

А.И. Бедов
В.В. Знаменский
А.И. Габитов

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ЧАСТЬ I

Обследование и оценка
технического состояния оснований и
строительных конструкций
эксплуатируемых зданий и сооружений



А.И. Бедов, В.В. Знаменский, А.И. Габитов

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ,
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЙ И
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

ЧАСТЬ I

**Обследование и оценка технического состояния оснований
и строительных конструкций эксплуатируемых зданий
и сооружений**

Рекомендовано Федеральным государственным бюджетным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 270800– «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство» и магистрантов по направлению 270800 – «Строительство»



Издательство АСВ
Москва
2014

Рецензенты:

кафедра железобетонных и каменных конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета (зав. кафедрой д.т.н., проф., чл.-корреспондент РААСН, *Б.С. Соколов*);
зам. заведующего лабораторией «Инженерных методов исследования железобетонных конструкций» ОАО «НИЦ «Строительство» д.т.н. *С.Б.Крылов*;
зав. кафедрой, железобетонных и каменных конструкций Московского государственного строительного университета к.т.н., проф. *Н.Г. Головин*

Б38 Бедов А.И., Знаменский В.В., Габитов А.И.

Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. В 2-х частях. Ч.1. Оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Под ред. А.И. Бедова: Учеб.пос. – М: Изд-во АСВ, 2014. – 704 с.

ISBN 978-5-4323-0024-9

Учебное пособие составлено в соответствии с программами общего и специального курсов по дисциплинам «Механика грунтов, основания и фундаменты», «Железобетонные и каменные конструкции», «Металлические конструкции», «Конструкции из дерева и пластмасс», «Теория проектирования зданий и сооружений», «Реконструкция и реставрация зданий и сооружений» и отражает вопросы оценки технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, в том числе при их реконструкции.

В нем рассмотрены вопросы надежности, физического и морального износа строительных конструкций, зданий и сооружений в целом. Отражено влияние различных факторов на эксплуатационные характеристики грунтов оснований и строительные конструкции из различных материалов, в том числе эксплуатируемых в условиях повышенных и высоких температур, пониженных отрицательных температур, в агрессивных средах, подвергшихся воздействию пожара и др.

Описаны причины вызывающие необходимость укрепления оснований и фундаментов. Приведена классификация и виды дефектов и повреждений строительных конструкций из различных материалов.

Представлена методика выполнения обследований оснований и строительных конструкций, включая инженерно-геологические и инженерно-геодезические изыскания, геомониторинг при проведении реконструкции зданий и сооружений, а также строительных конструкций подвергающимся как обычным эксплуатационным условиям, так и специфическим (пожар, агрессивные среды и др.)

Изложена методика оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по результатам обследований.

Пособие предназначено для студентов высших и средних специальных учебных заведений обучающихся по направлению «Строительство», а также может быть полезным инженерно-техническим работникам проектных и строительных организаций.

Регистрационный номер рецензии 2523 от 09.10.2013 г.

ISBN 978-5-4323-0024-9

© Издательский дом АСВ, 2014
© Бедов А.И., Знаменский В.В.,
Габитов А.И., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
Глава 1. Общие понятия о надежности и долговечности зданий и сооружений. Факторы, обуславливающие проявление изменений свойств грунтов оснований и дефектов и повреждений в конструкциях	12
1.1. Общие понятия о надежности и долговечности зданий и сооружений	
1.1.1. Надежность зданий и сооружений	12
1.1.2. Нормативные сроки службы, физический и моральный износ зданий и сооружений	27
1.1.3. Система планово-предупредительных ремонтов	36
1.2. Основания и фундаменты	39
1.2.1. Общие сведения об основаниях и фундаментах	39
1.2.2. Фундаменты мелкого заложения	40
1.2.3. Свайные фундаменты	48
1.3. Воздействие силовых факторов на грунты оснований и строительные конструкции	58
1.3.1. Изменение свойств грунтов основания при эксплуатации зданий и сооружений	58
1.3.1.1. Уплотнение грунтов, глубина сжимаемой зоны основания	58
1.3.1.2. Изменение влажности	59
1.3.1.3. Изменение прочностных и деформационных свойств грунтов	61
1.3.2. Воздействие силовых факторов на строительные конструкции	64
1.3.2.1. Железобетонные и каменные конструкции	64
1.3.2.2. Металлические конструкции	69
1.3.2.3. Деревянные конструкции	74
1.4. Влияние агрессивных сред и атмосферных воздействий на строительные конструкции	81
1.4.1. Железобетонные конструкции	82
1.4.2. Каменные и армокаменные конструкции	92
1.4.3. Биоповреждения железобетонных и каменных конструкций	95

1.4.3.1. Биоповреждения железобетонных конструкций.....	95
1.4.3.2. Биоповреждения каменных конструкций.....	97
1.4.4. Виды и механизм коррозии металлических конструкций.....	98
1.4.5. Механизм и признаки разрушения деревянных конструкций.....	108
1.5. Влияние повышенных положительных и пониженных отрицательных температур на свойства материалов и работу конструкций.....	117
1.5.1. Влияние повышенных положительных температур.....	117
1.5.1.1. Железобетонные конструкции.....	117
1.5.1.2. Каменные конструкции.....	126
1.5.1.3. Металлические конструкции.....	127
1.5.1.4. Деревянные конструкции.....	130
1.5.2. Влияние пониженных отрицательных температур.....	132
1.5.2.1. Железобетонные и каменные конструкции.....	132
1.5.2.2. Металлические конструкции.....	140
1.6. Влияние длительного срока возведения или перерыва в строительстве объектов без надлежащей консервации конструкций на их последующую работу.....	141
1.7. Влияние воздействия нефтепродуктов на работу железобетонных конструкций.....	145
1.7.1. Влияние нефтепродуктов на прочность бетона.....	145
1.7.2. Влияние нефтепродуктов на сцепление арматуры с бетоном.....	148

Глава 2. Причины, вызывающие необходимость укрепления оснований и фундаментов. Классификация дефектов и повреждений строительных конструкций зданий и сооружений..... 151

2.1. Причины, вызывающие необходимость укрепления оснований и фундаментов.....	151
2.1.1. Ошибки при проектировании, возведении и эксплуатации фундаментов.....	151

2.1.2. Развитие недопустимых деформаций	159
2.1.3. Повреждение фундаментов	165
2.1.4. Увеличение нагрузок на фундаменты	168
2.2. Классификация дефектов и повреждений строительных конструкций зданий и сооружений	169
2.2.1. Дефекты и повреждения железобетонных конструкций	173
2.2.2. Дефекты и повреждения каменных конструкций	183
2.2.3. Дефекты и повреждения металлических конструкций	192
2.2.4. Дефекты и повреждения деревянных конструкций	206

Глава 3. Обследование оснований и строительных конструкций зданий и сооружений 221

3.1. Организация работ по обследованию и оценке технического состояния зданий и сооружений. Цель, задачи и программа обследований	221
3.2. Инженерные изыскания при обследовании и геотехнический мониторинг при реконструкции зданий и сооружений	234
3.2.1. Инженерные изыскания при обследовании зданий и сооружений	234
3.2.2. Инженерно-геологические изыскания, их задачи, состав и методы проведения	236
3.2.3. Обследование фундаментов и грунтов основания	247
3.2.4. Геотехнический мониторинг при реконструкции зданий и сооружений	258
3.3. Инженерно-геодезические изыскания	265
3.4. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений	283
3.4.1. Установление источников коррозионных воздействий	283
3.4.2. Железобетонные конструкции	286
3.4.2.1. Определение армирования	301
3.4.2.2. Дефектоскопия железобетонных конструкций	303

3.4.2.3. Определение наличия и места расположения внутренних пустот и раковин	303
3.4.2.4. Определение зон с дефектной структурой бетона.....	306
3.4.2.5. Оценка степени коррозионного износа арматуры и закладных деталей	309
3.4.2.6. Особенности проведения обследований монолитных железобетонных ребристых перекрытий после длительного периода эксплуатации.....	313
3.4.2.7. Особенности обследования железобетонных конструкций, пропитанных нефтепродуктами	314
3.4.3. Каменные и армокаменные конструкции	316
3.4.4. Металлические конструкции	322
3.4.4.1. Оценка качества сварных соединений металлических конструкций.....	345
3.4.5. Обследование деревянных конструкций	356
3.4.5.1. Формы диагностирования деревянных конструкций	356
3.4.5.2. Надзор за режимом деревянных конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных сред	362
3.4.5.3. Надзор за пожарной безопасностью деревянных конструкций	367
3.4.5.4. Диагностирование дефектов деревянных конструкций, вызванных наличием пороков древесины	367
3.4.5.5. Эндоскопические исследования деревянных конструкций	375
3.4.5.6. Оценка физического износа деревянных конструкций зданий и сооружений.....	378
3.5. Оценка физико-механических характеристик материалов конструкций при проведении обследований.....	379
3.5.1. Общие сведения	379
3.5.1.1. Методика установления нормативной и расчетной прочности (нормативного и расчетного сопротивления) материала	380

3.5.2. Оценка физико-механических свойств бетона и арматуры.....	382
3.5.2.1. Определение класса прочности и расчетного сопротивления бетона	382
3.5.2.2. Определение армирования и прочности арматуры.....	397
3.5.2.3. Особенности определения прочности бетона железобетонных конструкций, пропитанных нефтепродуктами	402
3.5.3. Определение физико-механических характеристик каменной кладки	404
3.5.4. Оценка физико-механических характеристик стали эксплуатируемых конструкций.....	410
3.5.5. Определение физико-механических характеристик древесины	426
3.5.6. Выявление действительной расчетной схемы обследуемого конструктивного элемента, фактических нагрузок и воздействий	429
3.5.7. Испытания конструкций пробной нагрузкой.....	434
3.6. Обследование зданий и сооружений, подвергшихся пожару.....	448
3.6.1. Общие сведения	448
3.6.2. Состав работ при проведении обследований	466
3.6.3. Определение расчетных параметров пожара, влияющих на снижение несущей способности конструкций	471
3.6.4. Экспериментально-теоретический метод определения температуры и длительности нагрева бетона и арматуры при пожаре	473
3.6.5. Теоретический метод определения температуры и длительности нагрева бетона и арматуры при пожаре	475
3.6.6. Оценка состояния конструкций, подвергшихся пожару	475
3.6.6.1. Железобетонные конструкции	475
3.6.6.2. Каменные конструкции.....	477
3.6.6.3. Металлические конструкции.....	478
3.6.6.4. Деревянные конструкции.....	479

3.6.7. Оценка несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций после пожара	480
3.6.7.1. Общие положения.....	480
3.6.7.2. Железобетонные конструкции	482
3.6.7.3. Каменные конструкции.....	487
3.6.7.4. Металлические конструкции.....	487
3.6.7.5. Деревянные конструкции.....	489
3.7. Поверочные расчеты и оценка технического состояния конструкций	491
3.7.1. Прогибы и перемещения элементов конструкций	493
3.7.2. Оценка несущей способности и эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций по результатам обследований.....	496
3.7.2.1. Несущая способность монолитных железобетонных ребристых перекрытий после длительного периода эксплуатации.....	501
3.7.2.2. Расчёт прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов при нарушенном сцеплении арматуры с бетоном.....	504
3.7.2.3. Оценка несущей способности и деформативности железобетонных конструкций подверженных воздействию агрессивной среды.....	510
3.7.3. Оценка несущей способности элементов каменных конструкций с дефектами и повреждениями	516
3.7.3.1. Оценка несущей способности каменных конструкций подверженных химической коррозии	520
3.7.4. Оценка несущей способности стальных конструкций с дефектами и повреждениями.....	528
3.7.5. Оценка несущей способности и жёсткости деревянных конструкций с повреждениями.....	538
3.8. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений.....	542
3.8.1. Признаки аварийного состояния грунтового основания	543

3.8.2. Признаки аварийного состояния фундаментов.....	544
3.8.3. Признаки аварийного состояния железобетонных конструкций.....	545
3.8.4. Признаки аварийного состояния каменных конструкций.....	551
3.8.5. Признаки аварийного состояния стальных конструкций.....	552
3.8.6. Признаки аварийного состояния конструкций крупнопанельных зданий.....	554
3.8.7. Признаки аварийного состояния деревянных конструкций.....	556
3.9. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений по результатам обследования.....	557

Библиографический список 563

Приложения.....	590
Приложение 1. Основные термины и определения.....	590
Приложение 2. Показатели физического износа конструкций.....	597
Приложение 3. Дефекты и повреждения железобетонных конструкций.....	611
Приложение 4. Характерные дефекты и повреждения конструкций из каменной кладки.....	614
Приложение 5. Характерные дефекты и повреждения элементов металлоконструкций.....	623
Приложение 6. Характерные дефекты и повреждения соединений элементов металлоконструкций.....	633
Приложение 7. Справочные материалы для оформления результатов обследования.....	639
Приложение 8. Справочные материалы для оценки технического состояния конструкций, подвергшихся пожару.....	665
Приложение 9. Справочные материалы для оценки технического состояния конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений.....	674
Приложение 10. Классификация строительных конструкций по степени повреждения и категориям технического состояния.....	681

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия характеризуются все большими объемами реконструкции зданий и сооружений различного функционального назначения, обусловленной физической и моральным износом при их длительной эксплуатации, перепрофилированием и технологическим перевооружением. Как правило, во всех этих случаях проводится инженерное обследование с целью оценки технического состояния их оснований и строительных конструкций.

Необходимость проведения обследований по оценке технического состояния оснований и строительных конструкций зданий и сооружений возникает и при оценке их на рынке недвижимости, при возобновлении и завершении строительства объектов, находившихся длительный период в незавершенном состоянии. Нередко необходимость проведения обследования по оценке технического состояния оснований и конструкции возникает и во вновь строящихся зданиях из-за ненадлежащего качества выполнения строительно-монтажных работ и контроля за их проведением, ошибках при проведении инженерно-геологических и геодезических изысканий, ошибках в проектах конструктивной части, что ещё в стадии возведения и завершения строительства зданий и сооружений приводит к необходимости усиления их конструктивных элементов.

Задача обеспечения сохранности конструкций построенных зданий и сооружений ставилась и решалась издревле. С самого начала их возведения постоянно возникали непредвиденные ситуации: низкое качество материалов, ошибки в возведении, различные стихийные бедствия, приводившие к разрушению зданий, после которых проводились работы по их восстановлению и укреплению. Аварийные ситуации часто возникали также в результате ошибок проектирования.

В процессе эксплуатации и реконструкции объектов изменяются объемно-планировочные решения, возникает необходимость восстановления или усиления строительных конструкций, обеспечения антикоррозийной защиты, соответствующей изменяющимся условиям эксплуатации.

Как правило, объем капиталовложений при реконструкции и техническом перевооружении зданий и сооружений меньше в сравнении с новым строительством и окупаются они в 1,5–2 раза быстрее.

Работы по реконструкции характеризуются определенными особенностями, которые усложняют их производство по сравнению с новым строительством, они требуют специальных инструктивно-нормативных документов, разработки специфических технических решений и подготовки инженерных кадров.

Проектированию реконструкции обычно предшествует обследование конструкций, оценка их технического состояния, разработка предложений (проекта) на проведение ремонтно-восстановительных работ и усиление строительных конструкций, а также прогнозирование их дальнейшей работоспособности и долговечности.

Все работы, выполняемые при реконструкции, можно разделить на три этапа:

– обследование существующих конструкций, выявление резервов несущей способности здания или сооружения и необходимость его восстановления или усиления;

– выбор способа восстановления или усиления, расчет и конструирование усиливаемой конструкции;

– производство работ по восстановлению или усилению.

Первый этап включает в себя составление обмерочных чертежей, изучение свойств основания и качества материалов конструкций и их физико-механических свойств, уточнение нагрузок и выявление повреждений и дефектов, выполнение статических и конструктивных поверочных расчетов и др.

На втором этапе определяют методы и способы восстановления или усиления основания и конструкций и в зависимости от выбранного способа рассчитывают и конструируют усиление. Проект восстановления или усиления оснований и конструкций является индивидуальным и кардинально отличается от проекта при новом строительстве.

Третий этап предусматривает разработку технологических приемов производства работ. Реконструкция жилых, гражданских и производственных зданий в основном проводится в стесненных условиях, и большой объем работы выполняется вручную. Также серьезные трудности возникают с доставкой конструкций, поэтому используются легкие, высокопрочные материалы и изделия.

В первой части пособия рассматриваются основные положения по вопросам надежности, долговечности и безопасности зданий и сооружений, факторы и причины, вызывающие проявление дефектов и повреждений в строительных конструкциях и основаниях эксплуатируемых зданий и сооружений, приводится классификация агрессивности среды, дефектов и повреждений, излагается методика обследования конструкций, определения прочности материалов, оформления технической документации по результатам обследований. Приводятся рекомендации по выполнению поверочных расчетов конструкций с дефектами и повреждениями.

Учитывая, что в данном объеме пособия невозможно детально осветить все вопросы обследования, восстановления и усиления конструкций, приводится обширный список нормативной и технической литературы, откуда заинтересованные читатели могут получить дополнительные сведения.

Основные термины и определения, используемые в пособии, приведены в приложении 1.

Глава 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ФАКТОРЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ И ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ

1.1. Общие понятия о надежности и долговечности зданий и сооружений

1.1.1. Надежность зданий и сооружений

Надежность обеспечивает техническую возможность использования изделия по назначению в нужное время и с требуемой эффективностью. Нормы определяют надежность как свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Это свойство комплексное, включающее в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Для различных объектов и различных условий эксплуатации эти свойства могут иметь различную относительную значимость.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного срока службы. В качестве количественных характеристик, оценивающих это свойство, чаще всего используются вероятность безотказной работы, вероятность отказа и интенсивность отказов.

Долговечность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта, т.е. с возможными перерывами в работе. Таким образом, безотказность и долговечность – это свойства объекта сохранять работоспособность, при этом безотказность предусматривает непрерывную работоспособность в течение определенного времени, а долговечность – с возможными перерывами для ремонта.

Основное различие первого и второго свойств связано с понятием непрерывности работы системы. Для многих строительных объектов, эксплуатация которых практически не может быть приостановлена (например, для несущих конструкций), характеристика безотказности превалирует, перекрывая фактически характеристику долговечности, а для других объектов (например, инженерного оборудования зданий и сооружений) различия этих двух характеристик весьма существенны. Однако и в первом, и во втором случаях нужно различать безотказность и долговечность системы в целом или ее составных частей.

Ремонтпригодность – свойство конструкции быть приспособленной к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем

проведения технического обслуживания и ремонта. К сожалению, в строительстве практически не используются такие количественные показатели ремонтно-пригодности, как вероятность восстановления, среднее время простоя, среднее время восстановления. Это связано с глубоко укоренившейся традицией пренебрежительного отношения к проблемам эксплуатации и ремонта.

Сохраняемость – свойство системы сохранять свои показатели качества во время транспортирования, складирования, хранения и монтажа. Это свойство чаще всего относят не к строительному объекту в целом, а к его отдельным элементам заводского изготовления, хотя имеются такие объекты, как мобильные здания или инвентарные сооружения, для которых сохраняемость является общей характеристикой.

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 она состоит. Например, железобетонная ферма, являясь элементом в составе здания, по отношению к раскосам, поясам и другим элементам собственной конструкции является системой.

В теории надежности есть более общее понятие для элементов и систем – техническое изделие. Все они могут быть разделены на две большие группы: восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

Восстанавливаемые изделия – изделия, которые после отказа могут быть восстановлены. Например, в одном из спортивных залов был обнаружен отказ балки покрытия по признаку второго предельного состояния. После установления причины 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 или не подлежат восстановлению, например, когда в конструкциях имеются существенные повреждения и они требуют замены, а восстановление их экономически нецелесообразно.

Большинство строительных конструкций являются многофункциональными, сочетающими силовые, ограждающие и декоративные функции. Однако часто применительно к конструкциям зданий надежность понимают только как прочность, в то время как наружные ограждающие конструкции чаще оказываются ненадежными при выполнении своих ограждающих функций.

Надежность всей системы конструкций зависит от надежности составляющих ее элементов.

Основным критерием надежности строительных объектов является состояние невозможности превышения ими предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение заданного срока службы. Надежность строительных конструкций и оснований должна

обеспечиваться на стадиях разработки общей концепции сооружения, при его проектировании, изготовлении его конструктивных элементов, при его строительстве и эксплуатации. При аварийных воздействиях надежность строительных конструкций, кроме того, должна обеспечиваться за счет проведения одного или нескольких специальных мероприятий, включающих:

- выбор материалов и конструктивных решений, которые при аварийном выходе из строя или локальном повреждении отдельных несущих элементов не ведут к прогрессирующему обрушению сооружения;

- использование комплекса специальных организационных мероприятий, обеспечивающих ограничение и контроль доступа к основным несущим конструкциям сооружения.

Принятые проектные и конструктивные решения должны быть обоснованы результатами расчета по предельным состояниям сооружений, их конструктивных элементов и соединений, а также, при необходимости, данными экспериментальных исследований, в результате которых устанавливаются основные параметры строительных объектов, их несущая способность и воспринимаемые ими воздействия. Проектная документация при этом должна содержать в необходимых случаях ссылки на соответствующие нормативные документы.

При проектировании и возведении строительных объектов необходимо учитывать также их влияние на изменение условий эксплуатации существующих близлежащих зданий и сооружений.

Для обеспечения надёжности при расчете конструкций должны быть рассмотрены следующие расчетные ситуации:

- установившаяся, имеющая продолжительность того же порядка, что и срок службы строительного объекта (например, эксплуатация между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса);

- переходная, имеющая небольшую по сравнению со сроком службы строительного объекта продолжительность (например, изготовление конструкций, их транспортировка, возведение здания, капитальный ремонт, реконструкция);

- аварийная, соответствующая исключительным условиям работы сооружения (в том числе и при аварийных воздействиях), которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

Для каждой учитываемой расчетной ситуации надежность строительных конструкций должна быть обеспечена расчетом, а также путем:

- выбора оптимальных проектных и конструктивных решений, материалов, технологических процессов изготовления и монтажа строительных конструкций;

- создания условий, гарантирующих нормальную эксплуатацию строительных объектов;

- контроля поведения сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов;

– проведения организационных мероприятий, направленных на снижение риска реализации аварийных ситуаций и прогрессирующего разрушения сооружений. Указанные мероприятия разрабатываются генпроектировщиком по согласованию с заказчиком и должны быть включены в технические условия или задание на проектирование.

Надежность здания закладывается при разработке проекта и поддерживается на заданном уровне при эксплуатации за счет проведения ремонтно-восстановительных работ.

В процессе проектирования здания закладывается теоретическая надежность его конструкций, исходя из требований норм на проектирование, которая косвенно отображает необходимый запас прочности конструкций на восприятие действующих нагрузок.

При изготовлении и возведении конструктивных элементов зданий и сооружений обеспечивается надежность каждого конкретного элемента. При эксплуатации конструкций здания его надежность с течением времени, как правило, снижается и может оказаться ниже минимально установленного уровня. В этом случае возникает необходимость в проведении ремонтно-восстановительных работ.

В связи с этим для обеспечения надежности здания играет роль его ремонтнопригодность, представляющая собой приспособленность конструкций к периодическим осмотрам и ремонтам.

При проектировании учитывают следующие факторы, влияющие на надежность конструкций:

- качество и количество применяемых элементов;
- режим работы элементов и деталей;
- стандартизацию и унификацию;
- доступность деталей, узлов и блоков для осмотра и ремонта.

На надежность конструкций и здания в целом отрицательно влияют следующие факторы:

- отсутствие соответствующего контроля материалов и комплектующих изделий;
- нарушение сортности и недоброкачественная замена материалов;
- установка элементов, длительно хранившихся в неблагоприятных условиях;
- недостаточный контроль за различными технологическими операциями;
- нарушение технологии монтажа.

В процессе эксплуатации на надежность зданий оказывают влияние внутренние и внешние факторы (напряжения, воздействия), система технического обслуживания и ремонтов, техническая квалификация обслуживающего и ремонтного персонала.

Однако основным требованием к конструкциям и сооружению в целом остается его безопасность, обеспечиваемая несущей способностью конструкций сооружения.

Мерой надежности здания или сооружения служит вероятность его разрушения (частота вероятного разрушения сооружения в год).

Для выбора необходимой надежности при проектировании необходимо знать допускаяемую вероятность отказа конструкций зданий и сооружений в год, т.е. риск.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности, называется отказом, т. е. под отказом понимают прекращение выполнения конструкциями заданных функций, которые устанавливаются с соответствующими допусками. При назначении нормативной надежности как несущих, так и ограждающих конструкций, под отказом понимают техническое состояние элемента, предшествующее исчерпанию несущей способности или полной потере ограждающих функций.

На основании многочисленных наблюдений, проведенных на изделиях электронной, авиационной и судостроительной промышленности, установлено, что каждый вид изделий за полный срок эксплуатации проходит три периода, для каждого из которых свойственен свой характер проявления отказов (рис. 1.1).

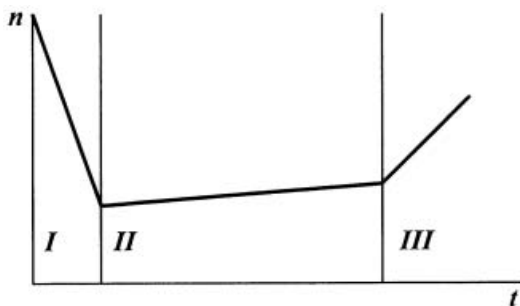


Рис. 1.1. Период работы изделия

Первый период (период приработки) характерен тем, что количество отказов во времени быстро уменьшается. В этот период относительно быстро выясняются и устраняются дефекты, которые были допущены при проектировании и изготовлении изделия. Например, новоселы, заселившиеся в квартиру в только что построенном доме, часто встречаются с необходимостью небольших ремонтов (из-за появления трещин в полу, в оконных блоках, протечек трубопроводов и т.п.). Причем эти ремонты прекращаются относительно быстро — через 1–2 года. За это время — время приработки — восстанавливается качество отказавших изделий.

Во втором периоде работы (период нормальной эксплуатации) число отказов во времени начинает плавно увеличиваться. Как правило, такие отказы связаны с проявлением неупругих свойств материалов (из-за чего развиваются недопустимые прогибы конструкций, появляются просадки зданий и т.п.). В то же время нельзя исключить и внезапного возникновения отказов, например, из-за природных воздействий (большой снегопад, штормовой ветер 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. Определение его длительности проблематично. Подходы могут быть разные. Можно использовать:

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

Надежность строительного технического изделия во времени снижается по экспоненциальному закону (рис. 1.2) и описывается формулой

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

где t – текущее время;

T_0 – среднее время безотказной работы изделия.

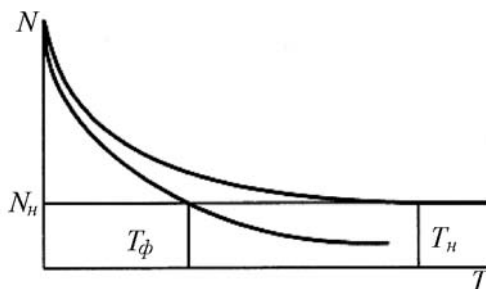


Рис. 1.2. К определению понятия «период нормальной эксплуатации»

Ко времени реализации нормативного срока службы T_n надежность изделия должна оказаться равной нормированной N_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 повреждения, что приводит к быстрому достижению изделиями нормированной надежности N_n за период T_ϕ . Эксплуатация изделий с надежностью ниже нормированной не гарантирует их безопасности и экономичности.

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

$$N(t) = 1 - Q(t), \quad (1.2)$$

которое иллюстрируется на рис. 1.3.

Понятие риска включает в себя физическое и инженерное толкование. Величина риска зависит от назначения сооружения, от проектного срока его службы, социальных и экономических последствий от разрушения сооружения,

новизны конструктивного решения и принятых при проектировании исходных предпосылках, экономических соображений.

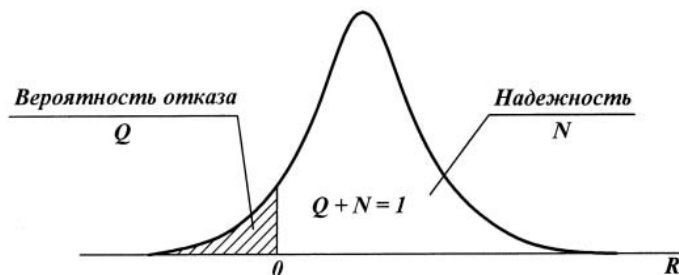


Рис. 1.3. Связь между вероятностью отказа и надежностью

Допустимая вероятность отказа должна определяться в зависимости от тяжести последствий. Предлагается принимать в расчетах следующие значения вероятности отказов:

- $10^{-5} - 10^{-7}$ – при отказе без предварительных сигналов (хрупкое разрушение, потеря устойчивости, разрушение оснований);
- 10^{-4} – при достижении предельной несущей способности с предварительными сигналами (текучесть растянутой зоны при изгибе, осадка оснований);
- $10^{-2} - 10^{-3}$ – при наступлении состояния непригодности к эксплуатации без потери несущей способности.

Определение приемлемого риска на основе социально-психологической стороны отражает реакцию общественного мнения на аварии.

Так, риск, характеризуемый числом 10^{-3} случаев в год, является совершенно неприемлемым (что соответствует вероятности случаев со смертельным исходом в год при езде на мотоцикле).

Уровень риска 10^{-4} требует принятия мер и может быть принят только в том случае, если другого выхода нет (соответствует риску со смертельным исходом в год при автомобильных авариях).

Уровень риска 10^{-5} соответствует естественным случайным событиям, как, например, несчастным событиям при купании в море.

Аварии, обусловленные риском 10^{-6} (вероятность поражения человека молнией), относятся к такому уровню, на который имеется более спокойная реакция, так как считается, что избежать этого риска может каждый, соблюдая элементарные правила предосторожности.

Понятно, что риск разрушения здания с большим скоплением людей должен быть минимальным.

При определении риска по экономическим соображениям следует исходить из стоимости сооружения и убытков от его отказа.

Отношение числа отказавших изделий в единицу времени к начальному числу изделий при условии, что отказавшие изделия не заменяются и не восстанавливаются называется, *частотой отказов*, которая определяется по формуле

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

где $\Delta n(t)$ – число отказавших изделий к моменту времени t ;
 N_0 – начальное число изделий в партии;
 Δt – 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:

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

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

В настоящее время при расчете строительных конструкций по СНиП не требуется вычислять вероятность их отказа. Считается, что надежность конструкций сооружения, обеспеченная системой частных коэффициентов надежности, достаточная.

Само собой разумеется, что разные здания и сооружения должны обладать различной величиной риска.

Например, риск аварии сооружения, при котором происходит остановка всего предприятия с большими материальными потерями из-за нарушения технологического процесса, должен быть минимальным. В то же время сооружения, работа которых не приводит к немедленной остановке производства, могут иметь большой риск.

Для одного и того же сооружения риск также может меняться в зависимости от того, одиночное сооружение или заблокированное.

В связи с этим отказы иногда классифицируют следующим образом:

– частичный отказ узла или элемента, усиление которого приводит к полному восстановлению надежности сооружений;

– отказы наиболее ответственных элементов сооружений (основания, фундаментов, колонн, ригелей и т.д.), приводящие к полному отказу всего сооружения.

Отказы второй группы могут быть внезапными, являющимися наиболее опасными. Они, как правило, сопровождаются мгновенным обрушением конструкций. Основными причинами внезапных отказов являются грубые ошибки, допущенные при разработке проекта, в процессе строительства и эксплуатации. Усиление этих элементов порой связано с большими объемами разборки.

Очень важно отметить, что в составных конструкциях отказ одного из составляющих элементов может привести к отказу всей конструкции, хотя остальные элементы продолжают нормально функционировать. Например, увлажнение утеплителя трехслойных стеновых панелей приводит к отсыреванию стен, нарушению температурного режима помещения, тогда как железобетонные элементы продолжают выполнять функции несущей части конструк-

ции. В связи с этим целесообразно также отметить, что современные методы расчетов (в частности, метод предельных состояний) сосредоточивают внимание на границах качества, хотя для многих характеристик (тепло-, звукоизоляция и др.) важно не только предельное состояние, но и распределение качества.

Если расчетные значения вероятности отказа получаются больше риска, надежность конструкций здания следует повысить, увеличив их безопасность, качество эксплуатации или запланировать резервирование здания на время ремонта.

На практике надежность сооружения косвенно может быть оценена в виде коэффициента запаса прочности сооружения или условной надежностью в баллах.

Надежность конструкционной части проекта зависит от ряда факторов: полноты исходных данных по нагрузкам и воздействиям, свойствам материалов конструкций, условиям эксплуатации сооружения, инженерно-геологических условиям площадки строительства; правильности выбора конструкций и конструктивной схемы сооружения; правильности выбора расчетной схемы.

В процессе эксплуатации дефекты и повреждения накапливаются, изменяясь качественно и количественно. Оставленные без внимания незначительные дефекты могут привести к серьезным нарушениям целостности конструкций и даже к авариям. Надежная работа строительных конструкций возможна в случае, когда во время эксплуатации принимаются эффективные меры по устранению дефектов и повреждений или ограничению их вредного влияния.

Когда повреждения в строительных конструкциях достигают критических значений, это может привести к их разрушению, а при неблагоприятных условиях – аварии в целом здания или сооружения. Таким образом, разрушение отдельной конструкции может вызвать обрушение при определенных условиях части или всего здания или сооружения.

При этом под аварией понимается непредвиденный выход из строя здания или сооружения вследствие его полного или частичного обрушения.

Помимо разрушения конструкций различные повреждения могут привести к неудовлетворительному состоянию здания или сооружения, при котором затрудняется дальнейшая его эксплуатация или происходит снижение долговечности конструкций.

Например, большие перемещения подкрановых балок вызывают колебания мостового крана и затрудняют его работу, трещины в железобетонном резервуаре приводят к потере его герметичности и невозможности эксплуатации, разрушение антикоррозийного покрытия стальных конструкций приводит к коррозии и преждевременному разрушению конструкций.

Для правильного прогнозирования и принятия соответствующих мероприятий по предупреждению разрушений зданий и сооружений имеет большое значение систематизация имеющихся данных по авариям.

Например, участвовавшие в 1960–1970 гг. в СССР случаи аварий стальных конструкций, изготовленных из кипящей стали, привели к изменению норм на применение кипящей стали для сооружений, эксплуатирующихся при отрицательной температуре.

Аварии силосов 1950-1960 гг. вызвали изменение норм при их проектировании на определение нагрузок от сыпучего материала.

Многочисленные аварии зданий, возведенные в зимнее время, привели к изменению норм на проектирование при строительстве панельных и каменных зданий.

По данным Госстроя, за два года в СССР (с 1986 по 1987 г.) были зарегистрированы 173 строительные аварии в том числе: промышленных зданий и сооружений – 88, гражданских зданий – 32, жилых зданий – 42, сельскохозяйственных зданий – 11.

Фактическое количество аварий, по экспертным оценкам, превышает в несколько раз. Это связано с тем, что обычно регистрируются те аварии, когда имеются человеческие жертвы или большие материальные потери государственной собственности.

Распределение аварий по материалам конструкций составляло: каменные – 11%, железобетонные – 64%, металлические – 23%, прочие – 2%.

Основными причинами, вызвавшими аварию, в процентном отношении были: низкое качество выполнения строительно-монтажных работ – 59%, недостаточный уровень проектов – 25%, недостатки эксплуатации – 16%.

В том числе наиболее частыми причинами аварий были:

при строительстве

– отступление от норм и проекта, плохое качество изготовления и монтажа; при проектировании

– несоответствие принятой расчетной модели действительной работе конструкций;

при эксплуатации

– завышение проектных нагрузок.

Из рассмотрения распределения аварий по сроку службы зданий и сооружений было установлено, что 55% всех аварий происходит до 1 года эксплуатации или во время строительства. Эти аварии могут быть объяснены недостаточной надежностью сооружения из-за грубых ошибок в проекте, грубых нарушений норм и отступлений от проекта при изготовлении. Некоторое повышение процента аварий через 15–19 лет эксплуатации связывается со снижением их надежности от физического износа.

Анализ аварий по видам конструкций, отказ которых привел к аварии, основным техническим причинам аварий и срокам службы до аварии построенных зданий и сооружений показал, что для стальных конструкций причиной отказа явилась потеря устойчивости; в железобетонных конструкциях не выявлено каких-либо преобладающих технических причин, и их разрушения были вызваны теми или иными нарушениями норм, отступлениями от проекта, износом конструкций.

Для стальных конструкций менее надежными оказались фермы. Для железобетонных конструкций различные их виды оказались примерно с одинаковой надежностью.

Учебное пособие

Азат Исмагилович Габитов

Анатолий Иванович Бедов

Владимир Валерианович Знаменский

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ
И УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ**

В 2-Х ЧАСТЯХ

**Ч. I. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ И
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Редактор: В.Ш. Мерзлякова

Компьютерная верстка: Д.А. Матвеев.

Дизайн обложки: Т.А. Негрозова

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 16.06.14.
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. 44 п. л. Тираж 500. Заказ № .

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,
отдел реализации к. 511, тел., факс: (499)183-56-83;
e-mail: iasv@iasv.ru, Интернет магазин: <http://www.iasv.ru/>