



Тошкент архитектура  
қурилиш институти  
ҳузуридаги тармоқ  
маркази

**ИННОВАЦИИ ПО  
НАДЕЖНОСТИ И  
БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ**

**Мазкур ўқув-услубий мажмуа Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2019 йил 2 ноябрьдаги 1023-сонли буйруғи билан тасдиқланган ўқув режа ва дастур асосида тайёрланди.**

**Тузувчи:** ТошТЙМИ, т.ф.д., проф. Щипачева Е.В.

**Такризчи:** ТАҚИ, т.ф.д., проф. С.А. Ходжаев

*Ўқув-услубий мажмуа Тошкент архитектура қурилиш институти Кенгашининг 2019 йил 4 сентябрьдаги 1-сонли қарори билан нашрга тавсия қилинган.*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА.....</b>	<b>4</b>
<b>II. ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДУЛЕ .....</b>	<b>10</b>
<b>III. МАТЕРИАЛЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ .....</b>	<b>14</b>
<b>IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ .....</b>	<b>63</b>
<b>V. БАНК КЕЙСОВ .....</b>	<b>88</b>
<b>VII. ГЛОССАРИЙ .....</b>	<b>95</b>
<b>VIII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>103</b>
<b>IX. ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>104</b>

# I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

## Введение

Рабочая программа включает в себя изучение теоретических и практических основ теории надежности и ее роли в обеспечении безопасности и качества строительства, использование основных методов теории надежности при разработке инженерных методик по оценке состояния, качества изготовления, монтажа и проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений.

## Цель и задачи модуля

**Цель модуля.** Формирование у слушателей знаний общих закономерностей и проявлений количественных и качественных свойств объектов строительства с использованием методов теории надежности зданий и сооружений. Ознакомление с инновационными технологиями в обеспечении надежности и безопасности проектируемых и находящихся в эксплуатации зданий и сооружений.

**Задачи модуля.** Получение слушателями:

- навыков по оценке надежности и остаточного ресурса зданий и сооружений;
- знаний по инновационным технологиям в обеспечении сейсмостойкости и пожарной безопасности объектов строительства;
- знаний о путях повышения эффективности и надежности эксплуатируемых зданий, сооружений и инженерного оборудования.

## Требования, предъявляемые к знаниям, умениям и навыкам по модулю

Слушатель, в пределах задач модуля «Инновации по надежности и безопасности зданий и сооружений», должен **иметь представление:**

- о значении теории надежности для развития методов расчета строительных конструкций, зданий и сооружений;
- о теории безопасности строительства и прогнозировании и регулировании риска аварий;
- об инновационных системах обеспечения сейсмической безопасности строительных объектов;
- об обеспечении пожарной безопасности зданий и сооружений.

**знать:**

- основные понятия и методы теории надежности применительно к строительной отрасли;
- основные понятия теории безопасности строительства;

- технологии обеспечения сейсмической безопасности зданий и сооружений;
- технологии обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

**уметь:**

- производить оценку надежности зданий и сооружений по внешним признакам;
- рассчитывать остаточный ресурс зданий с учетом запаса несущей способности конструкций и по методу предельных состояний;
- разрабатывать инженерные решения, направленные на повышение надежности зданий и сооружений.

### **Применение инновационных образовательных технологий**

При обучении слушателей планируется:

- проведение лекционных и практических занятий в форме «презентаций» с использованием современных компьютерных технологий;
- проведение практических занятий с помощью интерактивных методов (кейс-стадии, проектной технологии, тестирования и др.).

### **Взаимосвязь учебного модуля с другими модулями**

Модуль 6.3 является основной дисциплиной в повышении квалификации педагогических кадров, профессиональная деятельность которых связана с профилирующими кафедрами направления «Строительство зданий и сооружений». Его освоение непосредственно связано с модулем 6.1 «...» и 6.2. «.....».

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ

### Модуля

№	Темы модуля	Учебная нагрузка, часы			
		Всего	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	
1	Надежность строительных систем.	2	2		
2	Безопасность и риск в строительстве	2	2		
3	Инженерные приложения теории безопасности	2	2		
4	Инновационные системы обеспечения сейсмической безопасности зданий и сооружений	2	2		
5	Определение надежности строительных систем. Основные задачи теории надежности применительно к транспортным сооружениям.	2		2	
6	Прочностные характеристики конструкционных материалов и коэффициенты надежности к ним. Соотношение между классом и расчетным сопротивлением на сжатие бетона. Влияние величины коэффициента вариации прочности бетона на расход цемента. Вероятностные характеристики временных нагрузок и их сочетаний. Коэффициенты надежности.	2		2	
7	Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам	2		2	
	<b>Всего</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	
	<b>Итого</b>	<b>14</b>			

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Согласно «Требованиям к проведению аттестации и оценивания слушателей курсов повышения квалификации педагогических кадров и руководителей высших учебных заведений» (протокол заседания №2 от 3 ноября 2015 года Межвузовской комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан) оценивание проводится в виде ассессмента по модулю.

# **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИННОВАЦИИ ПО НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

## **Тема 1: Надежность строительных систем**

Значение теории надежности для развития методов расчета строительных конструкций, зданий и сооружений. Основные понятия теории надежности применительно к строительной отрасли. Набор требований к строительным объектам. Качество и надежность зданий и конструкций.

## **Тема 2: Безопасность и риск в строительстве**

Понятия и определения теории безопасности строительства. Риск аварии и подход к его прогнозированию. Функции экспертов при оценке риска аварий.

## **Тема 3: Инженерные приложения теории безопасности**

Регулирование риска аварии здания на стадии проекта. Управление риском аварии при возведении объекта. Регулирование риска аварии зданий, находящихся в эксплуатации.

## **Тема 4: Инновационные системы обеспечения сейсмической безопасности зданий и сооружений**

Функционирование технологической цепочки «большая сейсмология - инженерные изыскания - проектирование - строительство - эксплуатация зданий и сооружений в сейсмических районах». Сейсмостойкость внутренних инженерных систем зданий. Технология обеспечения сейсмической безопасности зданий и сооружений в Республике Узбекистан

# **СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИННОВАЦИИ ПО НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

<b>№</b>	<b>№ темы дисциплины</b>	<b>Тема интерактивного занятия</b>	<b>Вид занятия</b>	<b>Трудоёмкость (час)</b>
1	1	Определение надежности	Исследователь	2

		строительных систем. Основные задачи теории надежности применительно к транспортным сооружениям.	ское	
2	1	Прочностные характеристики конструкционных материалов и коэффициенты надежности к ним. Соотношение между классом и расчетным сопротивлением на сжатие бетона. Влияние величины коэффициента вариации прочности бетона на расход цемента. Вероятностные характеристики временных нагрузок и их сочетаний. Коэффициенты надежности.	Исследовательское	2
3	1	Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам.	Исследовательский	2

### Кейс-стади

**«Кейс-стади» (Case-study)** – это система обучения, основывающаяся на анализе, решении и обсуждении реальных и смоделированных (вымышленных) ситуаций. Метод «кейс-стади» интегрирует в себе технологии развивающего обучения, включая процедуры индивидуального, группового и коллективного развития, и формирования различных личностных качеств обучаемых.

Под методом «кейс-стади» понимается активный метод обучения, основанный на организации преподавателем в группе обучающихся обсуждения задания, представляющего собой описание конкретной ситуации с явной или скрытой проблемой.

Кейс-стади (от англ. слова *case* – реальная ситуация) – метод конкретных реальных ситуаций.

Сущность кейс-стади – изучение общих закономерностей на примере анализа конкретных случаев.

Что такое кейс? Кейс – это жизненная история, включающая в себя необходимую информацию: для принятия решения, для разрешения конфликта или проблемы, которая может быть предложена для обсуждения в группе и выявления позиций слушателей по существу вопроса.

Особое место в организации обсуждения и анализа кейса принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма». В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности участников.

## Критерии оценки кейсов:

грамотное  
решение  
проблемы;

новизна и  
неординарно  
сть решения  
проблемы;

краткость и  
четкость  
изложения  
теоретическо  
й части;

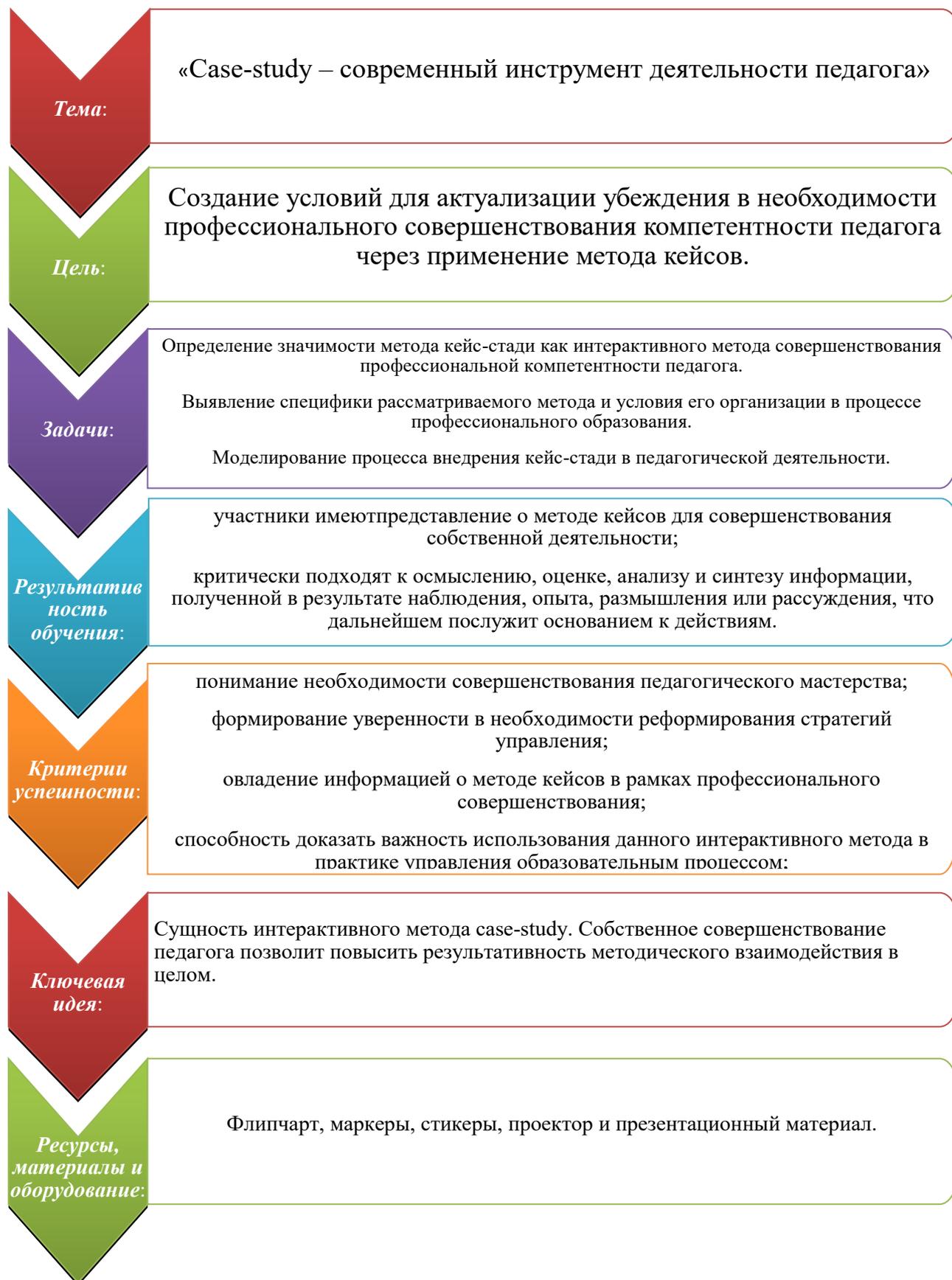
качество  
оформления  
решения  
проблемы;

этика  
ведения  
обсуждения  
(дискуссии).

## «Мозговая атака» включает в себя три фазы

<i>Первая фаза</i>	<i>Вторая фаза</i>	<i>Третья фаза</i>
<p>представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным или неудачливым; это достигается созданием благоприятной психологической обстановки и атмосферы взаимного доверия, когда идеи теряют моноавторство, а становятся общими. Основная задача первой фазы – стать спокойным и раскованным.</p>	<p>это собственно процесс мозговой атаки. Основной задачей данной фазы является порождение потока, «лавины» идей; «мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:</p>	<p>представляет собой творческий анализ идей с целью поиска единого решения проблемы по следующим правилам:</p>
<p>«Есть идея – говорю, нет идеи – не молчу»;</p>	<p>Анализ всех идей без дискриминации какой-либо из них;</p>	
<p>Поощрение любого ассоциирования, при этом чем более неожиданной покажется идея, тем лучше;</p>	<p>Размещение идеи в системе и самой системы под идею;</p>	
<p>Количество предложенных идей должно быть как можно большим;</p>	<p>Не умножать сущности без надобности;</p>	
<p>Высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, видоизменять и улучшать;</p>	<p>Должно быть принципиально новое видение проблемы.</p>	
<p>Исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих не лишают права высказаться;</p>		
<p>Не имеет никакого значения социальный статус участников, это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм идеи;</p>		
<p>Все идеи записываются в список идей;</p>		
<p>Устанавливается регламент (время) для высказываний – не более 1-2 минут.</p>		

## Пример занятия по методу «Кейс-стади»



### **Этап I. Погружение в проблему:**

- Приветствие. Визуализация.
- Актуализация проблемы.
- Круг вопросов для обсуждения.
- Презентация системы работы.
- Выводы.

### **Этап II. Осмысление содержания:**

- Презентация новой информации.

### **Этап III. Разработка кейса:**

- Презентация промежуточной информации.
- Промежуточные выводы.
- Представление окончательной информации и выводов.

## **III. МАТЕРИАЛЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **Тема 1. НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

#### **План лекции**

- 1. Значение теории надежности для развития методов расчета строительных конструкций, зданий и сооружений.**
- 2. Основные понятия теории надежности применительно к строительной отрасли.**
- 3. Набор требований к строительным объектам.**
- 4. Качество и надежность зданий и конструкций.**

**Ключевые слова:** надежность, отказ, остаточный ресурс, ремонтпригодность, безотказность, физический износ, моральный износ, долговечность, наработка на отказ.

#### **Текст лекции**

##### **1.1. Значение теории надежности для развития методов расчета строительных конструкций, зданий и сооружений**

Теория расчета строительных конструкций является логическим продолжением и развитием существующего ныне метода расчета по предельным состояниям.

Метод расчета строительных конструкций является полувероятностным, так как нормативные сопротивления, нагрузки и коэффициенты надежности в

нем определяются вероятностными методами, а их расчетные значения и коэффициенты условий работы находятся или назначаются детерминистически. Принято, что результат, полученный этим методом, является единственным.

При расчете строительных конструкций методами теории надежности результат расчета интерпретируется неоднозначно и характеризуется средним значением, среднеквадратическим отклонением и, возможно, другими моментами высшего порядка. При этом результат может быть любым в зависимости от требований заказчика или по другим соображениям. При этом изменяется вероятность реализации результата расчета.

Методы расчета строительных конструкций постоянно совершенствуются. Последний период их развития характеризуется постоянным уточнением отдельных расчетных положений и эмпирических коэффициентов без изменения основных критериев оценки качества конструкций – прочности, жесткости, трещиностойкости. Уточнение всевозможных положений и коэффициентов, естественно, должно дойти до какого-то предела, поле чего их уточнение окажется либо неэффективным, либо небезопасным.

В последние годы в теорию расчета строительных конструкций стали внедряться вероятностные методы. Одновременно с корректировкой существующих методов они предлагают новое содержание критерия качества – вероятность безотказной работы или надежность конструкций.

Теория надежности в ее современном виде возникла относительно недавно. Ее формирование как математической технической дисциплины происходило в первую очередь под влиянием развития электроники, вычислительной техники, ракетостроения, приборостроения и т.п. На развитие теории надежности в строительстве повлияли некоторые весьма важные причины.

**Во-первых**, одним из способов проектирования изделий с минимальной массой является повышение расчетных сопротивлений материалов. Поэтому коэффициент запаса является неудобным критерием для оценки пригодности изделия к эксплуатации, так как он стремится к единице и может быть даже меньше единицы. Так возникла необходимость создания другого более универсального критерия, которым послужило понятие *надежности* или *вероятности отказа*.

**Во-вторых**, ускоренные темпы технического развития вызывают дополнительное серьезное осложнение – дефицит времени. Это означает, что достижения научной мысли надо внедрять в производство, по возможности, быстрее. В противном случае совершенная в настоящее время модель окажется через некоторое время неконкурентноспособной по отношению к более современной модели. Таким образом, общепринятые методы поиска оптимальных параметров изделия, основанные на неоднократном проектировании и опытной проверке, в настоящее время оказываются непригодными из-за своей длительности. Отсюда следует необходимость нахождения теоретических способов определения надежности изделия, заменяющих его перепроектирование и опытную проверку.

**В-третьих**, для некоторых видов изделий опытные проверки могут оказаться чрезвычайно дорогими или практически неосуществимыми. Например, создание уникальных атомных электростанций и т.п. В таких случаях также необходимы методы теоретического определения надежности.

**В-четвертых**, в изделиях с высокой социально-экономической ответственностью, отказ которых может привести к катастрофическим последствиям или большому экономическому ущербу, очень важно знать их надежность.

**В-пятых**, теория надежности позволяет объективно и количественно оценить вероятность отказа изделия и вероятные экономические и неэкономические потери от его отказа.

В связи с постоянно уменьшающейся материалоемкостью конструкций их надежность снижается; определить насколько она снизилась и каково ее численное значение - *это первая задача теории надежности*, отражающая аспект безопасности.

В условиях технического прогресса очень быстро происходит моральное старение сооружений. Сделать сооружение таким, чтобы оно исчерпало свою надежность точно к моменту его морального устаревания – *это вторая задача теории надежности*, отражающая экономические аспекты.

Таким образом, безопасность и экономичность являются важнейшими аспектами практики строительства, а количественное их определение - задача актуальная и необходимая.

Существенный вклад в развитие теории надежности строительных конструкций и развитие вероятностных методов расчета строительных элементов и систем внесли такие ученые, как Дривинг А.Я., Дронов Ю.П., Иосилеский И.И., Клевцов В.А., Павлов Ю.А., Райзер В.Д., Снарски Б.И., Таль К.Э., Байрамуков С.Х., Аугусти, Баррата, Ионсон, Фрейденталь и др.

Особенностью вероятностных методов расчета (ВМР) является использование в расчетах среднестатистических характеристик свойств материалов, нагрузок и других параметров.

В качестве исходных данных в ВМР используются дополнительные сведения, характеризующие возможное рассеяние натуральных значений параметров (например, отклонение прочности стали от среднего значения). Поэтому для осуществления ВМР необходимо иметь соответствующую базу исходных данных, которая на сегодняшний день, к сожалению, не имеет нормативного оформления.

Аппарат ВМР позволяет учесть изменения состояния конструкции и нагрузочных условий во времени, что обусловлено накоплением дефектов в конструкциях и проявлением редких событий (например, выпадение необыкновенно большого количества снега один раз за много десятков лет).

На сегодняшний день ВМР – единственный метод, позволяющий количественно оценить безопасность строительной конструкции. Для этого используется понятие «неэкономическая ответственность», означающее количество людей, находящихся в момент отказа конструкции на площади поражения.

Наиболее прогрессивные расчеты строительных конструкций заключаются в оптимизации их параметров (например, материалоемкости). В качестве критерия очень часто выступают приведенные затраты, включающие в себя затраты при эксплуатации. Последние находятся в прямой зависимости от количества отказов за срок эксплуатации. Этот показатель на сегодняшний день можно определить только с помощью ВМР.

В связи с тем, что ВМР учитывает рассеяние параметров, определяющих свойства конструкции, они имеют тесную связь с контролем качества строительных конструкций, который, как правило, проводится с помощью статистических методов.

ВМР основываются на следующих разделах математики и смежных с ней наук:

- теория вероятностей;
- математическая статистика;
- теория планирования эксперимента;
- комбинаторика;
- теория надежности;
- теория случайных функций;
- теория массового обслуживания;
- теория графов.

Кроме того, ВМР невозможны без использования вычислительной техники, в частности, важными являются программы статистических и вероятностных вычислений, содержащихся в таких пакетах, как Matematika, Mathcad и др.

По своей структуре ВМР различны при использовании их для расчета надежности строительных элементов и систем. Так, при расчете надежности элемента в качестве исходных данных принимаются вероятностные характеристики свойств материалов, нагрузок и др., а сам расчет основывается на зависимостях, описывающих прочность, жесткость и другие свойства строительного элемента. При расчете надежности системы исходными данными служат надежности отдельных элементов системы, а расчет основывается на учете количества элементов в системе и на способах их соединений. Кроме того, расчет сам предусматривает выполнение отдельными элементами различных функций (несущей способности, теплоизоляции, звукоизоляции и т.п.).

Использование ВМР оказывает непосредственное и положительное влияние на развитие научных исследований в области расчета строительных элементов и систем (СЭС). Так, под влиянием ВМР в настоящее время практически в каждой научной работе дается количественная оценка достоверности (надежности) полученных результатов. Планирование научных исследований проводят таким образом, чтобы результаты работы были приемлемы для использования ВМР.

Основная цель ВМР - повысить объективность расчетов, что достигается через оценку их надежности. В этой связи особенностью ВМР являются следующие направления их использования:

- вариантное проектирование строительных элементов, позволяющее регулировать материалоемкость в зависимости от качества их изготовления;
- оптимизация параметров строительных элементов за счет минимизации приведенных затрат с учетом расходов за период эксплуатации;
- оптимизация нормируемых параметров, таких как коэффициент надежности по назначению, срок эксплуатации и др.;
- распределение заданной (или оптимальной) надежности системы по ее элементам;
- оценка остаточного ресурса прочности и долговечности эксплуатируемых СЭС;
- расчетное обеспечение безопасности эксплуатации СЭС;
- сравнительная оценка надежности и безопасности уникальных СЭС.

## 1.2. Основные понятия теории надежности применительно к строительной отрасли

Реальные объекты в теории надежности рассматриваются как технические системы и элементы. Эти понятия не носят абсолютного характера – они относительны. Любая техническая система может рассматриваться как элемент более крупной системы. С другой стороны, любой элемент может рассматриваться как система по отношению к компонентам, из которых он состоит. Например, железобетонная ферма – элемент по отношению к зданию, но система по отношению к раскосам и поясам.

В теории надежности для элементов и систем есть общее понятие – техническое изделие. Все технические изделия могут быть разделены на две группы – восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

**Восстанавливаемые изделия** – изделия, которые после отказа могут быть восстановлены. Например, в спортзале был обнаружен отказ балки покрытия по признаку второго предельного состояния. После установления причин отказа (перегрузка утеплителем, кровельными материалами) были произведены соответствующие ремонтные работы и отказ был устранен (изделие было восстановлено) без замены конструкции.

**Невосстанавливаемые изделия** – изделия, которые после отказа не могут быть восстановлены. Например, отказ железобетонных плит покрытия выразился в многочисленных дефектах (коррозионные и механические повреждения), и дальнейшая эксплуатация плит стала опасной. Восстанавливать такие конструкции было экономически нецелесообразно.

**Отказ** – событие, которое делает изделие непригодным к выполнению основных своих функций. Понятие отказа может быть дополнено экономическим содержанием.

На основании многочисленных наблюдений установлено, что каждый вид изделий за полный срок эксплуатации проходит три периода, для каждого из которых свойственен свой характер проявления отказов (рис.1.1)



Рис. 1.1. Периоды работы изделия

Первый период (период приработки) характерен тем, что количество отказов во времени быстро уменьшается. В этот период выясняются и устраняются дефекты, которые были допущены при проектировании и изготовлении изделия. За это время – время приработки – восстанавливается качество отказавших изделий. Например, ремонт, который выполняют новоселы перед заселением в квартиры, продолжается 1 – 2 года.

Во втором периоде работы (период нормальной эксплуатации) число отказов во времени начинает постепенно увеличиваться. Как правило, такие отказы связаны с проявлением неупругих свойств материалов (развиваются недопустимые прогибы конструкций, проявляются просадки зданий и т.п.). В то же время могут возникнуть и внезапные отказы, например, из-за природных воздействий (большой снегопад, ураган и т.п.). Однако такого рода отказы редки, но чем больше фактический срок эксплуатации, тем вероятность проявления таких отказов больше.

В третьем периоде (период износа и старения) количество отказов во времени резко возрастает.

Расчетным периодом, как правило, является период нормальной эксплуатации. К определению его длительности можно использовать разные подходы:

- нормированный срок службы конструкции или сооружения;
- признаки морального износа;
- время достижения конструкции или здания нормированной надежности.

Остановимся на последнем. Надежность строительного изделия во времени снижается по экспоненциальному закону (рис.1.2).

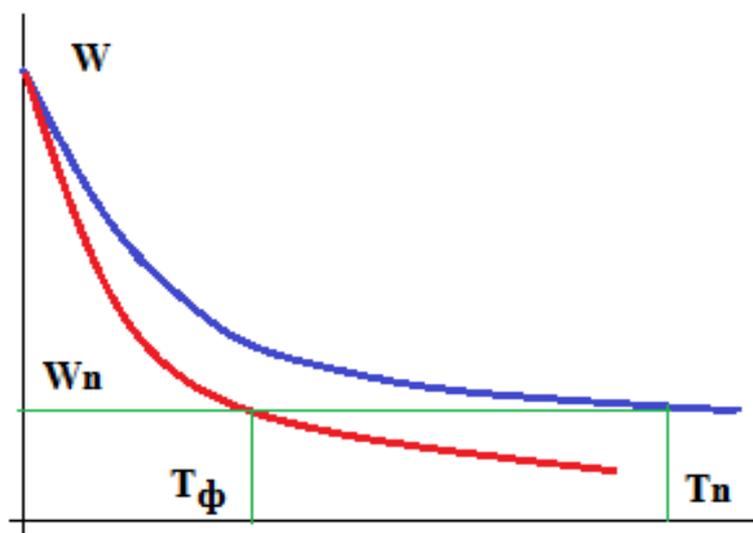


Рис. 1.2. К определению понятия «период нормальной эксплуатации»

Ко времени реализации нормативного срока  $T_n$  надежность изделия должна оказаться равной нормированной  $W_n$ . Наблюдениями установлено, что в подавляющем большинстве случаев отдельные конструкции и здания (особенно производственные), эксплуатируются без соблюдения соответствующих требований, в результате чего в них накапливаются дефекты, что приводит к быстрому достижению изделиями нормированной надежности  $T_f$ . Эксплуатация изделий с надежностью ниже нормированной не гарантирует их безопасности и экономичности.

Существует в достаточно полном виде классификация отказов (табл.1.1).

Таблица 1.1

### Классификация строительных отказов

Признак деления	Вид отказа	Примеры отказов
Характер проявления отказов	Внезапный	Хрупкое разрушение
	Постепенный	Накопление пластических деформаций
Связь с другими отказами	Независимый	Обрушение из-за перегрузки
	Зависимый	Обрушение плит покрытия из-за отказа фермы
Возможность использования после отказа	Полный	Обрушение
	Частичный	Ширина раскрытия трещин больше нормативной
Характер устранения отказа	Устойчивый	Просадка грунта
	Самоустраняющийся	Температурные деформации
Наличие внешних проявлений	Явный	Обрушение
	Скрытый	Потеря преднапряжения
Возможность	Непрогнозируемый	Хрупкое разрушение

прогнозирования	Прогнозируемый	Износ в агрессивной среде
Причина возникновения	Конструкционный	Коррозия бетона из-за неверного выбора вида бетона
	Технологический	Не обеспечен класс бетона
	Эксплуатационный	Перегрузка
Время возникновения отказа	При испытаниях	Испытание нового изделия
	При приработке	Осадка здания
	При нормальной эксплуатации	Обрушение
	В последний период эксплуатации	Недопустимо большое количество разрушений

Отказавшим может быть как элемент, так и система. При этом отказ элемента может не означать отказ системы, но отказ нескольких элементов может привести систему к отказу.

**Надежность** – свойство изделия, обусловленное его безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей в заданных пределах. В пределах нормальной эксплуатации надежность изделия уменьшается по экспоненциальному закону (рис.1.2) и описывается формулой

$$W(t) = \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right), \quad (1.1)$$

где  $t$  – текущее время;  $T_0$  – среднее время безотказной работы изделия.

Надежность (вероятность безотказной работы) и вероятность отказа изделия связаны друг с другом следующим соотношением:

$$W(t) = 1 - Q(t) \quad (1.2)$$

Выражение (1.2) иллюстрируется рис. 1.3.

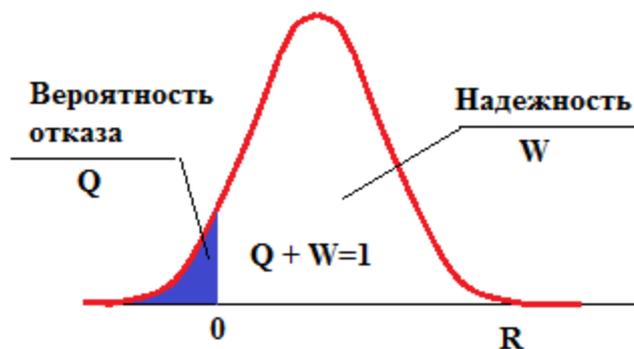


Рис.1.3. Связь между вероятностью отказа и надежностью

**Безотказность** – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность при определенных режимах и условиях эксплуатации.

**Долговечность** – свойство изделия быть безотказным во времени.

**Ремонтпригодность** – свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к восстановлению исправности.

**Исправность** – состояние изделия, при котором оно в данный момент времени удовлетворяет все требованиям, установленным как в отношении основных параметров, характеризующих выполнение заданных функций, так и в отношении второстепенных параметров, характеризующих внешний вид, удобства эксплуатации и т.п.

**Неисправность** – состояние изделия, при котором она в данный момент не удовлетворяет хотя бы одному основному или второстепенному параметру.

**Работоспособность** – состояние изделия, при котором оно в данный момент времени соответствует всем требованиям, установленным в отношении основных параметров.

**Наработка на отказ** – это характеристика изделия, определяющая время нормальной работы изделия между отказами. Для невосстанавливаемых изделий – это время с начала работы до первого отказа, для восстанавливаемых – между соседними отказами. Нарботка на отказ выражается в годах, циклах и т.п.

**Технический ресурс** – суммарная наработка изделия за период его эксплуатации до разрушения или достижения другого состояния, характеризующего его отказ. Для невосстанавливаемых изделий наработка на отказ равна техническому ресурсу. Для восстанавливаемых – технический ресурс всегда больше наработки на отказ.

**Частота отказов** – отношение числа отказавших изделий в единицу времени к начальному числу изделий при условии, что отказавшие изделия не заменяются и не восстанавливаются. Определяется по формуле:

$$a(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_0 \Delta t} \quad (1.3)$$

где  $\Delta n(t)$  – число отказавших изделий к моменту времени  $t$ ;  $N_0$  – начальное число изделий в партии;  $\Delta t$  – период времени, за который изучается надежность изделия.

**Интенсивность отказов** – отношение числа отказавших в единицу времени изделий к среднему числу изделий, исправно работающих в этот период времени.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N(t)\Delta t}, \quad (1.4)$$

где  $N(t)$  – число исправно работающих изделий к началу периода  $\Delta t$ .

**Вероятность безотказной работы изделия** – вероятность того, что в течение заданного срока при заданном режиме эксплуатации изделие будет работать безотказно.

$$W(t) = \frac{N(t)}{N_0} \quad (1.5)$$

**Последовательное соединение элементов в системе** – такое соединение, при котором отказ одного элемента вызывает отказ системы в целом (рис.1.4).

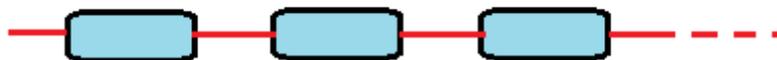


Рис. 1.4. Последовательное соединение элементов

При последовательном соединении надежность системы всегда меньше надежности наименее надежного элемента, так как равна произведению надежностей отдельных элементов (при взаимонезависимости  $W_i$ ):

$$W_c = \prod_{i=1}^n W_i = \prod_{i=1}^n (1 - Q_i), \quad (1.6)$$

где  $Q_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента.

Примером последовательного соединения могут служить несколько колонн по одной вертикальной оси.

**Параллельное соединение элементов в системе** – такое соединение, когда только выход всех элементов из строя ведет к отказу системы. Параллельное соединение элементов в теории надежности называется резервированием и рассматривается как один из способов повышения надежности системы (рис.1.5).

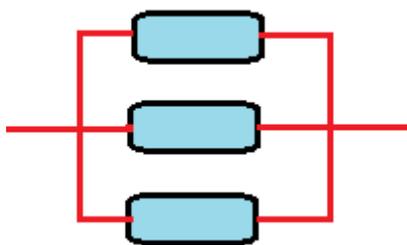


Рис.1.5. Параллельное соединение элементов

В этом случае при отказе одного элемента нагрузка, приходящаяся на него, передается на другие элементы системы. Система же в целом сохраняет свои эксплуатационные качества.

Примером параллельного соединения может служить соединение монтажных петель с конструкцией.

При параллельном соединении надежность системы всегда выше надежности самого надежного элемента:

$$W_c = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - W_i) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i \quad (1.7)$$

Система с параллельно и последовательно соединенными элементами объединяет оба способа соединения элементов (рис. 1.6).

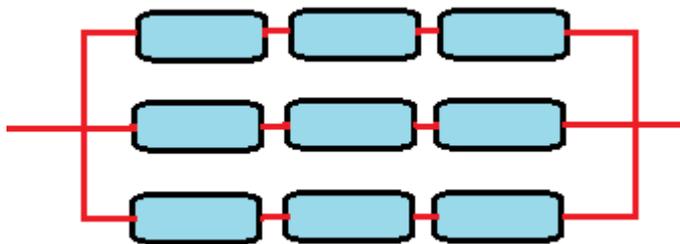


Рис. 1.6. Система с параллельно и последовательно соединенными элементами

Формула для определения надежности такой системы:

$$W_c = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \prod_{i=1}^n W_i), \quad (1.8)$$

где  $n$  – число последовательно соединенных элементов,  $m$  – число параллельно соединенных элементов.

### 1.3. Набор требований к строительным объектам

*«Настоящий инженер должен верить своему глазу больше, чем любой формуле; он должен помнить слова натуралиста и философа Гексли: «Математика подобна жернову, перемалывает то, что под него засыпают» - вот эту засыпку прежде всего инженер и должен смотреть.»*

*А.Н.Крылов*

Требования, которым должны удовлетворять здания и сооружения, главным образом касаются:

- безопасности для людей и окружающей среды;
- удобства использования по назначению, например, протекания технологических процессов, для реализации которых строится объект;
- обеспечения определенного уровня гигиены и комфорта;
- создания приемлемых условий для поддержания объекта в требуемом рабочем состоянии.

Все эти «потребительские свойства» могут быть охарактеризованы с качественной точки зрения, однако лишь некоторые из них поддаются точной

количественной оценке. Поэтому для части параметров, количественная оценка которых затруднена, производится их подмена различными «рабочими характеристиками» всего здания или его отдельных частей, с помощью которых может достигаться удовлетворение соответствующих качественных требований.

### ***Требования конструктивной безопасности***

Целью требований к безопасности конструкций является предотвращение аварий и обрушений здания или сооружения в целом и составляющих его частей, а также избежание других серьезных повреждений, которые могут привести к опасности для здоровья и жизни людей, к ущербу для окружающей среды или послужить причиной других аварийных ситуаций.

Требования, касающиеся вероятности разрушения, могут быть указаны либо прямо – путем установления некоторой формально приемлемой вероятности разрушения, либо косвенно – путем указания некоторых пределов для усилий, напряжений или коэффициентов надежности, что соответствует определенной вероятности разрушения. Как правило, выбор значений соответствующих параметров производится на основании опыта и с учетом экономических и социальных факторов.

Если даже объект спроектирован так, чтобы возникающие в период эксплуатации нагрузки не могли бы с заданной вероятностью вызвать полного разрушения конструкции, нельзя исключить таких опасностей, как:

- появление весьма маловероятных воздействий (взрывы, пожары и т.п.);
- грубые ошибки, допущенные специалистами при проектировании, строительстве и эксплуатации.

Поэтому кроме обычных предписаний, касающихся проектных проверок прочности и устойчивости, следует соблюдать и некоторые другие рекомендации:

- выбирать схему сооружения такой, чтобы в случае неспособности любого элемента нести нагрузку от запроектного воздействия это не приводило бы к разрушению всего сооружения или его значительной части;
- предусматривать эффективный контроль при проектировании, производстве материалов и компонентов, возведении и эксплуатации сооружения;
- заблаговременно предусматривать необходимый комплекс организационных и технических мероприятий по эвакуации людей, аварийному водо- и энергоснабжению, оповещению населения, аварийной сигнализации и т.п.

### ***Требования пожарной безопасности***

Пожарная безопасность людей, находящихся в здании, зависит от длительности различных этапов распространения огня и принятия мер пожарной безопасности. К числу определяющих параметров относятся периоды времени:

- подачи сигнала или оповещения о возникновении пожара;
- вступления пожарных команд в борьбу с огнем;
- на эвакуацию;

- выживания в помещениях, подверженных проникновению огня и дыма;
- сопротивления конструкций здания разрушению при воздействии пламени.

Длительность этих периодов зависит от эксплуатационных качеств систем сигнализации и оповещения, планировки здания, огнестойкости строительных конструкций, действий пожарных команд и спасаемых людей. Поэтому обеспечение пожарной безопасности может быть связано с различными усилиями и можно сосредоточиться либо на сокращении времени эвакуации из здания, либо на увеличении сроков выживания в различных помещениях, либо на разработке эффективных автоматических систем пожаротушения и т.д.

Некоторые временные параметры могут быть рассчитаны (например, пределы огнестойкости строительных конструкций), а другие нельзя ни измерить, ни рассчитать – их принимают на основании эмпирических данных (например, ширина аварийного выхода, требования по наличию ограждений).

### ***Безопасность в ходе эксплуатации***

Здесь имеется в виду обеспечение безопасности людей, не связанной с их производственной деятельностью и особенностью протекания технологических процессов, а определяемой строительными решениями. В первую очередь это относится к безопасности передвижения внутри здания и вблизи него. Несчастные случаи могут быть вызваны:

- падением с высоких мест, не огражденных барьером;
- падением с крутых лестниц, не имеющих перил;
- падением на горизонтальных участках вследствие наличия порогов в необычных местах;
- ударами о низко расположенные конструкции или карнизы дверей;
- падением в помещениях со скользкими полами;
- плохой различимостью стеклянных поверхностей дверей;
- ударами дверей, открывающихся в разные стороны.

К безопасности в ходе эксплуатации относятся также все требования по безопасности лифтов и другого оборудования зданий (электрическое, газовое, системы отопления и горячего водоснабжения и т.п.).

### ***Гигиенические требования***

К гигиеническим требованиям, целью которых является обеспечение здоровья людей, относятся:

- чистота воздушной среды;
- регулирование содержания влаги;
- качество водоснабжения;
- удаление отходов и нечистот;
- качество используемых покрытий и красок;
- инсоляция;
- уровень радиационного фона.

Некоторые из этих требований (например, параметры воздушной среды) поддаются количественной оценке, а другие (например, удаление бытовых отходов) могут быть сформулированы только в общем виде. Кроме того, обычно предъявляются требования к непрерывности обеспечения

гигиенических требований. В связи с этим могут потребоваться дублирующие мероприятия. Например: если воздухообмен обеспечивается кондиционерами и вентиляторами, то могут быть предъявлены требования по наличию проемов, которые открываются на случай поломок оборудования.

### ***Комфорт***

Под требованиями комфортабельности подразумевают комфорт:

- акустический;
- визуальный;
- гигротермический;
- обонятельный;
- антроподинамический (связан с действием вибрации на человеческий организм).

### ***Эксплуатационная надежность***

Требования эксплуатационной надежности связаны с тем, что конструкция может стать неудобной или вообще непригодной для использования по назначению, даже оставаясь в целом прочной или устойчивой. Например, трещина, появившаяся в стенке резервуара, может нарушить требуемую непроницаемость.

С экономической точки зрения может оказаться неверным требование о полном недопущении местных повреждений или неправильной работы конструкций. Особенно это относится к обратимым нарушениям, когда ущербное состояние сохраняется лишь до тех пор, пока будет продолжаться воздействие, ставшее его причиной. В этих случаях одновременно с ограничениями значений нежелательного фактора (например, перемещения или угла наклона) предъявляется требование по ограничению продолжительности неправильной работы конструкции. Естественно, что при необратимых повреждениях, которые сохраняются до тех пор, пока конструкция не будет отремонтирована, требования чаще всего будут направлены на недопущение ущерба, хотя и здесь возможны некоторые градации. Они связаны с тем, что различные местные повреждения могут иметь разную скорость развития, и одни из них могут ждать ремонта дольше, а другие требуют оперативного вмешательства.

Конструкции необходимо проектировать и возводить таким образом, чтобы ухудшение физических свойств материалов или неизбежный износ не приводили к недопустимой вероятности повреждения или неправильной работы в течение проектного срока службы. Поэтому конструкция снабжается определенной защитой от преждевременного износа. Если не удастся создать такую защиту, то следует предусматривать возможность ее регулярного инспектирования, обслуживания и проведения соответствующего ремонта.

### ***Реновация и модернизация***

Здания и сооружения являются объектами длительного использования, поэтому условия их функционирования могут меняться на протяжении срока службы. Проектируя строительные объекты, следовало бы позаботиться об их пригодности к таким изменениям, наметить ожидаемые сроки реконструкции и замены оборудования, а также решить вопрос о других возможных

модернизациях. К сожалению, такие исследования при проектировании обычно не производятся, что обусловлено отсутствием достаточной методической проработки проблемы, достоверного прогноза развития соответствующей отрасли техники, нестабильностью рыночной ситуации.

В связи с этим среди прочих показателей качества здания указывается обобщенное требование о приспособленности к возможным изменениям, которое может сказаться на принятии гибких объемно-планировочных и конструктивных решений (выбор увеличенных пролетов и шагов колонн, использование свободной планировки, применение сборно-разборных конструкций).

### *Культурные запросы*

К культурным запросам относятся требования, связанные с:

- традициями строительства;
- образом жизни;
- эстетикой;
- архитектурными стилями и тенденциями;
- культурой производства.

С нарушением этих требований часто связан моральный износ.

## **1.4. Качество и надежность зданий и конструкций**

**Надежность здания** определяется надежностью составляющих его конструктивных элементов, которая характеризуется тремя основными свойствами: безотказностью; долговечностью и ремонтпригодностью.

**Мерой безотказности ( $P$ )** считают отношение числа однотипных элементов ( $n_o$ ), которые за данный промежуток времени могут работать безотказно, к общему числу этих элементов ( $n$ ):

$$P = n_o / n \quad (1.9)$$

При замене или ремонте отдельных конструктивных элементов их надежность повышается, однако не может достигнуть начальной. Это объясняется тем, что в конструкциях и инженерных системах всегда существует остаточный износ, который не ремонтируется. В связи с этим, при плановых ремонтах рекомендуется восстанавливать или заменять все изношенные конструкции.

В общем случае надежность здания может быть выражена зависимостью:

$$P = f(n, P_n, P_m, P_z, T), \quad (1.10)$$

где  $n$  – количество элементов в здании;

$P_n$  – проектная характеристика надёжности элементов;

$P_m$  – технологическая характеристика надёжности элементов;

$P_z$  – технологическая характеристика надёжности здания;

$T$  – срок службы здания.

Под **физическим износом** конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и зданий в целом понимают потерю ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности,

эстетического вида и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека.

Физический износ на момент его оценки выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, инженерного оборудования и здания в целом, к их восстановительной стоимости. Физический износ отдельных конструкций, элементов инженерного оборудования оценивают путем сравнения признаков физического износа, определенных в результате визуального или инструментального обследования, с их значениями, приведенными в КМК 2.01.16–97 «Правила оценки физического износа жилых зданий». Краткая выборка из этого нормативного документа представлена в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Физический износ конструкций и элементов зданий**

Признаки износа	Количественная оценка	Физический износ, %
1	2	3
<b>Фундаменты ленточные крупноблочные</b>		
Мелкие трещины в цоколе, местные нарушения штукатурки цоколя и стен	Ширина трещин до 1,5 мм	0 - 20
Трещины в швах между блоками, высолы и следы увлажнения стен подвала	Ширина трещин до 2 мм	21 - 40
Трещины, частичное разрушение блоков до арматуры	Ширина трещин более 2 мм, глубина более 10 мм	41 - 60
Массовые повреждения и разрушения блоков, сквозные трещины на всю высоту здания, выпирание грунта в подвале	–	61 - 80
<b>Стены кирпичные</b>		
Отдельные трещины и выбоины	Ширина трещины до 1 мм	0 - 10
Глубокие трещины и отпадение штукатурки местами, выветривание швов	Ширина трещин до 2 мм, глубина до 1/3 толщины стены, разрушение швов на глубину до 1 см на площади до 10%	11 – 20
Отслоение и опадение штукатурки, выпадение отдельных кирпичей, трещины в карнизах и перемычках, увлажнение поверхности стен	Глубина разрушения швов до 2 см на площади до 30%, ширина трещины не более 2 мм	21 - 30
Сквозные трещины в перемычках и под оконными проемами, выпадение кирпичей, выпучивание стен	Отклонение стены по вертикали в пределах помещения более 1/200 высоты, прогиб стены до 1/200 длины участка	41 - 50
Массовые прогрессирующие сквозные трещины, заметное искривление стен	–	51 - 60
Разрушение кладки местами	–	61 – 70
<b>Колонны железобетонные</b>		
Трещины в растянутой зоне по всей	Ширина трещин до 0,5 мм,	

высоте колонны, по краям консоли, отколы и выбоины	выбоины глубиной до 5 мм не более 3 на 1 м <sup>2</sup>	0 - 40
Трещины в растянутой и сжатой зонах, отслоение защитного слоя бетона. Нарушение сцепления арматуры с бетоном. Искривление колонны.	Ширина трещин до 2 мм. Искривление колонны до 1/200 высоты	41 - 60
<b>Перекрытия из сборного железобетонного настила</b>		
Трещины в швах между плитами	Ширина трещин до 2 мм	0 -10
Незначительное смещение плит относительно друг друга по высоте вследствие деформаций, отслоение выравнивающего слоя заделки швов	Смещение плит до 1,5 см на площади не более 10%	11 -20
Значительное смещение плит относительно друг друга по высоте, следы протечек в местах опирания плит на наружные стены	Смещение плит по высоте до 3 см, повреждения на площади до 20%	21 -30
Трещины в плитах, следы протечек или промерзаний на плитах и стенах в местах опираний	Ширина трещин до 1 мм	31 - 40
Поперечные трещины в плитах без оголения арматуры, прогибы плит	Ширина трещин до 2 мм, прогиб до 1/100 пролета	41 -50
Глубокие поперечные трещины с оголением арматуры, прогиб	Ширина трещин более 2 мм, прогиб до 1/80 пролета	51 - 60
Множественные трещины, смещение плит из плоскости, заметный прогиб плит	Прогиб более 1/80 пролета	61 - 80

Физический износ конструкции, имеющей различную степень износа отдельных частей, определяют по формуле:

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^n \Phi_i \frac{P_i}{P_k}, \quad (1.11)$$

где  $\Phi_k$  – физический износ конструкции, %;

$\Phi_i$  – физический износ конструкции, определенный по таблице КМК, %;

$P_i$  – размеры (площадь или длины) участка, м<sup>2</sup> или м;

$P_k$  – размеры всей конструкции, м<sup>2</sup> или м;

$n$  – число поврежденных участков.

Физический износ здания определяют по формуле:

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^n \Phi_{ki} l_i, \quad (1.12)$$

где  $\Phi_3$  – физический износ здания, %;

$l_i$  – коэффициент, соответствующий доле восстановительной стоимости отдельной конструкции в общей восстановительной стоимости;

$n$  – число отдельных конструкций в здании.

Усредненные доли восстановительной стоимости приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

## Примерные усредненные удельные веса укрупненных конструктивных элементов

Наименование укрупненных элементов	Наименование конструктивных элементов	Удельные веса элементов по группам капитальности, %						
		I	II	III	IV	V		
Стены и перегородки (100%)	Стены	73	86	80	76	61		
	Перегородки	27	14	20	24	39		
Кровля (100%)	Конструкция крыши	75	40	40	40	47		
	Кровельные покрытия	25	60	60	60	53		
Проемы (100%)	Окна	48	56	56	67	67		
	Двери	52	44	44	33	33		
		Здания высотой		Варианты				
		до 5 этажей	более 5 этажей	с балконами	без балконов			
Прочие (10%)	Балконы*	33	31	15	—	—	—	—
	Лестницы	25	24	51	51	40	25	—
	Остальное	42	45	34	49	60	75	100

\*При отсутствии балконов удельный вес лестниц и прочих работ увеличивать на половину удельного веса балконов.

Для определения физического износа систем инженерного оборудования используют также данные, представленные в КМК 2.01.16–97. Если же в процессе эксплуатации некоторые части систем были заменены новыми, то тогда физический износ системы следует уточнить расчетным путем на основании сроков эксплуатации отдельных элементов по графикам (рис. 1.7, 1.8, 1.9 и 1.10).

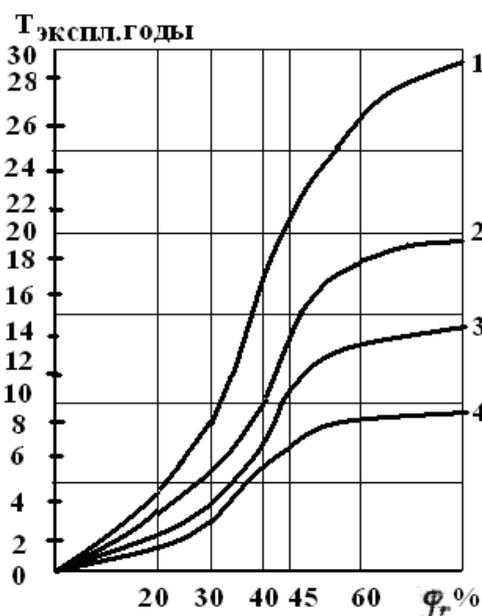


Рис.1.7. Физический износ системы внутреннего горячего водоснабжения

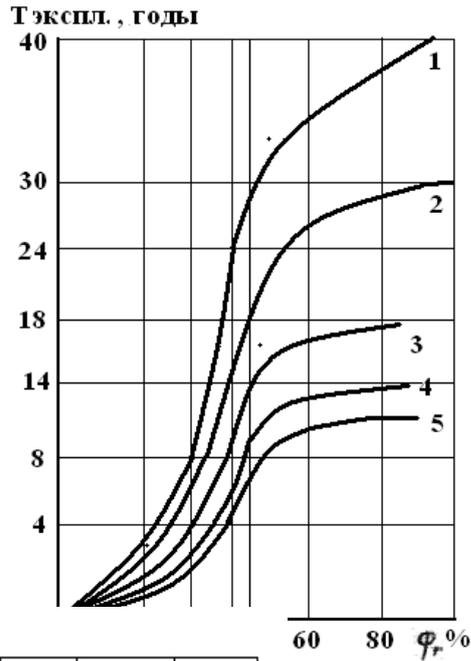
1 – оцинкованные трубы при открытой схеме теплоснабжения; 2 – оцинкованные трубы при закрытой схеме теплоснабжения;

3 - неоцинкованные трубы при открытой схеме теплоснабжения, смесители, полотенцесушители, запорная арматура из латуни;

4 - неоцинкованные трубы при закрытой схеме теплоснабжения, запорная арматура чугунная

Рис. 1.8.  
центрального

1 – радиаторы теплоснабжения; 2 – радиаторы при магистральной схеме; 3 – стальные радиаторы при открытой схеме; 4 – стальные радиаторы при закрытой схеме; 5 – запорная арматура всех видов



Физический износ системы отопления

чугунные при закрытой схеме – радиаторы чугунные при открытой теплоснабжения, стояки и стальные закрытой схеме теплоснабжения; 3 – открытой схеме теплоснабжения; 4 – радиаторы, стояки и магистрали при теплоснабжения; 5 – запорная арматура

Т<sub>экспл.</sub>, ГОДЫ

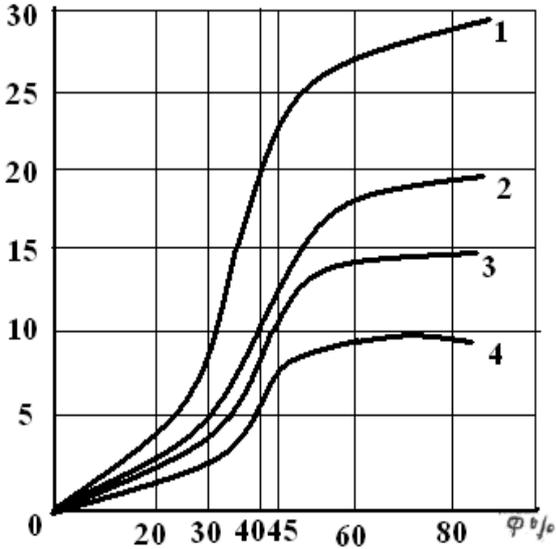


Рис.1.9. Физический износ системы внутреннего водопровода

1 – трубопроводы оцинкованные; 2 – бачки смывные керамические и чугунные; 3 – трубопроводы стальные черные, трубопроводы ПХВ, краны и запорная арматура латунные; 4 – краны и запорная арматуры чугунные

Т<sub>экспл.</sub>, ГОДЫ

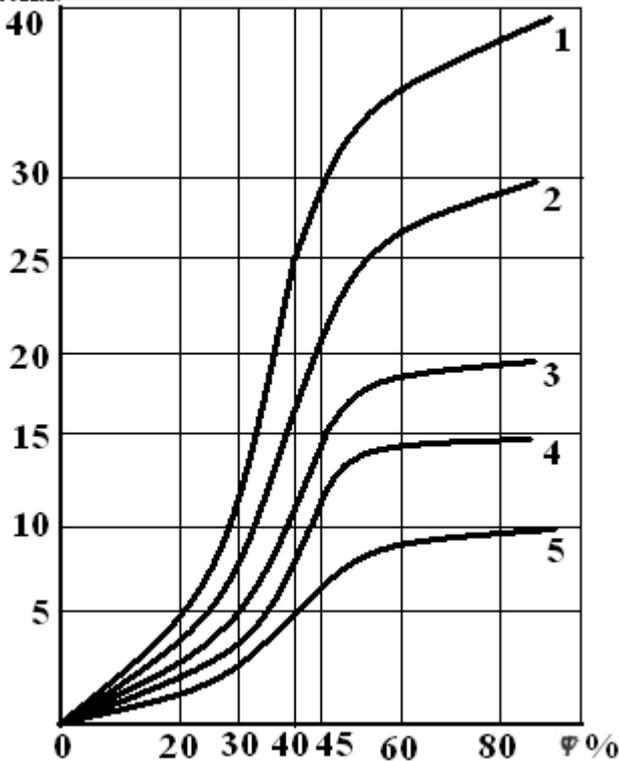


Рис. 1.10. Физический износ системы внутренней канализации

1 – трубопроводы чугунные, ванны чугунные; 2 – мойки и раковины чугунные и из нержавеющей стали;

3 – трубопроводы стальные, ванны стальные, унитазы, мойки, раковины, умывальники керамические, трубопроводы асбестоцементные; 4 – мойки и раковины стальные эмалированные; 5 – трубопроводы ПХВ.

На практике принято считать, что физический износ здания 70 – 75% классифицируется как ветхое состояние.

Помимо физического износа здание стареет морально. Моральный износ зданий в процессе эксплуатации нельзя предупредить. Однако методами проектирования можно получить такие объемно-планировочные и конструктивные решения, которые могут обеспечить их соответствие изменяющимся требованиям на более длительный период эксплуатации здания.

### ***Контрольные вопросы***

1. Почему метод расчета строительных конструкций считается полувероятностным?
2. Какие причины повлияли на развитие теории надежности в строительстве?
3. Какие задачи решает теория надежности при ее использовании в расчете строительных конструкций?
4. Как изменяется надежность строительного изделия во времени?
5. В чем отличие наработок на отказ для восстанавливаемых и для невосстанавливаемых изделий?
6. Чем характеризуется последовательное соединение элементов в системе?

### ***Библиографический список***

1. C. Guedes Soares, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal. 2010.457 p. – ISBN: 978-0-415-66392-2 (Hbk + CD-ROM). – ISBN: 978-0-203-81865-7 (eBook).
2. Zou P.X.W., Sunindijo R.Y. Strategic Safety Management in Construction and Engineering. JohnWiley & Sons, 2015. — X, 240 p. — ISBN: 9781118839379.
3. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций – М.: 184 с.
4. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций – М.: АСВ, 2008. – 253 с.
5. Щипачева Е.В., Щипачева Ю.А., Шаумаров С.С. Техническая эксплуатация зданий – Ташкент, ТашИИТ, 2010 - 154 с.

## Тема 2: БЕЗОПАСНОСТЬ И РИСК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### План лекции

**2.1. Понятия и определения теории безопасности строительства.**

**2.2. Риск аварии и подход к его прогнозированию.**

**2.3. Функции экспертов при оценке риска аварий.**

**Ключевые слова:** безопасность конструкционная, авария строительного объекта, риск аварии, остаточный ресурс, сертификация соответствия, износ, прогноз риска.

### Текст лекции

Строительная отрасль, как и любая другая отрасль промышленности, характеризуется наличием аварийных ситуаций. Статистика показывает, что примерно в 80% случаев строительные аварии с обрушением несущих конструкций происходят в результате человеческих ошибок, допущенных при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений. Эти ошибки формируют внутренний (объектный) риск аварии, от величины которого зависит не только срок службы (ресурс) объекта, но и размер ущерба в случае его аварии.

#### 2.1. Понятия и определения теории безопасности строительства

В теории безопасности строительных объектов используют следующие понятия и определения.

**1. Безопасность конструкционная** – часть безопасности, связанная с техническим состоянием несущего остова строительного объекта. Трактуются, как отсутствие недопустимого риска аварии. Считается достаточной, если риск аварии строительного объекта находится в области приемлемых значений.

**2. Авария строительного объекта** – абсолютное предельное состояние объекта, соответствующее либо полному разрушению конструкций несущего остова, либо возникновению значительных деформаций или потере устойчивости вида конструкций. Достижение таких состояний может привести к полной физической непригодности объекта, значительному материальному ущербу и гибели людей.

**3. Риск аварии** – число, показывающее превышение проектного риска аварии, вносимого по умолчанию в строительный объект при проектировании. Риск аварии является мерой ожидаемого ущерба в случае аварии объекта.

**4. Стандартные риски аварии** – значения риска, при достижении которых объект переходит в качественно иное состояние. Такие значения являются инвариантами и из них формируются требования конструкционной безопасности зданий и сооружений.

**5. Область приемлемых значений риска аварии** – область, границами которой являются стандартные значения риска аварии. Пока фактический риск

аварии остается внутри этой области, уровень конструкционной безопасности объекта считается достаточным.

**6. Декларирование** – форма подтверждения соответствия объекта требованиям конструкционной безопасности. Процедура декларирования на стадии проекта предусматривает не только выявление в проекте грубых ошибок и последующее их устранение, но и определение условий, при которых требованиям безопасности будет отвечать конечный продукт – построенный строительный объект. Применяется для особо опасных, технически сложных и уникальных зданий и сооружений.

**7. Грубая ошибка** – действие участника строительства (эксплуатации) объекта, заключающееся в непреднамеренном отступлении от обязательных требований безопасности при производстве работ. Следствием человеческих ошибок является снижение уровня конструкционной безопасности объекта.

**8. Сертификация соответствия** – процедура испытания риска аварии строящегося объекта с целью подтверждения соответствия требованиям конструкционной безопасности. При проведении испытаний производятся отслеживание и устранение грубых ошибок, допущенных при возведении несущего остова строительного объекта.

**9. Физический (конструкционный) износ** - число в интервале от 0 до 1, характеризующее степень деградации несущего остова объекта под воздействием системоразрушающих факторов (дефекты, перегрузка, старение, коррозия, усталость и др.)

**10. Безопасный остаточный ресурс** – интервал времени эксплуатации строительного объекта от текущего момента до момента достижения им предельно-допустимого значения риска аварии.

**11. Энтропия** (информационная) – мера неопределенности технического состояния несущего остова строительного объекта.

## 2.2. Риск аварии и подход к его прогнозированию

Риск аварии – векторная величина, регулируемой составляющей которой является объектный риск, формируемый за счет ошибок проектировщиков, поставщиков, строителей, контролеров и др. К *нерегулируемым составляющим* риска аварии относятся вероятности возникновения внешних запретных воздействий на объект, различающихся по частоте проявления и мощности. *Экономическими составляющими* риска аварии являются затраты на обеспечение конструкционной безопасности, убытки от аварии и выгода от снижения объектного риска арии.

В примерно 80% случаях аварии зданий и сооружений происходят в результате пересечения двух независимых негативных событий: события, состоящего в неожиданном появлении внешнего запроектного воздействия, провоцирующего аварию, и события, заключающегося в том, что при воздействии и/или эксплуатации объекта допущена определенная совокупность человеческих ошибок, снизившая уровень его конструкционной безопасности.

При аварии объекта размер ущерба зависит от величины внутреннего (объектного) риска аварии.

Прогноз риска аварии строительных объектов на основе классического вероятностного подхода невозможен по двум причинам. Во-первых, аварии зданий и сооружения являются весьма редкими событиями, а во-вторых, непредсказуемые человеческие ошибки, допускаемые в процессе проектирования, возведения и эксплуатации строительного объекта, вносят существенную неопределенность в реакцию (поведение) несущего остова здания на внешнее воздействие. Поскольку риск аварии и степень неопределенности технического состояния несущего остова здания являются тесно связанными понятиями, *оценка риска аварии должна осуществляться на основе логико-вероятностного подхода*, базирующегося на теоремах теории вероятностей (теорема гипотез, теорема полной вероятности и др.), методах теории размытых множеств, приемах нечеткой логики и методах принятия решений в условиях неопределенности.

Величины фактического риска аварии, физического (конструкционного) износа и безопасного ресурса зданий и сооружений также взаимосвязаны. Для определения этих величин должен использоваться закон распределения риска аварий, являющийся интегральным показателем уровня конструкционной безопасности строительного объекта. Если такой закон известен, то по значению его наиболее представительного показателя – информационной энтропии можно судить о степени неопределенности технического состояния несущего остова объекта. По изменению скорости роста этой энтропии можно отыскать такие значения риска аварии, при которых несущий остов строительного объекта переходит в качественно иное состояние: например, из безопасного - в аварийное, а из аварийного - в ветхо-аварийное.

### **2.3. Функции экспертов при оценке риска аварий**

Прогноз и оценка риска аварии строительного объекта осуществляются на основе экспертной системы, представляющей собой человеко-машинный комплекс, сочетающий математические методы и информационные технологии с опытом, знаниями и интуицией людей, освоивших профессию «эксперт».

В рамках экспертной системы основной функцией эксперта является предоставление формализованной информации о техническом состоянии несущего остова исследуемого объекта. Эта функция требует от эксперта владения методами анализа предельных состояний несущих конструкций и методом принятия решений в условиях неопределенности.

Важной функцией эксперта является оценка точности и достоверности результатов прогноза риска аварии, поскольку точность принятого решения о фактическом уровне конструкционной безопасности исследуемого объекта и величине его безопасного остаточного ресурса имеет прямые экономические последствия.

В условиях рынка функцией эксперта становится и информационное обеспечение заказчика. Например, заказчику, прежде чем вкладывать деньги в

реализацию технических решений по снижению риска аварии, необходимо знать, насколько повысится уровень безопасности и ресурс принадлежавшего ему объекта в результате проведенных ремонтно-восстановительных мероприятий.

В случае же аварии объекта к функции эксперта относятся выяснение причин аварии и определение круга лиц, которым предстоит нести за нее ответственность. Эта функция требует от эксперта углубленных знаний законов юриспруденции.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что представляет собой «риск аварии» и за счет чего он формируется?
2. Что относится к экономическим составляющим риска аварии?
3. Почему невозможно прогнозирование риска аварии на основе классического вероятностного подхода?
4. Какие функции выполняет эксперт при оценке риска аварий?

### ***Библиографический список***

1. C. Guedes Soares, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal. 2010.457 p. – ISBN: 978-0-415-66392-2 (Hbk + CD-ROM). – ISBN: 978-0-203-81865-7 (eBook).
2. Zou P.X.W., Sunindijo R.Y. Strategic Safety Management in Construction and Engineering. JohnWiley & Sons, 2015. — X, 240 p. — ISBN: 9781118839379.
3. PERIODIC STRUCTURAL inspection of existing building. Guidelines for structural engineers. Building and Construction Authority. 2012. 14 p.
4. Condition assessment of buildings for repair and upgrading. GoI-UNDP Disaster, Risk Management Programme National Disaster Management Division. Ministry of Home Affairs, Government of India. New Delhi. 2007. 16 p.
5. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов (теория, методики и инженерные приложения)/Учебное пособие – Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 2006 – 49 с.
6. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании/ Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988.

## **Тема 3: ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ БЕЗОПАСНОСТИ**

### **План лекции**

- 3.1. Регулирование риска аварии здания на стадии проекта.**
- 3.2. Управление риском аварии при возведении объекта.**
- 3.3. Регулирование риска аварии зданий, находящихся в эксплуатации.**

**Ключевые слова:** риск аварии, безопасный ресурс, прогноз риска аварии, надежность, эксплуатация, безопасность, дефект.

## Текст лекции

### 3.1. Регулирование риска аварии здания на стадии проекта

Главная цель регулирования – увеличение безопасного ресурса построенного объекта, существенным образом зависящего от величины риска аварии на момент окончания его строительства. Необходимым этапом регулирования является прогноз риска аварии объекта еще на стадии его замысла. Такой прогноз можно осуществить на основе информации об уровне эффективности систем качества предполагаемых участников строительства. Практика доказала, что чем выше эффективность системы качества проектировщиков, поставщиков и строителей, тем выше уровень конструкционной безопасности построенного объекта. Осуществить прогноз риска аварии можно по формуле (3.1):

$$R=1/Mv=1/\Pi(Mp) , \quad (3.1)$$

где  $Mv$  – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины уровня конструкционной надежности несущего остова здания,

$\Pi(Mp)$  – произведение средних уровней надежности однотипных строительных конструкций, составляющих несущий остов здания.

Средние уровни надежности  $Mp$  групп однотипных конструкций несущего остова здания определяются по результатам экспертизы систем качества предполагаемых участников строительства.

Средний уровень надежности  $Mp$  группы конструкций можно оценить по вероятности  $P(B)$  ее соответствия требованиям нормативных документов в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости:

$$Mp=P(B)=\Sigma P(B/q_i)P(q_i), \quad (3.2)$$

где  $q=\{q_i\}=\{MCP, M^*CP, MC^*P, MCP^*, M^*C^*P, M^*CP^*, MC^*P^*, M^*C^*P^*\}$  – полная группа событий, включающая следующие независимые события:  $M$  – нет ошибок поставщиков материалов (изделий);  $C$  – нет ошибок строителей;  $P$  – нет ошибок проектировщиков;  $M^*$ ,  $C^*$  и  $P^*$  – события, противоположные событиям  $M$ ,  $C$  и  $P$ . Входящие в эту формулу условные вероятности  $P(B/q_i)$  являются инвариантами, имеющими смысл вероятности соответствия несущих конструкций требованиям безопасности при условии:

- 1)  $P(B/q_1)=1$  – ошибок участников строительства нет;
- 2)  $P(B/q_2)=a$  – есть ошибки только поставщиков;
- 3)  $P(B/q_3)=b$  – есть ошибки только строителей;
- 4)  $P(B/q_4)=c$  – есть ошибки только проектировщиков;
- 5)  $P(B/q_5)=ab$  – нет ошибок только проектировщиков;
- 6)  $P(B/q_6)=ac$  – нет ошибок только строителей;
- 7)  $P(B/q_7)=bc$  – нет ошибок только поставщиков;

8)  $P(B/q_8)=abc$  - есть ошибки всех участников строительства.

Инварианты в совокупности представляют априорную информацию, которая может быть сформулирована из анализа причин случившихся аварий. Около 80% аварий происходит из-за ошибок участников строительного процесса, в том числе по вине поставщиков около 20%, по вине строителей около 50%, а по вине проектировщиков около 10%. Следовательно,  $a=0.8$ ;  $b=0.5$ ;  $c=0.9$ . Если обозначить вероятность независимых событий  $M$ ,  $C$  и  $\Pi$  как  $P(M)=\mu_m$ ,  $P(C)=\mu_c$ ,  $P(\Pi)=\mu_n$ , то из формулы полной вероятности следует следующая математическая модель:

$$\begin{aligned} M_p = & \mu_m \mu_c \mu_n + 0,8(1 - \mu_m) \mu_c \mu_n + 0,5 \mu_m (1 - \mu_c) \mu_n + 0,9 \mu_m \mu_c (1 - \mu_n) + \\ & + 0,4(1 - \mu_m)(1 - \mu_c) \mu_n + 0,72(1 - \mu_m) \mu_c (1 - \mu_n) + 0,45 \mu_m (1 - \mu_c)(1 - \mu_n) + \\ & + 0,36(1 - \mu_m)(1 - \mu_c) (1 - \mu_n). \end{aligned} \quad (3.3)$$

В формуле (3.3) величины  $\mu_m$ ,  $\mu_c$  и  $\mu_n$  имеют смысл степеней соответствия несущих конструкций требованиям нормативных документов. Формула позволяет спрогнозировать средний уровень надежности  $M_p$  групп конструкций несущего остова здания, как на стадии замысла здания, так и на стадии эксплуатации объекта.

Рассмотрим случай декларирования уровня конструкционной безопасности планируемого к возведению здания, когда имеется готовый проект объекта. При определении  $\mu_n$  задачами эксперта являются:

- 1) отследить наличие в проекте грубых ошибок (табл.3.1);
- 2) оценить уровень безопасности обнаруженных в проекте ошибок;
- 3) принять меры для ликвидации обнаруженных ошибок.

Таблица 3.1

**Примерный перечень грубых ошибок проектировщиков**

№№	Описание возможных грубых ошибок проекта
1	Принятые в проекте физико-механические характеристики грунтов не соответствуют действительному состоянию основания. Отсутствуют лабораторные испытания образцов грунта с ненарушенной структурой
2	При выборе расчетной модели основания инженерно-геологическими изысканиями не выявлены и не учтены характерные зависимости деформирования грунта под нагрузкой
3	Размеры фундамента и положение масс на плане объекта не обеспечивают равномерность осадок
4	Расчетная схема несущего остова не соответствует действительной его работе под нагрузкой
5	При вводе исходных данных в расчетную программу допущены ошибки в размерностях и величинах нагрузок, сопротивлений, жесткостей. Расчет не продублирован по другой программе
6	Несоответствие запроектированных узловых соединений элементов каркаса принятой расчетной схеме жесткости узлов.

7	Связевые конструкции не обеспечивают требуемой жесткости несущего каркаса объекта
---	---

Оценка уровня опасности обнаруженных в проекте грубых ошибок производится по специальному правилу (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Связь степени соответствия с уровнем опасности допущенных ошибок

Уровень опасности ошибки	Степень влияния обнаруженных ошибок на безопасность в лингвистической форме	Уровень надежности проекта
1	Влияния <i>практически нет</i>	0,987
2	Влияние <i>незаметное</i>	0,939
3	Влияние <i>незначительное</i>	0,828
4	Влияние <i>значительное</i>	0,686
5	Влияние <i>очень значительное</i>	0,568
6	Влияние <i>предельно высокое</i>	0,500

Уровни опасности и степени соответствия определяются для каждой обнаруженной в проекте грубой ошибки. В совокупности они образуют нечеткое (размытое) множество оценок качества проекта. В соответствии с алгеброй нечетких множеств окончательная числовая оценка проекта определяется по формуле  $\mu_n = \min\{(\mu_n)_i\}$ .

Таблица 3.3

Требования ИСО 9001 к элементам систем качества

№№	Элементы систем качества и требования к ним стандарта ИСО 9001
1	Наличие политики в области качества и систем мотивации качественного труда
2	Соответствие ИТР и рабочих профессий профилю выпускаемой продукции
3	Наличие актуализированных программ повышения квалификации различных категорий работников
4	Соответствие механизмов и оборудования требованиям качества технологических операций
5	Наличие системы технического обслуживания и системы документирования процедур выполнения технологических операций
6	Регулярная внутренняя проверка, проводимая с целью оценки эффективности функционирования системы качества
7	Наличие программ, методик, экспертов с определением их ответственности, форм документирования и регистрации входного и производственного контроля качества продукции
8	Наличие оборудования, метрологического и лабораторного для обеспечения процедур идентификации качества продукции

Для определения  $\mu_m$  и  $\mu_c$  вводится гипотеза о прямой зависимости уровня конструкционной безопасности объекта от эффективности функционирования систем качества организаций – участников инвестиционного строительного процесса. Задачей эксперта является назначение по правилу, приведенному в табл. 3.2, степеней соответствия  $(\mu_m)_i$  и  $(\mu_c)_i$  для всех элементов системы качества, представленных в табл.3.3. По аналогии с  $\mu_n$  окончательные числовые оценки систем качества организации-поставщика и подрядной организации определяются по формулам:  $\mu_m = \min\{(\mu_m)_i\}$ ,  $\mu_c = \min\{(\mu_c)_i\}$ .

Технология декларирования конструкционной безопасности объекта строительства на стадии проекта состоит из следующих операций.

1. Формируется «дерево» состояний объекта, представляющее собой иерархическую последовательность возведения групп однотипных конструкций несущего остова.

2. Определяется числовая оценка проекта  $\mu_n$ .

3. По результатам диагностики систем качества назначаются  $\mu_m$  и  $\mu_c$  для всех участников строительного процесса.

4. По формуле (3.3) определяются значения средних уровней надежности  $M_p$  всех групп конструкций несущего остова объекта.

5. По формуле (3.1) определяется ожидаемый после возведения объекта фактический риск аварии  $R$  и этот риск сравнивается с нормальным риском аварии  $R_n$ .

6. Если  $R > R_n$ , то строится диаграмма средних спрогнозированных уровней надежности  $M_p$  в группах однотипных конструкций несущего остова объекта с указанием на диаграмме стандартного нормального  $p_n$  уровня надежности конструкций.

7. По диаграмме определяются участники строительства, которые потенциально внесут в объект наибольший риск аварии, и на основе информации п.3 принимается управленческое решение.

### 3.2. Управление риском аварии при возведении объекта

Цель управления риском аварии в процессе возведения объекта – обеспечить на момент сдачи здания (сооружения) в эксплуатацию величину риска, не превышающую нормальное значение. В этом случае достигается наибольший безопасный ресурс построенного объекта. Главной задачей управления является идентификация риска аварии для всех «промежуточных» зданий строящегося объекта. Под «промежуточным» зданием понимается часть  $m$ -этажного объекта, содержащая нулевой цикл и  $k=1,2,\dots,m$  его этажей. Процедура идентификации риска аварии и технология его регулирования состоит из следующих операций.

1. Формируются требования конструкционной безопасности исследуемого объекта, к которым относятся нормальное значение риска аварии  $R_n$  и нормальный  $p_n$  средний уровень надежности в группах конструкций несущего остова здания.

2. В режиме специальным образом организованной для этой цели экспертизы устанавливаются значения  $p_1$  и  $p_2$  закона распределения фактических уровней надежности конструкций в группах несущего остова каждого «промежуточного» здания.

3. По средним значениям надежности в группах для каждого «промежуточного» здания строится диаграмма, позволяющая определить группы несущих конструкций, которые вносят наибольший вклад в риск аварии объекта.

4. Принимаются меры по устранению дефектов. Окончательная информация о техническом состоянии несущего остова объекта фиксируется в специальном документе.

5. По информации о техническом состоянии групп конструкций несущего остова для каждого «промежуточного» здания объекта осуществляются статистические испытания фактического риска аварии.

6. По результатам статистических испытаний строятся гистограммы распределения фактических значений риска аварии, по показателям которых принимается решение о соответствии несущего остова объекта требованиям конструкционной безопасности.

Контроль уровня конструкционной безопасности объекта в процессе его возведения состоит в определении по гистограммам для каждого «промежуточного» здания вероятности  $\lambda$  события, состоящего в том, что фактический риск аварии  $R$  не превысит нормального значения  $R_n=2$ .

Величина  $\lambda$  равна площади закона распределения, заключенной в интервале от 1 до 2. Если  $\lambda \geq 0,5$ , то «промежуточное» здание соответствует требованиям конструкционной безопасности. В целом объект соответствует требованиям конструкционной безопасности, если доказано, что фактический риск аварии  $R$  последнего «промежуточного» здания не превысил нормального значения  $R_n$ .

Приведенная процедура инженерного сопровождения проекта при определенных условиях (независимость экспертов, наличие утвержденной нормативной базы и др.) совпадает с процедурой сертификационных испытаний несущих остовов объектов на соответствие требованиям конструкционной безопасности. В отличие от традиционных подходов в этом методе испытаниям подвергается риск аварии объекта на основе компьютерной технологии.

### **3.3. Регулирование риска аварии зданий, находящихся в эксплуатации**

Оценка риска аварии и остаточного ресурса находящихся в эксплуатации зданий и сооружений является необходимым этапом при принятии решений об их реконструкции, реставрации и капитальном ремонте.

Оценка осуществляется на специально разработанной для этих целей экспертной системе, представляющей собой человеко-машинный комплекс, сочетающий математические методы и информационные технологии с опытом,

знаниями и интуицией людей, освоивших профессию «эксперт». В экспертную систему встроены компьютерные программы.

***Структура экспертной системы расчета риска аварии и безопасного ресурса объекта строительства***

Основным элементом экспертной системы является база знаний, которая структурирована в три независимых блока.

**Блок 1.** База данных, предназначенная для автоматизированного определения стандартных и фактических значений риска аварии несущего каркаса исследуемого объекта строительства.

База данных содержит информацию о «дереве» состояний объекта в виде иерархической последовательности возведения групп однотипных конструкций несущего каркаса. «Дерево» состояний является управляющим механизмом регламента для сбора информации. База данных включает в себя следующее.

1. Общие сведения об объекте (назначение объекта, адрес строительной площадки, срок строительства или эксплуатации).
2. Сведения об участниках строительства (заказчик-инвестор, генподрядчик, проектная организация, ответчик за инженерно-геологические изыскания, поставщики материалов и изделий).
3. Сведения конструктивного характера (тип здания, число этажей, тип фундамента и основных несущих конструкций).
4. Сведения о грунтовой обстановке (вид грунта основания, особые свойства грунта, характеристика грунтовых вод).
5. Сведения о примененных материалах и изделиях (тип, марка, прочностные характеристики).
6. Сведения о нагрузках (полезная, временная, постоянная на фундамент, несущие стены и перекрытия).

Регламент экспертных работ определяется «деревом» состояний объекта и перечнем конструкций и их параметров, ответственных за безопасность объектов строительства (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Примерный перечень параметров несущих конструкций,  
ответственных за безопасность зданий и сооружений

<b>Группы несущих конструкций, вид и характер контролируемых параметров</b>
<b>1. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСНОВАНИЕ</b>
1.1. Несущая способность основания (по нарушениям естественной структуры основания: разуплотнения грунта при суффозии (размыве), оттаивании после замораживания, замачивании, при переходе фундаментов в зиму без утепления основания с пучинистыми грунтами)
<b>2. СВАЙНОЕ ОСНОВАНИЕ</b>
2.1. Несущая способность свайного поля в составе фундамента (по отклонению положения свай, отказу свай, конструкции стыка сваи с ростверком, по наличию и виду грунта под подошвой ростверка)
<b>3. ФУНДАМЕНТЫ И СТЕНЫ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ ИЗ</b>

БЛОКОВ
3.1. Установка подушек и блоков (по перевязке блоков, заполнению торцевых замков раствором, марке раствора, отклонению рисков разбивочных осей и отметок опорных поверхностей)
4. СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
4.1. Установка элементов (по отклонению положения после постоянного закрепления, по качеству монтажных узловых соединений, устройству платформенных стыков)
4.2. Качество сварных швов, антикоррозионного покрытия, замоноличивания стыков, водоизоляции и воздухоизоляции стыков
5. КОНСТРУКЦИИ ИЗ КАМНЯ, КИРПИЧА И БЛОКОВ
5.1. Качество кладки (по толщине швов, системе перевязки, креплению кладки (в том числе и в зимнее время), по отклонению размеров и положения кладки, по наличию пустых швов)
6. КОНСТРУКЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
6.1. Установка элементов (по количеству и качеству установки арматуры, качеству сварных швов, толщине защитного слоя, по отклонению положения и размеров завершенных конструкций)
6.2. Прочность бетона (по наличию трещин в бетоне, по возможному замораживанию бетона в процессе возведения конструкций)
7. КОНСТРУКЦИИ ИЗ МЕТАЛЛА
7.1. Установка элементов (по отклонению положения после постоянного закрепления; по качеству исполнения узловых соединений)
7.2. Качество сварных швов, антикоррозионного покрытия, замоноличивания стыков, водоизоляции и воздухоизоляции стыков

**Блок 2.** Блок формализации, предназначенный для приведения экспертной информации к однозначному (формализованному) виду.

Блок формализации содержит правила, позволяющие сгладить неопределенность экспертной информации о техническом состоянии объекта и свести ее в ранг показателей, необходимых для прогноза фактического риска аварии (закон распределения надежностей в группах конструкций, уровни надежности наиболее и наименее дефектных в группах конструкций). Для назначения уровней надежности конструкций блок формализации содержит правило формализации (табл. 3.5) и банк данных о признаках опасных дефектов несущих конструкций (см. табл. 3.6).

Таблица 3.5

Правило назначения уровня надежности конструкции  
в зависимости от уровня ее опасности и ранга

Уровень опасности конструкции	Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг уровня	Степень переменной «очень»	Уровень надежности конструкции
0	Дефектов <i>нет</i>	-	(очень) <sup>0,00</sup>	1,000
	Соответствие	1	(очень) <sup>0,01</sup>	0,994

1	требованиям проекта <i>практически полное</i>	2	(очень) <sup>0,02</sup>	0,987
		3	(очень) <sup>0,03</sup>	0,981
2	Отклонения от требований проекта <i>незначительные</i>	1	(очень) <sup>0,05</sup>	0,969
		2	(очень) <sup>0,10</sup>	0,939
		3	(очень) <sup>0,15</sup>	0,910
3	Отклонения от требований проекта <i>значительные</i>	1	(очень) <sup>0,20</sup>	0,882
		2	(очень) <sup>0,30</sup>	0,828
		3	(очень) <sup>0,40</sup>	0,777
4	Соответствие требованиям проекта <i>низкое</i>	1	(очень) <sup>0,50</sup>	0,730
		2	(очень) <sup>0,60</sup>	0,686
		3	(очень) <sup>0,70</sup>	0,644
5	Соответствия требованиям проекта <i>практически нет</i>	1	(очень) <sup>0,80</sup>	0,604
		2	(очень) <sup>0,90</sup>	0,568
		3	(очень) <sup>1,00</sup>	0,533
6	Соответствие <i>предельно-низкое</i>	-	(очень) <sup>1,10</sup>	<b>0,500</b>
7	Конструкция содержит <i>опасный дефект</i>	1	(очень) <sup>1,20</sup>	0,470
		2	(очень) <sup>1,30</sup>	0,441
		3	(очень) <sup>1,40</sup>	0,414
8	Конструкция содержит <i>несколько опасных дефектов</i>	1	(очень) <sup>1,50</sup>	0,389
		2	(очень) <sup>1,60</sup>	0,365
		3	(очень) <sup>1,70</sup>	0,343
9	Конструкция содержит <i>угрожающие аварией дефекты</i>	1	(очень) <sup>1,80</sup>	0,322
		2	(очень) <sup>1,90</sup>	0,303
		3	(очень) <sup>2,00</sup>	0,284
10	Состояние конструкции практически <i>предельное</i>	-	(очень) <sup>2,20</sup>	<b>0,250</b>

Таблица 3.6

Перечень опасных дефектов конструкций несущего каркаса объекта

<b>ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСНОВАНИЕ</b>
1. Полное замачивание грунта основания на глубину более 0,5 м
2. Замачивание просадочных, набухающих и элювиальных неводонасыщенных грунтов основания до степени влажности более 50%
3. Промораживание водонасыщенных грунтов под подошвой фундамента на глубину более 3 см
4. Промораживание элювиальных пучинистых грунтов основания и переход основания в зиму без утепления
<b>СВАЙНОЕ ОСНОВАНИЕ</b>
1. Отсутствие зазора под подошвой ростверка при пучинистых грунтах
2. Сквозные вертикальные трещины в ростверке
<b>ФУНДАМЕНТЫ И СТЕНЫ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ИЗ БЛОКОВ</b>
1. Сквозные вертикальные трещины в цоколе
2. Повреждения и разрушения блоков
<b>СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ</b>
1. Диагональные трещины по углам ж/б стеновых панелей
2. Вертикальные трещины в стыках, местах установки балконных плит,

<p>перемычек</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Ненормативные смещения колонн от вертикали</li> <li>4. Смещения ж/б панелей, трещины в них, разрушения узлов крепления</li> <li>5. Глубокие поперечные трещины в плитах перекрытия с оголением арматуры, заметный прогиб плит</li> <li>6. Трещины на опорных участках плит перекрытия</li> </ol>
<b>КОНСТРУКЦИИ ИЗ КАМНЯ, КИРПИЧА И БЛОКОВ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вертикальные трещины в колоннах, простенках</li> <li>2. Разрушение и расслоение кладки, нарушение связи отдельных участков кладки, следы увлажнения стен</li> </ol>
<b>КОНСТРУКЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Трещины в различных направлениях в растянутой зоне конструкции</li> <li>2. Следы постоянного увлажнения бетона атмосферными и агрессивными водами</li> <li>3. Оголение и сильная коррозия арматуры, разрывы арматуры</li> <li>4. Крупные выбоины и сколы бетона в сжатой зоне конструкции</li> <li>5. Низкая прочность бетона в сжатой зоне конструкции</li> </ol>
<b>КОНСТРУКЦИИ ИЗ МЕТАЛЛА</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие пятен язвенной коррозии металла</li> <li>2. Заметные деформации конструкции</li> <li>3. Разрушения стыков, отсутствие креплений</li> <li>4. Выбоины и отбитые места со сквозными трещинами</li> <li>5. Наличие трещин усталостного характера</li> <li>6. Несоответствие класса стали проекту, зыбкость конструкции</li> </ol>

**Блок 3.** *Блок логических выводов, предназначенный для оценки уровня конструкционной безопасности и безопасного ресурса исследуемого объекта строительства.*

Блок содержит набор алгоритмов, позволяющих на основании сведений базы данных и формализованной экспертной информации определить средние значения уровней надежности в каждой группе однотипных конструкций несущего каркаса исследуемого объекта, найти среднее значение риска аварии для каждого «промежуточного» здания объекта и осуществить верификацию полученных результатов. По фактическому значению риска аварии определяют показатели ресурса исследуемого объекта, а через сравнение фактического риска аварии со стандартными значениями риска техническое состояние исследуемого объекта относят к одному из трех возможных: безопасному, аварийному, ветхо-аварийному.

В экспертной системе предусмотрен **пользовательский интерфейс** для передачи информации заказчику в визуализированном виде. К такой информации относится следующая.

1. Диаграмма средних фактических уровней надежности в однотипных группах конструкций несущего каркаса объекта с указанием на диаграмме нормального и предельно-допустимого уровней надежности конструкций.

2. Карта риска с информацией о нормальном, предельно-допустимом и

фактических значениях риска аварии. Фактические значения риска аварии приводятся для всех «промежуточных зданий» исследуемого объекта строительства.

3. Значения показателей ресурса исследуемого объекта строительства, к которым относятся время до достижения объектом предельно-допустимого риска аварии (безопасный остаточный ресурс) и время до достижения объектом предельного риска аварии (долговечность).

На первом этапе регулирования формируются требования конструкционной безопасности исследуемого объекта и информация о техническом состоянии конструкций его несущего каркаса. Алгоритм формирования требований конструкционной безопасности объекта включает назначение границ области приемлемых рисков и определение стандартных значений уровней надежности несущих конструкций. В компактном виде этот алгоритм представлен в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Алгоритм формирования требований конструкционной безопасности объектов строительства

Требования конструкционной безопасности исследуемого объекта
Нормальный риск аварии: $R_n=2$
Предельно-допустимый риск аварии: $R_{пд}=18$
Нормальный уровень надежности конструкций: $p_n=(R_n)^{-1/n}$ , где $n$ – число групп однотипных несущих конструкций объекта
Предельно-допустимый уровень надежности конструкций: $p_{пд}=(R_{пд})^{-1/n}$

На втором этапе по правилу формализации экспертной информации определяются уровни надежности  $p_1$  и  $p_2$  соответственно наиболее дефектных и наименее дефектных конструкций в каждой группе конструкций и по формуле ( $Mr=(p_1+p_2)/2$ ) определяются средние значения  $Mr$  надежности конструкций в группах.

По значениям  $Mr$  строится диаграмма средних фактических уровней надежности в однотипных группах конструкций несущего каркаса объекта с указанием на диаграмме нормального и предельно-допустимого уровней надежности конструкций. По формуле (3.2) определяются фактические значения риска аварии всех «промежуточных» зданий, которые можно выделить из исследуемого объекта, и по этим значениям строится карта риска с указанием на ней области приемлемых рисков аварии. Диаграмма, карта риска и экспертный документ (см. табл. 3.4) позволяют извлечь полную информацию о неблагоприятных группах конструкций, внесших наибольший «вклад» в риск аварии исследуемого объекта, и эта информация является основой регулирования уровня конструкционной безопасности и ресурса подержанных зданий.

На третьем этапе регулирования производится расследование причин снижения уровня конструкционной безопасности исследуемого объекта и

построение на основе этого расследования оптимальной тактики и стратегии ремонтно-восстановительных работ по снижению риска аварии. Порядок проведения ремонтных работ определяет эксперт. Вначале ремонтными работами необходимо обеспечить безопасность несущих конструкций нулевого цикла, затем приступить к ликвидации критических дефектов в неблагоприятных группах конструкций несущих каркасов этажей. В случае, если фактический риск аварии находится в области неприемлемых рисков, необходимо прежде, чем начать ремонтные работы, предусмотреть специальные меры безопасности.

Основным способом снижения риска аварии является **ликвидация критических дефектов** в реально существующих конструкциях. Если ликвидировать дефекты в конструкции не удастся по техническим причинам или экономическим соображениям, то следует применить дублер-конструкцию, заменяющую и исполняющую функции существующей конструкции в составе несущего остова объекта. В этом случае речь уже идет не о снижении риска, а о его поглощении дублер-конструкцией (монолитные пояса жесткости, шпренгельные системы и др.). При этом любое техническое решение по снижению или поглощению риска аварии конкретного объекта должно в обязательном порядке пройти две стадии: расчетную и проектную.

Обязательным этапом регулирования уровня конструкционной безопасности является прогноз ожидаемой ситуации риска аварии объекта и его безопасного ресурса после завершения ремонтно-восстановительных работ. Такой прогноз позволяет, во-первых, убедиться в правильности принятых технических решений, а во-вторых, информирует заказчика о возможном позитивном результате и, следовательно, стимулирует его вкладывать средства в ремонтные работы.

Таким образом, технология регулирования уровня конструкционной безопасности поддержанных зданий состоит из двух основных частей.

1. Диагностика технического состояния конструкций несущего остова и оценка соответствия фактического риска аварии объекта предъявляемым требованиям конструкционной безопасности.

2. Расследование причин снижения уровня конструкционной безопасности исследуемого объекта и принятие технических решений по усилению его конструктивных элементов, которые должны пройти расчетную и проектную стадии и учитывать роль усиливаемых элементов в системе «основание – несущий остов».

### ***Контрольные вопросы***

1. В чем состоит главная цель регулирования риска аварии?
2. В чем заключается контроль уровня конструкционной безопасности объекта в процессе его возведения?
3. Для каких целей в зданиях могут применяться «дублер-конструкции» и что они из себя представляют?
4. Из каких частей состоит технология регулирования уровня конструкционной безопасности поддержанных зданий?

### ***Библиографический список***

1. C. Guedes Soares, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal. 2010.457 p. – ISBN: 978-0-415-66392-2 (Hbk + CD-ROM). – ISBN: 978-0-203-81865-7 (eBook).
2. Zou P.X.W., Sunindijo R.Y. Strategic Safety Management in Construction and Engineering. JohnWiley & Sons, 2015. — X, 240 p. — ISBN: 9781118839379.
3. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов (теория, методики и инженерные приложения)/Учебное пособие – Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 2006 – 49 с.
4. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании/ Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1988.
5. Бондаренко В.М. Адаптационные конструктивные решения. Принципы и расчеты// Промышленное и гражданское строительство.– №4.– 1993.
6. Гарагаш Б.А. Надежность пространственных регулируемых систем «сооружение–основание» при неравномерных деформациях основания.– Изд. «Кубанькино», 2004.

## **Тема 4. ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **План лекции**

1. Современный подход к сейсмическому строительству
2. **Функционирование технологической цепочки «большая сейсмология - инженерные изыскания - проектирование - строительство - эксплуатация зданий и сооружений в сейсмических районах».**
3. **Сейсмостойкость внутренних инженерных систем зданий.**

**Ключевые слова:** сейсмическая безопасность, сейсмостойкость зданий, сейсмические воздействия, сейсмозащита, адаптивная система сейсмоизоляции, система сейсмопогашения.

### **Текст лекции**

#### **4.1. Современный подход к сейсмическому строительству**

Каждый год на нашей планете случается до миллиона землетрясений. К счастью, только незначительная часть из этого числа приводит к катастрофам и гибели людей (рис.4.1, 4.2).

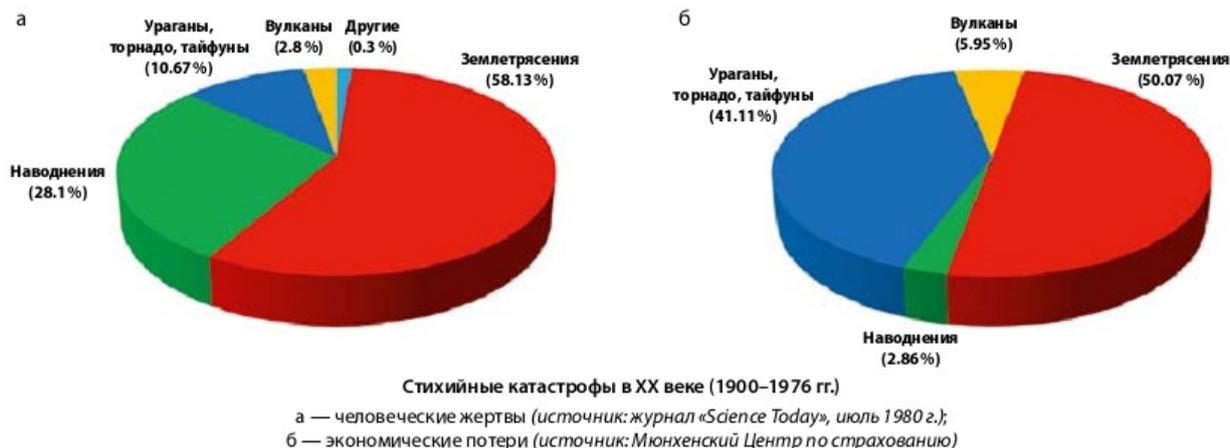


Рис.4.1



Разрушительные землетрясения на Сахалине и Камчатке, Россия

Рис.4.2.

Землетрясения представляют серьезную опасность для территории Узбекистана. Около 52% территории республики могут подвергаться землетрясениям интенсивностью 7 баллов и выше. В сейсмически опасных районах расположено более 330 населенных пунктов, в том числе 120 городов. На территории Узбекистана могут происходить землетрясения с магнитудой до 7,5. Все это указывает на то, что для Узбекистана опасность землетрясений, а также всех сопутствующих им чрезвычайных ситуаций является довольно высокой.

Современные технологии, разработанные специально для сейсмического строительства, рассчитаны уменьшить воздействие активности землетрясения в два, три, а в некоторых случаях и в большее количество раз. Они диктуют застройщикам закладывать повышенную прочность конструкции для объектов высокой степени ответственности еще на этапе проектирования.

Существуют основные правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах.

При разработке проектной документации следует:

- применять конструктивные схемы, материалы и конструкции, обеспечивающие наименьшие значения сейсмических нагрузок;
- принимать объемно-планировочные и конструктивные решения, обеспечивающие, как правило, симметричность и регулярность распределения в плане и по высоте сооружения его массы, элементов жесткости и нагрузок на перекрытия;
- назначать сечения элементов конструкций и их соединения с учетом результатов расчетов;
- конструировать стыковые соединения, опорные элементы и узлы таким образом, чтобы они обеспечивали надежную передачу усилий и совместную работу несущих конструкций во время землетрясения;
- создавать возможность развития в определенных элементах допустимых неупругих деформаций;
- предусматривать конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивость и геометрическую неизменяемость конструкций при развитии в элементах или соединениях между ними неупругих деформаций, а также исключая возможность их хрупкого разрушения;
- располагать, по возможности, стыки элементов вне зоны максимальных усилий.

Эти методы названы *традиционными* и они получили широкое распространение во многих странах мира, однако для снижения затрат на усиление и повышения надежности возводимых конструкций требуются технические решения *специальной сейсмозащиты зданий*, которые активно разрабатываются в Японии, США, Новой Зеландии, России.

Общая классификация систем сейсмозащиты представлена на рис.4.1.

По принципу работы все системы подразделяются на три группы. К первой группе относятся системы, использующие *традиционные* принципы сейсмозащиты – увеличение жесткости (прочности) конструктивных элементов за счет увеличения сечений или использования материалов с повышенными прочностными характеристиками. Ко второй группе относятся *специальные* системы, которые используют новые принципы и подходы, также обеспечивающие снижение сейсмических нагрузок на здания и сооружения. К третьей группе можно отнести системы, использующие комбинации традиционных и специальных методов сейсмозащиты, то есть *комбинированные* системы.

*Специальная сейсмозащита* подразделяется на *активную* (имеющую дополнительный источник энергии, работающий в противофазе к дестабилизирующему воздействию) и *пассивную*. Однако реализация активной сейсмозащиты требует значительных затрат на устройство и эксплуатацию. Это исключает возможность ее широкого применения. Методы пассивной сейсмозащиты подразделяется на *сейсмопогашение* и *сейсмоизоляцию*.



Рис.4.1. Классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы

В системах сейсмоизоляции обеспечивается снижение механической энергии, получаемой конструкцией от основания, путем отстройки частот колебаний сооружения от преобладающих частот воздействия. Различают *адаптивные* и *стационарные системы сейсмоизоляции*. В адаптивных системах динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию. В стационарных системах динамические характеристики сохраняются в процессе землетрясения.

*Адаптивные системы* проектируют с выключающимися и включающимися связями.

В системах с *выключающимися связями* изменение динамических характеристик объекта происходит за счет разрушения выключающихся связей при достижении некоторого порогового уровня амплитуд колебаний. Выключающимися связями могут быть специальные резервные элементы и отдельные несущие конструкции.

В системах с *включающимися связями* в случаях возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций сооружения происходит включение связей, что приводит к существенному изменению жесткости системы и увеличению «мгновенной» частоты собственных колебаний. В качестве включающихся связей могут быть использованы жесткие упоры, упругие связи, жесткие панели и провисающие растяжки (рис.4.2).

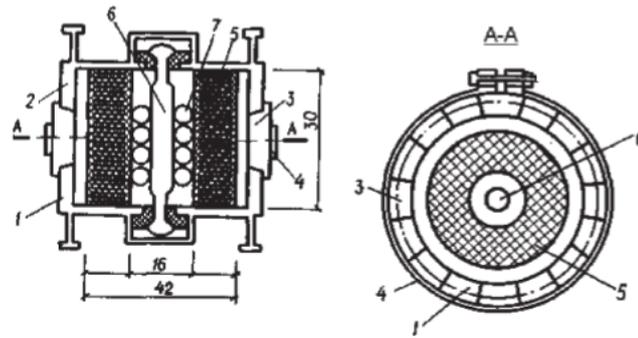


Рис.4.2. Конструктивная схема опоры с включающимися связями жесткости и с включающимися податливыми слоистыми опорами:

1 – нижняя часть кожуха; 2 – верхняя часть кожуха; 3 – клин; 4 – запорное кольцо; 5 – резинометаллическая опора; 6 – стабилизирующий стержень; 7 – стабилизирующие кольца.

*Стационарные системы сейсмоизоляции* подразделяют на системы внешней и внутренней сейсмоизоляции.

К *системам внешней сейсмоизоляции* относятся защитные устройства: траншеи, пространственные фундаментные платформы на скользящем слое (рис.4.3) и др.

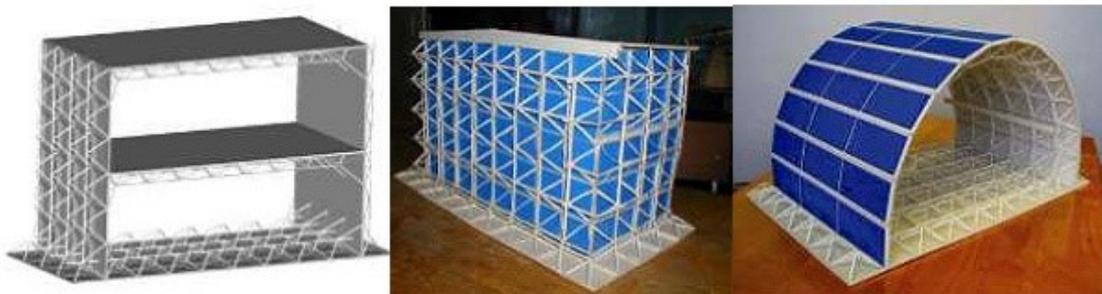


Рис.4.3. Примеры многосвязных зданий замкнутого типа, объединенных с пространственной фундаментной платформой

К *системам внутренней сейсмоизоляции* относят системы с подвесными (рис. 4.4) и со скользящими опорами.

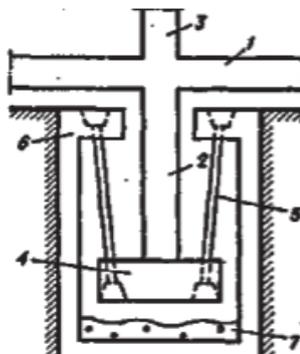


Рис.4.4. Сейсмоизолирующий фундамент с подвесными опорами  
 1 – ростверк; 2 – опора под колонну; 3 – колонна; 4 – плита под опорой;  
 5 – преднапряженный железобетонный тяж; 6 – верхняя плита колодца;  
 7 – слой песка

В системах сейсмопогашения, включающих демпферы и динамические гасители, механическая энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний, или перераспределяется от защищаемой конструкции к гасителю.

Наиболее простым способом уменьшения амплитуд колебания здания при землетрясениях является использование вязких демпферов. Рассеивание энергии происходит при движении поршня в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 4.5).

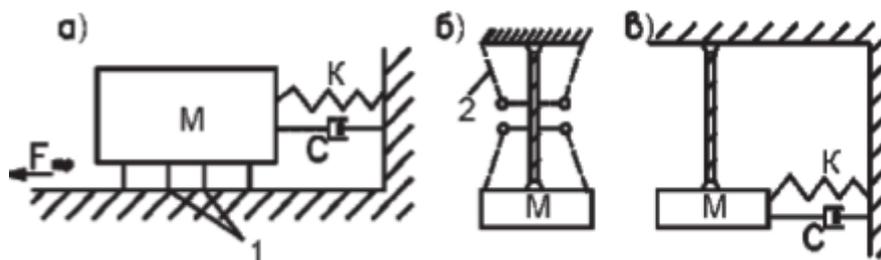


Рис.4.5. Системы с динамическими гасителями колебаний

а – пружинного типа; б – маятникового типа; в – комбинированного типа;  
1- скользящая опора; 2 – промежуточная опора

К системам с элементами повышенной пластической деформации относятся так называемые *энергопоглотители*, способные поглощать энергию сейсмических воздействий за счет развития в материале конструкций неупругих деформаций.

Демпферы сухого трения могут применяться в системах сейсмоизоляции в зданиях с первым «гибким» этажом, с высоким свайным ростверком и с кинематическими фундаментами.

Наиболее широко применяются *системы с гасителями колебаний*.

*Динамические гасители колебаний* относятся к специальным устройствам, применяемым для снижения уровня вибраций защищаемой конструкции. При работе гасителя энергия колебаний защищаемой конструкции передается гасителю, который, благодаря этому, колеблется с повышенной амплитудой.

По характеру взаимодействия гасителя с защищаемой конструкцией различают *ударные* и *динамические* гасители колебаний.

*Динамический гаситель* в простейшем исполнении представляет собой массу на пружине, с помощью которой он крепится к объекту защиты.

Пружинный гаситель состоит из массивного блока, который опирается на перекрытие здания через скользящие опоры (пластины с низким коэффициентом трения). И стальных пружин, размещаемых между блоком и несущими конструкциями сооружения или упорами. Требуемое затухание в гасителе обеспечивается за счет сил сухого трения в скользящих опорах, возникающих при относительных перемещениях массы гасителя.

Достоинством систем пассивного гашения колебаний является высокая надежность, постоянная готовность к работе, простота конструкции и эксплуатации, отсутствие энергозатрат.

Таким образом, главной целью систем сейсмозащиты зданий и сооружений должны быть решения по снижению сейсмического воздействия на систему «здание+фундамент», а затем по изолированию (демпфирование, перераспределение и т.п.) отдельных частей здания от передавшихся на систему сейсмических воздействий.

### Мониторинг сейсмической опасности

В современных сейсмостойких зданиях предусмотрена автоматическая система мониторинга, состоящая из специальных деформационных датчиков, которые следят за состоянием целостности помещений. Эти электронные датчики представляют собой установленные на неподвижных металлических конструкциях приборы со световозвращающими элементами, на которые наводятся лазерные лучи. Если луч сдвигается относительно своего световозвращающего элемента хоть на мизерное расстояние, система безопасности незамедлительно отреагирует на это.

За состоянием основания здания следят специальные вибродатчики - акселерометры. Одним из примеров бытового использования акселерометра может стать мобильное устройство, которое при падении улавливает ускорение и отключается, таким образом, защищая его от внутренних поломок и сбоев. В сейсмостойком строительстве такие датчики деформации реагируют на любые подвижки. Они крепятся к фундаменту рядом со стенами, чтобы соприкоснуться с ними, но быть относительно их неподвижными. Система акселерометров следит за движением фундаментной плиты, и в случае опасности показания приборов незамедлительно попадают в руки отряда быстрого реагирования. Кроме того, не дожидаясь приезда спасателей, умная система безопасности позаботится и о находящихся внутри здания людях. Тут же сработает аварийный узел и отключится подача высокого напряжения тока.

## **4.2. Функционирование технологической цепочки «большая сейсмология - инженерные изыскания - проектирование - строительство - эксплуатация зданий и сооружений в сейсмических районах»**

### ***Что нужно знать строителям от сейсмологов?***

В последние годы в Российской Федерации Институтом физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН и ОАО «ПНИИС» проводятся работы по уточнению карт сейсмического районирования территории страны. Причем оценка сейсмичности детализируется до долей балла и пиковых ускорений. Использование дробных баллов уже более 25 лет применяют в таких странах как Австрия, Франция, Израиль, Турция, Венесуэла, Колумбия, Индия, Новая Зеландия и Филиппины. В России выполнялся ряд работ с использованием дробных данных: проектирование восстановления 3 заводов в Ленинкане (ныне Гюмри) после Спитакского землетрясения 1988 г. Работы выполнялись с использованием в расчетах на сейсмические воздействия фактических динамических механических характеристик конструкций, полученных при натурных исследованиях. С использованием дробных данных о фоновой

сейсмичности выполнялись СМР по трассам линейных объектов, например нефтепроводов и железных дорог на Северном Кавказе и Востоке России. Для Махачкалинского домостроительного комбината был разработан конструктивный вариант для жилых домов серии 160 в расчете на 8,5 баллов.

С точки зрения ряда специалистов, в настоящее время целесообразно новое проектирование вести с унифицированным шагом 1 балл, проекты усиления и восстановления выполнять с шагом 0,5 балла, а фоновой сейсмичностью при СМР оперировать с детальностью 0,1 балла.

#### ***Уточнение количественных характеристик сейсмических воздействий***

Отражающее сейсмическую опасность *сейсмическое воздействие*, характеризуемое интенсивностью и вероятностью проявления на поверхности земли, застройщики не всегда отличают от *сейсмической нагрузки* в форме условной силы, приложенной к сооружению и определяемой его сейсмической реакцией. По этой причине считают, что нормируемые сейсмические воздействия занижены.

Сегодня сейсмологи предлагают увеличить количественные характеристики сейсмических воздействий (пиковое ускорение по шкале ИЗ-2012) в 1,5 раза, но строители в ответ могут во столько же раз уменьшить, например, значение коэффициента условий работы. В результате расчетные сейсмические нагрузки не изменятся. Причина в том, что расчетные формулы базового спектрального метода являются эмпирическими и предложены на основе решения обратной задачи теории сейсмостойкости, когда нагрузки, вызывающие такие повреждения, определены по деформированной схеме сооружения. Можно сказать, что сейсмические нагрузки определяются по бальности, но не по инерционной силе, вычисленной по ускорению сейсмической шкалы, а по реакции деформируемой системы, привязанной к степеням повреждений зданий той же сейсмической шкалы.

Вышесказанное касается простого статистически обоснованного спектрального метода, однако имеет цель обозначить главную проблему: *следует ли повышать значения пиковых ускорений, ориентируясь на предложение сейсмологов и зарубежные оценки?* Ее решение важно уже сегодня для нормирования амплитудного уровня расчетных акселерограмм при прямых динамических расчетах конструкций технически сложных и особо ответственных объектов. Кроме того, практикуемое нормирование акселерограмм по максимальным амплитудам неубедительно, поскольку несущая способность системы определяется воспринимаемой энергией, а не предельной силой, рост которой в пластической стадии прекращается. Если более обоснованно оперировать вместо максимальных амплитуд их среднеквадратичными значениями на активных участках акселерограмм, то необходима соответствующая методика. Нужен набор региональных акселерограмм для различных типов грунтов.

#### ***Упорядочение нормативно-методической базы по сейсмическому микрорайонированию***

Очень серьезной является проблема, связанная со снижением достоверности результатов инженерно-геологических изысканий, зачастую

выполняемых неквалифицированными исполнителями с участием недобросовестных посредников. Однако увеличение этажности застройки требует повышения качества и детальности исследований, а также квалифицированной экспертизы результатов.

### ***Особенности экспертных оценок сейсмостойкости сооружений и нормативная база***

Решения системного характера, закладывающие сейсмостойкость будущего сооружения, принимаются именно на стадии проектирования, и здесь практически единственным заблаговременным и эффективным способом контроля является экспертиза проектов, причем **государственная**. Это не умаляет важности архитектурно-строительного надзора в процессе строительства.

В настоящее время практически создана база для проектирования зданий для сейсмических районов на основе пространственных районов. Разработанные достаточно достоверные пространственные модели сейсмических воздействий и сооружений реализованы в вычислительных программных комплексах STARKES и «ЛИРА».

Необходимость применения пространственных расчетных моделей иллюстрируется обрушениями зданий, запроектированных на восприятие горизонтальных нагрузок, действующих раздельно в направлении их продольной и поперечной осей (рис.4.6 и 4.7).



Рис.4.6. Обрушение 9-этажного каркасно-панельного здания серии 111 с различной жесткостью в направлениях главных осей на фоне крупнопанельного здания с легкими повреждениями



Рис.4.7. Обрушение 5-этажного каменного здания серии 450 с поперечными несущими стенами без средней продольной стены (г. Ленинакан, 1988 г.)

В обоих, показанных на рисунках случаях обрушения были массовыми и были связаны с неоднородностью конструктивных решений, когда жесткость несущих систем в указанных направлениях сильно различалась. Пространственный расчет позволил бы избежать ошибок системного характера при проектировании этих объектов.

На сегодняшний день очевидно, что ответственность объектов должна увязываться с нормированием сейсмического воздействия, а техническая сложность сооружения – с методами и моделями расчетного анализа. Очевидно также, что проблема учета реальных сейсмических ускорений решается лишь при переходе к нелинейным методам расчета, а обрушаемость сооружений правильнее оценивать путем полноценного расчетного анализа с применением пространственных расчетных моделей, а не просто расчета на повышенную интенсивность воздействия.

### **4.3. Сейсмостойкость внутренних инженерных систем зданий**

В последнее время у экспертов вызывает беспокойство безопасность строящихся высотных зданий. Чем выше здание, тем большую амплитуду колебаний оно развивает. Важно, чтобы не только конструкции таких зданий выдержали землетрясение, но и инженерные системы.

Современное здание представляет собой комплекс сложных инженерных систем. Водоснабжение, отопление, холодоснабжение – во всех этих системах имеется большой объем воды, при их повреждении на начальной стадии землетрясения может значительно осложниться эвакуация людей из здания. Также важна работоспособность системы пожаротушения. Известно, что значительный ущерб во время землетрясений вызывают возникающие

впоследствии пожары. Причины их возникновения – обрыв электропроводки в зданиях во время толчков, падение нагревательных приборов, плит и т.п.

При проектировании сетей и сооружений водоснабжения для районов с сейсмичностью 7–9 баллов следует предусматривать специальные мероприятия (устройство установок аварийных насосов, электрических установок и т.п.) по обеспечению подачи воды для тушения пожаров, которые могут возникнуть при землетрясении, бесперебойную подачу питьевой воды, а также подачу воды на неотложные нужды производства.

Пожарные гидранты, а также колодцы с задвижками на трубопроводах следует располагать так, чтобы вероятность их завала в случае обрушения окружающих зданий и сооружений была наименьшей. Для этого рекомендуется пожарные гидранты и колодцы с задвижками располагать с торцов зданий.

### ***Общие правила***

При сейсмических толчках на трубопроводную сеть воздействуют нагрузки, значительно превосходящие ее собственный вес, поскольку к нему добавляются вес транспортируемой жидкости и вес теплоизолирующих и защитных материалов. Это требует увеличения жесткости всей трубопроводной структуры и организации надежного сопротивления воздействию перегрузок. При проектировании инженерных сетей и сооружений также следует руководствоваться основными правилами проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах.

### ***Особенности прокладки трубопроводов в сейсмоопасных районах***

Следующие особенности прокладки трубопроводов в сейсмоопасных районах должны препятствовать их деформации и разрушению при сейсмических нагрузках:

- жесткая заделка трубопровода в кладке стен и фундаментах зданий и сооружений не допускается. Отверстия для пропуска труб через стены и фундаменты должны иметь размеры, обеспечивающие в кладке зазор трубы не менее 0,2 м. Зазор должен заполняться эластичным водо- и газонепроницаемым материалом, упругие свойства которых имеют долговечность, сопоставимую с расчетным временем эксплуатации объекта;

- при расчетной сейсмичности 9 баллов в местах ввода в здание труб водопроводных систем устраивают деформационный компенсатор, позволяющий нейтрализовать колебания и возможные осадки здания и трубопроводов;

- не допускается пересечение канализационными трубопроводами конструкций деформационных швов зданий;

- стыковые соединения раструбных труб и труб, соединяемых на муфтах, прокладываемых в районах с сейсмичностью 8–9 баллов, должны обеспечивать компенсацию возможных просадок, для чего следует применить резиновые уплотнительные кольца;

- в местах поворота стояка из вертикального в горизонтальное положение следует предусматривать бетонные упоры;

- при проектировании систем водоснабжения зданий промышленных предприятий, размещаемых в районах с сейсмичностью 8–9 баллов, для которых прекращение подачи воды может вызвать аварии или значительные материальные убытки, следует предусматривать два ввода с использованием двух независимых источников водоснабжения;

- внутри зданий в местах пересечения деформационных швов на трубопроводах следует предусматривать установку компенсаторов;

- на вводах перед измерительными устройствами, а также в местах присоединения трубопроводов к насосам и бакам необходимо предусматривать гибкие соединения, допускающие угловые и продольные перемещения концов трубопроводов;

- при выполнении сварочных работ по осуществлению стыков соединений стальных труб следует обеспечивать равнопрочность сварного соединения с телом трубы. Не допускается применять ручную газовую сварку. Сварные соединения трубопроводов, прокладываемых в районах с сейсмичностью 9 баллов, следует усиливать накладными муфтами на сварке;

- внутренняя разводка водопроводных коммуникаций должна быть надежно прикреплена к несущим конструкциям;

- стояки трубопроводных систем должны прокладываться в местах, наименее уязвимых при землетрясении (внутренние стены, стены лестничных клеток, сантехнические блоки и т.п.).

### ***Опоры для крепления трубопроводов***

Магистральные трубопроводы внутри здания обычно прокладывают параллельно друг к другу с перпендикулярными пересечениями и ответвлениями. Работоспособность трубопровода обеспечивается способностью противостоять разрушению (коллапсу) коммуникационных сетей, гарантировать минимальное количество возможных повреждений, локализуемых в каждом сетевом контуре и возможностью безопасного присутствия людей и использования помещений и сетей объекта по прямому назначению.

Стойкость к разрушению обусловлена, прежде всего, общей способностью трубопроводной сети гибко (эластично) реагировать на смещение строительной конструкции. Минимальное количество возможных повреждений обеспечивается сопротивлением каждого элемента сети сейсмическому воздействию. Следовательно, опоры трубопровода должны компенсировать смещения строительных конструкций при землетрясении, чтобы в трубах не возникли механические напряжения, ведущие к их деформации и разрушению.

На рис. 4.8 представлен вид опоры трубопровода с компенсационными салазками и направляющим хомутом. Эта опора позволяет трубопроводу двухмерное перемещение для компенсации возникающих деформационных нагрузок.

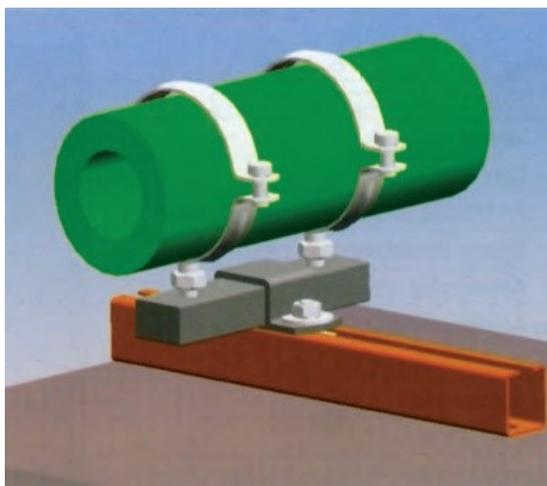


Рис. 4.8. Опора трубопровода с компенсационными салазками и направляющим хомутом

Для того чтобы обеспечить трехмерное перемещение трубопровода, можно использовать подвеску трубопроводов, показанную на рис. 4.9. Подвеска обеспечивает свободу перемещения трубы, легкость монтажа теплоизоляционного покрытия, но требует большого числа распорочных антисейсмических креплений. Кроме того, для монтажа такой подвески понадобится установка специальных опорных лесов для временной укладки трубопроводной консоли.

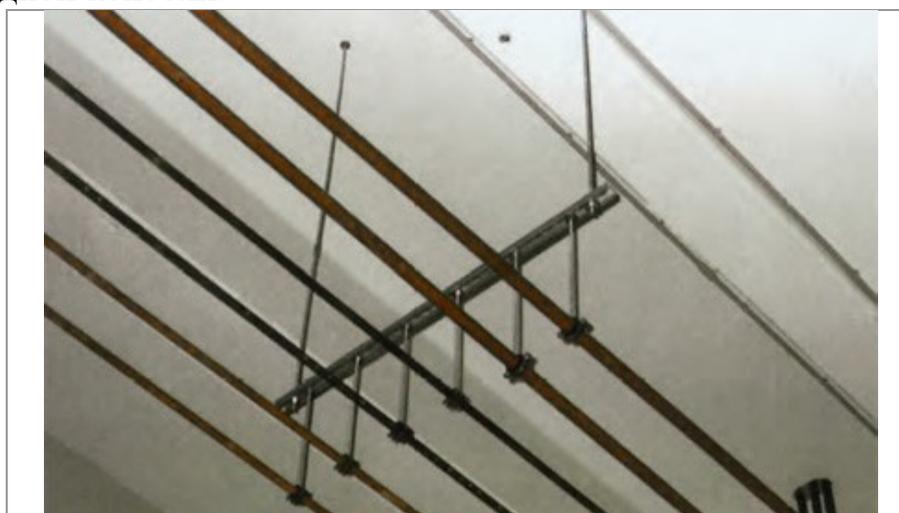


Рис. 4.9. Сейсмоустойчивая подвеска трубопроводов

В настоящее время специально для Японии был разработан антисейсмический элемент для инженерных сетей, позволяющий компенсировать напряжения, возникающие в системе при землетрясениях более 9 баллов при пересечении трубопроводом демпферных швов в здании. Подобная антисейсмическая система, представленная на рис. 4.10, состоит из гибкого участка трубопровода и его крепления к ограждающим конструкциям.

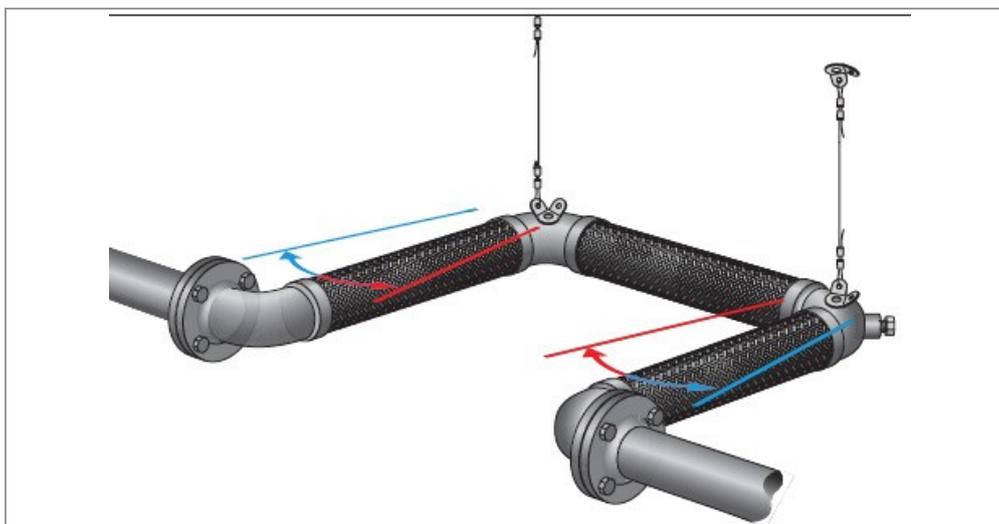


Рис. 4.10. Антисейсмическая система

### ***Восстановление и усиление инженерных коммуникаций после землетрясений***

Требование сохранения при землетрясении наружных коммуникаций возле здания и сооружения в основном объясняется деформативными свойствами грунта основания и обеспечивается конструктивным решением ввода труб в цокольную часть объекта.

Восстановление и усиление водопроводных, теплофикационных и канализационных сетей выполняют в соответствии с состоянием несущих конструкций здания и сооружения.

Все поврежденные участки трубопроводов заменяют на новые или исправные. Узловые соединения и углы поворотов должны быть надежно прикреплены к несущим конструкциям здания или сооружения. Крепежные устройства трубопроводов должны иметь упругие прокладки.

Во всех вводах трубопроводов в здание или сооружение необходимо устраивать упругие внешние оболочки с толщиной стенки 2–4 см, исключая жесткое соприкосновение труб с несущими и ограждающими конструкциями.

При замене труб следует отдавать предпочтение легким и прочным конструкциям из металла, устраивая, по мере возможности, гибкие стыковые соединения.

### ***Контрольные вопросы***

1. Какие методы сейсмозащиты зданий относятся к традиционным и какие основные принципы в них используются?
2. Какие системы относятся к системам сейсмоизоляции зданий?
3. Что является главной целью систем сейсмозащиты зданий?
4. Что представляет собой современная система мониторинга сейсмической опасности зданий и сооружений?
5. Как должны быть сконструированы крепления трубопроводов, чтобы компенсировать смещения строительных конструкций при землетрясении и обеспечить прочность труб?

### ***Библиографический список***

1. Asadour H. Hadjian. Basic Elements of Earthquake Engineering. Publisher:Wiley. 2015. 600 p. - ISBN-13: 9780471498520.
2. Anand S. A., BOEN T. Yuji I. Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France. 2014. 199 p. ISBN 978-92-3-000032-5.
3. Andrew Charleson SEISMIC DESIGNFOR ARCHITECTS (OUTWITTING THE QUAKE) /Architectural Press , Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK , 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA  
Copyright © 2008 Elsevier Ltd. ISBN: 978-0-7506-8550-4
4. Аминтаев Г.Ш. Сейсмическая безопасность – цель, сейсмостойкость сооружений – средство// Инженерные изыскания, №2/2014, С.48-53.
5. Антисейсмические опоры и крепления // Сантехника. 2006. № 2.
6. Семенов В.С., Верременко Т.В. Современные системы сейсмозащиты зданий и сооружений. Классификация, основные конструктивные решения//Вестник КРСУ, 2012. Том12, №6 – С.65 -70.

## **IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

#### **Занятие 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТРАНСПОРТНЫМ СООРУЖЕНИЯМ.**

**Надежность объекта** – свойство объекта выполнять свои функции в заданном режиме в течение заданного срока с заданной вероятностью.

Количественной оценкой надежности является **вероятность** « $P$ » выполнения объектом его функции.

Понятие надежность неразрывно связано с понятием долговечности.

**Долговечность** – свойство сохранять работоспособность в течение определенного времени  $T$ .

Разница между надежностью и долговечностью заключается в том, что в первом случае определяется вероятность  $P$ , а время  $T$  выступает как параметр, а во втором – наоборот, определяется время  $T$  при заданной вероятности  $P$ .

С надежностью и долговечностью связано и понятие отказа.

**Отказ** – случайное событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Вероятность отказа определяется величиной

$$q = 1 - P.$$

Для строительных конструкций выделяют две категории отказов:

- внезапный отказ;
- постепенный отказ.

**Внезапный отказ** – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта. Например, хрупкое разрушение моста зимой вследствие резкого похолодания является внезапным отказом.

**Постепенный отказ** – отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта. Примером может служить нарастание провисов пролетных строений до опасных с точки зрения безопасности движения пределов.

Постепенный отказ может, в конечном счете, привести к внезапному отказу, например, к разрушению конструкции в результате накопления усталостных повреждений.

### **Надежность систем**

Все технические объекты представляют собой сложные системы, состоящие из многих элементов. Различают системы с последовательным соединением элементов, параллельным и смешанным.

#### **Система с последовательным соединением элементов**

Система с последовательным соединением элементов – это такая система, когда отказы разных элементов независимы друг от друга, а отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы.

Надежность такой системы определяется как вероятностью безотказной работы всех ее элементов. Если мы имеем систему  $S$ , состоящую из  $n$  независимых элементов, и надежность  $i$ -ого элемента  $P_i$ , то по теории вероятностей надежность всей системы определяется по формуле:

$$P_s = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n \quad (1.1)$$

**Пример 1.** Мост из 4-х пролетов. Надежность каждого пролетного строения показана на рис. 1.1.

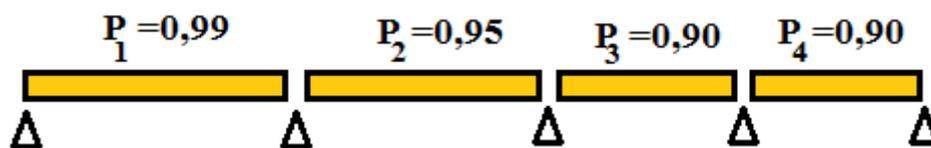


Рис.1.1. Схема моста

$$P_{\text{моста}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 = 0,99 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot 0,90 = 0,76$$

Соответственно, вероятность отказа  $q = 1 - P = 1 - 0,76 = 0,24$ .

Надежность системы в случае последовательного соединения элементов меньше, чем надежность любого из этих элементов.

### *Система с параллельным соединением элементов*

Системой с параллельным соединением элементов называется система, элементы которой дублируют друг друга, и отказ одного из них не влечет отказ всей системы.

**Пример.** Пучок (канат) из параллельных проволок. Система в этом случае сохраняет работоспособность, пока функционирует хотя бы один элемент, т.е. хотя бы одна проволока.

Надежность системы  $S$ , состоящей из  $n$  параллельных элементов, обладающих надежностью  $P_i$ , где  $i$ - номер элемента, определяется следующим образом.

Вероятность отказа  $i$ -ого элемента:

$$q_i = 1 - P_i$$

Вероятность одновременного отказа всех элементов

$$q_s = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n \quad (1.2)$$

Следовательно, надежность системы равна

$$P_s = 1 - q_s = 1 - q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n \quad (1.3)$$

Таким образом, при параллельном соединении элементов надежность системы выше, чем надежность любого из отдельных элементов.

**Пример 2.** Два блока соединены двумя параллельными стержнями (рис.1.2).

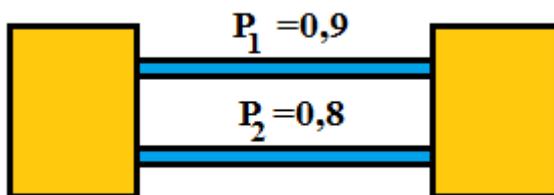


Рис.1.2. Схема конструкции

Надежность этой системы равна  $P_s = 1 - 0,1 \cdot 0,2 = 0,98$

На самом деле, как правило, при отказе одного из параллельных элементов происходит снижение надежности остальных элементов системы. Кроме того, строительные конструкции представляют собой многоэлементные системы со смешанным соединением элементов. С этим необходимо считаться при расчете надежности.

**Пример 3.** На пролетное строение моста, имеющее в поперечном сечении две главных балки, действует нагрузка НК-80 (рис.1.3). Обеспеченность (надежность) несущей способности каждой балки в размере 400 кН равна  $P=0,9$ . Обеспеченность несущей способности в размере 800 кН равна  $P=0,6$ . Определить надежность системы.

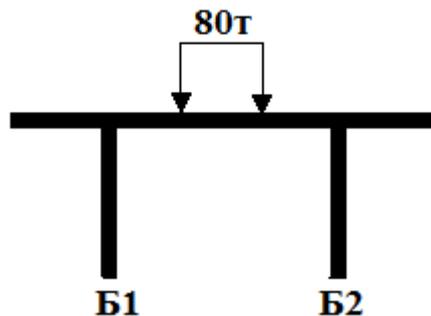


Рис.1.3. Поперечное сечение моста

### *Решение*

На каждую балку приходится усилие 400 кН.

Рассмотрим возможные модели разрушения пролетного строения под нагрузкой. Первая модель – последовательное разрушение сначала одной, а потом и другой балок. Вторая – одновременное разрушение обеих балок.

Вероятность разрушения одной балки при том, что вторая останется неразрушенной, равна

$$q_1 = 2 \cdot (1 - 0,9) \cdot 0,9 = 0,18$$

Вероятность разрушения после этого и второй балки, на которую приходится нагрузка 800 кН, равна

$$q_{1-2} = 0,18 \cdot (1 - 0,6) = 0,072$$

Вероятность разрушения сразу двух балок

$$q_2 = (1 - 0,9)^2 = 0,01$$

Таким образом, вероятность разрушения пролетного строения равна

$$q = q_{1-2} + q_2 = 0,072 + 0,01 = 0,082.$$

Соответственно, надежность пролетного строения

$$P = 1 - q = 1 - 0,082 = 0,918.$$

### **Основные задачи теории надежности, применительно к транспортным сооружениям**

Основные отличия конструкций транспортных сооружений от промышленных и гражданских состоят в следующем:

- подвижной характер полезной нагрузки и ее случайный характер, а также ее возрастание с течением времени в результате утяжеления автотранспортных средств;

- многоэлементность и большое разнообразие конструктивных схем.

В связи с этим возникает ряд задач. Связанных с понятием надежности транспортных сооружений.

- 1) исследование вероятностной природы запасов прочности конструкций;
- 2) применение вероятностных и полувероятностных методов расчета строительных конструкций (методика расчета по предельным состояниям);
- 3) исследование вероятностных характеристик подвижной нагрузки, сочетаний различных временных нагрузок и обоснование коэффициентов надежности к ним при расчетах по предельным состояниям;
- 4) исследование прочностных характеристик конструкционных материалов и обоснование коэффициентов надежности к ним;
- 5) оптимизация нормативов сроков службы и величины нагрузки;
- 6) оценка остаточного ресурса долговечности.

### ***Контрольные вопросы***

1. В чем разница между внезапным отказом и постепенным отказом для строительных конструкций?
2. В чем разница между надежностью и долговечностью?
3. В чем состоят основные отличия конструкций транспортных сооружений от промышленных и гражданских?

### ***Библиографический список***

1. C. Guedes Soares, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal. 2010.457 p. – ISBN: 978-0-415-66392-2 (Hbk + CD-ROM). – ISBN: 978-0-203-81865-7 (eBook).

2. Васильев А.И. Основы надежности транспортных сооружений / Учебное пособие – М.: МАДИ, 2008. – 46 с.

## **Занятие 2. ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОЭФФИЦИЕНТЫ НАДЕЖНОСТИ К НИМ. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК И ИХ СОЧЕТАНИЙ. КОЭФФИЦИЕНТЫ НАДЕЖНОСТИ**

### **2.1. Прочностные характеристики конструкционных материалов и коэффициенты надежности к ним**

Прочность конструкционных материалов, как правило, подчиняется нормальному закону. Нормативная прочность обычно принимается с обеспеченностью  $P=0,95$ , т.е.  $(R_H=\bar{R} - 1,65\sigma_R)$ , а расчетная –  $0,9986$ , т.е.  $(R_{расч}=\bar{R} - 3\sigma_R)$ .

Коэффициенты вариации составляют: для стали –  $0,03\dots 0,05$ ; для бетона –  $0,10\dots 0,15$ .

Определим для *примера* расчетное сопротивление на осевое растяжение стали класса А1 (сталь 3). Средний предел текучести этой стали –  $R_m \approx 275$  МПа, коэффициент вариации  $v \approx 0,045$ . С учетом коэффициента условий работы  $m=0,9$  получаем:

$$R = 0,9 \cdot 275 \cdot (1 - 0,045 \cdot 3) = 214 \approx 215 \text{ кН. (В нормах принято 215 кН).}$$

### *Соотношение между классом и расчетным сопротивлением на сжатие бетона*

До 80-х годов прошлого столетия прочность бетона выражалась его маркой. Марка бетона – это средняя прочность на сжатие в  $\text{кгс/см}^2$ , полученная по результатам испытаний кубических образцов размером ребра 15 см.

В действующих отечественных, российских и европейских нормах прочность бетона характеризуется классами. Класс бетона – кубиковая прочность бетона на сжатие с обеспеченностью 0,95.

Соотношение между маркой  $M$  ( $\text{кгс/см}^2$ ) и классом  $B$  (МПа) бетона выражается формулой:

$$B = M \cdot (1 - 1,645 \cdot v) / g, \quad (2.1)$$

где 1,645 – отклонение от среднего значения, выраженное в стандартах  $\sigma$ , соответствующее обеспеченности 0,95;

$v$  – коэффициент вариации прочности бетона;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Это соотношение иллюстрируется также на рис. 2.1.

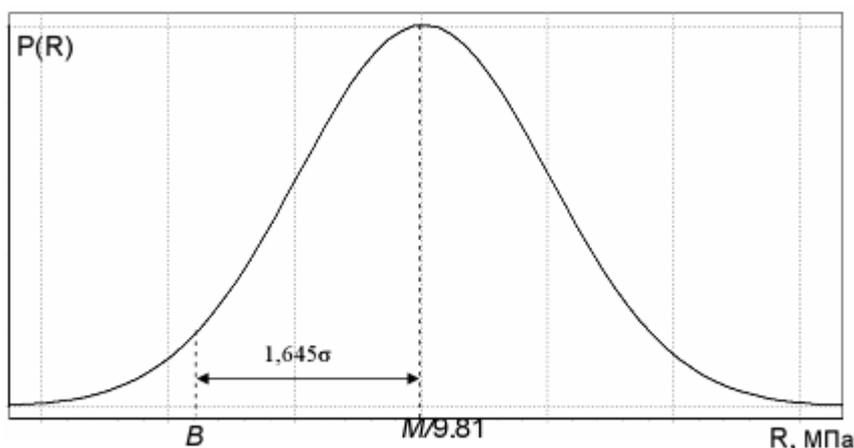


Рис.2.1. Соотношение между маркой и классом бетона

В проектных, сметных и других предварительных расчетах, например, для определения расхода цемента, коэффициент вариации прочности бетона принимается исходя из среднего по стране значения  $v=0,135$ .

В этом случае оказывается

$$B \approx 0,08 M \quad (2.2.)$$

Однако кубиковая прочность бетона и его прочность в конструкции существенно различаются в силу разного характера граничных связей и условий работы. Последняя, особенно при изгибе, близка к так называемой призмочной прочности. Экспериментально установленная зависимость между призмочной прочностью  $R_{пр}$  и классом бетон имеет вид:

$$R_{пр} = (0,77 - 0,001B) \cdot B \quad (2.3)$$

Так, например, для бетонов марок М300 и М400 соответствующие значения призмочной прочности равны  $R_{пр}=0,7B$  и  $R_{пр}=0,73B$ .

**Расчетные сопротивления бетона на сжатие** соответствуют отклонению от среднего значения прочности на три стандарта в меньшую сторону. Отсюда можно получить коэффициент надежности для бетона:

$$\gamma_b = R_{пр} / R = (1 - 0,135 \cdot 1,645) / (1 - 0,135 \cdot 3) = 0,78 / 0,595 = 1,31$$

В нормах коэффициент надежности принят равным  $\gamma_b=1,3$ .

Итак, для бетонов с учетом коэффициента условий работы  $m=0,9$  расчетные сопротивления бетона на сжатие в зависимости от класса назначаются следующим образом:

$$R = (0,73 / 1,3) \cdot 0,9 \approx 0,5B \quad (2.4)$$

Действительно, в нормах, например, классу бетона В40 соответствует расчетное сопротивление на сжатие – 20 МПа.

### ***Влияние величины коэффициента вариации прочности бетона на расход цемента***

Как следует из формулы (2.1), разница между значениями марки и класса бетона (в одинаковых единицах измерения) зависит от величины коэффициента вариации его прочности. Чем меньше эта величина, тем меньше указанная разница. Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона жестко коррелируется с требуемой маркой. В то же время необходимая прочность на выходе регламентируется в классах. Таким образом, на каждом производстве по изготовлению бетонных и железобетонных изделий для обеспечения необходимого по проекту класса бетона требуется подбирать его марку, исходя из достигнутого на этом производстве значения коэффициента вариации прочности бетона. Если это значение меньше нормативного  $v=0,135$ , предприятие имеет экономию цемента, если больше – перерасход.

#### **Пример.**

Два завода железобетонных конструкций выпускают одинаковые изделия, имеющие класс бетона В40. На заводе №1 коэффициент вариации прочности бетона  $v=0,10$ , на заводе №2 -  $v=0,15$ . Условно считается, что расход цемента в кг/м<sup>3</sup> численно равен марке бетона. Определить экономию или перерасход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона на каждом заводе по сравнению с нормами.

### Решение.

Используя формулу (2.1), подсчитаем, что на заводе №1 соотношение между классом и маркой составляет  $V=0,0835M$  и требуется бетон марки М480 (т.е.  $M=40/0,0835=480$ ). На заводе №2 –  $V=0,0755M$  и требуется бетон марки М530 (т.е.  $M=40/0,0755=530$ ). По нормам мы имеем  $V=0,08M$ , что соответствует марке бетона М500 (т.е.  $M=40/0,08=500$ ). Следовательно, на заводе №1 достигнута экономия цемента в размере  $(500 - 480)=20$  кг/м<sup>3</sup>, а на заводе №2 допущен перерасход в размере  $(530 - 500)= 30$  кг/м<sup>3</sup>.

## 2.2. Вероятностные характеристики временных нагрузок и их сочетаний. Коэффициенты надежности

Нагрузки, действующие на здания и сооружения, а также прочность конструкционных материалов являются случайными величинами.

Распределение вероятностей постоянных нагрузок в большинстве случаев хорошо описывается нормальным законом (закон Гаусса) с плотностью распределения:

$$p(S_{i,n}) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(S_{i,n} - \bar{S})^2}{2\sigma_i^2}},$$

где  $S_{i,n}$  – воздействие  $i$ -ой постоянной нагрузки – случайная величина;

$\bar{S}$  – математическое ожидание (среднее) величины  $S_{i,n}$ ;

$\sigma_i$  – стандарт (среднее квадратическое отклонение) величины  $S_{i,n}$

В качестве **нормативных значений** постоянных нагрузок, как правило, принимаются их средние значения.

Расчетные значения постоянных нагрузок учитывают возможные отклонения случайных значений этих нагрузок от средних в сторону уменьшения запаса. Традиционно обеспеченность  $R$  расчетных значений принимается соответствующей отклонению от среднего значения на  $3\sigma$ , т.е.  $R=0,9986$ .

Разброс нагрузок от собственного веса конструкций ограничен, как правило, допусками на изготовление и монтаж, при этом коэффициент вариации, т.е. отношение стандарт к среднему ( $v=\sigma/\bar{S}$ ), колеблется в пределах от 0,02 до 0,03. Поэтому коэффициенты надежности к нагрузкам от собственного веса принимаются равными 1,1 или 0,9 (последнее значение в случаях, когда нагрузка от собственного веса уменьшает общее усилие в элементе). Другие постоянные нагрузки имеют значительно больший разброс, и соответственно коэффициенты надежности к ним принимаются в пределах от 1,3 до 2,0.

Временные нагрузки рассмотрим применительно к нагрузкам от автотранспорта. Распределение вероятностей временных нагрузок от автотранспорта  $S_{вр}$  имеет двумодальную форму (рис.2.2).

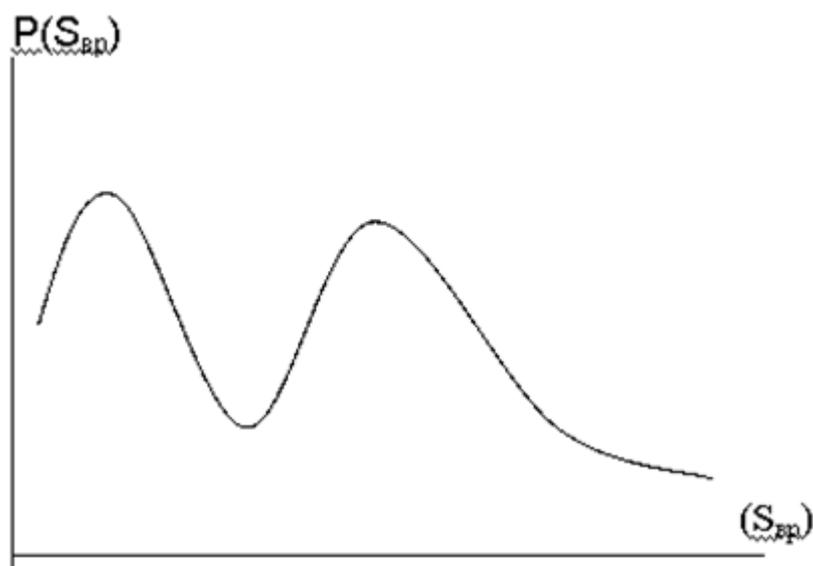


Рис.2.2. Характерный вид плотности распределения нагрузки на мосты от автотранспортных средств

Первый пик на графике связан с воздействием легковых и небольших грузовых автомобилей и с некоторым приближением может быть описан нормальным законом распределения. При этом нормативная нагрузка  $S_n$ , которая соответствует максимальной фактической нагрузке в нормальных условиях эксплуатации, отстоит от средней нагрузки  $\bar{S}$  на 3...4 стандарта, а расчетная  $S_p$  – на 5...6 стандартов, т.е.

$$S_n = \bar{S} + (3...4)\sigma; \quad S_p = \bar{S} + (5...6)\sigma;$$

Отметим, что разница между нормативной и средней нагрузками, выраженная в стандартах, с длиной пролета возрастает вследствие увеличения разброса эксплуатационных нагрузок. В то же время запасы, заложенные в расчетных временных нагрузках, уменьшаются, поскольку по мере увеличения пролета снижается доля этих нагрузок в общем усилии.

Коэффициент вариации для временных нагрузок составляет  $v=0,20...0,30$ , уменьшаясь по мере увеличения длины пролета.

### Пример

Проанализируем коэффициенты надежности к автомобильным нагрузкам для малых длин загружения (расчет плиты проезжей части) и больших пролетов, приняв соответственно статистические параметры нагрузки с учетом характера их зависимости от пролета.

**Плита.** Для временных нагрузок на плиту проезжей части можно принять коэффициент вариации  $v=0,3$ ; усилие от нормативной нагрузки  $S_n = \bar{S} + 3\sigma$ ; усилие от расчетной нагрузки  $S_p = \bar{S} + 6\sigma$ .

Коэффициент надежности определяется отношением усилий от расчетной и нормативной нагрузок:

$$\gamma = S_p / S_n = (1 + 0,3 \cdot 6) / (1 + 0,3 \cdot 3) = 1,47$$

В нормах коэффициент надежности для тележки нагрузки АК принят равным  $\gamma=1,5$ .

**Большие пролеты.** Для временных нагрузок на больших пролетах коэффициент вариации  $v=0,2$ ; усилие от нормативной нагрузки  $S_n = \bar{S} + 4\sigma$ ; усилие от расчетной нагрузки  $S_p = \bar{S} + 5\sigma$ .

Коэффициент надежности

$$\gamma = S_p / S_n = (1 + 0,2 \cdot 5) / (1 + 0,2 \cdot 4) = 1,11.$$

В нормах –  $\gamma=1,15$ .

### **Сочетания нагрузок**

При нормировании одновременного воздействия на конструктивный элемент сочетаний двух или нескольких временных нагрузок **коэффициенты сочетания нагрузок** назначаются исходя из **принципа равнонадежности**. Это означает, что обеспеченность безотказной работы конструктивного элемента на любые сочетания нагрузок должна быть одинаковой.

В действующих нормах в развитие методики предельных состояний коэффициенты сочетаний вводятся дифференцированно:  $m_1$  – к основной временной нагрузке  $S_{очн}$  и  $m_2 \leq m_1$  – ко всем остальным временным нагрузкам  $\sum S_i$ :

$$m_1 \cdot S_{очн} + m_2 \cdot \sum S_i \leq A[R].$$

Подбор нормативных величин коэффициентов сочетания можно выполнить следующим образом.

Пусть имеет место суммарное воздействие  $S$  на элемент двух временных нагрузок  $S_1$  и  $S_2$ . Эти нагрузки являются случайными величинами (примем для определенности, что они распределены по нормальному закону), средние значения которых  $\bar{S}_1$  и  $\bar{S}_2$ , а стандарты соответственно  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

Задан уровень надежности расчетных значений  $S_p$  временных нагрузок и их сочетаний, соответствующий превышению ими среднего значения воздействия на  $n$  стандартов, т.е.:

$$S_{pi} = \bar{S}_i + n \cdot \sigma_i$$

Задаемся величиной коэффициента сочетания  $m_1$  и определяем исходя из принципа равнонадежности значение  $m_2$ .

По правилу сложения случайных величин получаем:

$$\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 \quad \text{и} \quad \sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

Далее имеем:

$$S_{p1} = \bar{S}_1 + n \cdot \sigma_1$$

$$S_{p2} = \bar{S}_2 + n \cdot \sigma_2$$

$$S_p = \bar{S} + n \cdot \sigma$$

В то же время

$$S_p = m_1 \cdot S_{p1} + m_2 \cdot S_{p2}$$

Отсюда

$$m_2 = (S_p - m_1 \cdot S_{p1}) / S_{p2}$$

### Пример.

$S_1$  и  $S_2$  – случайные воздействия двух временных нагрузок;

$$\bar{S}_1 = 100; \sigma_1=30;$$

$$\bar{S}_2 = 80; \sigma_2=32;$$

Уровень надежности расчетных нагрузок – превышение средних значений на 4 стандарта;  $m_1=0,9$ .

Найти  $m_2$ .

#### Решение

Обозначим  $S=S_1+S_2$

$$\bar{S} = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 = 100 + 80 = 180;$$

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 = 900 + 1024 = 1924; \sigma = \sqrt{1924} = 44$$

$$S_{p1} = \bar{S}_1 + 4 \cdot \sigma_1 = 100 + 120 = 220;$$

$$S_{p2} = \bar{S}_2 + 4 \cdot \sigma_2 = 80 + 128 = 208;$$

$$S_p = \bar{S} + 4 \cdot \sigma = 180 + 176 = 356$$

$$m_2 = (S_p - m_1 \cdot S_{p1}) / S_{p2} = (356 - 0,9 \cdot 220) / 208 = 0,76 \approx 0,75$$

### Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой класс бетона и расчетное сопротивление бетона на сжатие?
2. Как влияет величина коэффициента вариации прочности бетона на расход цемента?
3. В чем разница между нормативными и расчетными значениями нагрузок
4. Исходя из какого принципа назначают коэффициенты сочетания нагрузок, и что это означает?

### Библиографический список

1. C. Guedes Soares, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal. 2010.457 p. – ISBN: 978-0-415-66392-2 (Hbk + CD-ROM). – ISBN: 978-0-203-81865-7 (eBook).
2. Zou P.X.W., Sunindijo R.Y. Strategic Safety Management in Construction and Engineering. John Wiley & Sons, 2015. — X, 240 p. — ISBN: 9781118839379.
3. Васильев А.И. Основы надежности транспортных сооружений / Учебное пособие – М.: МАДИ, 2008. – 46 с.

## Занятие 3. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

При эксплуатации зданий и сооружений, а также при их обследовании широко применяются для оценки технического состояния строительных конструкций визуальные обследования. В связи с этим возникает необходимость в установлении надежности обследуемых зданий по внешним признакам повреждений.

Как показали наблюдения, в процессе эксплуатации конструкций происходит циклическое изменение их надежности, что связывается с

изменчивостью величин нагрузок и изменением эксплуатационных качеств, вследствие различных повреждений.

При достижении конструкциями определенного уровня надежности в них будут наблюдаться необратимые повреждения: трещины, потеря устойчивости сжатых элементов, пластические деформации, коррозионные повреждения и т.п.

Повреждения критического характера в конструкциях могут привести к обрушению конструкций и аварии зданий или сооружения.

Для удобства оценки надежности составлены специальные таблицы 3.1 - 3.11.

Своевременная оценка технического состояния и надежности зданий и сооружений позволит вовремя произвести их ремонт и усиление и тем самым обеспечить их надежность при эксплуатации.

Не менее важным вопросом является экспертиза здания или сооружения на предрасположенность к аварии.

Относительная надежность и поврежденность конструкций оценивается по табл.3.1 в зависимости от категории технического состояния, определяемого по табл.3.4 – 3.11 в зависимости от вида здания и сооружения и наличия в нем тех или иных повреждений.

## **ПРИМЕРЫ**

### **Пример 1. *Определение технического состояния промышленного здания по внешним признакам***

Требуется определить техническое состояние многоэтажного железобетонного каркасного промышленного здания по данным визуального обследования. На основании обследования выявлены следующие повреждения конструкций: выветривание раствора кирпичной кладки стен; разрушение кирпичной кладки несущих стен в местах карнизов и водосточных труб на глубину до 12 см, что при толщине стены 51 см составляет  $(12/51) \cdot 100\% = 23\%$ ; в отдельных плитах перекрытий нормальные трещины с шириной раскрытия в растянутой зоне до 0,3 мм.

### ***Решение***

Определяем по табл.3.9 категорию технического состояния конструкций:

- выветривание кладки стен соответствует 2 категории состояния. Однако для отдельных участков стен в местах карнизов и водосточных труб с разрушением кладки 23% толщины стены состояние соответствует 4 категории;
- железобетонные плиты, имеющие трещины шириной 0,3 мм, имеют 2 категорию состояния.

По максимальному повреждению на основании табл. 3.9 техническое состояние здания по надежности относится к 4 категории (неудовлетворительное). Для продолжения эксплуатации здания требуется провести ремонт по устранению разрушенной кладки стен.

### **Пример 2. *Определение технического состояния жилого здания по внешним признакам***

Требуется определить техническое состояние крупнопанельного жилого дома по данным визуального обследования. В ходе обследования выявлены следующие повреждения: в отдельных местах отслоение облицовки цоколя и фактурного слоя панелей стен; выветривание раствора швов панелей стен; трещины в перегородках до 10 мм в местах сопряжения с потолками и стенами; трещины в швах до 1 мм между плитами перекрытий.

### **Решение**

На основании табл. 3.10 категория технического состояния поврежденных конструкций составляет:

- для цоколя и панелей стен – 2 категория;
- для стыков панелей – 2 категория;
- для перегородок с трещинами – 3 категория;
- для плит перекрытий – 2 категория.

Здание относится к 3-ей категории технического состояния (не совсем удовлетворительное).

Для продолжения нормальной эксплуатации здания следует выполнить ремонт перегородок с трещинами.

### **Пример 3. Прогнозирование долговечности**

Требуется определить время капитального ремонта основных строительных конструкций эстакады под технологические трубопроводы. Эстакада находится в эксплуатации 10 лет. На основании натуральных обследований по внешним признакам (табл.1 и 3.11) установлена величина поврежденности сооружения  $\varepsilon=0,14$ .

### **Решение**

Относительную надежность сооружения определяем по формуле:

$$y = 1 - \varepsilon = 1 - 0,14 = 0,86$$

Определяем постоянную износа сооружения при сроке эксплуатации на момент обследования  $t=10$  лет

$$\lambda = - \ln y / t = - \ln 0,86 / 10 = 0,015$$

Определяем сроки капитального ремонта конструкций сооружения с начала эксплуатации по формуле:

$$t = 0,2 / \lambda = 0,02 / 0,015 = 13,3 \text{ лет.}$$

Следовательно, необходимо провести капитальный ремонт в ближайшее к моменту обследования время.

## **ТАБЛИЦЫ**

Таблица 3.1

Категории технического состояния сооружения

Категория технического состояния	Описание технического состояния	Относительная надежность $y = y'/y_0$	Поврежденность $\varepsilon = 1 - y$
1	Хорошее. Исправное состояние конструкций. Отсутствуют видимые повреждения. Выполняются все требования действующих норм и проектной документации. Необходимости в ремонтных работах нет.	1	0
2	Удовлетворительное. Работоспособное состояние конструкций. Поврежденность слабая. Несущая способность конструкций обеспечена, требования норм по предельным состояниям II группы и долговечности могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется устройство антикоррозийного покрытия, устранение мелких повреждений.	0,95	0,05
3	Не совсем удовлетворительное. Ограниченно работоспособное состояние конструкций. Поврежденность средняя. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности отдельных конструкций. Для продолжения нормальной эксплуатации требуется ремонт по устранению поврежденных конструкций.	0,85	0,15
4	Неудовлетворительное. Неработоспособное состояние конструкций. Поврежденность сильная. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкций. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение действующих нагрузок. Эксплуатация возможна только после ремонта и усиления.	0,75	0,25
5	Аварийное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о возможности обрушения конструкций. Требуется немедленная разгрузка конструкций и устройство временных креплений, стоек, подпорок, ограждений опасной зоны. Ремонт в основном проводится с заменой аварийных конструкций.	0,65	0,35

Таблица 3.2

*Значения характеристик надежности  $\gamma$  и вот состояния конструкций*

Характеристики	Эксплуатационное состояние конструкций		
	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Аварийное
Полный коэффициент надежности $\gamma$ при разрушении по: арматуре бетону	$>1,35$ $>1,54$	1,21...1,35 1,21...1,54	1...1,2 1...1,2
Относительная надежность $y = \gamma/\gamma_0$	$> (0,77...0,9)$	0,61...0,9	0,5...0,8
Средняя относительная надежность $y$	0,85	0,75	0,65
Средняя величина поврежденности $\epsilon = 1 - y$	0,15	0,25	0,35

Таблица 3.3

*Шкала оценок надежности и вероятности аварии сооружений при экспертных оценках*

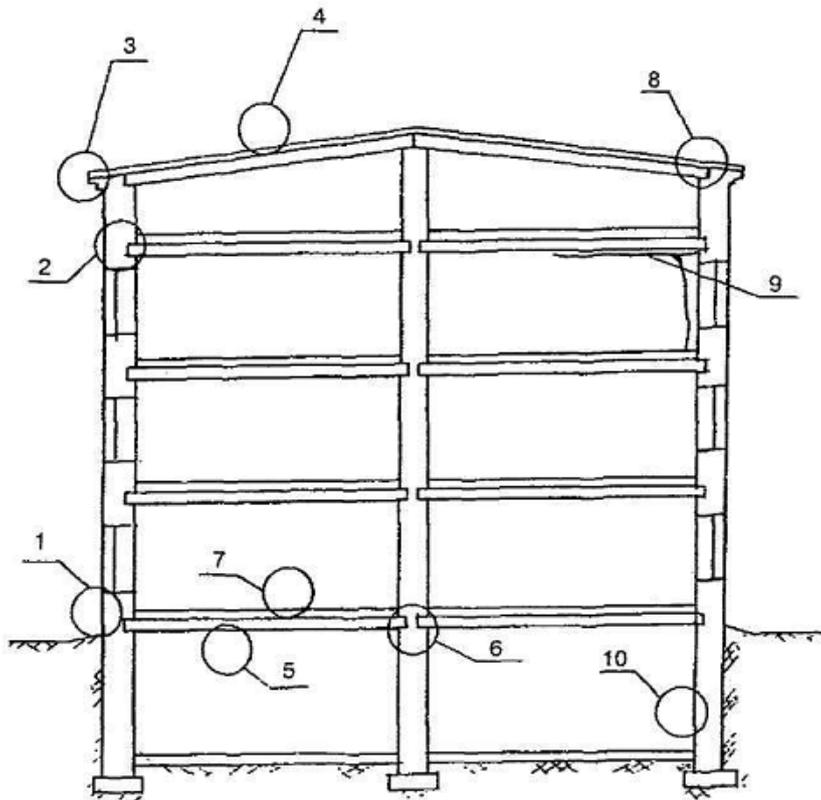
Условная надежность $\beta$	Вероятность (частота) аварий в год	Словесная шкала оценки надежности
1	$10^{-6}$	Хорошая
0,8	$10^{-5}$	Удовлетворительная
0,6	$10^{-4}$	Неудовлетворительная
0,4	$10^{-3}$	Недопустимая

**ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ  
ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ И ИЛЛЮСТРАЦИИ ВОЗМОЖНЫХ  
ПОВРЕЖДЕНИЙ**

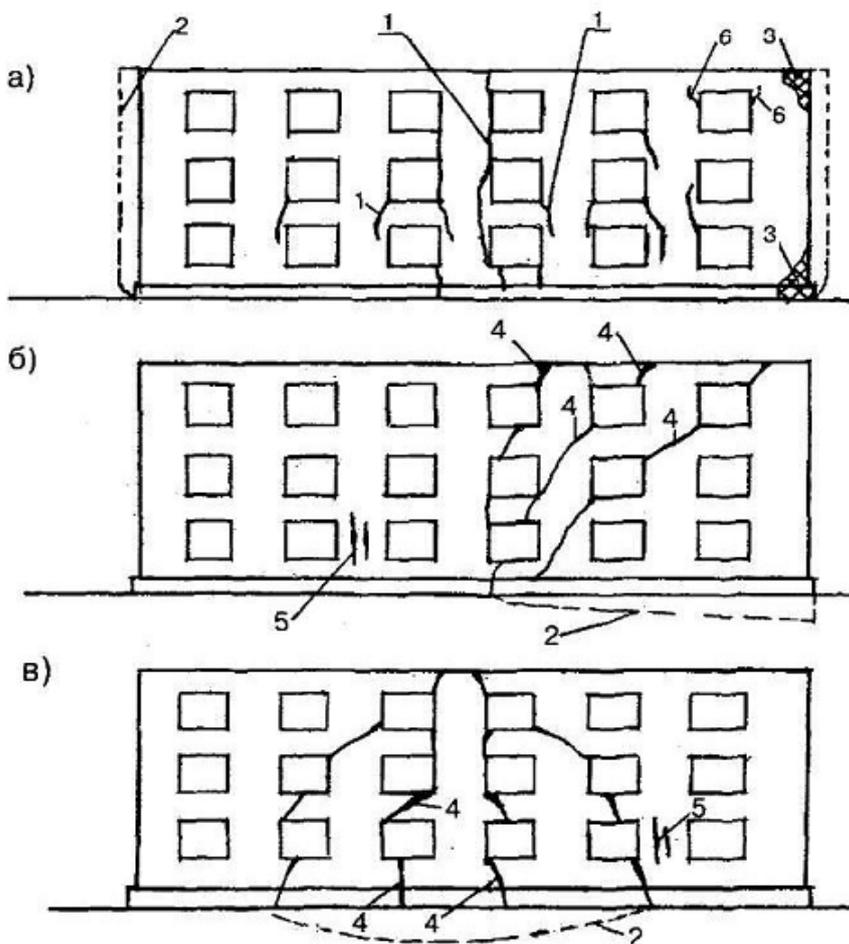
Таблица 3.4

Оценка технического состояния жилых крупнопанельных зданий после землетрясения по внешним признакам

Категория состояния здания	Признаки силовых воздействий землетрясения на конструкции
1	Отсутствие видимых повреждений
2	Волосные трещины в штукатурном слое и по побелке. Оконтуривание волосяными трещинами (0,1 мм) закладных деталей, выпадение раствора из швов между панелями. Волосяные трещины по контуру панелей.
3	Трещины в перемычках над оконными проемами. Трещины в панелях стен и плитах перекрытий в зонах устройства внутреннего отопления. Повсеместно по контуру элементов, закладных деталей и шпонок трещины с шириной раскрытия до 0,5 мм.
4	Значительное раскрытие (более 0,3 мм) трещин в перемычках над оконными проемами. Разрушение отдельных перемычек. Во многих местах трещины по контуру элементов и шпонок с шириной раскрытия 0,5–2 мм. Трещины во многих несущих элементах до 0,3 мм, а в некоторых до 2 мм. Отколы бетона в шпонках замоноличивания, а в отдельных местах его раздробление. Нарушение связей между элементами: выдергивание закладных деталей, разрушение сварных швов. Взаимные сдвиги элементов.
5	Разрушение значительного количества перемычек и отдельных простенков. Значительная подвижка стеновых панелей и плит перекрытий относительно друг друга. Обрушение отдельных стеновых панелей, лестничных площадок и маршей. Обрушение отдельных плит покрытия и перекрытия.



**Рис.3.1.** Характерные повреждения конструкций жилых и общественных зданий: 1- расслоение кладки цоколя; 2- повреждение опор деревянных балок; 3- расслоение кладки карниза; 4- протечки и разрушение кровли; 5- коррозия или образование трещин в железобетонных балках перекрытия; 6- трещины в кладке в месте опор ригелей; 7- коррозия и трещины в железобетонных плитах перекрытия над подвалом; 8- гниль маурлата и стропил; 9- трещины в перегородках и поперечных стенах; 10- трещины и протечки в стене подвала



**Рис.3.2.** Трещины в наружных стенах многоэтажных зданий: а- от температурно-влажностных воздействий; б, в- от неравномерных осадок фундаментов; 1- трещина от температурных воздействий; 2- линия деформации; 3- разрушения от увлажнения; 4- трещина от осадок фундаментов; 5- то же от перегрузок простенка; 6- то же от температурных деформаций перемычки

Таблица 3.5

*Оценка технического состояния жилых кирпичных зданий после землетрясения по внешним признакам*

Категория состояния здания	Признаки силовых воздействий землетрясения на конструкции
1	Отсутствуют видимые повреждения. Осыпание чешуек побелки стен и потолка.
2	Тонкие трещины по контуру перегородок, из углов проемов в опорной части перемычек. Ширина раскрытия трещин до 0,5 мм.
3	Трещины в перегородках и швах между панелями перекрытий. Падение больших кусков штукатурки. Горизонтальные трещины в узких простенках. Вертикальные трещины в местах сопряжения стен различного направления. Ширина раскрытия трещин в стенах 0,5...2 мм.
4	Расслоение перегородок, их смещение из плоскости или частичное обрушение. Смещение до 10 мм плит перекрытий и перемычек. Диагональные и х-образные трещины в сплошных стенах. Наклонные трещины в простенках продольных и поперечных стен. Ширина раскрытия трещин 2...10 мм.
5	Отрыв наружных стен от внутренних. Обрушение значительной части перегородок. Обрушение наружных самонесущих стен. Частичное обрушение несущих стен. Значительное смещение перекрытий (более 10 мм) с площадок опирания.

**Примечание.** По количеству повреждений ко всем подобным конструкциям на данном объекте оценивается в %: одиночные - до 5, отдельные - до 20, просто повреждения - до 60, массовые - 60 и более

Таблица 3.6

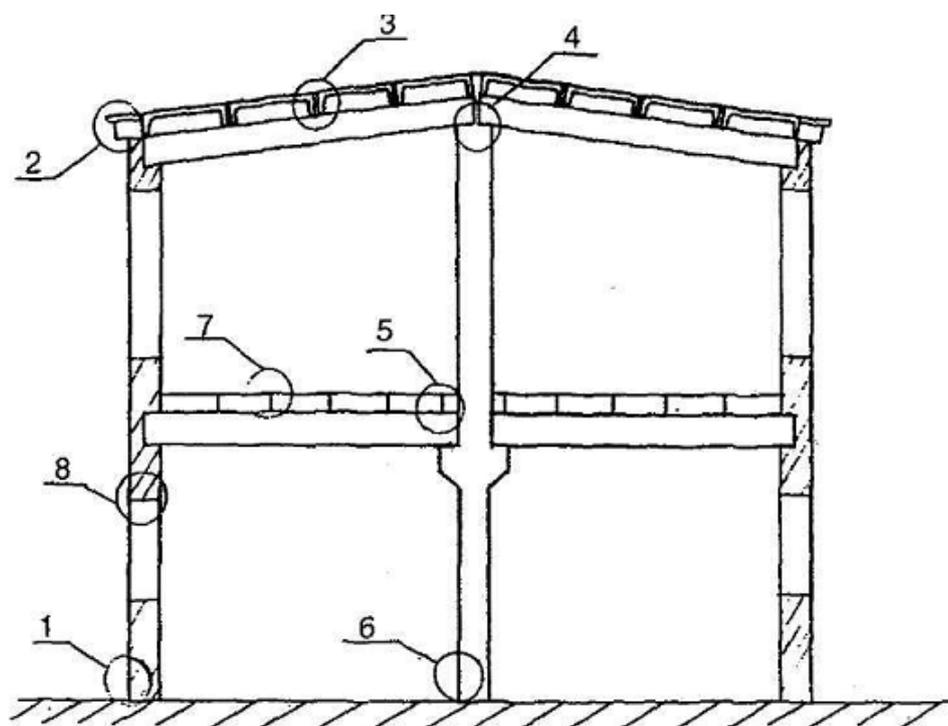
*Оценка технического состояния каркасных зданий после землетрясения по внешним признакам*

Категория состояния здания	Признаки силовых воздействий землетрясения на конструкции		
	Стены	Перегородки	Несущие конструкции
1	2	3	4
2	Волосные трещины (до 0,1 мм) в примыкании стен заполнения к элементам каркаса многоэтажных зданий. Волосные трещины от углов проемов в опорной части перемычек зданий с несущими и самонесущими стенами. Трещины до 0,3 мм по контуру примыкания стен заполнения и навесных панелей к каркасу, в швах между навесными панелями зданий с панельными стенами.	Волосные трещины в жестких перегородках и заделке швов. Отдельные трещины в перегородках до 0,3 мм.	Изредка трещины в узлах железобетонного каркаса с шириной раскрытия до 0,3 мм.
3	Трещины до 0,5 мм по контуру примыкания стен заполнения к каркасу с разрушением штукатурки в некоторых местах. Отдельные трещины до 0,5 мм в заполнении каркаса, особенно в углах проемов. Трещины до 0,5 мм от углов проемов в опорной части перемычек. Трещины до 0,5 мм и обмятия углов в навесных железобетонных панелях.	Трещины до 0,5 мм в перегородках в местах их примыкания.	В единичных случаях трещины в элементах железобетонного каркаса с шириной раскрытия до 0,5 мм. Волосные трещины в швах между панелями перекрытия.

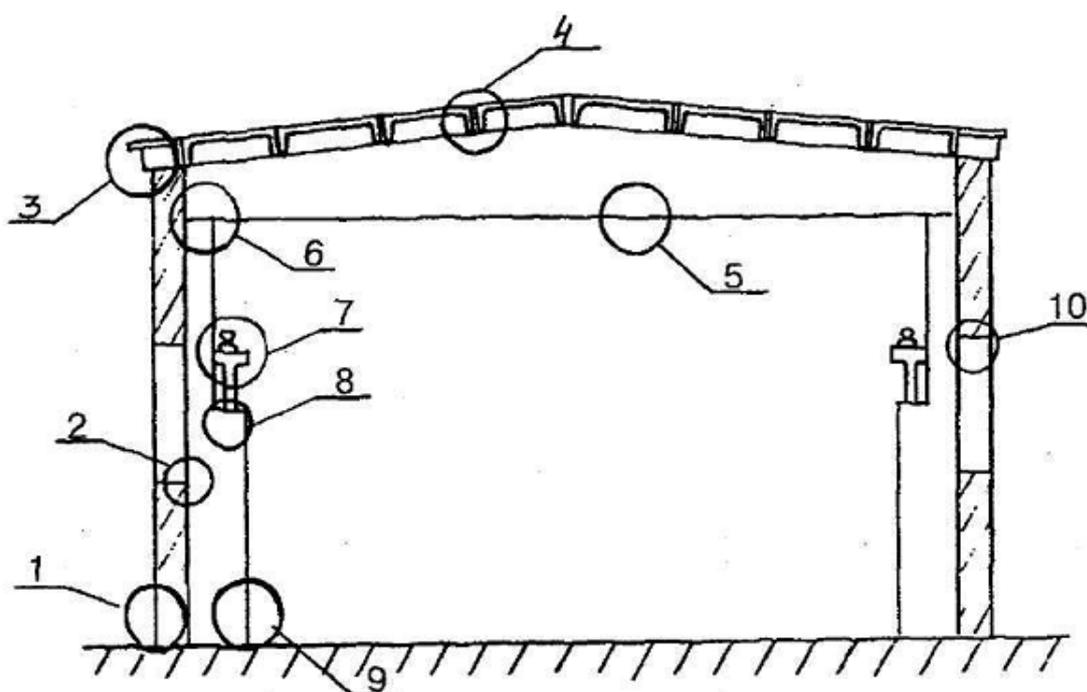
1	2	3	4
4	<p>Массовые трещины до 1 мм по контуру примыкания стен заполнения к каркасу с разрушением штукатурки; горизонтальные и наклонные трещины в заполнении каркаса, в отдельных случаях трещины до 2 мм в углах проемов.</p> <p>Горизонтальные трещины в узких простенках от углов проемов с шириной раскрытия до 2 мм. Изредка косые трещины в простенках. Вертикальные трещины между продольными и поперечными стенами. Разрывы или выдергивание отдельных анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям.</p> <p>В некоторых навесных панелях трещины до 1 мм, отколы углов, подвижка панелей с выпадением раствора швов.</p>	<p>Массовые вертикальные, горизонтальные и косые сквозные трещины в перегородках с раскрытием до 5 мм, проломы. Отрыв некоторых перегородок от колонн и покрытия.</p> <p>Расслоение материала перегородок, смещение из плоскости.</p>	<p>Отдельные нормальные трещины в элементах железобетонного каркаса с шириной раскрытия до 1 мм; косые трещины в отдельных узлах при опорных частях железобетонных ригелей и колонн с шириной раскрытия до 1 мм;</p> <p>трещины и выколы в продольных ребрах железобетонных плит покрытия; сдвигка плит покрытия до 2 см; трещины до 0,5 мм между сборными настилами перекрытия. Относительные сдвиги плит покрытия по швам между ними в продольном направлении.</p> <p>Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм и балок.</p> <p>Потеря устойчивости отдельных элементов стальных ферм. Обрыв отдельных связей. Повреждения отдельных сварных швов в местах опирания подкрановых балок на колонны.</p>

1	2	3	4
5	<p>а) Массовые трещины в заполнении каркаса, раскрытие многих из них более 2 мм, в некоторых случаях заполнение полностью разрушено.</p> <p>б) Диагональные трещины в сплошных поперечных каменных стенах, наклонные и горизонтальные трещины в большинстве простенков продольных и поперечных стен с шириной раскрытия более 2 мм. Отрыв торцевых и поперечных стен от продольных по всей высоте здания, обрушение парапетов и участков продольных и поперечных стен, разрывы и выдергивание стальных связей и анкеров, крепящих стены к колоннам и перекрытиям.</p> <p>в) Обрушения отдельных стеновых панелей.</p>	<p>Массовые косые и крестовые трещины в перегородках с шириной раскрытия более 5 мм, обрушение многих перегородок.</p>	<p>Разрушения узлов соединения колонн с ригелями железобетонного каркаса: раздробление и выкрашивание бетона, оголение и разрывы арматуры и хомутов. Оголение и выпучивание арматуры железобетонных колонн, скалывание колонн в средней части одна относительно другой. Наклонные трещины в приопорной части железобетонных ригелей и вертикальные в середине пролета с шириной раскрытия более 1 мм. Расстройство стыков плит покрытия со сдвижкой последних более 1/4 длины опирания или более 2 см.</p> <p>Повреждение кладки под опорами ферм и балок в виде трещины, раздробления камня или смещение рядов кладки по горизонтальным швам.</p> <p>Выпучивание стальных ферм из своей плоскости.</p> <p>Обрушение отдельных конструкций.</p>

**Примечание.** По количеству повреждений конструкций ко всем подобным конструкциям на данном объекте оценивается в %: единичные - до 5, отдельные - до 20, просто повреждения - до 60, массовые - 60 и более.



**Рис.3.3.** Характерные повреждения конструкций многоэтажных промзданий: 1- расслоение кладки цоколя; 2- трещины и расслоение кладки карниза; 3- разрушение плит покрытия; 4- расстройство стыков ригелей; 5- расстройство стыков балок перекрытий; 6- коррозия арматуры железобетонных колонн; 7- разрушение плит перекрытия; 8- разрушение перемычек над окнами



**Рис.3.4.** Характерные повреждения конструкций одноэтажных промзданий: 1- расслоение кладки цоколя; 2- повреждение крепления стены к колонне; 3- трещины и расслоение кладки карниза; 4- разрушение железобетонных плит; 5- коррозия нижнего пояса пролетного строения; 6- трещины в опорном узле; 7- разрушение подкрановых балок; 8- разрушение креплений подкрановых балок к колоннам; 9- коррозия арматуры железобетонных колонн, механические повреждения; 10- разрушение перемычек над окнами

Таблица 3.7

Оценка технического состояния железобетонных зданий после пожара по внешним признакам

Категория технического состояния	Состояние поверхности	Деформации конструкции
2	Наличие следов сажи и копоти	Шелушение отдельных слоев поверхности бетона. Незначительные сколы бетона
3	Изменение серого цвета до розового и буро-желтого; элементы полностью покрыты сажей и копотью	Наличие сколов бетона по углам; обнажение арматурной сетки на плоских элементах площадью около 10%; обнажение угловой арматуры в элементах прямоугольной формы; отделение наружных слоев бетона без их обрушения (при простукивании прослушивается глухой звук); трещины с шириной раскрытия до 0,5 мм
4	Цвет бетона желтый	Сколы бетона конструкций до 30% сечения элемента; обнажение арматурной сетки в плоских элементах на площади более 10%; обнажено до 50% рабочей арматуры прямоугольных элементов; выпучен один стержень арматуры элемента; отвалились поверхностные слои бетона, звук оставшихся слоев глухой; трещины с шириной раскрытия до 1 мм
5	Цвет бетона темно-желтый	Сколы бетона от 30 до 50% площади сечения элемента; обнажено до 90% арматуры; выпучилось более одного стержня арматуры; нарушена анкеровка, сцепление арматуры с бетоном; отрыв закладных и опорных деталей; выбоки конструкции; прогибы свыше 1/50 пролета; трещины шириной раскрытия более 1 мм

Таблица 3.8

Оценка технического состояния стальных конструкций зданий после пожара по внешним признакам

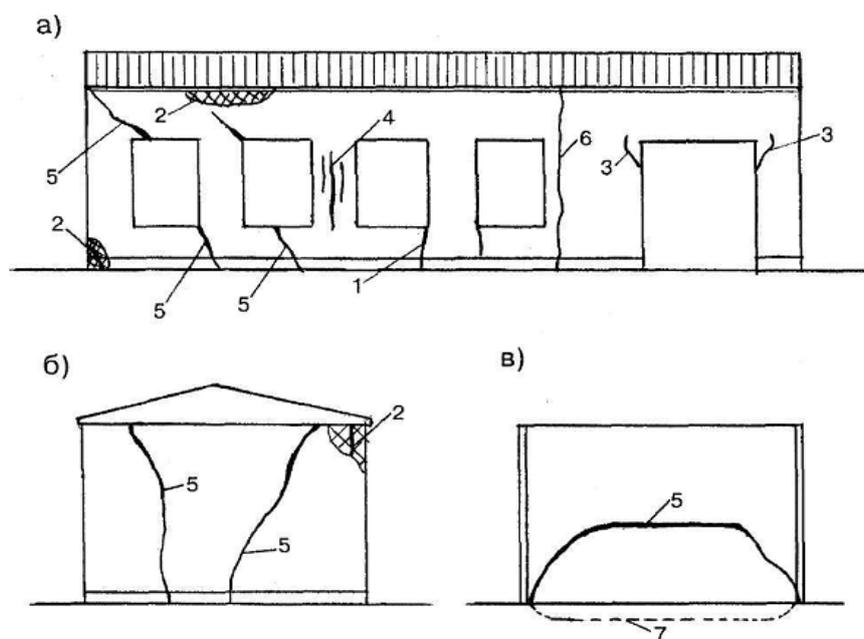
Категория технического состояния	Состояние поверхности металла	Деформации конструкции
2	Разрушено лакокрасочное покрытие	Отсутствуют
3	Сталь приобретает цвет "побежалости". На стали образуется светлая окалина	Имеется небольшое коробление
4	На стали образуется тонкий слой трудноочищаемой окислы	Имеется сильное коробление
5	Отслоение местами слоя окислы. Образование толстого слоя окислы. Образование твердой и хрупкой пленки серовато-синего или черного цвета и язв губчатого строения	Провисание ненагруженных элементов под собственным весом. Сильная деформация нагруженных конструкций. Появление участков конструкций с изломами, разрывами, оплавленного материала.

Таблица 3.9

Оценка технического состояния промышленных зданий по внешним признакам

Категория технического состояния здания	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
1	<u>Каменные конструкции</u> В кирпичной кладке в отдельных кирпичах имеются трещины, не пересекающие растворные швы. <u>Железобетонные конструкции</u> В железобетонных конструкциях имеются отдельные волосяные трещины с шириной раскрытия не более 0,1 мм.	Нет
2	<u>Каменные конструкции</u> В кирпичной кладке простенков трещины, пересекающие не более двух рядов кладки. <u>Железобетонные конструкции</u> Образование трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов с раскрытием до 0,3 мм. Выпадение раствора в швах между плитами перекрытия. <u>Стальные конструкции</u> Видимых повреждений нет.	<u>Каменные конструкции</u> Выветривание раствора швов кладки до 1 см. Отпадение местами штукатурки. <u>Железобетонные конструкции</u> Следы коррозии распределительной арматуры. Следы увлажнения бетона. <u>Стальные конструкции</u> Местное разрушение антикоррозионного покрытия. На отдельных участках коррозия пятнами с поражением до 5% сечения.
3	<u>Каменные конструкции</u> В кирпичной кладке простенков трещины, пересекающие не более 4-х рядов кладки. Трещины в перегородках шириной до 10 мм.	<u>Каменные конструкции</u> Разрушение кладки на глубину до 15% толщины стены.

1	2	3
	<p><u>Железобетонные конструкции</u> Образование трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов до 0,5 мм.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Относительные прогибы балок до 1/150 пролета</p>	<p><u>Железобетонные конструкции</u> Образование продольных трещин вдоль рабочей арматуры из-за коррозии. Отдельные выколы бетона.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Пластинчатая ржавчина с уменьшением сечения элементов до 10 % сечения из-за коррозии. Местные погнутости элементов от ударов транспортных средств.</p>
4	<p><u>Каменные конструкции</u> В кирпичной кладке простенков трещины, пересекающие более 4-х рядов кладки. Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами. Образование трещин и сколов в местах опирания балок и ферм на пилыстры длиной до 20 см. Вертикальные сквозные трещины в продольных и поперечных стенах с раскрытием до 10 мм. Трещины в перегородках более 10 мм.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Ширина раскрытия нормальных трещин изгибаемых элементов в растянутой зоне до 1 мм.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Прогибы балок, заметные на глаз (до 1/80 пролета). Выпучивание стенок и поясов балок и колонн.</p>	<p><u>Каменные конструкции</u> Разрушение кладки до 25% толщины стены. Наклоны и выпучивание стен и фундаментов не более, чем на 1/5 их толщины. Заметное выпучивание перегородок, нарушение их связи с колоннами и стенами. Отклонение кирпичных колонн от вертикали более 3 см.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Отслоение защитного слоя железобетонных конструкций с уменьшением сечения арматуры до 15% из-за коррозии. Снижение прочности бетона до 30%.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Коррозия элементов до 25% сечения. Отклонение ферм от вертикальной плоскости более 15 мм.</p>
5	<p><u>Каменные конструкции</u> Отрыв продольных несущих стен от поперечных. Вертикальные и косые трещины в местах опирания балок или ферм на пилыстры длиной более 20 см. Разрушение крепления узлов панелей стен. Вертикальные сквозные трещины в продольных и поперечных стенах по высоте здания с раскрытием более 10 мм. Обрушение отдельных конструкций.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Ширина раскрытия трещин изгибаемых элементов в растянутой зоне более 1 мм. Раздробление бетона сжатой зоны. Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах. Выпучивание арматуры в сжатой зоне колонн. Разрыв арматуры в растянутой зоне и хомутов в зоне наклонной трещины. Прогибы изгибаемых элементов более 1/80 пролета.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Потеря устойчивости балок и сжатых элементов колонн и ферм. Разрыв растянутых элементов. Наличие трещин в основном материале элементов и подкрановых балках. Прогибы изгибаемых элементов более 1/80 пролета.</p>	<p><u>Каменные конструкции</u> Размораживание и выветривание кладки стен на глубину более 25% толщины стены. Полная потеря прочности раствора (раствор легко разбирается руками). Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа более 1/3 их толщины. Сдвиг стен и фундаментов по горизонтальным швам.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Уменьшение сечения арматуры из-за коррозии более 15%. Снижение прочности бетона более 30%. Заниженная площадь опирания плит покрытия и перекрытия (менее 5 см).</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%. Расстройство стыков со взаимным смещением опор.</p>



**Рис.3.5.** Трещины в стенах одноэтажных зданий: а- в продольной несущей стене; б- в торцевой стене; в- в перегородке; 1- трещина от местного увлажнения грунта; 2- разрушение кладки, трещины от увлажнения; 3- трещина от температурных деформаций перемычки; 4- трещина от перенапряжения простенка; 5- трещина от неравномерных осадок фундаментов; 6- трещина от температурных деформаций при отсутствии температурных швов; 7- линия осадок фундаментов

Таблица 3.10

Оценка технического состояния жилых и общественных зданий по внешним признакам

Категория технического состояния здания	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
1	<p><b>Каменные конструкции</b> В кирпичной кладке в отдельных кирпичах имеются выбоины, трещины, не пересекающие растворные швы</p> <p><b>Железобетонные конструкции</b> В железобетонных конструкциях имеются отдельные волосные трещины с шириной раскрытия не более 0,1 мм</p>	Нет
2	<p><b>Каменные конструкции</b> В кирпичной кладке простенков трещины, пересекающие не более двух рядов кладки. Трещины в перегородках в местах сопряжения с потолками шириной до 2 мм</p> <p><b>Железобетонные конструкции</b> Образование трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов с раскрытием до 0,3 мм. Трещины в швах между сборными плитами перекрытий шириной до 2 мм</p> <p><b>Стальные конструкции</b> Видимых повреждений нет</p>	<p><b>Каменные конструкции</b> Выветривание раствора швов кладки до 1 см. Сетчатые трещины 0,1...0,2 мм на поверхностях панелей и блоков, шелушение и растрескивание поверхности, местное отслоение облицовки и фактурного слоя панелей стен, отпадение местами штукатурки</p> <p><b>Железобетонные конструкции</b> Следы коррозии распределительной арматуры</p> <p><b>Стальные конструкции</b> Местное разрушение антикоррозионного покрытия. На отдельных участках коррозия пятнами с поражением до 5% сечения</p>
3	<p><b>Каменные конструкции</b> В кирпичной кладке простенков трещины, пересекающие не более 4-х рядов кладки. Вертикальные трещины раскрытием до 2 мм в кладке, блоках и перемычных панелях продольных стен. Трещины в перегородках в местах сопряжения с потолком шириной до 10 мм.</p> <p><b>Железобетонные конструкции</b> Образование трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов до 0,5 мм. Смещение сборных железобетонных плит перекрытий относительно друг друга по высоте до 3 см.</p>	<p><b>Каменные конструкции</b> Разрушение кладки или отслоение облицовки на глубину до 15% толщины стены.</p>
		<p><b>Железобетонные конструкции</b> Образование продольных трещин вдоль рабочей арматуры из-за ее коррозии.</p>

1	2	3
	<p><u>Стальные конструкции</u> Относительные прогибы изгибаемых элементов до 1/150 пролета.</p> <p><u>Деревянные конструкции</u> Прогибы изгибаемых элементов заметны на глаз и превышают значения СНиП.</p>	<p><u>Стальные конструкции</u> Пластинчатая ржавчина с уменьшением сечения элементов до 10% сечения из-за коррозии.</p> <p><u>Деревянные конструкции</u> Следы протечек. Гниль мауэрлата и конца стропильных ног, снижающая прочность до 15%.</p>
4	<p><u>Каменные конструкции</u> В кирпичной кладке простенков и столбов трещины, пересекающие более четырех рядов кладки.</p> <p>Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами.</p> <p>Вертикальные и наклонные трещины сдвига в верхних этажах с раскрытием до 10 мм в местах сопряжения разнонагруженных стен.</p> <p>Вертикальные сквозные трещины в продольных и поперечных стенах по высоте здания по сплошным или ослабленным проемам или стыкам панелей с раскрытием до 10 мм.</p> <p>Трещины в перегородках более 10 мм. Диагональные трещины по углам простенков до 3 мм, вертикальные трещины по перемычкам до 3 мм, в местах установки балконных плит</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Ширина раскрытия нормальных трещин изгибаемых элементов в растянутой зоне до 1 мм. Прогибы элементов до 1/80 пролета.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Прогибы изгибаемых элементов до 1/80 пролета.</p> <p><u>Деревянные конструкции</u> Прогибы изгибаемых элементов до 1/80 пролета. Трещины в элементах, работающих на скалывание.</p>	<p><u>Каменные конструкции</u> Разрушение кладки или отслоение облицовки до 25% толщины стены. Наклоны и выпучивания стен и фундаментов в пределах этажа не более чем на 1/6 их толщины. Заметное выпучивание перегородок.</p> <p>Высокая водо- и воздухопроницаемость стыков стеновых панелей. Отклонение кирпичных колонн и столбов от вертикали более 3 см.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Отслоение защитного слоя железобетонных конструкций с уменьшением сечения арматуры до 15% из-за коррозии. Снижение прочности бетона до 30%.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Коррозия элементов до 25% сечения. Отклонение ферм от вертикальной плоскости более 15 мм.</p> <p><u>Деревянные конструкции</u> Гниль в местах заделки балок в наружные стены, мауэрлатов, стропил и наката, снижающая прочность до 25%.</p>

1	2	3
5	<p><u>Каменные конструкции</u> Отрыв продольных стен от поперечных.</p> <p>Вертикальные и косые трещины в местах опирания балок или ферм на пиллястры.</p> <p>Выпучивание или смещение панелей стен, разрушение узлов крепления панелей.</p> <p>Вертикальные сквозные трещины в продольных и поперечных стенах по высоте здания с раскрытием более 10 мм.</p> <p>Обрушение отдельных конструкций.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Ширина раскрытия трещин изгибаемых элементов в растянутой зоне более 1 мм. Раздробление бетона сжатой зоны. Разрыв арматуры в балках. Выпучивание продольной арматуры в колоннах. Прогибы более 1/80 пролета.</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Потеря устойчивости балок и сжатых элементов колонн и ферм.</p> <p>Разрыв растянутых элементов.</p> <p>Прогибы более 1/80 пролета.</p> <p><u>Деревянные конструкции</u> Прогибы изгибаемых элементов более 1/80 пролета. Быстронарастающая деформация. Сквозные трещины в накладках стыков по линии болтов ферм. Трещины в нижних поясах ферм по сучку. Надломы и разрушения отдельных конструкций. Скалывание врубок. Потеря устойчивости сжатых элементов.</p>	<p><u>Каменные конструкции</u> Разрушение кладки на глубину более 25% толщины стены.</p> <p>Полная потеря прочности раствора (раствор легко разбирается руками).</p> <p>Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа более 1/3 их толщины. Сдвиг стен и фундаментов по горизонтальным швам.</p> <p><u>Железобетонные конструкции</u> Уменьшение сечения арматуры из-за коррозии более 15%. Снижение прочности бетона более 30%. Расстройство стыков. Заниженная площадь опирания плит (менее 5 см).</p> <p><u>Стальные конструкции</u> Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%.</p> <p>Расстройство стыков элементов со взаимным смещением опор.</p> <p><u>Деревянные конструкции</u> Поражение гнилью строительных конструкций более 25% сечения.</p>

Оценка технического состояния эстакад и отдельно стоящих опор под технологические трубопроводы по внешним признакам

Категория технического состояния сооружения	Признаки силовых воздействий	Признаки воздействия внешней среды
1	2	3
2	<u>Железобетонные эстакады</u> Нет	Ржавые пятна, следы коррозии распределительной арматуры на бетонной поверхности. Образование видимых трещин вдоль хомутов и распределительной арматуры с малым защитным слоем из-за коррозии арматуры.
3	Образование трещин в балках в растянутой зоне до 0,5 мм.	Образование продольных трещин вдоль рабочей арматуры с раскрытием трещин 1–6 мм из-за коррозии арматуры.
4	Ширина раскрытия нормальных трещин в растянутой зоне изгибаемых элементов до 1 мм. Деформация, перекосы и разрушения отдельных траверс из-за перенапряжения.	Отслоение защитного слоя железобетонных конструкций с уменьшением сечения арматуры до 15% из-за коррозии арматуры. Снижение прочности бетона до 30%.
5	Ширина раскрытия трещин изгибаемых элементов более 1 мм. Раздробление бетона сжатой зоны. Разрыв арматуры в балках и колоннах опор. Разрушение траверс в пролете из-за перенапряжения. Выпучивание отдельных стержней сжатой зоны колонн, балок и ферм. Крен опор превышает 0,05.	Уменьшение сечения арматуры более 15% сечения вследствие коррозии. Оголение всего периметра арматуры конструкции. Снижение прочности бетона более 30%.
2	<u>Стальные эстакады</u> Нет	Местное разрушение антикоррозионного покрытия. На отдельных участках коррозия пятнами с поражением до 5% сечения.
3	Относительные прогибы изгибаемых элементов более 1/150.	Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения элементов до 10% из-за коррозии. Отсутствие ряда опорных частей под трубами. Местные погнутости от ударов транспортных средств.
4	Пластические деформации (изгиб) траверс из-за температурных деформаций. Потеря местной устойчивости отдельных конструкций (выпучивание стенок и поясов). Трещины в сварных швах. Прогибы изгибаемых элементов до 1/75 пролета.	Коррозия элементов с уменьшением расчетного сечения до 25%. Щелевая коррозия связей с разрывом сварных швов. Отклонение ферм от вертикальной плоскости более 15 мм.
5	Потеря общей устойчивости балок и сжатых элементов колонн и ферм. Разрыв отдельных растянутых элементов. Наличие трещин в основном материале элементов. Разрушение траверс в пролете из-за перегрузки. Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета. Крен опор превышает 0,05.	Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%. Расстройство стыков опирания пролетных стропил.

### Контрольные вопросы

1. С чем связано, что в процессе эксплуатации конструкций происходит циклическое изменение их надежности?
2. Какие из повреждений являются необратимыми?

### Библиографический список

1. Добромыслов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам – М.: АСВ, 2004. - 66 с.

## V. БАНК КЕЙСОВ

### Кейс №1

Слушателям предлагается следующие фотоматериалы:

а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



### Вопросы к слушателям:

1. Что явилось причиной обрушения?
2. Кто виноват ?
3. Была ли возможность устранить и если «да», то каким способом?

## Кейс № 2

Слушателям предлагается следующие фотоматериалы:

а)



б)



в)



г)



д)



### Вопросы к слушателям:

1. Определите категорию технического состояния объектов?
2. Дайте заключение о возможности дальнейшей эксплуатации каждого объекта?
3. Предложите восстановительные мероприятия для объектов, подлежащих дальнейшей эксплуатации.

### Кейс №3

Слушателям предлагается следующие фотоматериалы:

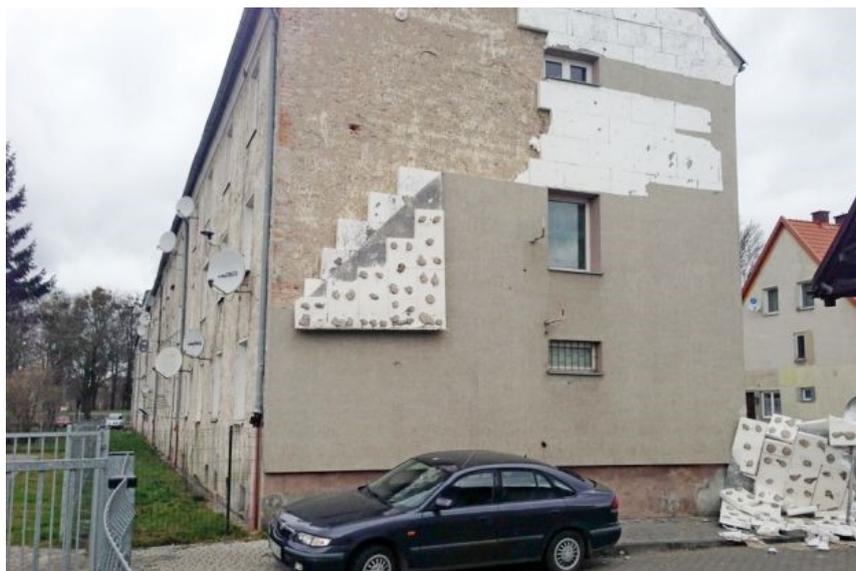
а)



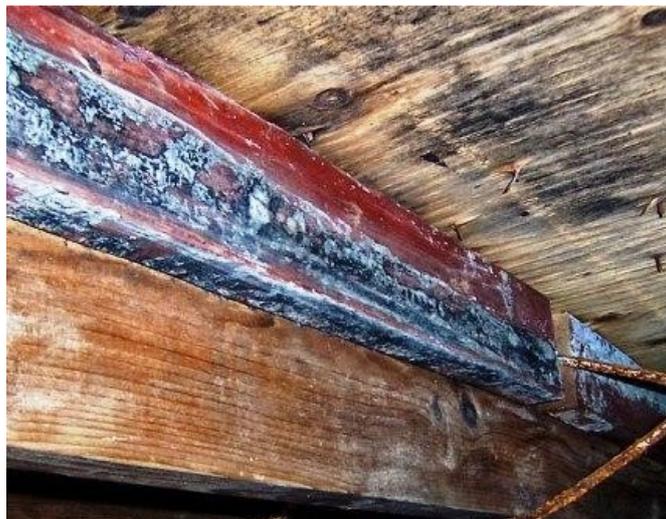
б)



в)



г)



д)



е)

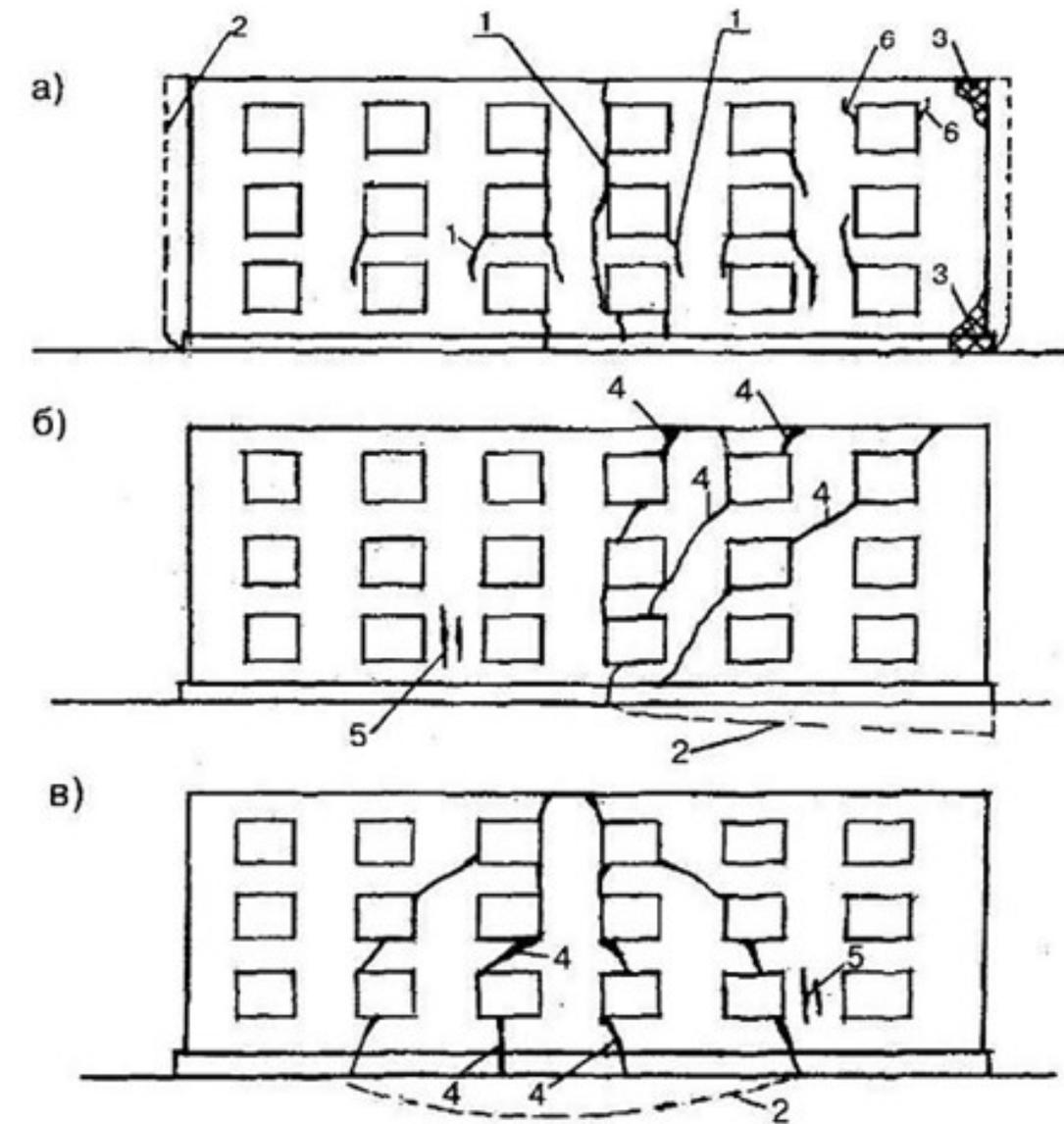


**Вопросы к слушателям:**

1. Установите причины, вызвавшие дефекты или разрушения.
2. Предложите восстановительные мероприятия.

## Кейс №4

Слушателям предлагается рассмотреть возможные трещины и прочие дефекты в стенах гражданских зданий, представленные на рис.



### Вопросы к слушателям:

1. Какие процессы явились причинами возникновения этих трещин и дефектов?
2. Какие из трещин могут привести к аварийной ситуации?
3. Кто виновен в проявлении негативных процессов?
4. Какие мероприятия могут способствовать восстановлению эксплуатационной надежности зданий?

## VII. ГЛОССАРИЙ

### Тема 1. Надежность строительных систем.

Термин	Определение на русском языке	Определение на английском языке
<b>Надежность</b>	Свойство изделия, обусловленное его безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей в заданных пределах	The property of the product, due to its failure-free operation, durability and maintainability and ensuring the preservation of performance in the specified range
<b>Отказ</b>	Событие, которое делает изделие непригодным к выполнению основных своих функций	An event that makes the product unsuitable for the performance of its main functions
<b>Безопасный остаточный ресурс</b>	Интервал времени эксплуатации строительного объекта от текущего момента до момента достижения им предельно-допустимого значения риска аварии.	The interval of the operation time of the building object from the current moment to the moment when it reaches the maximum permissible value of the accident risk.
<b>Ремонтпригодность</b>	Способность конструкций объекта восстанавливать свои эксплуатационные качества после ремонта	The ability of the object structures to restore their performance after repair
<b>Безотказность</b>	Свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность при определенных режимах и условиях эксплуатации.	The property of the product is continuously maintained in certain operating modes and conditions.
<b>Физический износ</b>	Ухудшение технических и связанных с ними эксплуатационных показателей здания, вызванное объективными причинами	Deterioration of technical and related operating characteristics of the building, caused by objective reasons
<b>Моральный износ</b>	Постепенное (во времени) отклонение основных эксплуатационных показателей от современного уровня технических требований эксплуатации зданий и сооружений.	Gradual (in time) deviation of the main operational indicators from the current level of technical requirements for the operation of buildings and structures.
<b>Долговечность</b>	Предельный срок сохранения физических качеств конструкции здания в процессе эксплуатации	The deadline for preserving the physical qualities of the building structure during operation

<b>Наработка на отказ</b>	Характеристика изделия, определяющая время нормальной работы изделия между отказами	Product characteristic, which determines the time of normal operation of the product between failures
---------------------------	---	---

## Тема 2. Безопасность и риск в строительстве

<b>Термин</b>	<b>Определение на русском языке</b>	<b>Определение на английском языке</b>
<b>Безопасность конструкционная</b>	Часть безопасности, связанная с техническим состоянием несущего остова строительного объекта	Part of the safety associated with the technical condition of the bearing skeleton of the building object
<b>Авария</b>	Абсолютное предельное состояние объекта, соответствующее либо полному разрушению конструкций несущего остова, либо возникновению значительных деформаций или потере устойчивости вида конструкций	Absolute limiting state of the object, corresponding to either complete destruction of the structure of the bearing core, or the appearance of significant deformations or loss of stability of the type of structures
<b>Риск аварии</b>	Число, показывающее превышение проектного риска аварии, вносимого по умолчанию в строительный объект при проектировании.	The number indicating the excess of the design accident risk introduced by default into the building object during design.
<b>Безопасный остаточный ресурс</b>	Интервал времени эксплуатации строительного объекта от текущего момента до момента достижения им предельно-допустимого значения риска аварии.	The interval of the operation time of the building object from the current moment to the moment when it reaches the maximum permissible value of the accident risk.
<b>Сертификация соответствия</b>	Процедура испытания риска аварии строящегося объекта с целью подтверждения соответствия требованиям конструкционной безопасности	The procedure for testing the risk of an object under construction in order to confirm compliance with structural safety requirements

## Тема 3: Инженерные приложения теории безопасности

<b>Термин</b>	<b>Определение на русском языке</b>	<b>Определение на английском языке</b>
<b>Риск аварии</b>	Число, показывающее превышение проектного риска аварии, вносимого по умолчанию в строительный объект при проектировании.	Number indicating the excess of the design accident risk introduced by default into the building object during design

<b>Безопасный остаточный ресурс</b>	Интервал времени эксплуатации строительного объекта от текущего момента до момента достижения им предельно-допустимого значения риска аварии.	The interval of the operation time of the building object from the current moment to the moment when it reaches the maximum permissible value of the accident risk.
<b>Надежность</b>	Свойство изделия, обусловленное его безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей в заданных пределах	The property of the product, due to its failure-free operation, durability and maintainability and ensuring the preservation of performance in the specified range
<b>Безопасность</b>	Состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части	The state of building structures and grounds of the building or structure in which there is no unacceptable risk associated with causing harm to the life or health of citizens, property of individuals or legal entities, state or municipal-pal property, environment, life and health of animals and plants due to the destruction or loss stability of the building, structure or part thereof
<b>Дефект</b>	Отдельное несоответствие конструкций какому-либо параметру, установленному проектом или нормативным документом	Separate nonconformity of constructions to any parameter established by the project or normative document

#### **Тема 4: Инновационные системы обеспечения сейсмической безопасности зданий и сооружений**

<b>Термин</b>	<b>Определение на русском языке</b>	<b>Определение на английском языке</b>
<b>Сейсмическая опасность</b>	Величина воздействий, ожидаемых в данном пункте и вероятность их появления за определенное время ожидания	The magnitude of impacts expected in this paragraph and the likelihood of their occurrence for the specified time
<b>Сейсмостойкое</b>	Возведение зданий и	Construction of buildings and

<b>строительство</b>	сооружений, способных перенести сейсмические воздействия при заданном уровне повреждений, не представляющих угрозу жизни людей и обеспечивающих сохранность ценного оборудования	structures that can move the seismic impact for a given level of damage, do not pose a threat to people's lives and ensure the safety of valuable equipment
<b>Сейсмическое воздействие</b>	Тип динамического воздействия, возникающего в конструкциях зданий и сооружений в связи с движением основания объекта во время землетрясений	Type of dynamic effects arising in the construction of buildings and structures in relation to the base of the object motion during earthquakes
<b>Антисейсмические мероприятия</b>	В строительстве - совокупность действий, направленных на приспособление планировки населенных пунктов и промышленных узлов, зданий и сооружений к возможному сейсмическому воздействию. Антисейсмические мероприятия предпринимаются с целью повышения безопасности людей и снижение экономического ущерба при сильных землетрясениях путем обеспечения сейсмостойкости сооружений и инженерных сетей застраиваемых территорий	In the building - a set of actions aimed at the adaptation plan settlements and industrial sites and buildings for possible seismic impact. Anti-seismic measures taken to improve the safety of people and the reduction of the economic damage caused by strong earthquakes by ensuring seismic stability of buildings and utilities built-up areas
<b>Сейсмостойкость здания / сооружения</b>	Способность объекта выполнять предназначенные функции после действия землетрясения расчетной интенсивности и повторяемости (отсутствие остановки производства и травматизма людей, предотвращение нежелательных экологических последствий и т.д.)	The ability of an item to perform its intended function after the earthquake action settlement intensity and frequency (no stop production and people's injuries, preventing adverse environmental impacts, etc.)
<b>Сейсмозащита</b>	Мероприятия, обеспечивающие снижение сейсмических нагрузок на здания и сооружения.	Activities that ensure the reduction of seismic loads on buildings and structures.

<b>Адаптивная система сейсмоизоляции</b>	Система сейсмозащиты, при использовании которой динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию	The system of seismic protection, in which the dynamic characteristics of the building irreversibly change during the earthquake, "adapting" to seismic action
<b>Система сейсмопогашения</b>	Система сейсмозащиты, включающая демпферы и динамические гасители. В таких системах энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии.	The system of seismic protection, including damping and dynamic absorbers. In such systems, the energy of the oscillating structure passes into other types of energy.

### Тема 5: Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений

<b>Термин</b>	<b>Определение на русском языке</b>	<b>Определение на английском языке</b>
<b>Пожар</b>	Неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.	Uncontrolled burning, causing material damage, damage to life and health of citizens, the interests of society and the state
<b>Горючая среда</b>	Среда, способная воспламениться при воздействии источника зажигания.	A medium that can ignite when exposed to an ignition source.
<b>Источник зажигания</b>	Средство энергетического воздействия, инициирующее возникновение горения	A means of energetic action that initiates the occurrence of combustion
<b>Противопожарная преграда</b>	Строительная конструкция с нормированными пределом огнестойкости и классом конструктивной пожарной опасности конструкции, объемный элемент здания или иное инженерное решение, предназначенные для предотвращения распространения пожара из одной части здания, сооружения, строения в другую или между зданиями, сооружениями, строениями, зелеными насаждениями	Building construction with a standard fire resistance limit and a class of structural fire hazard of a structure, a volumetric building element or other engineering solution designed to prevent the spread of a fire from one part of a building, structure, structure to another or between buildings, structures, structures, green spaces
<b>Предел огнестойкости конструкции</b>	Промежуток времени от начала огневого воздействия	The time interval from the beginning of the fire action in

	в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормированных для данной конструкции предельных состояний.	the conditions of standard tests until one of the limiting states normalized for this design.
<b>Средства пожарной защиты</b>	Предметы, материалы, мероприятия, применение которых позволяет ликвидировать или ограничить распространение пожара.	Objects, materials, activities, the use of which allows you to eliminate or limit the spread of fire

## VIII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.C. Guedes Soares, Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures. Technical University of Lisbon, Instituto Superior Técnico, Portugal. 2010.457 p. – ISBN: 978-0-415-66392-2 (Hbk + CD-ROM). – ISBN: 978-0-203-81865-7 (eBook).

2.Zou P.X.W., Sunindijo R.Y. Strategic Safety Management in Construction and Engineering. John Wiley & Sons, 2015. — X, 240 p. — ISBN: 9781118839379.

3.Gupta, J.P. . A Textbook of Engineering Mechanical & Basic Civil Engineering. S Chand & Co Ltd, 2010. ISBN 9788121930932.

4.Sharma, S. K. A Text Book Building Construction. S Chand & Co Ltd, 2013. ISBN 9788121904797.

1. R. Chudley, Roger Greeno, Building Construction Handbook. Butterworth-Heinemann, 2006. 728 p.

2. Asadour H. Hadjian. Basic Elements of Earthquake Engineering. Publisher:Wiley. 2015. 600 p. - ISBN-13: 9780471498520.

3. Anand S. A., BOEN T. Yuji I. Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France. 2014. 199 p. ISBN 978-92-3-000032-5.

4. PERIODIC STRUCTURAL inspection of existing building. Guidelines for structural engineers. Building and Construction Authority. 2012. 14 p.

5. Condition assessment of buildings for repair and upgrading. GoI-UNDP Disaster, Risk Management Programme National Disaster Management Division. Ministry of Home Affairs, Government of India. New Delhi. 2007. 16 p.

6. ICRI ACI. Concrete Repair Manual - 4th Edition : 2-Volume Set. 2013. ISBN 9780870318054.

7. Varghese, P. C. Maintenance, Repair & Rehabilitation and Minor Works of Buildings. Prentice-Hall of India Pvt.Ltd. 2014. ISBN 9788120349452

12. Fire safety risk assessment/ Published for HM Government under licence from the Controller of Her Majesty's Stationery Office. © Crown Copyright 2006 ISBN 978 185112820 4

13. Andrew Charleson SEISMIC DESIGNFOR ARCHITECTS (OUTWITTING THE QUAKE) /Architectural Press , Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK , 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA Copyright © 2008 Elsevier Ltd. ISBN: 978-0-7506-8550-4

## **IX. ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **Приложение к лекции №1**

During this period, we have created large number of infrastructural assets in terms of buildings, bridges, sports stadium etc., which are lifeline for the civilized society. These have been created with huge investment of resources. We cannot even dream of recreating such assets out of limited national resources. It is, therefore, essential to maintain them in functional condition. Since, deterioration of RCC is a natural phenomena and has started exhibiting in large number of structures, a systematic approach is needed in dealing with such problems. Identification of the causes of deterioration and consequent repair/rehabilitation strategy at optimum cost needs a scientific evaluation and solution.

### **Приложение к лекции №2**

Risk Assessment is a fundamental support for decisions related with design, construction, operation and maintenance of industrial products, systems and infrastructures. Risks are influenced by design decisions, by the process of construction of the systems and infrastructures and by the way in which they are operated and maintained. Different aspects are more important in the various phases and types of activities and different methods have been developed to deal with them.[1]

### **Приложение к лекции №3**

Having faced the problem of deterioration in RCC buildings under its maintenance, the need of specialised unit in the field of repair, rehabilitation and protection of existing buildings was felt and a unit was created on 1/1/96. Based on various investigative works carried out by this unit including remedial measures suggested & adopted for deteriorated buildings and study of literature available on the subject, this handbook has been prepared. The book covers the subject starting from causes of deterioration, investigative methods, design principles, selection criteria of repair materials & methods, guidelines for selection of consultant, short-listing of contractors and preparation of contract documents for repair/ rehabilitation contracts including nomenclature and related specifications of commonly used repair items.

### **Приложение к лекции №4**

This chapter now outlines the basic principles of seismic resistance for buildings. Factors such as the dynamic characteristics of earthquakes, their duration and the effects of site conditions are all external to a building. No matter how well or poorly designed, a building has no control over those effects. But as we shall see, a

combination of factors such as the form of a building, its materials of construction and dynamic characteristics, as well as the quality of its structural design and construction, greatly influence how a building responds to any shaking it experiences. [13].

### **Приложение к лекции №5**

Good management of fire safety is essential to ensure that fires are unlikely to occur; that if they do occur they are likely to be controlled or contained quickly, effectively and safely; or that, if a fire does occur and grow, everyone in your premises is able to escape to a place of total safety easily and quickly.

The risk assessment that you must carry out will help you ensure that your fire safety procedures, fire prevention measures, and fire precautions (plans, systems and equipment) are all in place and working properly, and the risk assessment should identify any issues that need attention [12].