

А.Н. Добромыслов

ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



А.Н. Добромыслов

**ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ
ЗДАНИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**



Издательство АСВ
Москва 2008

Рецензенты:

профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций
Московского государственного строительного университета,
кандидат технических наук *Л.М. Пухонто*;
заведующий сектором конструкций ОАО «ЦНИИПромзданий»,
кандидат технических наук *В.Н. Ягодкин*.

Добромыслов А.Н.

Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: Справочное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 304 с.

ISBN 978-5-93093-437-3

Изложены основные повреждения зданий и инженерных сооружений, возникающие при эксплуатации. Проанализировано влияние возникших повреждений конструкций на надежность зданий и инженерных сооружений, исследованы причины их возникновения. Рассмотрены признаки аварийного состояния строительных конструкций. Значительное внимание отведено повреждениям и авариям различных видов инженерных сооружений, мало освещенных в отечественной и зарубежной литературе.

Пособие предназначено для работников служб, занимающихся эксплуатацией и ремонтом зданий и инженерных сооружений, специализированных организаций, проводящих обследования, инженеров-проектировщиков и студентов строительных учебных заведений.

ISBN 978-5-93093-437-3

© Издательство АСВ, 2008

© Добромыслов А.Н., 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	8
2. ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ	15
3. ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ	24
3.1. Железобетонные конструкции.....	24
3.2. Стальные конструкции.....	36
3.3. Деревянные конструкции.....	41
3.4. Каменные конструкции	46
3.5. Основания фундаментов	50
3.6. Повреждения крыш и кровель.....	56
3.7. Повреждения конструкций при пожарах.....	57
3.8. Повреждения, вызванные ошибками при проектировании	63
4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ	69
5. АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ	75
6. ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ	79
6.1. Жилые и общественные здания	79
6.2. Производственные здания	88
7. ПОВРЕЖДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	97
7.1. Железобетонные резервуары и емкости	97
7.2. Стальные резервуары	107
7.3. Силосы и бункеры	113
7.4. Подпорные стены.....	120
7.5. Тоннели и каналы	124

7.6. Эстакады под технологические трубопроводы	128
7.7. Конвейерные галереи.....	132
7.8. Крановые эстакады	137
7.9. Дымовые трубы	140
7.10. Вытяжные башни	146
7.11. Градири	151
8. ПОВРЕЖДЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	157
8.1. Повреждения от динамических нагрузок.....	157
8.2. Повреждения от сейсмических воздействий	161
9. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ	171
9.1. Основные положения.....	171
9.2. Диагностика при визуальных обследованиях.....	172
9.3. Диагностика при инструментальных обследованиях	174
9.4. Особенности диагностики повреждений инженерных сооружений	181
9.5. Перечень данных, выясняемых при инструментальных обследованиях конструкций	184
9.6. Особенности диагностики при авариях	191
9.7. Построение базы экспертных знаний.....	195
10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕМОНТУ И УСИЛЕНИЮ	197
11. ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	214
12. ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ.....	255
13. ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ОСНОВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	262
14. ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПО ДАННЫМ ОБСЛЕДОВАНИЯ.....	284
15. ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ДЕФЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	287
16. ПРИЛОЖЕНИЕ 6. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕ- СКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ	293
ЛИТЕРАТУРА.....	296

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы в нашей стране с распадом крупных исследовательских, проектных и строительно-монтажных организаций наметилась тенденция к снижению качества строительства.

Зачастую заказчики, экономя деньги, заказывают проектирование и строительство недостаточно квалифицированным организациям. В результате появилось множество зданий, имеющих те или иные повреждения в том числе и с признаками аварийного состояния.

Также ухудшилось техническое состояние уже построенных строительных объектов вследствие отсутствия в последнее десятилетие должного контроля за их состоянием и проведения ремонтов.

Как известно, со временем происходит постепенное разрушение зданий и инженерных сооружений¹ от возникающих в них в процессе эксплуатации различных дефектов и повреждений.

Причин возникновения различного рода дефектов и повреждений много: воздействие внешней среды, ошибки в проектировании, вызванные недостаточными сведениями о поведении строительных материалов и конструкций при эксплуатации, условиями эксплуатации и работы конструкций, дефекты строительства, недостатки эксплуатации, перегрузка конструкций при эксплуатации и т. п.

Возникшие дефекты и повреждения строительных конструкций могут ухудшить условия эксплуатации, снизить несущую способность конструкций и при определенных условиях привести к аварии.

Для инженеров, осуществляющих проектирование и эксплуатацию строительных объектов, важно знать возможные повреждения конструкций и их последствия, что будет способствовать качеству проектирования, строительства и безаварийной эксплуатации.

Материалом для книги послужили многолетние натурные обследования сооружений, выполненные автором, а также отдельные опубликованные данные обследований в нашей стране и за рубежом.

В книге рассмотрены основные виды повреждений, причины их возникновения. Дана оценка повреждений стальных, железобетонных, каменных, деревянных конструкций и оснований фундаментов по их опасности для эксплуатации сооружения. Приведены многочисленные примеры возникновения аварий и их последствий.

¹ Далее по тексту – сооружений.

ВВЕДЕНИЕ

Выявление и оценка повреждений¹, возникающих в строительных конструкциях имеет, большое практическое значение для дальнейшей эксплуатации построенного объекта.

Для распознавания дефектов в конструкциях, причин возникновения дефектов и их влияния на техническое состояние сооружения применяется техническая диагностика.

Техническая диагностика занимается установлением и изучением признаков, характеризующих состояние строительных конструкций зданий и инженерных сооружений для определения возможных дефектов и предотвращения нарушений нормального режима их эксплуатации.

Диагностика строительных конструкций может осуществляться путем внешнего осмотра на основе визуальных обследований либо при помощи диагностической аппаратуры при инструментальных обследованиях.

Основной принцип диагностики заключается в фиксации определенных параметров и сравнение их с исходными и проектными данными. Диагностику повреждений проводят исследуя образование и рост в процессе эксплуатации дефектов.

Проблема обеспечения надежности и безаварийности всегда волновала инженеров-строителей.

Аварии особенно привлекали внимание ученых и инженеров, так как они позволяли более точно установить действительные условия работы сооружения и тем самым повысить надежность строящихся и проектируемых сооружений, норм их проектирования.

Уже в 1895 году в России профессором М.Н. Герсевановым была опубликована работа [11] по обобщению и анализу аварий сооружений.

В СССР первая попытка систематического изучения аварий и повреждений была предпринята в 1937 году, когда на основании распоряжения Главстройпрома НКТП СССР предписывалось всем проектным организациям, строительным трестам и конторам организовать учет дефектов и аварий. Однако в то время по причине засекречивания и сокрытия аварий, эти данные не могли быть использованы в практической деятельности.

Первая опубликованная монография по обобщению строительных аварий в нашей стране относится к 1953 году и принадлежит Ф.Д. Дмитриеву, в которой собраны основные крупные аварии за рубежом [26].

В Госстрое СССР проводился сбор данных по авариям, имевших место в стране. Указанные данные затем передавались в институт ЦНИИСК, где под руководством профессора А.А. Шишкина проводился анализ аварий

¹ Под повреждением понимается дефект в конструкции, возникший в процессе эксплуатации. Дефект – отклонение от норм или проекта.

конструкций, сыгравший положительную роль в деле улучшения качества проектирования и строительства [1, 2, 3].

А.Н. Шкиневым по данным Госстроя СССР проведено обобщение аварий различных сооружений [99], имевших значение в деле совершенствования нормативных документов.

В институте ЦНИИпромзданий автором на протяжении ряда лет производилось обобщение и анализ аварий инженерных сооружений и была разработана методика по их прогнозированию, обобщенная в работе [28].

Помимо указанных авторов исследованием аварий в России занимались: Б.И. Беляев, В.С. Корниенко, М.Н. Лащенко, Б.Н. Мизернюк, В.А. Клевцов, И.А. Физдель и др., а за рубежом – Митцел, Мак-Кейг, Хэмонд, Аугустин, Рибицки и др.

В 1983 году в США был создан Международный информационный центр по авариям сооружений. В качестве основной функции этого центра являлся сбор, изучение и распространение данных об имевших место авариях и выдаче рекомендаций по их предупреждению.

Изучение аварий, имевших место в нашей стране и за рубежом, показывает, что многие из них не произошли бы, если бы вовремя были приняты соответствующие меры.

Для предотвращения аварий и сохранения долговечности проектируемых и построенных сооружений необходимо знать и уметь выявлять их возможные повреждения.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Основной задачей при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений является обеспечение их надежности и безаварийности.

При этом под надежностью понимается свойство объекта выполнять заданные функции в течение требуемого времени или, иначе говоря, сохранять заданное качество во времени. В понятие надежности входит: безотказность, долговечность, ремонтпригодность.

Основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций сооружений, является безотказность их работы, представляющее способность сохранять заданные функции в течение определенного срока службы.

Конструкции обычно выходят из строя в результате их разрушения. При этом под разрушением понимается развивающийся во времени процесс разделения тела на части.

В настоящее время в строительной литературе нет четко установленного понятия отказа конструкции.

Часть исследователей под отказом строительной конструкции подразумевают достижение ею предельного состояния: по безопасности, по эксплуатационной пригодности (по деформациям, по образованию и раскрытию трещин), по долговечности.

Другая часть исследователей придерживается мнения, что под отказом строительных конструкций следует понимать достижение ею предельного состояния по безопасности, поскольку данное состояние является определяющим и его несоблюдение приводит к разрушению конструкции, которое не может быть допущено при любых условиях ее эксплуатации.

Поэтому в дальнейшем при изложении материала автором под отказом строительных конструкций понимается явление, при котором делается невозможным эксплуатация конструкции из-за опасности ее разрушения.

Отказы строительных конструкций можно разделить на постепенные и внезапные.

При постепенных отказах с течением времени происходит накопление в конструкциях повреждений, вызывающих физический износ сооружения.

Наиболее опасны внезапные отказы. Они, как правило, сопровождаются мгновенным обрушением конструкций. Основными причинами внезапных отказов являются грубые ошибки, допущенные при разработке проекта, в процессе строительства и эксплуатации.

Не все повреждения строительных конструкций делают невозможным эксплуатацию сооружений.

Железобетонные, каменные и деревянные конструкции в силу своей структуры материала и технологии их изготовления имеют микро- и макротрещины, не представляющие опасности для нормальной эксплуатации конструкций.

Дефектами строения металлов являются различные включения, неоднородности, дислокации, приводящие к образованию микротрещин¹.

Повреждения, заметные визуально, как правило, оказывают значительное влияние на прочность конструкций.

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

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

Помимо разрушения конструкций различные повреждения могут привести к неудовлетворительному состоянию 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 антикоррозионного покрытия стальных конструкций приводит к коррозии и преждевременному разрушению конструкций.

Долговечность сооружения оценивается продолжительностью его работоспособного состояния во времени при установленной системе ремонта и определяется сроками службы основных конструкций.

Надежность сооружения закладывается при разработке проекта и поддерживается на заданном уровне при эксплуатации за счет ремонта.

При проектировании закладывается надежность конструкций исходя из требований норм на проектирование, которая косвенно отображает необходимый запас прочности конструкций на восприятие действующих нагрузок.

При эксплуатации конструкций сооружения его надежность с течением времени, как правило, падает и может быть ниже нормативной. В этом случае возникает необходимость в ремонте. С помощью ремонта можно продлевать работу сооружений практически неограниченно.

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

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

Поэтому при оценке опасных значений тех или иных повреждений в настоящей работе принят критерий опасности обрушения конструкции.

¹ Изучением поведения различных материалов под нагрузкой с микротрещинами занимается механика разрушения твердых тел, и в настоящей работе они не рассматриваются.

Мерой надежности сооружения служит вероятность его разрушения¹ (частота вероятного разрушения сооружения в год).

Для выбора необходимой надежности при проектировании необходимо знать допустимую вероятность отказа конструкций сооружения в год, т.е. риск.

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

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.

При оценке случаев отказа важна не только частота их появления, но и тяжесть последствий при этом.

Риск $[Q]$ можно представить как произведение вероятности отказа Q на коэффициент последствий отказа $[Q]=Q \cdot w$. Коэффициент последствий отказа w принимается в зависимости последствий для жизни и здоровья людей, экономических потерь с учётом упущенной прибыли, последствий для окружающей среды и культурных ценностей.

Исследование риска проводится прежде всего для того, чтобы сравнить риск новых технологий с риском от уже существующих технологий или имеющимся риском от природных катастроф. Если риск окажется значительно больше, например, риска от природных катастроф, то это может служить основанием к повышению надёжности сооружений.

Как правило, самому дешёвому техническому решению соответствует наибольший риск, и, наоборот, варианты с ограниченным риском стоят дороже. Это взаимовлияние риска и сметной стоимости определяет порядок принятия решения в инженерном деле.

Само собой разумеется, что разные сооружения должны обладать различной величиной риска².

¹ Ряд исследователей [78] считает надежность не количественной, а качественной величиной: либо строительные конструкции сооружения можно считать надежными, либо их нельзя признать таковыми.

Решение о надежности или ненадежности сооружения в этом случае оценивается на основании экспертного исследования.

² Слово «риск» в переводе со староитальянского «risicare» означает «отважиться». Понятие «риск» возникло в области предпринимательской деятельности в середине 20-го века как возможность наступления некоторого события в условиях неопределённости, влекущего за собой определённые последствия. Там, где отсутствует неопределённость, то есть, где все события строго определённы, нет ситуации риска, а действия человека не носят названия рискованных.

В настоящее время нет чётко установленного понятия «риск» в области надёжности конструкций. Ряд авторов под риском понимают вероятность отказа конструкций.

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

Аналогично риск разрушения здания с большим скоплением людей должен быть минимальным.

Величина приемлемого риска может быть определена на основе социальной стороны и экономических соображений.

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 случаям 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.

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

В работе [100] была предложена методика вычисления риска в год на основе гипотезы, при которой принимается, что потеря 300 долларов США в год считается приемлемой.

С учетом сказанного, риск $[Q]$ для любого сооружения может быть вычислен из выражения:

$$C [Q] = 300 \text{ долл.}, \text{ откуда } [Q] = 300 / C,$$

где C – стоимость сооружения в долларах с учетом ущерба от его отказа. В стоимость ущерба должны входить возможные потери от гибели находящихся там людей, которые оцениваются в 100 тыс. долларов США за каждого человека.

На практике надежность сооружения косвенно может быть оценена в виде коэффициента запаса прочности сооружения, категорией его технического состояния (*табл. 1.1*) или условной надежностью в баллах.

Коэффициенты надёжности задаются в нормах. За счёт этого часть решений, которые должен принимать проектировщик для обеспечения надёжности конструкций и в то же время экономии материалов перекладывается с отдельного индивидуума на официальные учреждения, разработав-

ших нормы. Это частично освобождает проектировщика от ответственности и обеспечивает ему определённую юридическую защиту.

Коэффициенты надёжности в нормах устанавливаются экспертами на основе опыта, интуиции, экспериментальных исследований, данных других технических отраслей, а также анализа зарубежных норм и рекомендаций международных организаций. Проверка принятых требований по надёжности производится в процессе эксплуатации конструкций.

Механизм учёта опыта предыдущего строительства основан на методе проб и ошибок. Проблемы с надёжностью конструкций возникают, когда появляются отказы конструкций, вызванных обычно недостаточной прочностью. При наличии достаточного запаса этого не наблюдается, конструкции с большими резервами прочности оказываются пригодными для длительной эксплуатации.

Если эксплуатация протекает без случаев отказа, то после длительного периода времени у специалистов может возникнуть подозрения, что здесь имеются излишние запасы надёжности. На основе этого запас прочности снижают, назначив, например, меньшие коэффициенты надёжности.

Если, наоборот, встречаются частые или вызывающие обеспокоенность у специалистов случаи отказов, когда ни одно из нормативных требований не нарушено из-за ошибок человека, то повышают запас прочности, например, увеличив отдельные частные коэффициенты надёжности или отказываются от ненадёжных решений.

Для предварительной оценки надёжности сооружений в работе [28] в зависимости от наличия тех или иных повреждений его конструкций, вида здания или инженерного сооружения составлены специальные таблицы.

Таблица 1.1

Оценка надёжности сооружений по состоянию его конструкций

Категория технического состояния	Описание технического состояния сооружения	Полный коэффициент надёжности (запаса) γ_0	Относительная надёжность
1	2	3	4
1	Хорошее ¹ . Исправное состояние конструкций. Отсутствуют видимые повреждения конструкций. Выполняются все требования действующих норм и проектной документации. Необходимости в ремонтных работах нет.	1,75	1

¹ В работе [87] принята несколько отличная словесная характеристика технического состояния сооружений: исправное состояние, работоспособное состояние, ограниченно работоспособное состояние, недопустимое состояние, аварийное состояние.

Справочное пособие

Андрей Николаевич Добромыслов

**ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ
ЗДАНИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**

Редактор: *В.П. Бурмакин*

Компьютерный набор, верстка: *Е.В. Орлов, В.П. Бурмакин*

Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 25.08.08. Формат 60х90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 19 п.л. 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации - оф. 511
тел., факс: 8-499-183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>