\sum (32 - R_i)^2}{n(n-1)}} = 0.934$$

При обеспеченности $P = 0.9$ коэффициент Стьюдента $t = 1.9$. Абсолютная ошибка:

$$\Delta R = S_r \cdot t = 1.78$$

Окончательный результат получим в виде: $R = (32 \pm 1,78)$ при $P = 0.9$.

Относительная погрешность: $\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} \cdot 100\% = 5.55\%$

При известном значении среднего риска аварии модель деградации несущих конструкций (рис. 7) дает возможность определить вид технического состояния здания, что позволяет принять управленческое решение относительно необходимых мер по обеспечению конструкционной безопасности здания (см. табл. 2).

Таблица 2

Вид технического состояния здания

Точки модели деградации	Износ конструкций, %	Вид технического состояния здания	Меры по снижению риска аварии здания
до А	0–40	Работоспособное	Не требуются
от А до Б	41–68	Ограниченно работоспособное	Текущий ремонт
от Б до В	69–95	Недопустимое	Временные усиления, капитальный ремонт
После В	96–100	Аварийное	Эвакуация людей, капитальный ремонт или снос

Прогноз ресурса здания основывается на предположении, что износ $J(T)$ является непрерывной функцией времени T и имеет производную $dJ(T)/dT = -i J(T)$, где i – интенсивность конструкционного износа в процессе эксплуатации здания. После интегрирования этого дифференциального уравнения и определения постоянной интегрирования из условия $J(0) = 0$, приходим к решению в виде:

$$J(T) = 1 - e^{(-iT)} \quad (8)$$

Интенсивность износа определяется из равенства $J(T) = J(R)$, где R – риск аварии здания на момент времени эксплуатации T . При известном значении интенсивности износа безопасный ресурс T_6 здания определится, если в (8) подставить $T = T_6$, $J(T_6) = 0,68$. Безопасный остаточный ресурс T_{60} эксплуатируемого здания представляет собой время достижения им критической величины риска аварии, когда он переходит в недопустимое состояние. Это время определится как разность между T_6 и фактическим сроком его эксплуатации. Несложно по полученным зависимостям построить более компактную формулу для определения безопасного остаточного ресурса T_{60} , если известна величина фактического риска аварии R_f на момент времени T_f .

$$T_{60} = \frac{T_f (32 - R_f)}{(R_f - 1)} \quad (9)$$

Формула (9) справедлива при условии, что $2 < R_f < 32$. При $R_f > 32$ здание находится в недопустимом состоянии и его безопасный ресурс уже исчерпан.

Для здания АБК риск аварии $R_f = 17,6 > 15$, техническое состояние здания оценивается как ограниченно работоспособное. Для снижения риска аварии необходимо провести текущий ремонт здания.

Безопасный остаточный ресурс (эксплуатация 14 лет): $T_{60} = \frac{14 \cdot (32 - 17,6)}{(17,6 - 1)} = 12,1$.

Подводя итог выше сказанному, оценка конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий осуществляется в четыре этапа (рис. 9).

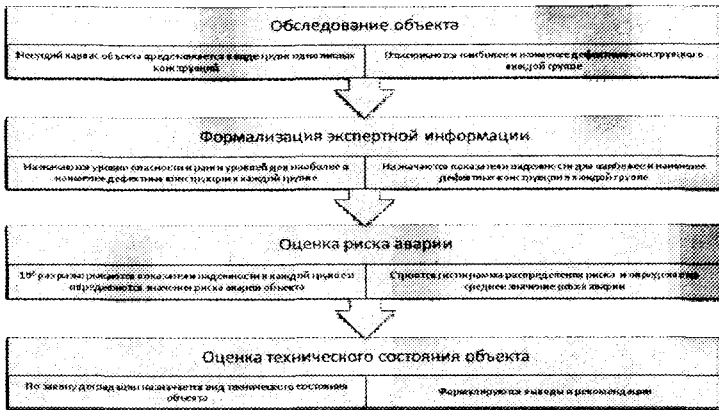


Рис. 9. Блок-схема оценки конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий

1. Формируется дерево несущих конструкций здания, которое представляет собой последовательность групп однотипных конструкций по порядку их возведения. Затем проводится обследование несущих конструкций здания с целью выявления наиболее и наименее дефектных конструкций.

2. Производится формализация экспертной информации, то есть назначаются показатели надежности p_1 , p_2 и коэффициент k . Основой для принятия решений по назначению показателей надежности служат общепринятые методы анализа конструкций.

3. Выполняется оценка риска аварии здания. С помощью (5) вычисляется минимум 10^5 значений p_i для каждой группы однотипных конструкций. По риск-модели (1) вычисляется 10^5 значений r , и строится гистограмма распределения риска. По гистограмме несложно определить статистические характеристики распределения риска аварии.

4. На четвертом этапе производится оценка технического состояния здания. По модели деградации (рис. 7) назначается вид технического состояния, оценивается конструкционная безопасность здания, определяется безопасный остаточный ресурс (в случае если $2 < R_{\phi} < 32$) и формулируются выводы и рекомендации. В случае превышения риском аварии предельно-допустимого значения принимаются соответствующие решения о восстановлении конструкционной безопасности или о сносе здания. По итогам оценки конструкционной безопасности необходимо провести процедуры сертификации и страхования здания.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практического применения предлагаемой методики. Приведены особенности процедур сертификации и страхования эксплуатируемых зданий.

Одним из способов управления безопасностью зданий является предстраховой консалтинг. Предстраховой консалтинг представляет собой анализ и оценку риска аварии, позволяющие разработать методы минимизации потенциального разрушительного воздействия. Наибольший эффект в отношении регулирования риска аварии дают предупред-

длительные мероприятия. В структуре тарифных ставок при страховании здания на случай аварии предусматривается взнос в фонд предупредительных мероприятий (ФПМ). ФПМ предназначен для финансирования мероприятий по предупреждению аварий, сокращению страховых случаев и снижению разрушительности их последствий. Система предупреждения аварий базируется на процедурах сертификации зданий на соответствие требованиям конструкционной безопасности и механизме страхования их на случай их аварии. Участники системы и схема их взаимодействия показаны на рис. 10.

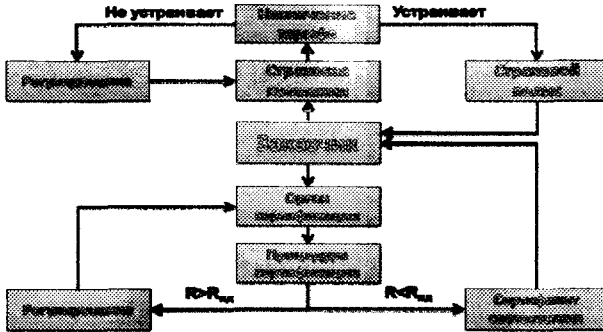


Рис. 10. Участники системы предупреждения аварий и схема их взаимодействия

Ключевым элементом системы является сертификация соответствия. Эксплуатируемые здания должны подвергаться процедуре сертификационных испытаний на соответствие требованиям конструкционной безопасности. Базовым условием для введения процедуры сертификации является наличие законодательно утвержденной нормативной базы по конструкционной безопасности зданий.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложена модель закона деградации групп однотипных несущих конструкций, входным параметрами которой являются «единичные» показатели конструкционной безопасности p_1 , p_2 и k . По модели закона деградации группы конструкций определяется «комплексный» показатель конструкционной безопасности – показатель надежности группы конструкций.

2. Получена модель закона деградации эксплуатируемого здания в виде зависимости износа несущих конструкций здания от величины его риска аварии. Существуют пороговые значения риска аварии, при достижении которых здание переходит в качественно иное состояние – из работоспособного в недопустимое, а из недопустимого в аварийное. Модель закона деградации справедлива для зданий нормального уровня ответственности и при условии непрерывного накопления повреждений.

3. Определены пороговые значения риска аварии. В пределах интервала риска аварии 2-15 техническое состояние здания считается работоспособным, в пределах интервала риска аварии 15-32 – ограниченно работоспособным, в пределах интервала риска аварии 32-83 – недопустимым. Данные интервалы справедливы для зданий нормального уровня ответственности.

4. Информация о фактическом риске аварии эксплуатируемого здания и пороговых значениях риска позволяет определить его техническое состояние. Значение риска аварии $R=32$ является критерием для оценки безопасного остаточного ресурса эксплуатируемого здания. Знание безопасного остаточного ресурса объекта позволяет

принять управленческое решение по сроку проведения на нем ремонтно-восстановительных мероприятий.

5. Предложенная технология оценки конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий может быть использована на практике для оценки риска аварии, вида технического состояния и безопасного остаточного ресурса. Она одобрена и рекомендована к применению Управлением государственного строительного надзора Министерства строительства, инфраструктуры и дорожного хозяйства Челябинской области и Рабочей группой по предупреждению аварий зданий с массовым пребыванием людей при КЧС Челябинской обл.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ/, 2009. – 114 с.

2. Чебоксаров, Д.В. Оценка риска аварии зданий и сооружений по величине конструкционного износа несущего каркаса / Д.В. Чебоксаров // Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве: сборник научных трудов факультета «Машиностроительный» филиала ЮУрГУ в г. Миассе. – Челябинск., 2007. – С. 179–182.

3. Чебоксаров, Д.В. Оценка технического состояния эксплуатируемых зданий и сооружений на основе измерения риска аварии / Д.В. Чебоксаров, В.Г. Косогоров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2007. – Вып. 2. – № 25(125). – С. 27–28.

4. О техническом регулировании в сфере строительства / А.П. Мельчаков, Е.А. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров и др. // Академический вестник УралНИИпроект РАН. – 2008. – №1. – С. 98–102.

5. О правилах по регулированию риска аварии зданий и сооружений на стадиях возведения и эксплуатации / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров, В.Г. Косогоров, Г.А. Беззубкова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2008. – Вып. 7. – № 22(94). – С. 4–8.

6. Мельчаков, А.П. Методология регулирования риска аварии зданий и сооружений на стадиях возведения и эксплуатации / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров // Строительство и образование: сборник научных трудов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. – 2008. – С. 55–59.

7. Чебоксаров, Д.В. Контроль и регулирование риска аварии находящихся в эксплуатации зданий и сооружений / Д.В. Чебоксаров // Сборник научных трудов «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – Магнитогорск: Магнитогорский дом печати. – 2009. – Вып. 2. – С. 212-216.

8. Cheboksarov, D.V. Risk control and adjustment for operated buildings and constructions / D.V. Cheboksarov // Abstracts. 10th European Conference on Non-Destructive Testing. Moscow. June 7-11, 2010. Hart 2. 2th edition. – М.: Publish house Spektr. – 2010. – P. 155.

9. Независимый контроль риска аварии зданий и сооружений – реальный путь к снижению аварийности в строительстве / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова, Д.В. Чебоксаров // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». Магнитогорск.: ООО «ВЕЛД». – Web: <http://pama.ru/pressa/nk-fazis>

10. Оценка конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений / Д.В. Чебоксаров // Перспективы науки. – 2010. - №12(14). – С. 44-47.